



EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN SALUD DE LA POBLACIÓN VULNERABLE DEL TERRITORIO COLECTIVO AIRES DE GARRAPATERO, CUENCA DEL RÍO CAUCA Y MICROCUENCA DEL RÍO TETA MAZAMORRERO EXPUESTA A VERTIMIENTOS CONTAMINANTES POR EXPLOTACIÓN MINERA

Código: 1107100874437. Contrato: 943 de 2019.

1008-2019 Invitación para presentar proyectos de CTeI en salud ambiental - explotación minera.



La salud
es de todos

Minsalud



El conocimiento
es de todos

Minciencias



Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827



Grupo de Química
Ambiental y Computacional



DOCUMENTO TÉCNICO DE RESULTADOS:

Proyecto "Evaluación de los efectos en salud de la población vulnerable del territorio colectivo Aires de Garrapatero, cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta Mazamorrero expuesta a vertimientos contaminantes por explotación minera"

**Código: 1107100874437. Contrato: 943 de 2019
1008-2019 Invitación para presentar proyectos de CTeI en
salud ambiental - explotación minera**

2022





EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN SALUD DE LA POBLACIÓN VULNERABLE DEL TERRITORIO COLECTIVO AIRES DE GARRAPATERO, CUENCA DEL RÍO CAUCA Y MICROCUENCA DEL RÍO TETA MAZAMORRERO EXPUESTA A VERTIMIENTOS CONTAMINANTES POR EXPLOTACIÓN MINERA

Autoridades Universidad de Cartagena – Equipo de gobierno

Rector:	Edgar Parra Chacón
Vicerrector de Administrativo:	Gaspar Palacio Mendoza
Vicerrectora de Aseguramiento de la Calidad:	Luisa Leonor Arévalo Tovar
Vicerrector de Bienestar Universitario:	Miguel Camacho Manjarrez
Vicerrector de Docencia:	Federico Gallego Vásquez
Vicerrector de Extensión y Proyección Social:	Bertha Arnedo Redondo
Vicerrector de Investigaciones:	Leonardo Puerta Llerena
Vicerrectora de Relaciones y Cooperación Internacional:	Josefina Quintero Lyons
Secretaria General:	Katia del Carmen Joly Villareal

Equipo de trabajo

Karina Caballero Gallardo. Ph.D.	Director del proyecto
Jesús Olivero Verbel. Ph.D.	Director Grupo de Química Ambiental y Computacional
Neda Álvarez Ortega. Ph.D.	Coordinadora científica
Wilson Maldonado Rojas. Ph.D.	Coinvestigador
Fredy Pomares. MD. Especialista.	Coinvestigador
Javier Galvis. Bacteriólogo. (c) Ph.D.	Coinvestigador
José Sequeda Monterroza. M.D. Especialista.	Médico pediatra
María Quintana Mejía. Psicóloga. Est. Ph.D.	Coinvestigador
Jenny Palomares Bolaños. Est. Ph.D.	Personal de apoyo
Nadia Coronado. Ph.D.	Diseñador gráfico
Álvaro Cruz Quintero. M.D. M.Sc.	Médico Toxicólogo
Claudia Ibáñez Antequera. M.D. M.Sc.	Epidemióloga
Ángela Cañón Cárdenas. M.Sc.	Antropóloga
Nelson Alvis Guzmán. Ph.D.	Estadístico
Danilo Pájaro Valenzuela. QF.	Digitador
María Taboada. Estudiante Ph.D.	Personal de apoyo
Katerin Fuentes López. M.Sc. Est. Ph.D.	Investigador asociado
Javier Fortich Vega. Ing. de Alimentos. Esp.	Investigador asociado
María Alejandra Reyes. Est. Psicología	Investigador asociado
Patricia Quintero. Ph.D.	Investigador asociado

Estudiante de Maestría

José Camilo Costa Anillo	Estudiante Maestría en Ciencias Ambientales
--------------------------	---



Personal del área de estudio

Maricel Sandoval Solarte	Trabajadora social
Yesid Mina Ramos	Supervisor de campo
Zuleima Viveros Lasso	Auxiliar de enfermería
Eliana García Colorado	Encuestadora
Kelly Johana Gómez Torres	Psicóloga
Meliza Carabalí	Encuestadora
Jenny Patricia Carabalí Gómez	Encuestadora
Durany Carabalí Popo	Auxiliar de enfermería
Ángela Calderón Ocoro	Supervisor de campo – Estudiante de pregrado
Mariana Rosa Larrahondo Gómez	Fonoaudióloga
Diana Marcela García Peña	Médico
Zaidee Castillo Larrahondo	Médico

Líderes comunitarios

Elfa Nelly Mezú	Autoridad Consejo Comunitario Aires de
Armando Caracas Carabalí	Garrapatero
	Autoridad Consejo Comunitario Cuenca del Río
	Cauca y Microcuenca del Río Teta Mazamorrero

Ministerio de Salud y Protección Social

Dirección de Epidemiología y Demografía

Angélica Molina Rivera	Coord. Gestión del Conocimiento y Fuentes de Información
Sonia Guzmán Rodríguez	Grupo de Gestión de Conocimiento y Fuentes de Información
Ángela Sánchez Salazar	Estadística - Grupo de Gestión de Conocimiento y Fuentes de Información

Dirección de Promoción y Prevención

Jairo Hernández Márquez	Subdirector de Salud Ambiental
Sandra Catalina Cortés	Toxicóloga – Subdirección de Salud Ambiental

Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación

Luis Nieto Enciso	Programa Nacional de CTeI en Salud
Liliana Roselo Torres	Dirección de Inteligencia de Recursos de CTeI
José Fernando Acevedo	Dirección de Inteligencia de Recursos de CTeI

Documento técnico de resultados proyecto "EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS EN SALUD DE LA POBLACIÓN VULNERABLE DEL TERRITORIO COLECTIVO AIRES DE GARRAPATERO, CUENCA DEL RÍO CAUCA Y MICROCUENCA DEL RÍO TETA MAZAMORRERO EXPUESTA A



VERTIMIENTOS CONTAMINANTES POR EXPLOTACIÓN MINERA” / Karina Caballero Gallardo, Director del proyecto.

Capítulos: 1. Introducción, 2. Diseño y aplicación de encuestas, 3. Metodología, 4. Condiciones demográficas y sociodemográficas, 5. Condiciones de salud de la población de estudio (niños menores de 5 años, mujeres embarazadas y adultos mayores), 6. Mercurio en matrices ambientales.

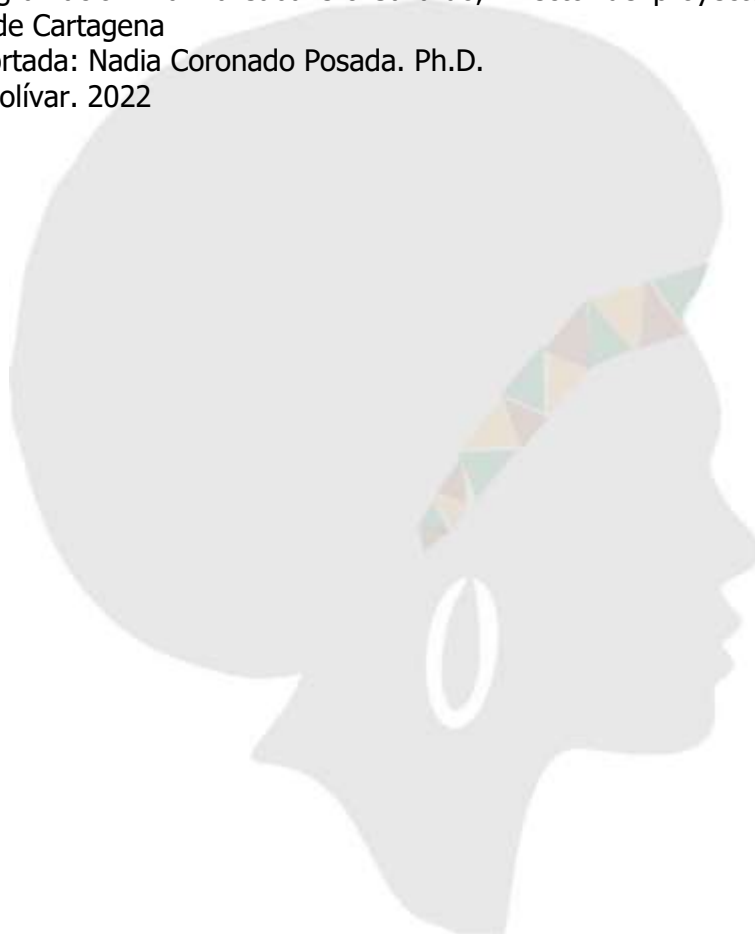
146 páginas

Edición y diagramación: Karina Caballero Gallardo, Director del proyecto.

Universidad de Cartagena

Diseño de Portada: Nadia Coronado Posada. Ph.D.

Cartagena, Bolívar. 2022





CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
AGRADECIMIENTOS	13
ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS	14
RESUMEN.....	16
CAPÍTULO 1	20
INTRODUCCIÓN.....	20
1.1. INTRODUCCIÓN	20
1.2. GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA	20
1.2.1. Actividades económicas y minería en el Norte del departamento del Cauca	21
1.3. CONSEJOS COMUNITARIOS AFRODESCENDIENTES	22
1.3.1. Consejo Comunitario Aires de Garrapatero (CCAG)	23
1.3.2. Consejo Comunitario Cuenca del Río Cauca, Microcuenca del Río Teta Mazamorrero (CCMTM)	24
1.4. MINERÍA DE ORO	24
1.4.1. Minería en comunidades afrodescendientes del Norte del Cauca	25
1.5. METALES PESADOS.....	26
1.5.1. Mercurio	27
1.5.2. Generalidades del mercurio	27
1.5.3. Ciclo del mercurio.....	28
1.5.4. Toxicocinética del mercurio	29
1.5.5. Toxicodinámica del mercurio	30
1.5.6. Fuentes de exposición.....	31
1.5.7. Biomarcadores de exposición a Hg	31
1.5.8. Polimorfismos genéticos.....	33
1.5.9. Polimorfismos asociados a la contaminación por Hg.....	33
1.6. Legislación	35
1.7. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	36
1.7.1. Objetivo general.....	36
1.7.2. Objetivos específicos.....	36
CAPÍTULO II.....	37
DISEÑO Y APLICACIÓN DE ENCUESTAS.....	37
2.1. INTRODUCCIÓN	37
2.2. ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENCUESTAS	38
2.3. DISEÑO DEL PLAN DE TRABAJO EN EL DESARROLLO DE LA ENCUESTA.....	38
2.3.1. Director(a).....	39
2.3.2. Director (a) de la encuesta	39
2.3.3. Subdirector(a) de la encuesta	39
2.3.4. Coordinadores de campo.....	39
2.3.5. Supervisor	39
2.3.6. Encuestador	40
2.4. ESTRATEGIA PARA EL OPERATIVO DE CAMPO	42
2.4.1. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL PARA LA APLICACIÓN DE ENCUESTAS.....	42
2.4.2. Contenido de las capacitaciones.....	43
2.4.3. Consentimiento y asentimiento informado	44
2.5. DISEÑO DE ENCUESTAS.....	44
2.5.1. Tipos de preguntas.....	44



2.6.	ENCUESTA SOCIODEMOGRÁFICA	45
2.6.1.	Objetivos de la encuesta sociodemográfica	46
2.6.2.	Estructura general de la encuesta sociodemográfica	46
2.7.	ENCUESTA GENERAL DE SALUD	46
2.7.1.	Diseño de encuestas de salud	47
2.7.2.	Objetivos de la encuesta de salud	48
2.7.3.	Estructura general de la encuesta de salud	48
2.8.	VALORACIONES MÉDICAS	48
2.8.1.	Objetivos de las valoraciones médicas	49
2.8.2.	Estructura general de las valoraciones médicas	49
3.	CAPÍTULO III	50
	METODOLOGÍA	50
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	50
3.1.1.	Diseño estadístico para la selección de los hogares	51
3.2.	SELECCIÓN DE LOS PARTICIPANTES	56
3.2.1.	Selección de los participantes incluidos en la muestra	56
3.2.2.	Consideraciones éticas	56
3.2.3.	Criterios de inclusión y de exclusión	57
3.3.	TOMA DE MUESTRAS DE CABELLO, SANGRE Y ORINA	58
3.4.	DETERMINACIÓN DE Hg EN CABELLO HUMANO, SANGRE Y ORINA	59
3.5.	DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	59
3.5.1.	Encuesta general de salud y valoración médica	59
3.5.2.	Evaluación psicofísica de la visión del color	60
3.5.3.	Examen auditivo	60
3.5.4.	Medición del coeficiente intelectual (CI)	60
3.6.	ENSAYOS BIOQUÍMICOS Y HEMATOLÓGICOS	60
3.6.1.	Evaluación de parámetros bioquímicos	60
3.6.2.	Análisis hematológico	60
3.6.3.	Frecuencia de los polimorfismos genéticos	61
3.6.4.	Ensayos de expresión génica	61
3.6.5.	Ensayos epigenéticos	61
3.7.	MERCURIO EN MATRICES AMBIENTALES	62
3.7.1.	Toma de muestras de agua y sedimento superficial	62
3.7.2.	Toma de muestras de suelo superficial	63
3.7.3.	Toma de muestras de sedimentos	65
3.7.4.	Toma de muestras de peces	65
3.7.5.	Evaluación del riesgo potencial para la salud asociado con la exposición a Hg derivada del consumo de pescado	67
3.7.6.	Análisis de Hg en agua, suelo superficial, sedimentos y músculo de pescado	67
3.7.7.	Análisis estadístico	68
	CAPÍTULO IV	69
	CONDICIONES DEMOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS	69
4.1.	INTRODUCCIÓN	69
4.2.	CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO	69
4.3.	CONCLUSIONES	77
4.4.	RECOMENDACIONES	78



CAPÍTULO V	79
CONDICIONES DE SALUD DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO (NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS, MUJERES EMBARAZADAS Y ADULTOS MAYORES)	79
5.1. INTRODUCCIÓN	79
5.2. RESULTADOS Y DISCUSION.....	81
5.2.1 NIVELES DE Hg EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (CABELLO, SANGRE Y ORINA)	81
5.3. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE SALUD	83
5.3.1. Encuesta de salud y valoración médica.....	83
5.3.2. Evaluación de la visión del color para mujeres embarazadas	97
5.3.3. Examen auditivo para mujeres embarazadas.....	97
5.3.4. Medición del coeficiente intelectual (CI) en niños	99
5.4. ENSAYOS BIOQUÍMICOS Y HEMATOLÓGICOS	100
5.4.1. Evaluación de parámetros bioquímicos	100
5.4.2. Análisis hematológico.....	106
5.4.3. Frecuencia de los polimorfismos genéticos.....	112
5.5. DISCUSIÓN	118
5.6. CONCLUSIONES.....	121
5.7. RECOMENDACIONES.....	122
CAPÍTULO VI	124
MERCURIO EN MATRICES AMBIENTALES	124
6.1. INTRODUCCIÓN	124
6.2. RESULTADOS	125
6.2.1. Niveles de Hg en agua, sedimentos y suelo superficial	125
6.2.2. Niveles de Hg en músculo de pescado	128
6.2.3. Evaluación del riesgo para la salud humana	131
6.3. DISCUSIÓN	134
6.4. CONCLUSIONES.....	136
6.5. RECOMENDACIONES.....	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
ANEXOS	145



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Clasificación de la minería en Colombia Adaptado de Aponte (2016).	24
Tabla 1.2. Leyes relacionadas con la explotación minera en Colombia.....	26
Tabla 1.3. Límites permisibles establecidos para Hg en diferentes matrices.	36
Tabla 2.1. Diseño del sistema de trabajo para la recolección de información.	38
Tabla 2.2. Descripción de las diferentes actividades realizadas para el operativo de campo.	43
Tabla 2.3. Ejemplos de preguntas abiertas utilizadas en la encuesta sociodemográfica....	44
Tabla 2.4. Ejemplos de preguntas cerradas utilizadas en las encuestas.	45
Tabla 2.5. Indicadores base para el diseño de encuestas de salud.....	47
Tabla 2.6. Estructura del formato de valoraciones médicas.	49
Tabla 3.1. Tamaño de muestra de hogares por cada consejo comunitario para la aplicación de encuesta sociodemográfica.....	52
Tabla 3.2. Listado de viviendas seleccionadas para la recolección de información en el CCAG.	53
Tabla 3.3. Listado de viviendas seleccionadas para la recolección de información en el CCMTM.	54
Tabla 3.4. Población objeto de estudio de CCAG.	57
Tabla 3.5. Población objeto de estudio de CCMTM.	57
Tabla 4.1. Características sociodemográficas de los participantes de los CCAG y CCMTM. 74	
Tabla 5.1. Concentraciones de Hg-t en cabello, sangre y orina de los participantes pertenecientes a los CCAG y CCMTM.....	81
Tabla 5.2. Variables asociadas con el estado de salud en adultos de los CCAG y CCMTM.	85
Tabla 5.3. Valoración médica de los adultos mayores participantes de los CCAG y CCMTM.	87
Tabla 5.4. Variables de la encuesta de salud en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.	90
Tabla 5.5. Valoración médica de las mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.	91
Tabla 5.6. Variables asociadas con el estado de salud en niños de los CCAG y CCMTM...93	
Tabla 5.7 Valoración médica en niños de los CCAG y CCMTM.	95
Tabla 5.8. Frecuencia de signos y síntomas de la audición y prueba de color para el grupo de embarazadas.....	98
Tabla 5.9. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en los adultos mayores de los CCAG y CCMTM.	102
Tabla 5.10. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en embarazadas de los CCAG y CCMTM.....	104
Tabla 5.11. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en niños de los CCAG y CCMTM.	105
Tabla 5.12. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en los adultos mayores de los CCAG y CCMTM.	107
Tabla 5.13. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.	108
Tabla 5.14. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en niños de los CCAG y CCMTM.	109
Tabla 5.15. Correlación de Spearman entre el contenido de Hg-T en el cabello, con el Hg-T sangre, variables bioquímica y hematológica.	111



Tabla 6.1. Especies, nivel trófico, concentración de Hg-t y parámetros morfométricos de peces colectados de diferentes cuerpos de agua aledaños a los consejos comunitarios de estudio y adquiridos en el comercio.	129
Tabla 6.2. Cociente de peligro (HQ) y tasa máxima permitida de consumo de pescado en las comidas por semana (CRmw) para niños (3, 4 y 5 años), mujeres embarazadas/lactantes y adultos.	132





ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Participación porcentual de las actividades económicas del departamento del Cauca al PIB nacional. Adaptado de (Mincomercio 2020).	22
Figura 1.2. Departamentos con mayor producción de oro en Colombia (SIMCO 2021)...25	25
Figura 1.3. Generalidades del Hg. Fuente: Imagen propia.....28	28
Figura 1.4. Ciclo del mercurio. Fuente: Imagen propia.....29	29
Figura 1.5. Toxicocinética del Hg. Fuente: Imagen propia.....30	30
Figura 1.6. Vía general de biotransformación de xenobióticos. Los compuestos tóxicos dentro de la célula de acuerdo con sus propiedades químicas son absorbidos por las enzimas de las diferentes fases de la ruta de desintoxicación.34 Los compuestos lipofílicos se biotransforman mediante enzimas de fase I, los compuestos más polares se biotransforman en reacciones de fase II catalizadas por un segundo grupo de enzimas (ej., glutatión transferasas). Los compuestos finales conjugados y más hidrofílicos serán transportados fuera de la célula por canales de membrana, transportadores y bombas (Fase III).....34	34
Figura 1.7. Legislación mundial relacionada con mercurio. Fuente: Imagen propia.35	35
Figura 2.1. Organigrama de equipo de trabajo empleado durante la recolección de información mediante la aplicación de encuestas sociodemográficas y de salud, en el marco de la investigación y elaboración del proyecto. Fuente: Imagen propia.41	41
Figura 2.2. Organización general del trabajo realizado en el operativo de campo por jornada. Fuente: Imagen propia.42	42
Figura 3.1. Mapa del departamento del Cauca (Colombia) mostrando el área de estudio y existencia de veredas y ríos. Abreviaciones: Veredas: M: Mazamorrero; Ma, Mandules; Sj, San José; Sa, San Antonio; B, Brasilia; T, Taminango; C, Chirivico; L, Lomitas; Lb, La Balsa; Sm, San Miguel; R, Ricaurte; Ca, Cascajero; G: Guayabal, Sf: San Francisco; Pp: Piedra Pintada, Bb, Balsa Brigida; Lc, La Ceiba; Sje, San Jerónimo. Pequeñas quebradas: Zcs, Zanjón cagualito.....51	51
Figura 3.2. Selección aleatoria de los hogares en la vereda San Antonio perteneciente al Consejo Comunitario Aires de Garrapatero.55	55
Figura 3.3. Cobertura porcentual en función del número total individuos encuestados por cada uno de los consejos comunitarios. Los datos del número de personas pertenecientes a ambos consejos fueron tomados del Anexo 2. Protocolo de estudio del Ministerio de Salud y Protección Social. Disponible en el enlace: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo_2_protocolo_de_estudio_de_la_propuesta.pdf56	56
Figura 3.4. Ubicación de las muestras de agua superficial y sedimentos en el CCAG.....62	62
Figura 3.5. Ubicación de las muestras de agua superficial y sedimentos en el CCMTM...63	63
Figura 3.6. Ubicación de las muestras de suelo superficial en el CCAG.64	64
Figura 3.7. Ubicación de las muestras de suelo superficial en el CCAG.64	64
Figura 3.8. Localización de puntos de muestreo en el área de excavación para la toma de muestra de sedimento superficial de acuerdo con el siguiente procedimiento65	65
Figura 3.9. Imágenes de las diferentes especies de peces colectadas en el departamento del Cauca organizadas de acuerdo con el nivel trófico.66	66
Figura 3.10. Ubicación del sitio para la toma de muestra de músculo en los pescados...67	67
Figura 4.1. Pirámide poblacional general de los habitantes del CCAG (Departamento del Cauca, Colombia).70	70



Figura 4.2. Distribución poblacional por grandes grupos de edad de los habitantes del CCAG (Departamento del Cauca, Colombia).....	71
Figura 4.3. Pirámide poblacional general de los habitantes del CCMTM (Departamento del Cauca-Colombia).....	72
Figura 4.4. Distribución poblacional por grandes grupos de edad de los habitantes del CCMTM (Departamento del Cauca-Colombia).....	73
Figura 4.5. Ingresos y egresos mensuales de los participantes del CCAG.....	75
Figura 4.6. Ingresos y egresos mensuales de los participantes del CCMTM.....	76
Figura 4.7. Acceso a servicios públicos por parte de los participantes de los CCAG y CCMTM.	77
Figura 5.1. Niveles de Hg en muestras biológicas (cabello, sangre y orina).....	82
Figura 5.2. Distribución de los participantes que realizaron la encuesta de salud por Consejo comunitario, vereda y grupos: Embarazadas, Niños, Adultos.	84
Figura 5.3. Impresión diagnóstica realizada por el médico en la valoración médica.	88
Figura 5.4. Diagnóstico de IMC realizada por el médico en la valoración médica.	89
Figura 5.5. Impresión diagnóstica realizada por el médico en la valoración médica.	92
Figura 5.6. Impresión diagnóstica realizada por el pediatra durante la valoración médica.	97
Figura 5.7. Resultados de la prueba de color realizado en mujeres embarazadas empleando el test Ishihara.....	97
Figura 5.8. Resultados examinación auditiva en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.	98
Figura 5.9. Evaluación del oído derecho e izquierdo de las mujeres embarazadas.	99
Figura 5.10. Puntuaciones de los valores de coeficiente intelectual en niños participantes de los CCAG y CCMTM.....	100
Figura 5.11. Alteraciones del perfil lipídico en los adultos mayores, embarazadas y niños.	103
Figura 5.12. Polimorfismos de <i>ABCB1</i> encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.....	113
Figura 5.13. Polimorfismos del Gen <i>GSTP1</i> SNP Ile/Val encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.....	114
Figura 5.14. Polimorfismos del Gen <i>MT2A</i> SNP rs 10636 encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.....	115
Figura 5.15. Cambios en la expresión de genes asociados con estrés oxidativo, metales, transportadores ABC y apolipoproteína para la población de estudio.	117
Figura 6.2. Concentraciones de Hg-t en muestras de sedimentos colectadas en los CCAG y CCMTM.....	126
Figura 6.3. Concentraciones de Hg-t en muestras de suelo superficial colectadas en en los CCAG y CCMTM.....	127



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

La Universidad de Cartagena, por brindarnos las condiciones y el apoyo necesario para desarrollar nuestras actividades docentes e investigativas.

Al Grupo de Química Ambiental y Computacional de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas.

A las comunidades del Consejo Comunitario Aires de Garrapatero y el Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero por su apoyo y confianza para el desarrollo del proyecto (Código: 1107100874437 Contrato: 943 de 2019).

Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias) por la financiación del proyecto.

Al Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS) por la revisión de los instrumentos en particular a Sonia Liliana Guzmán Rodríguez, Catalina Cortés y Ángela María Sánchez, así como su seguimiento y sugerencias durante el desarrollo del proyecto.

A Minciencias y al SGRs, por el apoyo a Neda Álvarez, María Quintana Mejía y Katerin Fuentes López a través de la Convocatoria No. 727 (2015), BPIN 2019000100021 (Resolución 00699/2020), BPIN 2020000100364 (Resolución 01708/2021), respectivamente para estudios de Doctorado en Colombia.



ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS

CCAG	Consejo Comunitario Aires de Garrapatero
CCMTM	Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero
CURPAQ	Cuenca del río Páez - Quinamayó
K-BIT	Test breve de inteligencia de Kaufman
Hg	Mercurio
Hg-t	Hg total
MeHg	Metilmercurio
OMS	Organización Mundial de la Salud
µg/g	Microgramos por gramos
µg/L	Microgramos por litros
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
ACONC	Asociación de Consejos Comunitarios del Norte del Cauca
PIB	Producto Interno Bruto
SIMCO	Sistema de Información Minero Colombiano
As	Arsénico
Cd	Cadmio
Pb	Plomo
Cr	Cromo
Zn	Zinc
Au	Oro
Cu	Cobre
Hg ⁰	Hg elemental
Hg ²⁺	Hg inorgánico
Me ₂ Hg	Dimetilmercurio
MSPS	Ministerio de Salud y Protección Social
GB	Conteo de glóbulos blancos
GR	Conteo de glóbulos rojos
HGB	Hemoglobina
HCT	Hematocrito
VCM	Volumen corpuscular medio
HCM	Hemoglobina corpuscular media
CHCM	Concentración de hemoglobina corpuscular media
PLT	Plaquetas
PCT	Plaquetocrito
VPM	Volumen plaquetario medio
PDWc	Ancho de distribución de plaquetas
RDWc	Ancho de distribución de los eritrocitos
LIN	Recuento absoluto de linfocitos
MID	Recuento absoluto de células mixtas
GRA	Recuento absoluto de granulocitos
LIN%	Porcentaje de linfocitos
MID%	Porcentaje de células mixtas
GRA%	Porcentaje de granulocitos
P-LCC	Recuento de plaquetas-células grandes



P-LCR	Cociente de Plaquetas-Células Grandes
ALT	Alanina aminotransferasa
AST	Aspartato aminotransferasa
BUN	Nitrógeno ureico en sangre
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
MSP	Específica de metilación
PCR	Reacción en cadena de la polimerasa





RESUMEN

El Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS) ha realizado diferentes aproximaciones de evaluación de riesgos en salud por la exposición ambiental a elementos tóxicos como el mercurio (Hg) y otras sustancias tóxicas provenientes del ejercicio de la explotación minera. Esto ligado a la importancia de conocer y reconocer que la salud ambiental comprende un sin número de aspectos del medio (físicos, químicos, biológicos, sociales) que pueden resultar en afectaciones a la salud humana.

En atención al Auto Interlocutorio No. 275 y 050 de 2019, llevado por el Juzgado Primero Civil del Circuito Especializado en Restitución de Tierras de Popayán, el cual ordena al Ministerio de Salud y Protección Social "... evaluar los efectos de los vertimientos contaminantes, al interior del Territorio Colectivo Aires de Garrapatero, en la población más vulnerable, niños, niñas, ancianas y ancianos y adoptar las medidas de salubridad necesarias y urgentes..." y "...evaluar los efectos de los vertimientos contaminantes provenientes de la práctica de la minería ilegal, al interior del Territorio Colectivo Cuenca del Río Cauca y Microcuenca del Río Teta-Mazamorrero del Departamento del Cauca, en la población más vulnerable, niños, niñas, ancianas y ancianos y de ser necesario establecer el conjunto de medidas de salubridad necesarias y urgentes", respectivamente. El MSPS, planteó un estudio observacional descriptivo de corte transversal para evaluar la existencia de efectos en salud posiblemente relacionados con los vertimientos generados por las actividades mineras.

Bajo el contexto expuesto anteriormente, se realizó el estudio de la población vulnerable niños menores (3-5 años), mujeres embarazadas y adultos mayores pertenecientes a ambos consejos comunitarios que tuvo como objetivo principal describir los posibles efectos en la salud en la población vulnerable del territorio colectivo Aires de Garrapatero (CCAG), Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero (CCMTM), por la exposición a vertimientos contaminados con Hg producto de la minería ilegal. Inicialmente, fueron diseñados los instrumentos de captura de información (encuesta sociodemográfica, de salud y formatos de valoración médica) que luego de ser aprobados por el MSPS fueron socializados con el equipo de trabajo a los cuales les fue brindada una capacitación por parte de los investigadores de la Universidad de Cartagena. Posteriormente, fue impartida una campaña de educación ambiental para las comunidades de estudio, donde se dio a conocer los objetivos, los alcances, la importancia, las limitaciones y los beneficios del proyecto. Para dar inicio con la selección de los participantes, fue realizada una validación de los instrumentos (Vereda San José) seguido de la prueba piloto (Vereda Quinamayó). Los hogares para la aplicación de información sociodemográfica fueron seleccionados por un muestreo de proporciones en los CCAG y CCMTM. A partir de la información sociodemográfica fue identificada la población objeto de estudio donde todos los individuos tuvieron la posibilidad de ser elegidos y fueron seleccionados aquellos que acudieron al llamado de los líderes comunitarios de los consejos y las respectivas veredas. La participación tanto de los adultos como de los menores en el proyecto fue solicitada a través de un consentimiento y asentimiento informado, así mismo fue registrada la información de salud mediante una encuesta y la valoración médica, en el caso de los niños estos fueron valorados por un médico pediatra. El coeficiente intelectual de los niños >4 años fue medido por un psicólogo empleando el Test breve de inteligencia de Kaufman



(K-BIT). Muestras biológicas (cabello, sangre total y orina) y ambientales (suelo superficial, sedimentos y pescado) fueron obtenidas para los diferentes ensayos. Los niveles de Hg en cabello, sangre total y orina fueron medidos mediante análisis directo de Hg. Marcadores bioquímicos asociados con daño renal, hepático y enfermedades cardiovasculares fueron medidos en suero. Los parámetros hematológicos fueron medidos mediante hemograma automatizado. El ADN fue extraído a partir de sangre total para la caracterización de los polimorfismos y el perfil epigenético. RT-PCR fue utilizada para elucidar cambios en la expresión de genes relacionados con estrés oxidativo, metales, transportadores y apolipoproteína E reportados como marcadores de exposición a Hg en cabello, sangre y orina. Los resultados obtenidos para los dos consejos comunitarios fueron analizados mediante medidas de tendencia central, Chi-Cuadrado, prueba U de Mann-Whitney y t-test. Además, la correlación de Spearman fue usada para encontrar asociaciones entre las concentraciones de Hg-t en cabello, parámetros bioquímicos, hematológicos y las puntuaciones de coeficiente intelectual.

Los resultados de la encuesta sociodemográfica mostraron que el género femenino fue predominante en la población de estudio. Las labores domésticas y los oficios varios fueron las actividades más frecuentes entre los participantes de ambos consejos comunitarios. Un bajo porcentaje de actividades mineras son llevadas a cabo por los encuestados de los CCAG y CCMTM. El nivel educativo más frecuente fue secundaria en ambos consejos comunitarios. Las viviendas en las que habitan los participantes son propias o de familiares. El promedio de ingreso y egresos fueron ligeramente más altos en el CCAG. El acceso a servicios públicos domiciliarios fue similar en ambos consejos comunitarios resaltando que existe un bajo porcentaje de servicios tales como recolección de basuras e internet. Un total de 300 individuos pertenecientes al CCAG (adultos: 93, embarazadas: 14 y niños: 50) y CCMTM (adultos: 99, embarazadas: 11 y niños: 33) hicieron parte del estudio.

De acuerdo la encuesta de salud en la población adulta, un alto porcentaje (>90%) de los participantes consumen pescados, así como pescado enlatado (>60%), así mismo fue evidenciado que más 30% de los encuestado manifestó sufrir de ansiedad, la cual estuvo asociada a razones emocionales, seguida por problemas económicos y familiares. En el caso de las mujeres embarazadas para ambos consejos comunitarios, se encontró que la edad promedio fue menor de 25 años y que el 30% se dedicaba a oficios varios, además más del 25% eran madres solteras. Por su parte, en los niños la edad promedio fue de 4 años y en cuanto a la alimentación el Bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y la Tilapia (*Oreochromis* sp.) son las especies de peces más consumidas por los niños. Por su parte, en la valoración médica realizada a los adultos en ambos consejos comunitario se encontró estos presentan hipertensión (50%), seguido de diabetes (<15%). De acuerdo con el IMC calculado, más del 40% de la población adulta presentó sobrepeso, este patrón fue similar en las mujeres embarazadas (>50%). En los niños la impresión diagnóstica reveló que más del 40% tenía caries dental, seguido de hernia umbilical, sin desconocer que 4 niños de CCAG presentaron sobrepeso.

Los valores promedio de Hg-t en cabello, sangre y orina en adultos, embarazadas y niños en ambos consejos comunitarios estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos por la USEPA y el INS.



Los resultados de la prueba de color aplicada a las mujeres embarazadas de ambos consejos comunitarios no presentaron alteraciones en la capacidad visual. Un 20% de las mujeres embarazadas del CCMTM presentaron tapón parcial de cerumen y un 10% tapón total de cerumen, lo cual podría bloquear el conducto auditivo externo y comprometer la función auditiva. Además, el análisis audiométrico permitió identificar a un 70% de las mujeres embarazadas del CCAG con audición periférica normal con descenso sensorineural leve en las frecuencias 6 Khz y 8 Khz para el oído izquierdo, mientras que en el CCMTM fue normal.

Las puntuaciones de Coeficiente Intelectual para los niños del CCAG mayores de 4 años fueron categorizadas en un porcentaje mayor al 30% como muy bajas y bajas de los niños; mientras que en el CCMTM presentaron puntuaciones medio bajo el 40%, y muy bajo el 20%. En general en ambos consejos comunitarios ninguno de los niños tuvo puntuaciones de CI muy alto y alto.

Diferencias estadísticas fueron encontradas para varios marcadores bioquímicos de daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en los dos consejos comunitarios, tanto en adultos mayores (AST, CREAT, CT, CLDL, TRIG) como en embarazadas (CREAT, BUN). Los adultos mayores y las mujeres embarazadas presentaron una frecuencia alta de CLDL (>130 mg/dL). Además, los niveles de Hg-t en cabello se correlacionaron positiva y significativamente con el CT y CLDL en los adultos mayores de CCMTM. Por otra parte, la fosfatasa alcalina mostró una correlación inversa con las concentraciones de Hg-t en cabello, mientras que en los niños no fueron observadas correlaciones entre los niveles de este elemento con los parámetros bioquímicos analizados.

En el caso de los parámetros hematológicos, fue encontrado que más del 10% de los niños y mujeres embarazadas presentaron anemia, así mismo, correlaciones entre las concentraciones de Hg-t y los parámetros hematológicos mostraron patrones diferentes de acuerdo con los grupos poblacionales y el género, observándose una correlación inversa con RBC en las niñas del CCAG. En el CCMTM, las niñas presentaron correlación inversa con los leucocitos, linfocitos y células mixtas. Las mujeres embarazadas mostraron una correlación positiva con los linfocitos.

Los polimorfismos asociados con genes transportadores (*ABCB1*) mostraron que la variante GG fue la más frecuente en los tres grupos de estudio. Por su parte, el genotipo AG del polimorfismo de enzimas involucradas en mecanismos de detoxificación celular (*GSTP1*) fue más frecuente en mujeres embarazadas, seguido de niños y adultos. Para el polimorfismo del gen *MT2A* el patrón más frecuente fue AC. Los cambios en la expresión génica permitieron observar que el gen *SOD1* se encontró sobreexpresado en los adultos mayores de CCMTM en comparación con los del CCAG, mientras que el gen *MT1X* fue regulado negativamente en las mujeres embarazadas del CCMTM y en los niños no se observaron cambios significativos en la expresión de los genes evaluados.

Las concentraciones de Hg-t en sedimentos y suelo superficial permitieron identificar un punto caliente (hotspot) de contaminación en el río Teta que debe ser objeto de remediación para poder reducir la exposición ambiental a este metal. La evaluación de



riesgos asociada con la ingesta de Hg derivada del consumo de pescado arrojó que las especies de peces conocidas como Bagre pintado o sapo, Mueluda, Cucha, Rollizo, Sabaleta, Sardina, Cabeza de piedra, Mojarra amarilla y Raspa canoa, no son aptas para el consumo humano. Por su parte, especies de peces adquiridas en el comercio del municipio de Santander de Quilichao presentaron niveles bajos de Hg-t.

En resumen, las concentraciones de Hg-t halladas en las matrices humadas evaluadas dan cuenta de un bajo nivel de exposición a este metal en las comunidades. Sin embargo, algunas correlaciones en el género masculino para adultos mayores mostraron asociaciones con marcadores bioquímicos relacionados con un alto riesgo cardiovascular. También fue posible identificar la falta de programas de salud y bienestar. De igual forma, existe la necesidad de realizar un seguimiento de los niveles de Hg en el río Teta por los niveles encontrados en las muestras ambientales analizadas.





CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un creciente interés por el estudio de las enfermedades relacionadas con la salud de la población; estudios de frecuencia, distribución, estados y sucesos asociados con estos son el punto de partida de la epidemiología. Los estudios epidemiológicos inician con la observación y el conocimiento de patrones de frecuencia y distribución de las enfermedades, seguido del planteamiento de una hipótesis ligado con la enfermedad y el factor, y finalmente el diseño del experimental que prueba dicha hipótesis ([Hernandez 2017](#)). Estos estudios sugieren medidas y/o estrategias antes de conocer el factor etiológico de la enfermedad, a su vez permite identificar factores de riesgos en la población.

Con el objeto de determinar la causa de las enfermedades, diversos estudios epidemiológicos han sido establecidos. Tales estudios son importantes para las evaluaciones del riesgo de salud, de esta manera son clasificados en descriptivos y analíticos. Son descriptivos si únicamente describen la frecuencia de distribución de las variables sin obtener conclusiones y analíticos si incorporan algún nivel de análisis estadístico inferencial con el fin de establecer asociaciones en los datos. De igual manera, han sido establecidos estudios transversales (sobre individuos) y estudios ecológicos (sobre poblaciones) dentro de los estudios descriptivos, ambas tienen una orientación analítica donde se aplican pruebas de hipótesis en torno a al menos dos grupos de participantes (grupos de comparación) para obtener una inferencia estadística, de esta manera pueden ser clasificados como estudios analíticos ([Cataldo et al. 2019](#)).

Ahora bien, la recolección de información es un paso crucial en los estudios epidemiológicos, el cual inicia con el uso de censos o encuestas que se han convertido en una herramienta relevante para analizar la frecuencia del problema (enfermedad), puesto que permite acceder a información de las condiciones actuales en las que se encuentra la población ([Hernandez 2017](#)).

1.2. GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El Cauca es un departamento de Colombia ubicado al suroccidente del País, con una población aproximada de 1.404.313 habitantes según información proporcionada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y el décimo departamento más poblado del país. Cuenta con una superficie aproximada de 3.050.900 ha, distribuida en 41 municipios, en donde predomina la población mestiza ubicada en la cabecera municipal y centro del departamento, y un número menor de pobladores de raza indígena y afrodescendiente ([DANE 2020](#), [Sánchez et al. 2020](#)). Limita al norte con el departamento del Valle del Cauca, al noreste y este con los departamentos de Tolima y Huila, por el sureste con Caquetá y Putumayo, al sur con Nariño, y por el occidente con el océano Pacífico. Es reconocido por su gran diversidad biogeográfica, la cual se encuentra distribuida entre el macizo colombiano, el macizo de Micay, los parques Nacionales



Naturales Isla Gorgona, Munchique, Nevado del Huila, Puracé, Serranía de los Churumbelos y Complejo Volcánico Doña Juana-Cascabel. Estos lugares aumentan su interés turístico y significan un renglón importante en la economía del país ([Ayerbe-Quiñones et al. 2008](#), [DANE 2020](#)). El sistema hídrico de la región está conformado por los ríos Cauca, Magdalena, Caquetá y desde el macizo de Micay los ríos López de Micay, Guapi, Napi y Timbiquí, estos recursos hídricos y demás riquezas ambientales, su flora, fauna, ecosistemas de gran diversidad, parques naturales, resguardos, permiten apreciar el departamento desde un ámbito ambientalista, comprendiendo la importancia para el país, de estos territorios y de la población que los habita, que durante años ha luchado por mantener su cultura y prosperidad.

Desde el punto de vista étnico cultural, en el marco demográfico, el departamento del Cauca está poblado principalmente por comunidades afrodescendientes e indígenas, que contribuyen al 42% del total de la población habitante distribuidos en 11 pueblos, 110 resguardos, 86 comunidades indígenas, en el caso de la población afrodescendiente se estima un total de 268.333 personas pertenecientes a 79 consejos comunitarios ([PDCN 2019](#)). Así mismo, según las estadísticas del DANE para el año 2018 se ubica como el quinto territorio con mayor cantidad de población autorreconocida como NARP (afrocolombianos, negros, raizal o palenqueros). En este caso, el departamento del Cauca comprende una de las regiones más habitadas por poblaciones negras, luego del Pacífico y el Caribe Colombiano desde años atrás ([Vanegas and Rojas 2012](#)), para estas organizaciones se determina un índice de pobreza multidimensional en Colombia (IPM) de 32,5 porcentual, que a su vez refleja las condiciones de vida y vulnerabilidad de las comunidades afrocolombianas que habitan desde hace muchos años en el departamento del Cauca ([DANE 2019](#)). Estas comunidades negras, además de significar en la afrocolombianidad, también representan el valor del departamento a nivel étnico, social, cultural, económico y ambiental, con sus actividades económicas, las tradiciones ancestrales, el legado cultural, se encuentran organizadas en consejos comunitarios y territorios colectivos, entre estos se reconocen el Consejo Aires de Garrapatero y Cuenca Río Cauca, Micro Cuenca de los Ríos Teta y Mazamorrero ([INCODER 2015](#), [PDT 2016](#)).

1.2.1. Actividades económicas y minería en el Norte del departamento del Cauca

La subregión norte del departamento del Cauca cuenta con una población aproximada de 445.533 habitantes de los cuales más del 60% pertenecen a zonas rurales y un total de 213.636 habitantes son afrodescendientes según proyección del DANE para el año 2020. Esta población se encuentra denominada en diversas organizaciones etnicoterritoriales siendo la Asociación de Consejos Comunitarios del Norte del Cauca –ACONC, organización de concertación y de toma de decisiones suprarregionales étnicas, la de mayor importancia en esta división. Los municipios que conforman la subregión norte del departamento del Cauca son: Buenos Aires, Caloto, Corinto, Jambaló, Miranda, Padilla, Puerto Tejada, Santander de Quilichao, Suárez, Toribio, Villa Rica, Caldono y Guachené.

El potencial económico de la región se fundamenta en la gran diversidad de ecosistemas, que permiten la coexistencia de múltiples sistemas productivos, como los sectores industrial, comercial y agropecuario, así como la minería y en particular la extracción de oro, que contribuyen de manera importante con el PIB departamental (DNP, 2020). En los años 2017 a 2019 sobresalen las actividades económicas (6.839 industrias



manufactureras; 324 empresas de explotación de minas y canteras; 9.362 alojamientos y servicios de comida) que generan un ingreso significativo en la economía del departamento. En este caso el municipio de Santander de Quilichao representa un 8,5% del producto interno bruto departamental dentro de los principales, la economía en este municipio involucra los sectores de producción de la agricultura, el comercio e industria, aunque actualmente la extracción de oro representa un porcentaje menor de participación todavía se realizan algunas actividades como la extracción de oro principalmente en los ríos aledaños a la zona ([González-Holguín 2011](#)) (**Figura 1.1**).

Por su parte en el municipio de Buenos Aires la minería ocupa el segundo reglón de importancia en la actividad económica del municipio, desarrollada por sus habitantes de modo tradicional (minería de filón y aluvión). En esta, se desarrolla principalmente la explotación de minerales como el oro, bauxita, material de río y carbón. Las principales áreas de minas se localizan en el municipio de Buenos Aires donde existe una cooperativa de mineros del departamento del cauca “COOMULTIUMINEROS” que agrupa a la mayor parte de los mineros estables de la región y realiza la intermediación de insumos para minería ([Mesa and Díaz 2011](#)).



Figura 1.1. Participación porcentual de las actividades económicas del departamento del Cauca al PIB nacional. Adaptado de ([Mincomercio 2020](#)).

1.3. CONSEJOS COMUNITARIOS AFRODESCENDIENTES

La historia de las comunidades afrodescendientes comienza con la importación de esclavos al país en la época de la esclavitud. Los africanos entraban por el puerto de Cartagena hasta Popayán, de donde se distribuían para cumplir con actividades de trabajo minero, de producción agrícola y deberes de las haciendas en el departamento del Cauca ([Restrepo 2020](#)). Al pasar de los años los afrodescendientes esclavizados fueron recuperando su libertad, huyendo hacia regiones caucanas, hechos relevantes en la cronología del departamento y del país, por lo que actualmente se reconoce el Norte del departamento del Cauca como uno de los territorios más poblados por afrodescendientes. Posteriormente se incluyó la afrocolombianidad, después de ser abolida la esclavitud en el año 1851, dichas comunidades terminaron el poblamiento del departamento y la



apropiación de las minas y cultivos, frutíferos de la región ([Patiño Castaño and Hernández 2021](#)).

Por otra parte, desde la declaración de los derechos humano en la constitución de Colombia son muchas las comunidades afrocolombianas que se han reconocido en el país, donde la atención a grupos en condiciones de vulnerabilidad es un objetivo de prioridad para las autoridades competentes ([CPC 1991](#), [Delgado 2006](#), [ONU 2006](#), [González 2011](#), [CDH 2013](#), [Hinestroza Cuesta 2017](#)), por lo que actualmente hacen parte del patrimonio tradicional y cultural que representa a Colombia a nivel nacional e internacional. El termino afro que define a estas comunidades, es parte del concepto de ascendencia africana como resultado de la historia geopolítica que comenzó en el Pacífico colombiano ([Córdoba et al. 2010](#)). Actualmente se reconocen dentro de este amplio grupo, no solamente a las comunidades negras del Pacífico, sino también a las agrupaciones raizales del Archipiélago de San Andrés y a todas las personas ubicadas en cualquier lugar del territorio colombiano, que cumpla con las condiciones establecidas de descendencia histórica, origen e independencia cultural ([Rodríguez-Echeverry 2006](#), [Cardona 2017](#), [Mininterior 2020](#)).

En consecuencia, la Ley 70 de 1993 en el artículo segundo define a las comunidades negras como “el conjunto de familias de ascendencia afrocolombiana que poseen una cultura propia, comparten una historia y tienen sus propias tradiciones y costumbres dentro de la relación campo-poblado, que revelan y conservan conciencia de identidad que las distinguen de otros grupos étnicos”. La corte constitucional colombiana incluye dentro de este grupo a las comunidades negras del Pacífico, las agrupaciones raizales del Archipiélago de San Andrés y a todas las personas ubicadas en cualquier lugar del territorio colombiano que cumpla con las condiciones establecidas de descendencia histórica, origen e independencia cultural ([CONPES 2004](#), [Mininterior 2020](#)).

1.3.1. Consejo Comunitario Aires de Garrapatero (CCAG)

El CCAG está conformado por las veredas San Antonio, Chivirico, San Jerónimo, Taminango, Brasilia y San José, en los valles interandinos, establecido como territorio colectivo, representante de la comunidad negra, al sur occidente del Municipio de Santander de Quilichao en el departamento del Cauca. Fue constituido legalmente como autoridad étnica territorial en el año 2008, con el tiempo establecieron organizaciones como las Juntas de Acción Comunal, asociaciones de agricultores, de mujeres y de mineros artesanales, grupos de adulto mayor y culturales, en pro de la defensa de sus derechos ([Ibargüen et al. 2018](#)). Según alcaldía municipal del Santander de Quilichao en CCAG cuenta con un aproximado de 3.740 habitantes y su principal actividad económica está representada por la producción agropecuaria, de cultivos de café, piña, caña, así como la cría de animales de especies menores y explotación minería.

El consejo se encuentra estructurado por un representante legal, presidente, vicepresidente, secretario, fiscal, consejeros y 5 comités: salud, guardia cimarrona, deportes, jóvenes y comunicaciones, con autonomía propia y soberanía étnico-territorial, amparados por la ley 70 de 1993. Actualmente se puede decir que a pesar del gran avance territorial y protección de derechos que han adquirido estas comunidades para posicionarse en la cultura del país, todavía se encuentra en un periodo de lucha contra las situaciones de violencia, desigualdad, vulnerabilidad y seguridad.



1.3.2. Consejo Comunitario Cuenca del Río Cauca, Microcuenca del Río Teta Mazamorrero (CCMTM)

Las veredas Mandules, Balsa Brígida, San Miguel, La Balsa (cabecera), Ricaurte, Cascajero, Mazamorrero, Guayabal, San Francisco, Piedra Pintada, San Jerónimo, La Ceiba del municipio de Buenos Aires y Lomitas Abajo (Lomitas Sur), Lomitas Arriba (Lomitas Norte) del municipio de Santander de Quilichao, conforman los territorios colectivos de las comunidades pertenecientes al CCMTM. El consejo comunitario se establece como una figura jurídica según lo adjudicado en el artículo 5 de la Ley 70 de 1993, y el decreto 1742 de 1995 como una organización que tiene la facultad de administrar territorios colectivos y ancestrales en los cuales se han asentado comunidades negras ([Mina-Belalcázar 2019](#)).

1.4. MINERÍA DE ORO

La minería es una actividad económica, perteneciente al sector industrial que se fundamenta en técnicas de extracción y procesamiento de recursos naturales a cielo abierto, granel o subterránea, la cual se clasifica dependiendo de la forma en que se gestiona o ejecuta la explotación de los recursos, en términos de legalidad se hablaría de minería legal, ilegal, formal, informal y marina (**Tabla 1.1**). Actualmente se reconoce que la dificultad de industrializar estos procesos ha llevado a la adopción de métodos ilegales e informales en mayor medida para la realización de actividades mineras en diferentes zonas, generalmente en mayor estado de vulnerabilidad y expuestas de manera particular a condiciones político-sociales que contribuyen al aumento de la informalidad. Cabe resaltar que gracias a los estudios realizados en el campo ambientalista se ha logrado avanzar un pequeño escalón al comprender las desventajas e impactos negativos que ocasionan los métodos de explotación minera que utilizan materiales como el mercurio (Hg), en el contexto ambiental y de salud pública.

Tabla 1.1. Clasificación de la minería en Colombia Adaptado de Aponte (2016).

Clasificación	Características
Minería legal	Cuenta con título minero que le permite llevar a cabo las fases de exploración y explotación.
Minería ilegal	No está legalmente constituida al no cumplir con la normatividad establecida por el estado.
Minería formal	Este tipo de minería es realizada por empresas las cuales cuentan con los permisos establecidos.
Minería informal	Está constituida por la minería ocasional, subsistencial, artesanal y barequeo.
Minería marina	Desarrollada en el océano o en sus inmediaciones.

No obstante, en Colombia al igual que en otros países de Latinoamérica y el mundo, las actividades mineras promueven el desarrollo económico de las naciones, como modelo de comercialización importante desde inicios del siglo XX ([Trujillo-Ospina et al. 2018](#)). Por tanto, la minería en Colombia es una actividad relevante en el sector socioeconómico del país, que se ha incrementado a través de los años y en su mayoría se realiza en términos de ilegalidad e informalidad, se caracteriza porque evade los sistemas de control ambiental, se construye al margen de los procesos legales gubernamentales y financieros, lo que termina afectando la seguridad social de las comunidades y territorios involucrados



en esta cadena de producción. En la actualidad la minería, principalmente representada por la extracción de oro, se desarrolla por entidades públicas y privadas en el marco legal de su proyección, de forma artesanal por parte de las comunidades que habitan los territorios, en diferentes regiones del país. Los mayores productores de oro en Colombia para el año 2021 fueron los departamentos de Antioquia, Bolívar, Caldas, Caquetá, Cauca y Chocó, ([SIMCO 2021](#)) (**Figura 1.2**). A pesar de las leyes que rigen dichos proceso en el país, la minería desde sus cimientos en la época precolombina hasta la actualidad, se rige bajo políticas de ilegalidad, utilizando técnicas ancestrales que contaminan el entorno ambiental y perjudican a su vez la salud de las poblaciones que habitan en estos sectores ([González-Estechea et al. 2014](#)).

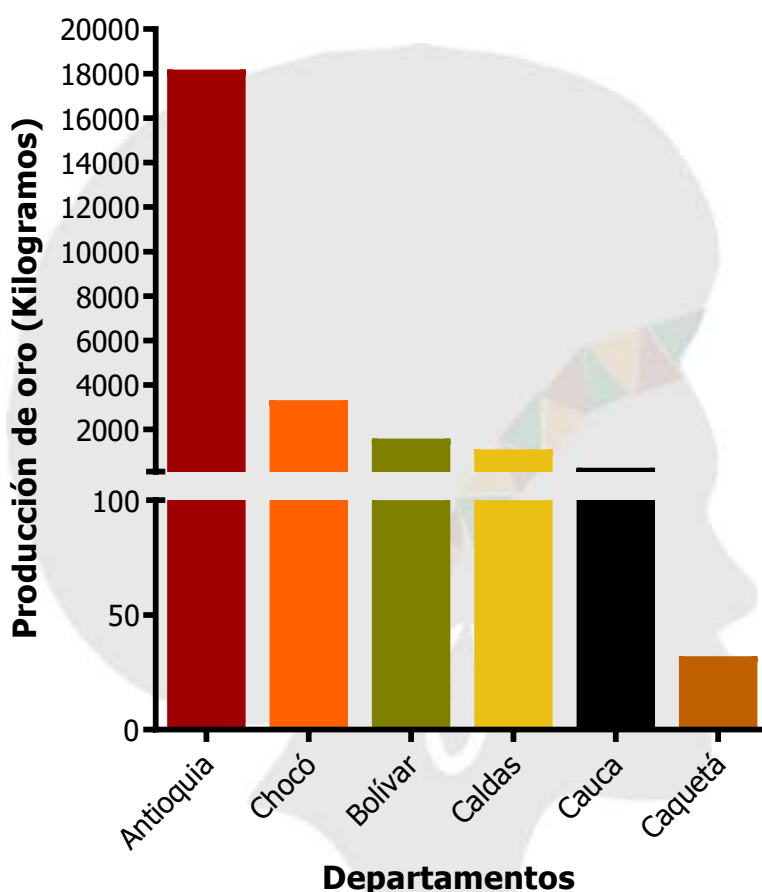


Figura 1.2. Departamentos con mayor producción de oro en Colombia ([SIMCO 2021](#)).

1.4.1. Minería en comunidades afrodescendientes del Norte del Cauca

Desde años atrás en la época colonial, las comunidades afrodescendientes forman parte del territorio del departamento de Cauca, con su cultura, costumbres y legados ancestrales, representan la tradicionalidad del país. Con el auge de la explotación de los recursos naturales no renovables la minería de oro se convirtió en una de las actividades económicas, sociales y culturales de las comunidades negras que habitan dichos territorios y de manera irreversible se ubicó en la cotidianidad de las familias junto con actividades agropecuarias, de igual forma para comunidades campesinas e indígenas ([Restrepo 2017](#)).



La extracción manual de oro con batea, es una de las formas artesanales de la minería, se realiza a las orillas de los ríos, que se práctica desde la época de la colonia y actualmente como legado ancestral de las Comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras en el departamento del Cauca, es preferido por las comunidades habitantes de territorios poblados cerca de los ríos porque es una técnica fácil, que no siempre utiliza sustancias tóxicas para su salud. No obstante, en la extracción de oro, se implementan métodos de extracción mediante la utilización de dragas y elementos altamente tóxicos que terminan afectando la seguridad de las comunidades, como el uso de cianuro y mercurio elemental ([Valencia 2018](#)). En cuanto a la legislación que rige los procesos de transformación, extracción, explotación de recursos en relación con las comunidades afrodescendientes se encuentran las siguientes (**Tabla 1.2**).

Tabla 1.2. Leyes relacionadas con la explotación minera en Colombia.

Legalidad asociada	Fundamento legal
Ley 685 de 2001	Fue creada con el objetivo de regular procesos técnicos y fomentar la explotación de los recursos mineros dentro del marco de la legalidad, manifiesta el código que se debe cumplir durante prospección, exploración, construcción y montaje, explotación, beneficio, transformación, transporte y promoción de los minerales que se encuentren en el suelo o el subsuelo, ya sean de propiedad nacional o de propiedad privada.
Artículo 79 de la constitución política de Colombia	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Ley General Ambiental de Colombia (99 de 1993)	Por la cual se crea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para velar por la protección de los recursos y el debido proceso para la ejecución de proyectos ambientales.
Ley 1892 del 11 de mayo de 2018	Por medio de la cual se aprueba el convenio de Minamata sobre el Hg, hecho en Kumamoto (Japón) el 10 de octubre de 2013.

1.5. METALES PESADOS

Los metales pesados son los elementos naturales presentes en la corteza terrestre. Pero las actividades antropogénicas incontroladas han alterado el ciclo biogeoquímico natural de los metales pesados; dado a su alto nivel de toxicidad, estos elementos persisten en el ambiente y se acumulan en los compartimentos acuáticos, especialmente los sedimentos ([Masindi and Muedi 2018](#)). Por lo tanto, la contaminación por estos metales es un tema de interés actual y uno de los mayores problemas ambientales. Esta problemática se ha extendido por todo el mundo, ha perturbado el equilibrio del medio ambiente y generado un riesgo para la salud del hombre. El rápido crecimiento industrial y demográfico ha sido considerado como una causa de este problema ([Rai et al. 2019](#)). Altas concentraciones de todos los metales pesados presentan efectos tóxicos; sin embargo, metales como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr) son altamente tóxicos, son tóxicos sin umbral y se describen como los metales pesados más problemáticos ([Rahman et al. 2019](#)). Debido al uso del Hg en la minería aurífera, a continuación, se hará énfasis en el mismo.



1.5.1. Mercurio

La contaminación ambiental es un tema de gran importancia para la sociedad, cuya preocupación surge desde generaciones pasadas y en la actualidad coexiste con una serie de factores físicos, biológicos, químicos, sociales, culturales, económicos y políticos, en el marco del desarrollo de las naciones. Por lo que desde la época de la industrialización se ha tenido conciencia de los impactos de la implementación de procesos que incluyen la explotación y utilización de los recursos naturales generalmente no renovables que conforman el medio ambiente y los ecosistemas, considerando la interacción directa e indirecta del hombre con la naturaleza. Procesos como la explotación minera, la extracción de petróleo o carbón generan impactos de contaminación en el agua, el suelo, el aire, la atmósfera, los seres vivos y los alimentos que a su vez se traduce en efectos perjudiciales para la salud humana que define la calidad y el bienestar de las poblaciones. Conforme a lo anterior se establece la necesidad de incluir a las comunidades en estudios que puedan determinar los factores de contaminación y los riesgos de toxicidad que dicha exposición significa también, la implementación de políticas públicas para contribuir de manera positiva y contrarrestar los desastres ocasionados en el desarrollo de los territorios a nivel industrial, sin embargo se resalta la concientización de cada persona en el sentido ambientalista, que de manera autónoma pueden proteger la seguridad de sus familias, sus viviendas, su entorno y mejorar la salud ambiental del planeta.

1.5.2. Generalidades del mercurio

El Hg es un elemento de alta densidad, característico por sus propiedades químicas (**Figura 1.3**) que le permiten permanecer en estado líquido a temperatura ambiente además tiene alta capacidad de reactividad con otros metales por lo que se puede encontrar de forma natural en el medio ambiente, generalmente enlazado a otros minerales como el zinc (Zn), oro (Au), cobre (Cu) o Pb. Al ser un metal tan reactivo con otros metales forma aleaciones llamadas amalgamas, por lo que es utilizado en procesos metalúrgicos como la minería para la extracción del oro, y en odontología para la fabricación de amalgamas dentales. Además, la toxicidad del Hg está asociada por su capacidad de acumulación en la mayoría de los seres vivos, se encuentra en forma de residuo de origen antropogénicos por los diversos procesos que se realizan en la industria metalúrgica ([Marrugo-Negrete et al. 2008](#), [Veiga 2010](#), [Cordy et al. 2011](#), [Cremers et al. 2013](#), [Casas et al. 2015](#), [Anual et al. 2018](#), [Ubalini et al. 2019](#)). Su toxicidad se debe a su estructura química y puede afectar a todos los sistemas y órganos del cuerpo, pero principalmente al sistema nervioso central, generando alteraciones de comportamiento, lesiones renales, daños en la visión, dermatitis entre muchas otras afecciones. Las actividades mineras y proceso de extracción de oro implican una de las problemáticas más grandes a nivel mundial. Esta actividad se ha convertido en un gran problema para la salud pública debido a varios factores como el uso de Hg durante el proceso de amalgamación del oro y contaminación en diferentes matrices como: agua ([Olivero-Verbel et al. 2015b](#)), suelos ([Ariza Torres and Camargo Melo 2019](#)), peces ([Rocha-Román et al. 2018b](#)) y en humanos ([Alcala-Orozco et al. 2019](#)).

Para la OMS, el Hg es uno de los diez productos que plantean especiales problemas de salud pública ([OMS 2017](#)). De acuerdo con el informe del Ministerio de Salud y Protección Social 2018, la extracción de oro que involucra procesos de amalgamación con Hg, dan



como resultado el vertimiento de aproximadamente 1.000 ton de Hg ([González 2018](#), [Ariza Torres and Camargo Melo 2019](#)).

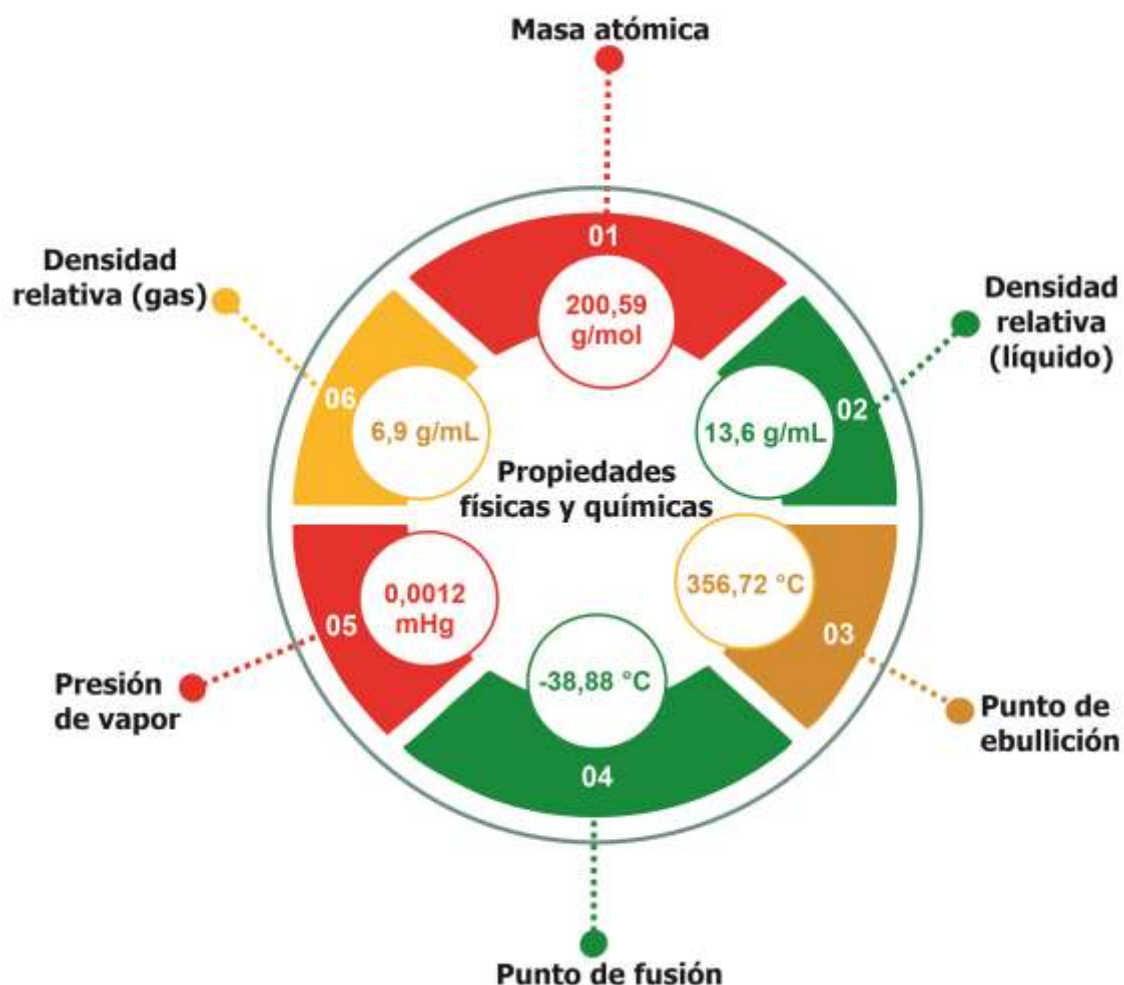


Figura 1.3. Generalidades del Hg. Fuente: Imagen propia.

1.5.3. Ciclo del mercurio

El ciclo del Hg muestra que durante el proceso de recuperación del oro y las diferentes actividades antropogénicas que lo involucran, el Hg contamina el suelo, agua y aire. El Hg atmosférico en forma de vapor Hg^0 , se deriva de la desgasificación natural de la corteza terrestre y de las erupciones volcánicas, así como de la evaporación de los océanos y los suelos. Las fuentes antropogénicas se han convertido en un importante contribuyente de esta especie química, la combustión de carbón, los incineradores municipales y las industrias. El Hg^0 puede sufrir un proceso de oxidación a una forma inorgánica soluble en agua (Hg^{2+}), alcanzando la superficie de la tierra a través de la deposición húmeda y seca. En esta etapa, el Hg puede reducirse nuevamente a vapor de Hg y regresar a la atmósfera, o puede ser metilado por microorganismos presentes en los sedimentos de cuerpos de agua dulce y oceánica. Luego es absorbido por el plancton, de esta manera es transferido a peces pequeños, que a su vez son el alimentos de peces más grandes, y se acumula en el músculo de los peces, de esta manera se introduce en la cadena trófica hasta llegar al hombre pasando a formar parte de su dieta (**Figura 1.4**), entre los efectos tóxicos más conocidos se encuentran los daños relacionados con el sistema nervioso,



riñones e hígado ocasionando trastornos mentales, daños al sistema motor, reproductor, habla, visión y oído. Tanto que algunos estudios han reportado casos severos de intoxicación, morbilidad y mortalidad, a causa de la contaminación directa o indirecta con este metal. En el caso de las mujeres en estado gestacional, al ser ingerido, el MeHg en su forma química más tóxica, atraviesa la barrera placentaria acumulándose en el cerebro y el sistema nervioso central del feto en desarrollo ([González-Estecha et al. 2014](#)).

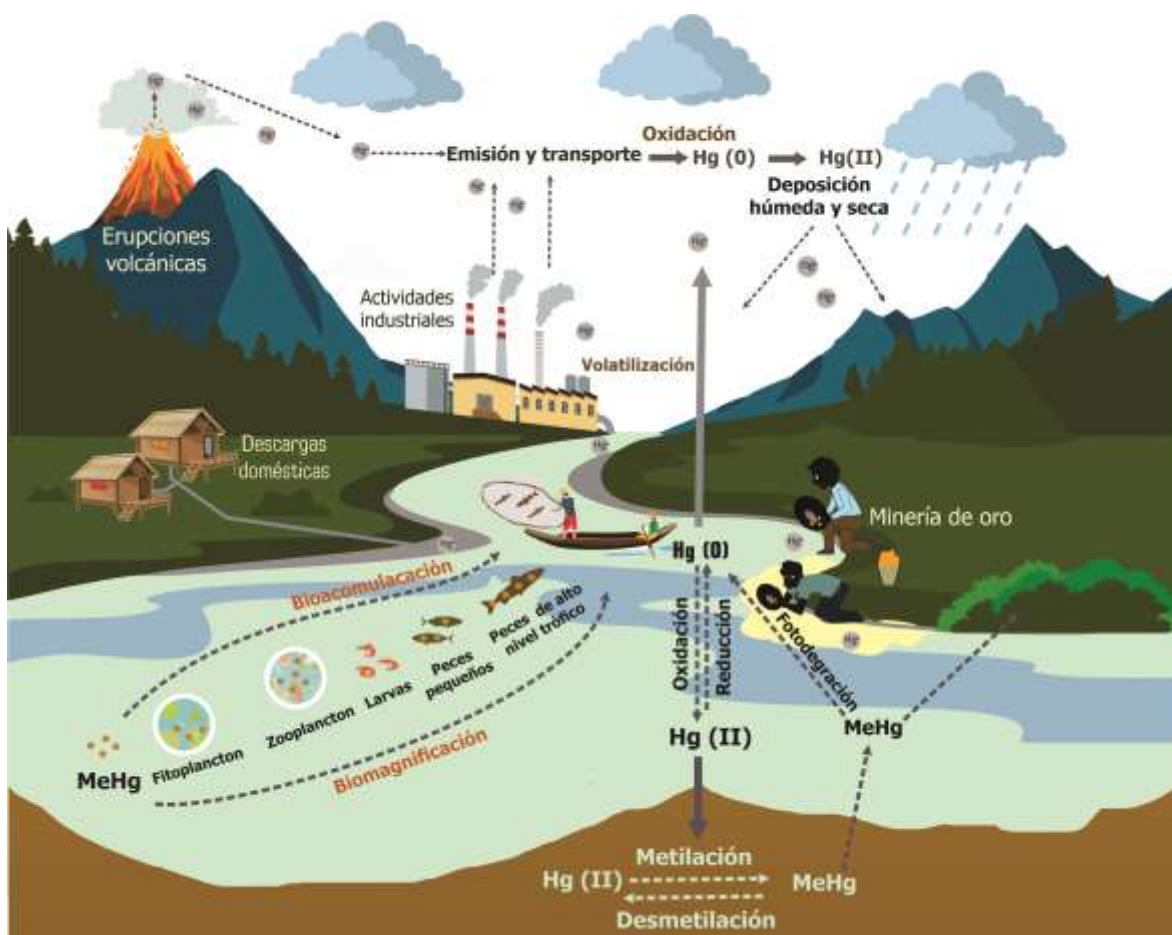


Figura 1.4. Ciclo del mercurio. Fuente: Imagen propia.

1.5.4. Toxicocinética del mercurio

Para comprender la toxicocinética del Hg es necesario saber que este elemento es clasificado entre los metales pesados y se encuentra en tres formas distintas: El mercurio elemental o metálico (Hg^0), es soluble en los lípidos, altamente difusible a través de las biomembranas y bio-oxidado intracelularmente a mercurio inorgánico que no tiene carga eléctrica, y en forma de dos estados cargados positivamente, o catiónicos, Hg^{2+} (mercúrico) y Hg^{1+} (mercurioso). El catión mercúrico es más estable y generalmente se asocia con moléculas inorgánicas, como azufre, cloro, oxígeno e iones hidroxilo. El Hg^{2+} también se encuentra en sustancias orgánicas como el dimetilmercurio (Me_2Hg), que es mucho más tóxico que las formas inorgánicas de Hg y se bioacumula en los tejidos de los



organismos vivos, razón por la cual es la forma más preocupante de este elemento. El Hg en sus diferentes formas puede llegar al organismo humano a través de diferentes rutas mediante los procesos naturales de absorción, distribución, metabolismo y excreción. El mercurio ingresa al organismo por las vías respiratorias (inhalación), digestivas o cutáneas, luego es absorbido por los pulmones en un 80% para el caso del mercurio metálico por inhalación o el sistema gastrointestinal en un 95%, así se distribuye por la sangre hasta llegar a otros tejidos blandos, musculo y cerebro, un menor porcentaje se excreta por la orina o heces como se observa en la **Figura 1.5** ([Alcala-Orozco et al. 2019](#), [Ninaja Sarmiento 2020](#), [Ochoa Machaca 2020](#)).

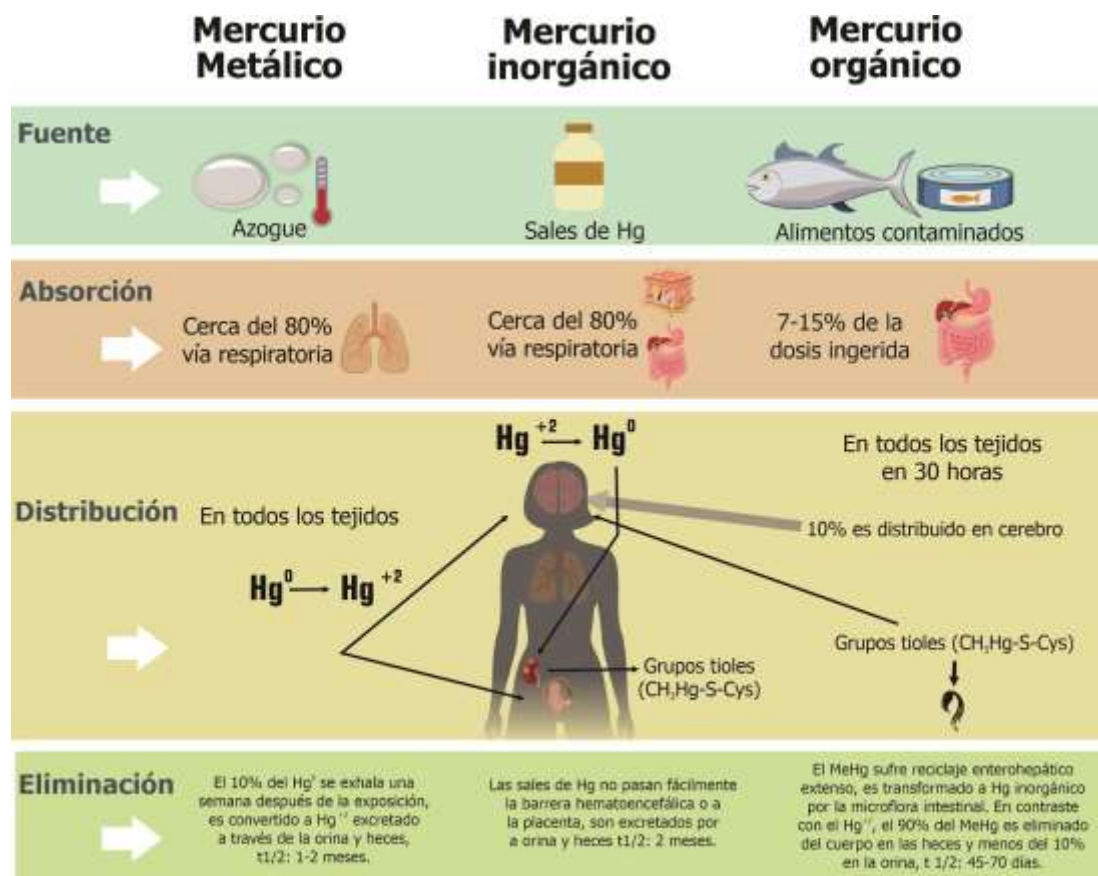


Figura 1.5. Toxicocinética del Hg. Fuente: Imagen propia.

1.5.5. Toxicodinámica del mercurio

El Hg en el organismo reacciona con los grupos sulfhídrido (SH), causando alteraciones e inhibiciones enzimáticas, causando daños en la membrana celular y afectando la función energética ([Alarcon-Franco 2017](#)). El Hg entra a las células de los túbulos proximales desde la circulación sistémica, a través de los transportadores de aniones orgánicos y transportadores de aniones orgánicos. Dentro de la célula, el enlace mercurio-carbono se rompe, lo que convierte al mercurio orgánico en inorgánico por un proceso enzimático o no enzimático. Al mismo tiempo, la acumulación de Hg está estrechamente relacionada con la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO), expresión de ARNm de metalotioneína, apoptosis y daño de túbulos proximales. El Hg^{+2} tiene una mayor afinidad para unirse con las enzimas que contienen grupos tiol, las inactiva a través de la oxidación



irreversible. La inactivación de la proteína sulfhidrilo ($\text{Na}^+/\text{K}^+\text{ATPasa}$), también afecta la integridad celular, alterando el potencial de la membrana, el volumen de las células, así como las organelas celulares; como consecuencia se genera radicales libres (actividad de la mieloperoxidasa y MDA) y la proteína urea. La ausencia de la proteína detoxificante o una reducción de seleniolo con actividad antioxidante, también facilita el daño a los túbulos proximales. El mercurio altera la permeabilidad celular, además disminuye la resistencia eléctrica transepitelial (TER) y facilita la fosforilación de la ocludina, la cual es una proteína de unión estrecha, a través de un mecanismo dependiente de la proteína quinasa A (PKA) ([Javier Tarazona and Rodrigo Romero 2019](#)). Cuando surge intoxicación de dicho elemento por inhalación y llega a los pulmones a través de las vías respiratorias puede causar alergias nasales, neumonitis o edemas pulmonares.

1.5.6. Fuentes de exposición

El Hg es un elemento presente en el ambiente y puede ser incorporado en los ecosistemas bien sea por fenómenos naturales o por actividades humanas, lo cual ha ocasionado su acumulación y toxicidad en la biosfera, afectando la integridad de la naturaleza y la salud de la especie humana. La principal fuente natural del Hg es la desgasificación de la corteza terrestre, las emisiones de los volcanes y la evaporación desde los cuerpos de agua ([Paz et al. 2017](#)). Sin embargo, gran parte de este es encontrado en la atmósfera y en los ecosistemas hídricos, el cual puede ser transportado a las zonas urbanas por efecto de la deposición atmosférica, puesto que proviene de actividades antropogénicas ([González-Estecha et al. 2014](#)). Por otro lado, la contaminación por Hg ocasionada por el hombre, aparece como producto de las descargas de desechos a lagos y mares y la emisión directa a la atmósfera mediante la explotación minera del metal y del oro, la quema de los combustibles fósiles representa una fuente importante de contaminación atmosférica, así como la incineración de desechos sólidos, los cuales incluyen mercurio volatilizado de baterías desechadas y durante la fundición de cobre y zinc ([Paz et al. 2017](#)).

En el contexto del desarrollo del estudio se ha seleccionado para el análisis poblacional los posibles efectos en salud de poblaciones en estado de vulnerabilidad, expuestas a contaminación por Hg; uno de los compuestos que ha generado graves daños ambientales y enfermedades en humanos a nivel mundial, como elemento de gran toxicidad. El Hg es un elemento metálico de color gris plateado brillante, que se caracteriza por encontrarse en estado líquido a temperatura ambiente y se encuentra de manera natural en el medio ambiente: atmósfera, suelo, rocas y agua. Sus concentraciones se han incrementado en los ecosistemas, debido a las modificaciones de su ciclo geoquímico resultado de las actividades antropogénicas, transportado por el aire y agua, haciéndolo más abundante en los sistemas, donde posee una gran movilidad que lo hace tener una amplia distribución por el planeta. También es liberado a la atmósfera en forma de vapor a través de diferentes fenómenos como: el movimiento de masas de agua, incendios forestales, minería del cinabrio, actividades y erupciones volcánicas y en la minería artesanal de oro, conocido como Azogue.

1.5.7. Biomarcadores de exposición a Hg

Los biomarcadores son medidas que reflejan interacciones entre sistemas biológicos, como en el cuerpo humano, y químicos ambientales para los cuales el individuo es expuesto. Un factor importante es la necesidad de identificar criterios de valoración toxicológicos con causa-efecto y relación dosis-respuesta para la evaluación cuantitativa del riesgo. Esto



puede proporcionar una base científica de salud para la regulación y la toma de decisiones de gestión de riesgos, e implementación de normas.

Tradicionalmente, los biomarcadores se han clasificado como marcadores de exposición, efecto o susceptibilidad ([Fan et al. 2019](#)). Estos indicadores biológicos, generalmente incluyen aspectos bioquímicos, señales moleculares, genéticas, inmunológicas o fisiológicas de eventos en sistemas biológicos. Los eventos se presentan como la exposición continua externa a un químico, y el efecto biológico resultante en el cuerpo, que puede o no conducir a manifestaciones clínicas o enfermedades.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud y el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos de América, para productos químicos ambientales los biomarcadores de exposición, efecto y susceptibilidad se definen de la siguiente manera:

Biomarcador de exposición. El químico o su metabolito o el producto de una interacción entre un químico y alguna molécula o célula diana que se mide en un compartimento en un organismo.

Biomarcador de efecto. Una medición bioquímica, alteración fisiológica, conductual u otra en un organismo que, dependiendo de la magnitud, puede ser reconocido como asociado con un establecido o posible deterioro de la salud o enfermedad.

Biomarcador de susceptibilidad. Un indicador de la capacidad inherente o adquirida de un organismo para responder al desafío de la exposición a una determinada sustancia química.

En Colombia se ha identificado la necesidad de fortalecer el diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones crónicas por mercurio elemental y orgánico, ya que los signos y síntomas tempranos de la intoxicación son fácilmente confundibles con otro tipo de enfermedades, por lo cual se hace necesario que el diagnóstico clínico se acompañe por confirmación de muestras en el laboratorio, en donde se pueda identificar en matrices biológicas, tales como sangre, orina y cabello, la presencia de mercurio, y de esta forma determinar el tratamiento que se debe suministrar. Entre las dificultades del diagnóstico de la intoxicación por mercurio, se encuentra el alto grado de rotación del personal médico asistencial que trabaja en las zonas donde se presenta la intoxicación, así como la insuficiente capacitación frente al diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por este metal e incluso por otro tipo de sustancias.

Adicionalmente, la exposición prolongada a mercurio puede ocasionar enfermedades crónicas, razón por la cual es necesario garantizar la atención médica integral frente al diagnóstico y tratamiento, no solo de la intoxicación por Hg, sino también de las patologías crónicas relacionadas con la exposición a este metal.

Para predecir las consecuencias en la salud de la exposición a Hg en niñas y niños, mujeres embarazadas y adultos mayores del Consejo Comunitario Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero serán utilizados biomarcadores de exposición tales como (monitoreo en muestras ambientales como pescado, suelo, agua, y sedimentos e isótopos estables de Hg para identificar la fuente de



exposición), biomarcadores de efecto tales como caracterización de signos y síntomas clínicos, alteración fisiológica, cognitiva, pruebas bioquímicas, y hematológicas, así como serán abordados biomarcadores de susceptibilidad en los cuales serán identificados los polimorfismos y factores genéticos.

1.5.8. Polimorfismos genéticos

Gracias al proyecto genoma humano, fue revelada la existencia de aproximadamente 10 millones de polimorfismos de nucleótido sencillo (PNS o SNP, del inglés single nucleotide polymorphism). La variabilidad fenotípica de cada individuo en una población determinada, así como su susceptibilidad o resistencia a distintas enfermedades radica principalmente en los SNP's, y en menor grado a inserciones, deleciones, secuencias repetidas y/o re-arreglos cromosómicos, debido a que el genoma no es una estructura pasiva; al contrario, el ADN está expuesto a un sin número de alteraciones que pueden dar como resultado la aparición de enfermedades ([Hahn et al. 1999](#)).

Las modificaciones en uno o en pocos nucleótidos pueden darse de forma frecuente. Estos cambios en el ADN son llamados mutaciones, los cuales pueden ser originados por errores en los mecanismos de replicación y reparación del ácido nucleico, así como por factores ambientales. Las mutaciones pueden tener efectos deletéreos y causar múltiples afecciones o patologías, conllevando a lo que se conoce como polimorfismos, los cuales proveen variación alélica entre individuos y diversidad de la misma especie. Un polimorfismo es considerado como tal cuando la frecuencia de uno de sus alelos en la población es superior al 1%. Hay varios tipos de polimorfismos (inserciones, deleciones, cambios en el número de secuencias repetidas), pero los más frecuentes son los SNP's. Las aplicaciones del estudio de estos son diversas; como la medicina forense y en el estudio de las enfermedades multigénicas. Su estudio ha servido de pauta para la creación de nuevas disciplinas como la ecogenética y la farmacogenética ([Nebert 1997](#)).

1.5.9. Polimorfismos asociados a la contaminación por Hg

Glutathion S transferasa: se encuentran prácticamente en todos los eucariotas, son una familia multigénica de enzimas metabólicas de fase II, que catalizan la conjugación del glutatión reducido con una variedad de compuestos electrofílicos endógenos y exógenos, incluidos varios carcinógenos potencialmente tóxicos, contaminantes ambientales y fármacos (**Figura 1.6**). Entre todas las clases de GST, la glutatión-S-transferasa P1 (GSTP1) es una de las más ampliamente estudiadas. El gen de la glutatión S-transferasa P1 (*GSTP1*) que abarca aproximadamente 2,8 kb está ubicado en 11q13 y contiene siete exones. Se han identificado dos sitios polimórficos en la secuencia de ADN codificante del gen *GSTP1*, que se caracterizan por una transición A→G en el nucleótido 313, traduciendo una sustitución isoleucina→valina en el codón 105 (Ile 105 → Val 105) en el exón 5 y en segundo, una transición C→T en el nucleótido 341 que resulta en el reemplazo de alanina → valina en la posición del aminoácido 114 (Ala 114 → Val114) en el exón 6. La actividad de la enzima GST es significativamente menor entre los individuos con el alelo 105Val debido al polimorfismo en el nucleótido 313 del gen GSTP1 ([Sharma et al. 2014](#)).

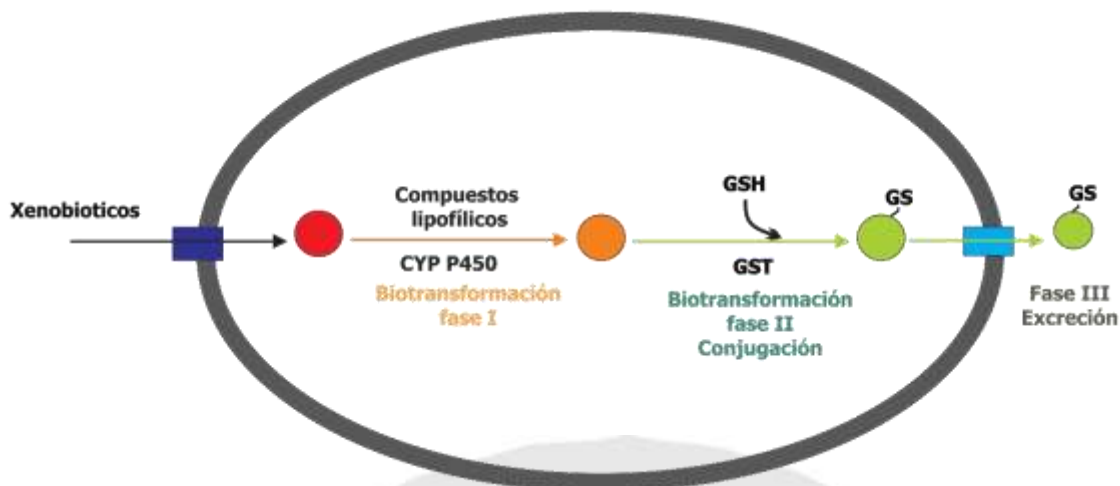


Figura 1.6. Vía general de biotransformación de xenobióticos. Los compuestos tóxicos dentro de la célula de acuerdo con sus propiedades químicas son absorbidos por las enzimas de las diferentes fases de la ruta de desintoxicación.

Los compuestos lipofílicos se biotransforman mediante enzimas de fase I, los compuestos más polares se biotransforman en reacciones de fase II catalizadas por un segundo grupo de enzimas (ej., glutatión transferasas). Los compuestos finales conjugados y más hidrofílicos serán transportados fuera de la célula por canales de membrana, transportadores y bombas (Fase III). Adaptado de ([Bocedi et al. 2019](#))

Por otro lado, el término "Epigenética" se refiere a factores que afectan la expresión génica, y que son heredables, pero que ocurren fuera de los cambios directos a la secuencia de ADN. Ejemplos de puntos finales epigenéticos son la modificación de histonas, la metilación del ADN y la interferencia de ARN. Estos se ven afectados por estímulos ambientales, como la exposición química, el estrés, el comportamiento de los padres y los déficits nutricionales.

Las marcas epigenéticas dejadas por tales estímulos pueden persistir en los tejidos a medida que las células se dividen en ausencia del estresor inicial. Esto implica que la exposición a productos químicos en una etapa temprana de la vida puede conducir a resultados de salud adversos más tarde durante las etapas de desarrollo, o incluso en generaciones posteriores. Estas características se han demostrado en varios modelos ([Jirtle and Skinner 2007](#)) y tienen importantes implicaciones para la toxicología ambiental ([Vandeghechuchte and Janssen 2011](#)).

Los efectos epigenéticos del Hg son un campo de investigación relativamente nuevo, especialmente en comparación con otros contaminantes como As, Pb, contaminación del aire y disruptores endocrinos ([Baccarelli and Bollati 2009](#)). El epigenoma es establecido durante el desarrollo y se cree que es sensible a las influencias ambientales en este tiempo, el MeHg tiene un largo período de latencia entre la exposición y los efectos adversos para la salud. Por ejemplo, en la Bahía de Minamata en Japón, el daño a la cognición y las disfunciones ocasionadas en el estado de ánimo y el comportamiento se



encontraron en adultos de diferentes edades que no exhibieron ningún efecto clínico después de las exposiciones durante el desarrollo temprano de su vida ([Yorifuji et al. 2011](#)), lo cual pone de manifiesto la importancia de los factores externos sobre la expresión génica.

1.6. Legislación

En la actualidad, la evidencia científica sobre los efectos que genera la exposición a mercurio ha crecido exponencialmente. Además, es bien conocido que las actividades antropogénicas han contribuido a esta contaminación, la cual ha ocasionado un sinnúmero de impactos negativos tanto en la biota como en el hombre. El Convenio de Minamata sobre el Mercurio, tres años de protección de la salud humana y el medio ambiente ([ONU 2021](#)). Pese a esta evidencia científica, el uso de mercurio continúa y se sigue utilizando para la extracción de oro, así como en ciertos productos y procesos industriales. Sin embargo, el conocimiento científico no se ha producido en vano, dado que, en aras de proteger el medio ambiente y la salud humana de la exposición a este metal y sus efectos adversos, han sido establecidas diversas legislaciones las cuales establecen normas obligatorias y voluntarias destinadas a controlar este tóxico, así como eliminar o restringir su uso (**Figura 1.7**).



Figura 1.7. Legislación mundial relacionada con mercurio. Fuente: Imagen propia.

Por otra parte, para proteger el ambiente y la salud humana han sido establecidos límites permisibles para Hg en diferentes matrices como se detalla en la **Tabla 1.3**.



Tabla 1.3. Límites permisibles establecidos para Hg en diferentes matrices.

Matriz	Límite permisible	Referencia
Agua potable	2 µg/L	(USEPA 2001)
Cabello	1 µg/g	(USEPA 2005)
Sangre	5 µg/L	(INS 2016)
Orina	7 µg/L	(INS 2016)
Peces	0.5 µg/g	(WHO 1990)

1.7. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.7.1 Objetivo general

Describir los posibles efectos en la salud en la población vulnerable de los territorios colectivos Aires de Garrapatero, Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero, por la exposición a vertimientos contaminados con mercurio producto de la minería ilegal.

1.7.2. Objetivos específicos

- Describir las condiciones demográficas y socio-económicas de la población objeto de estudio.
- Caracterizar a partir de información secundaria disponible los niveles de mercurio presentes en matrices ambientales (agua y suelo).
- Determinar los niveles de mercurio en matrices biológicas (cabello, sangre, orina) y ambientales (pescado, sedimentos).
- Caracterizar la fuente de exposición humana a mercurio empleando análisis isotópico.
- Establecer posibles relaciones entre las condiciones sociales, ambientales y sanitarias con los hallazgos clínicos y los resultados de los niveles de mercurio en biomarcadores de exposición.



CAPÍTULO II

DISEÑO Y APLICACIÓN DE ENCUESTAS

2.1. INTRODUCCIÓN

La recolección de información fue una de las fases establecidas en el proyecto “Evaluación de los efectos en salud de la población vulnerable del territorio colectivo Aires de Garrapatero, Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta Mazamorreo expuesta a vertimientos contaminantes por explotación minera”. En esta investigación se aplicaron encuestas de información sociodemográfica y de salud a la población seleccionada como objeto de estudio, mediante visitas a cada una de las viviendas. Este estudio llegó a territorios colectivos con estilos de vidas particulares a través de una técnica de muestreo estructurada, donde la aplicación de cuestionarios con preguntas específicas sobre condiciones sociales, económicas, geográficas, de salud y entorno generó como resultado un diagnóstico sobre el estado de salud de las poblaciones más vulnerables, posiblemente expuestas a contaminantes de gran toxicidad como lo es el mercurio. Por tal razón los formatos diseñados estuvieron enfocados en la búsqueda de indicadores de exposición y riesgo.

Cabe resaltar que las encuestas son un método utilizado a nivel local, regional o nacional por diferentes entidades para obtener información de las poblaciones referente a familias, edades, prevalencias, educación, nivel socioeconómico, planificación familiar, estado civil, salud maternal, salud infantil, grupos vulnerables, territorios, nutrición, consumo de tabaco y alcohol, entre muchos otros datos aspectos, necesarios para un programa nacional o regional. Además, dichos formatos también son útiles en el área de la investigación para llevar a cabo estudios que se enfocan en determinar el estado de salud y las condiciones de vida de las comunidades. No obstante, la implementación de las encuestas como un método de recolección de información se realizó mediante el diseño de un sistema formado por un adecuado equipo de trabajo y un plan de trabajo que permitió organizar los procedimientos para llevar a cabo el diseño de las encuestas, la planeación de las jornadas de trabajo de campo, dicha planeación partió de la identificación de las viviendas, la determinación y selección de la muestra, hasta la asignación de áreas para cada uno de los encuestadores, teniendo en cuenta que el encuestador previamente capacitado, fue quien visitó directamente las viviendas y aplicó los cuestionarios contenidos en los formatos de información demográfica y antecedentes de salud.

Por consiguiente, se aplicó un sistema adecuado de instrumentos en la recolección de información, conformado por una serie de aspectos que involucran los principales elementos de la investigación, estudio de poblaciones y el diseño, elaboración y diseño de técnicas de información para la obtención de datos socioeconómicos, ambientales y de salud de un área de estudio establecida en el desarrollo de la investigación y la gestión de proyectos. En síntesis, la inclusión de un sistema de recolección de información en el proyecto, permitió el cumplimiento exitoso de los objetivos establecidos, puesto que de manera secuencial y organizada condujo al diagnóstico de las condiciones en que se encuentran los territorios, según la información suministrada directamente por la comunidad. Por supuesto que la viabilidad de la información dependió de la difusión hecha



por parte del equipo de investigadores sobre la importancia del estudio, pero también del diseño de los cuestionarios y la selección de los elegibles con relación a los referentes de inclusión previamente definidos.

2.2. ORGANIZACIÓN DEL PERSONAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENCUESTAS

Para la implementación de las encuestas en el estudio de la población fue necesario y primordial establecer una jerarquía conforme a las actividades que se desarrollaron para el cumplimiento de los objetivos previamente establecidos. Por lo que el primer paso fue establecer un comité directivo que se encargó de cumplir con las funciones de monitoreo, coordinación y apoyo antes, durante y después del trabajo en campo, de esta manera los directivos se responsabilizaron de los resultados en función de las metas propuestas mediante reuniones constantes y reportes preliminares. Para formar este equipo de trabajo fue relevante tener en cuenta los perfiles profesionales para determinar la función de cada uno de ellos; además, fue complementado con personal de apoyo y especialistas en: investigación, diseño de encuestas, técnicas de muestreo, procesamiento de datos, indicadores de población demográficos y de salud.

2.3. DISEÑO DEL PLAN DE TRABAJO EN EL DESARROLLO DE LA ENCUESTA

Para determinar el plan de trabajo en el diseño e implementación de encuestas utilizadas en la investigación, se tuvo en cuenta las poblaciones estudiadas y los indicadores humanos, para ello, fue necesario seleccionar una metodología y trabajar con base en un sistema organizado, que incluyó actividades, presupuesto, técnicas, equipos y personal especializado (**Tabla 2.1**). Dicho plan de trabajo se fundamentó en la toma de decisiones durante todas las etapas de desarrollo: El diseño de encuestas, la determinación del tamaño de la muestra, la selección adecuada de preguntas para la obtención de la información, la conformación de equipos de trabajo para cada una de las áreas, el procesamiento y análisis de datos, así como la logística de campo que implicó el muestreo en viviendas y territorios.

Tabla 2.1. Diseño del sistema de trabajo para la recolección de información.

Actividad	Personal encargado
Planificación de objetivos	Director
Diseño de encuestas	Investigador especialista en diseño de encuestas
Diseño de muestra	Investigador especialista en muestreo
Diseño de preguntas y cuestionarios	Investigador especialista en indicadores de población
Capacitación del personal supervisor	Coordinador
Capacitación del personal encuestador	Coordinador
Prueba piloto	Personal de apoyo, encuestadores y supervisores
Recolección de información (Trabajo de campo)	Personal de apoyo, encuestadores y supervisores



Monitoreo y seguimiento del trabajo en campo	Coordinadores y personal de apoyo
Diseño de bases de datos	Investigador especialista en procesamiento de datos
Tabulaciones	Investigador especialista en procesamiento de datos
Análisis de datos	Investigador especialista en análisis de datos
Reportes	Director

2.3.1. Director(a)

El director del proyecto fue un miembro de la entidad ejecutora, cuyo perfil profesional u ocupacional le permitió cumplir con las múltiples obligaciones establecidas en los objetivos del proyecto, pero principalmente en la toma de decisiones y la delegación de responsabilidad a subdirectores, coordinadores y supervisores en todas las etapas de la investigación. Tanto el director de proyecto como el director de la encuesta contaron con disponibilidad de tiempo, dedicación y facilidad para el trabajo en equipo.

2.3.2. Director (a) de la encuesta

A diferencia del director del proyecto general, el director de la encuesta se encargó específicamente de las encuestas en todo su proceso de implementación. Además de la dirección, esta persona estuvo presente en todas las etapas de desarrollo (Planificación de objetivos, diseño de encuestas, diseño de muestra, diseño de preguntas y cuestionarios, capacitación del personal supervisor, capacitación del personal encuestador, diseño de bases de datos, monitoreo y seguimiento del trabajo en campo, tabulaciones, análisis de datos y entrega de reportes).

2.3.3. Subdirector(a) de la encuesta

Con el fin de que el trabajo en campo se cumpliera según lo establecido por el plan de muestreo fue necesario contar con un subdirector o coordinador que sustituyera al director en caso de ausencia para llevar a cabo las actividades a su cargo. Así que el perfil de dicha persona seleccionada para las funciones nombradas se buscó de tal manera que incluyera un adecuado manejo de muestreos en el estudio de poblaciones a través de encuestas y experiencia en salud e investigación.

2.3.4. Coordinadores de campo

Los coordinadores de campo estuvieron encargados de cumplir responsabilidades diferentes según su especialidad y tuvieron a su cargo la función de delegar, organizar y supervisar las actividades durante la implementación de las encuestas de manera presente en cada una de las etapas y con disponibilidad de tiempo completo, también orientaron las capacitaciones del personal, participaron en las reuniones continuas y entregaron los reportes requeridos.

2.3.5. Supervisor

El supervisor de campo fue el encargado directo de orientar el resto del personal y el responsable del bienestar y la seguridad de los trabajadores. De igual manera estuvo encargado de revisar los cuestionarios y realizar el control de calidad para asegurar el llenado completo de los mismos. Por esta razón las capacitaciones de los supervisores fueron independientes, y se enfatizó en sus responsabilidades de liderazgo y supervisión que básicamente fueron: organizar la logística previa al trabajo en campo, dirigir al equipo



durante el muestreo, realizar el control de calidad de las encuestas, velar por el debido cumplimiento de los compromisos de los encuestadores y finalizar las jornadas diarias de trabajo de acuerdo al cronograma establecido para el cumplimiento de las actividades establecidas y el número de encuestas determinado para cada jornada. Durante la prueba piloto o pruebas preliminares y la prueba real, el supervisor o supervisora tuvo en cuenta el desempeño de los encuestadores, la calidad de los datos obtenidos y el llenado de las encuestas, lo que permitió realizar las medidas correctivas en el operativo de campo.

2.3.6. Encuestador

El perfil de un encuestador tuvo en cuenta que cumpliera con una persona capacitada para aplicar los formularios y registrar la información obtenida de la población seleccionada como objeto de estudio, por tanto, se requirió un nivel de educación básico (Bachiller), preferiblemente con experiencia en la aplicación de encuestas por hogares.

A continuación, se presenta el esquema organizativo del operativo de campo realizado (**Figura 2.1.**)



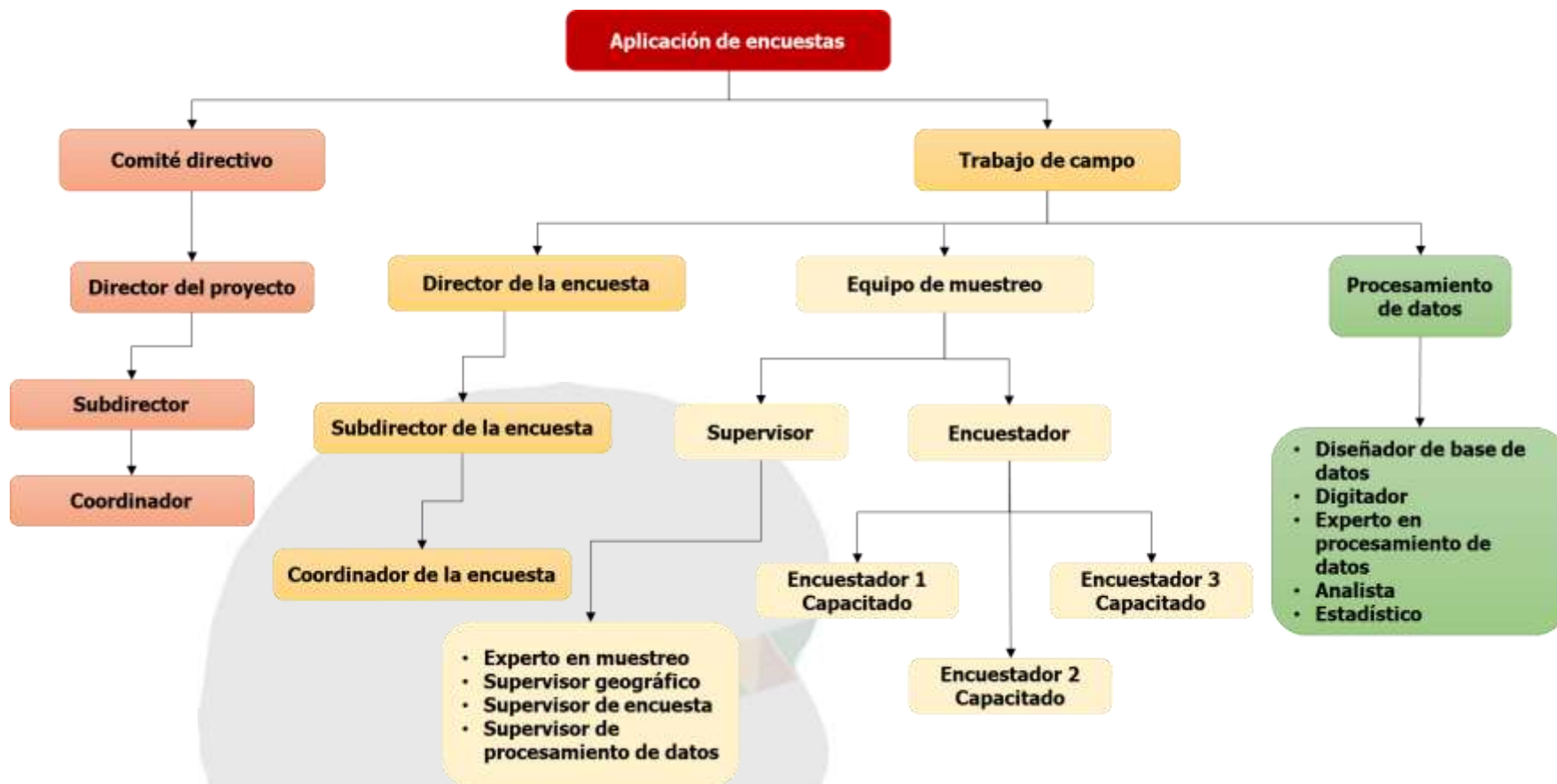


Figura 2.1. Organigrama de equipo de trabajo empleado durante la recolección de información mediante la aplicación de encuestas sociodemográficas y de salud, en el marco de la investigación y elaboración del proyecto. Fuente: Imagen propia.



2.4. ESTRATEGIA PARA EL OPERATIVO DE CAMPO

La implementación de las encuestas en los hogares seleccionados de los territorios objeto de estudio, fue realizada en jornadas de trabajo por día. Para iniciar dichas jornadas fue establecido un cronograma debidamente estructurado con fechas, tiempos, actividades y un sistema de proceso establecido (**Figura 2.2**).



Figura 2.2. Organización general del trabajo realizado en el operativo de campo por jornada. Fuente: Imagen propia.

2.4.1. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL PARA LA APLICACIÓN DE ENCUESTAS

El personal que realizó el trabajo en campo para la aplicación de las encuestas en las viviendas seleccionadas en el área de estudio incluyendo encuestadores, supervisores y personal de apoyo, fue capacitado previamente. En el marco de este proyecto se dividió el personal entre supervisores y encuestadores, quienes fueron seleccionados con la ayuda de líderes territoriales teniendo en cuenta las siguientes cualidades:

- En primera estancia se decidió para fines prácticos y de inclusión, que el personal de campo perteneciera a los territorios colectivos y fueran miembros activos de los consejos comunitarios objeto del estudio en mención.
- Hombres o mujeres sin discriminación alguna de género.
- Nivel de educación básico (Secundaria) para facilitar el llenado de los formatos, con capacidad de interpretación, escritura y lectura.
- En el caso de las encuestas de salud los encuestadores debían contar con experiencia en el área y de requerirse toma de muestra contar con certificación técnica en enfermería.
- Capacidad de comunicación asertiva, buena presentación personal y adecuado comportamiento.
- Previo conocimiento del área de estudio que facilitara la localización geográfica de los puntos de muestreo.
- Para los supervisores se exigió alguna experiencia mínima en encuestas.
- Personal con disponibilidad de tiempo completo en el momento de llevar a cabo el trabajo de campo y para asistir a las capacitaciones programadas.
- Disponibilidad para arduas jornadas de trabajo que requieren caminar largas distancias ya que el recorrido rural era bastante extenso.



Luego de seleccionar debidamente el personal se realizaron las respectivas capacitaciones por investigadores especialistas en el tema de las encuestas, que se encargaron de la formación de los supervisores y encuestadores en cuanto a logística de campo, llenados de cuestionarios, muestreo, población y viviendas en cada uno de los territorios. Todas estas habilidades y la organización logística fueron evaluadas, validadas y corroboradas en la prueba piloto o prueba preliminar, permitiendo el ajuste de inconvenientes no previstos. Las jornadas de capacitación en las encuestas y las etapas del proceso son descritas en la **Tabla 2.2.**

Tabla 2.2. Descripción de las diferentes actividades realizadas para el operativo de campo

Capacitación Prueba	Socialización del proyecto y objetivos (día)	Diligenciamiento de encuestas	Área de estudio	Supervisores	Total (días)
Piloto	1	5	1	1	8
Real	2	5	2	1	10
*Las capacitaciones realizadas por día tuvieron una duración de 2 a 3 horas de manera virtual a través de la plataforma Google Meet y diversas herramientas tecnológicas de aprendizaje didáctico.					

2.4.2. Contenido de las capacitaciones

Las capacitaciones fueron realizadas de forma virtuales principalmente. Sin embargo, lo que se consideró trascendental fue la dinámica interactiva y una metodología asertiva de enseñanza que permitió a los asistentes captar toda la información necesaria para llevar a cabo el trabajo. Es así que, las capacitaciones realizadas en el marco del proyecto utilizaron herramientas como: videos, ilustraciones, diapositivas, mapas e interacciones para aclaración de dudas e inquietudes a través de plataformas virtuales de comunicación. Cada una de las capacitaciones se orientó de la siguiente manera:

- Presentación de los investigadores y cada uno de los asistentes de manera interactiva para conocer el equipo de trabajo y también para el registro de la asistencia.
- Socialización del proyecto a través de un video donde se explicaron los objetivos del mismo y el impacto del estudio en los territorios.
- Presentación del manual del encuestador como una de las herramientas más importantes del kit de trabajo.
- Ilustración de los materiales y equipo que se utilizaría durante el trabajo en campo (camisetas, gorras, credenciales).
- Socialización del protocolo de bioseguridad en este caso específico.
- Enseñar el manejo adecuado del consentimiento informado para los habitantes de las viviendas y personas que acepten participar en el estudio.
- Planteamiento de las funciones, normas, compromisos, consideraciones éticas y obligaciones, tanto de los encuestadores como de los supervisores.
- Presentación de los formatos diseñados (Sociodemográfica y salud), el tipo de preguntas contenidas en los formularios y el diligenciamiento adecuado de cada una de ellas (Video y diapositivas).
- Resolución de dudas e inquietudes.



2.4.3. Consentimiento y asentimiento informado

El trabajo con las comunidades precisó un protocolo apropiado para la comunicación de los objetivos del estudio. Las personas seleccionadas que cumplieron con los criterios de inclusión debían conocer las generalidades del proyecto. Con dicha finalidad fue elaborado el consentimiento y asentimiento informado (**Anexo 2.1 y 2.2**), que es en pocas palabras una carta firmada por el participante. Este documento garantizó que la persona aceptara voluntariamente participar en la investigación, con pleno conocimiento de la información requerida y el objeto de la recolección de la misma. En concreto, el consentimiento informado contenía el nombre del proyecto y la entidad ejecutora, los objetivos del proyecto, una breve descripción de la importancia del proyecto, referencias de los investigadores encargados y la metodología para toma de muestras. También se establecieron y comunicaron los posibles beneficios, la participación voluntaria y el derecho a la confidencialidad de sus resultados.

2.5. DISEÑO DE ENCUESTAS

Los instrumentos empleados en el proyecto fueron diseñados con preguntas específicas en función de los indicadores analizados (sociales, demográficos, poblacionales, familiares o de salud), en general estas encuestas fueron realizadas para obtener datos específicos de la contaminación por mercurio, caracterizar social y económicamente las poblaciones, seleccionar candidatos elegibles para toma de muestras y crear bases de datos. Las encuestas se organizaron en una estructura planificada, con secciones de preguntas debidamente enumeradas, algunos ítems importantes se detallan a continuación:

2.5.1. Tipos de preguntas

Los formularios de encuesta contenían diferentes tipos de pregunta según la intensidad de la misma y las formas de respuesta.

Preguntas abiertas

Aquellas en las que el encuestado respondió con sus propias palabras y el entrevistador registró manualmente el contenido exacto de la respuesta suministrada (**Tabla 2.3**).

Tabla 2.3. Ejemplos de preguntas abiertas utilizadas en la encuesta sociodemográfica.

Ejemplos de preguntas abiertas	
1	Nombres y apellidos:
2	Número de identificación:
3	Ingreso económico total mensual de su familia (valor aproximado/salarios mínimos):
4	Dirección y/o punto de referencia:
5	Número de personas que fuman en su vivienda:
6	¿Cuántos años lleva viviendo en el territorio?
7	Fecha de nacimiento:
8	Edad:
9	Si consume pescado mencione las especies de mayor consumo:

Preguntas cerradas

Este tipo de preguntas por el contrario plantearon varias opciones de respuesta que el encuestado debía elegir voluntariamente, marcando con una x o rellenando un



círculo/casilla. Las preguntas cerradas se podían responder de dos maneras: única respuesta o selección múltiple según lo indique el encabezado de la pregunta (**Tabla 2.4**).

Tabla 2.4. Ejemplos de preguntas cerradas utilizadas en las encuestas.

Nº	Pregunta	Opciones de respuesta
1	Tipo de identificación:	CC ☐ RC ☐ TI ☐ Otro ☐
2	Sexo:	F ☐ M ☐
3	Estado civil:	Casado ☐ Soltero ☐ Divorciado ☐ Viudo ☐
4	Tipo de seguridad social:	Subsidiado ☐ Contributivo ☐ Otro ☐
5	Tipo de vivienda	Propia ☐ Familiar ☐ Arrendada ☐
6	¿Practica usted algún deporte?	Sí ☐ No ☐
7	Consume pescado:	Sí ☐ No ☐ ¿Cuál?
8	Usa pesticidas:	Sí ☐ No ☐ ¿Frecuencia?
9	Vive cerca de vías de tránsito vehicular:	Sí ☐ No ☐ ¿Distancia?
10	Trabaja en minas:	Sí ☐ No ☐ ¿Tiempo?

Para el caso de las opciones otro(a) u otros(a), se debía marcar cuando el encuestado lo indique y especificar en el espacio de la pregunta ¿Cuál?

2.6. ENCUESTA SOCIODEMOGRÁFICA

La encuesta sociodemográfica fue la herramienta de recolección de información diseñada para estudiar el estilo de vida de las poblaciones, en función de factores sociales y demográficos que brindaron como resultado datos específicos sobre ubicación geográfica de las viviendas, edad, género, ocupación, condiciones socioeconómicas, estado de las viviendas y el entorno en que habitan las comunidades. Para la implementación de dichas encuestas se realizó previamente una selección aleatoria de las viviendas dentro del área de estudio determinada, con el fin de obtener una muestra representativa de grupos poblaciones vulnerables como lo son mujeres embarazadas, niños menores de 5 años o adultos mayores, a quienes se les realizaron otro tipo de estudios enfocados en determinar las condiciones de salud y el riesgo de exposición a contaminantes ambientales. De esta manera, para la aplicación de los formatos diseñados se seleccionó un grupo de encuestadores debidamente capacitados que cumplieron con los requerimientos establecidos en el manual del encuestador para el trabajo en campo, bajo la supervisión y coordinación de un equipo de investigadores (**Anexo 2.3**).

La encuesta sociodemográfica fue respondida por el jefe del hogar ya que este tenía la capacidad de suministrar cierta información sobre cada miembro del hogar, como el nombre, sexo, edad, educación y supervivencia de los padres. Este cuestionario, también recopiló información sobre las características de la vivienda, como el tipo de agua para el consumo, los servicios sanitarios entre otras características. La encuesta sociodemográfica en el hogar permitió al entrevistador identificar a mujeres embarazadas, niños menores de



5 años y adulto mayor que fueron elegibles para la aplicación de los otros formatos de encuesta del proyecto tales como la encuesta de salud, valoración médica y realización de exámenes toxicológicos y de salud.

2.6.1. Objetivos de la encuesta sociodemográfica

Objetivo general

Recolectar información sociodemográfica de las viviendas del área de estudio para la selección de la población de mujeres embarazadas, niños y adultos mayores.

Objetivos específicos

- Obtener información de las viviendas y sus habitantes con base en los indicadores de población.
- Caracterizar los territorios en factores sociales, geográficos y económicos.
- Establecer parámetros de selección de los grupos poblacionales definidos en los territorios para el estudio.

2.6.2. Estructura general de la encuesta sociodemográfica

El formulario de encuesta sociodemográfica se dividió en 6 secciones de preguntas: información general del sitio de muestreo, información personal, información familiar, información económica, información de la vivienda y control de calidad de la encuesta. La división de los cuestionarios en secciones garantizó su óptimo diligenciamiento. Mediante ellos el encuestado brindó información clara, oportuna, verás sobre su estilo de vida y sistema familiar. El formato fue rotulado con el nombre del proyecto, entidad ejecutora, código asignado y versión.

2.7. ENCUESTA GENERAL DE SALUD

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud como el estado completo de bienestar físico, mental, social que no implica ausencia de afecciones o enfermedades. La salud incide en el bienestar de las poblaciones al optimizar el desarrollo humano y la calidad de vida de las personas. De allí la importancia de aunar esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Específicamente el tercer objetivo relacionado con la garantía de una vida sana y la promoción del bienestar en todas las edades. Los determinantes sociales de salud estarán vinculados con diversos matices en reciprocidad a factores como las condiciones ambientales, sistema sanitario, edad, sexo y origen étnico. Por lo tanto, la calidad de vida y salud en los países estará marcada por el nivel de educación o ingresos, la situación laboral y el acceso a servicios públicos.

La encuesta de salud fue la herramienta diseñada para obtener información primaria sobre fenómenos subjetivos relacionados con la salud tales como la existencia de síntomas actuales o pasados, limitaciones o incapacidades generadas por problemas de salud, hábitos personales, exposiciones a situaciones de riesgo entre otras condiciones que permiten determinar el estado de bienestar de las poblaciones seleccionadas: menores de 5 años, mujeres embarazadas y adulto mayor de las poblaciones seleccionadas de los Consejos comunitarios Aires de Garrapatero y Cuenca río Cauca Microcuenca del río Teta



Mazamorrero ubicados en los municipios de Buenos Aires y Santander de Quilichao del departamento del Cauca.

En este caso, el equipo que realizó el trabajo en campo estuvo conformado por personal con experiencia en la toma de muestras de salud como auxiliares o técnicos en enfermería debidamente capacitados. El plan trabajo cumplió con: El diseño de encuestas, la determinación del número de participantes, la selección adecuada de preguntas para la obtención de la información, la conformación de equipos de trabajo para cada una de las áreas, capacitaciones, elaboración de manuales, procesamiento y análisis de datos, así como la logística de campo que implica el muestreo en viviendas y territorios.

2.7.1. Diseño de encuestas de salud

Luego de seleccionar la población objeto de estudio a través de la implementación del formato encuesta sociodemográfica, de un grupo de elegibles, fue diseñada una encuesta específica para diagnosticar factores de salud a cada uno de ellos teniendo en cuenta los indicadores que aparecen en la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5. Indicadores base para el diseño de encuestas de salud.

Categoría	Indicador
Características de la población	• Ubicación geográfica (territorios) • Estado socioeconómico de las viviendas • Grupos poblacionales por edad, género o vulnerabilidad (porcentajes de mujeres embarazadas, niños entre 2-5 años, adultos mayores) • Tasas de desempleo, principales actividades económicas • Nivel de educación en las poblaciones por edad y género (Tasas de analfabetismo)
Salud materna y de la mujer	• Hábitos alimenticios • Atención prenatal • Exposición a contaminantes (Hg)
Salud en niños	• Indicadores de nutrición en menores • Tasas de morbilidad, discapacidad en menores de 5 años de edad • Exposición a contaminantes (Hg) • Prevalencia de enfermedades (antecedentes familiares)
Aspectos nutricionales	• Prácticas de alimentación en niños menores de 5 años • Diversidad dietética • Estado nutricional de menores, embarazadas y adultos mayores • Prevalencia de enfermedades graves (Ejemplo: anemia) • Déficit de macronutrientes, vitaminas y minerales • Exposición a contaminación por alimentos
Enfermedades graves	• Prevalencia de anemia • Prevención de VIH • Prevalencia de malaria • Prevalencia de intoxicación por metales • Patologías de base (Hipertensión, diabetes, obesidad, fallas cardíacas, enfermedades autoinmunes)
Salud en el adulto	• Porcentaje de adultos mayores con alguna enfermedad o problema de



mayor	salud (antecedentes) • Porcentaje de adultos mayores obesos, hipertensos o diabéticos • Desnutrición y hábitos alimenticios
Aspectos de entorno y vivienda	• Frecuencia de exposición a contaminantes ambientales • Exposición a Hg • Uso de pesticidas • Exposición a humos • Salud ocupacional

2.7.2. Objetivos de la encuesta de salud

Objetivo general

Recolectar información sobre las condiciones de salud de las poblaciones vulnerables seleccionadas en los territorios colectivos para determinar posibles riesgos.

Objetivos específicos

- Obtener información de salud, hábitos alimenticios, antecedentes de salud y entorno de las comunidades.
- Analizar las condiciones de salud de niños menores de 5 años, mujeres embarazadas y adultos mayores.
- Diagnosticar a las poblaciones en función del riesgo para la salud y la exposición a posibles contaminantes.

2.7.3. Estructura general de la encuesta de salud

Los Cuestionarios diseñados para menores de 5 años, mujeres embarazadas y adultos mayores se han dividido en 6 secciones de cuestionarios y preguntas:

- Información general del sitio de muestreo
- Información personal
- Antecedentes familiares
- Condiciones de salud y hábitos alimenticios
- Condiciones de entorno y medio ambiente
- Control de calidad de la encuesta

2.8. VALORACIONES MÉDICAS

Para las valoraciones médicas se diseñó un formato de registro de información para el personal médico que llevó a cabo la función de realizar revisiones del estado de salud a la población seleccionada como objeto de estudio del proyecto. Dicha información se desarrolló durante jornadas de trabajo de campo siguiendo la estrategia organizacional para la aplicación de cada uno de los instrumentos, implementados a los participantes previamente seleccionados de acuerdo con los resultados de encuestas sociodemográficas. La valoración médica de los participantes cumplió el fin de los objetivos establecidos en el proyecto que buscaban evaluar las condiciones de salud en las que se encuentran las personas del área de estudio y generar un diagnóstico profesional en términos médicos del estado fisiológico, psicológico, sociológico y antecedentes familiares o patológicos del



participante en cualquiera de los grupos poblacionales mujeres embarazadas, niños o adultos mayores.

2.8.1. Objetivos de las valoraciones médicas

Objetivo general

Generar un diagnóstico médico del estado de salud las poblaciones vulnerables seleccionadas en los territorios colectivos para determinar posibles riesgos asociados a la exposición a mercurio.

Objetivos específicos

- Obtener información de los antecedentes patológicos, farmacológicos, quirúrgicos, traumáticos y toxicológicos de los participantes.
- Valorar los signos y síntomas que manifiesta cada uno de los participantes.
- Realizar examen físico de las condiciones vitales en que se encuentra el participante para generar un diagnóstico y recomendaciones de salud.

2.8.2. Estructura general de las valoraciones médicas

El formato diseñado para la evaluación del estado físico y los antecedentes de salud se diseñó con la ayuda de un profesional médico y comprende una serie de cuestionarios con diferentes formas de pregunta que permiten interactuar con el participante y obtener los datos necesarios de historial y exploraciones físicas para generar un diagnóstico. Los indicadores de salud analizados en con cada una de las valoraciones incluyeron los siguientes aspectos para la estructura y diseño:

Tabla 2.6. Estructura del formato de valoraciones médicas.

Formato general para las valoraciones médicas	
Historial médico	• Información general y datos personales del paciente • Antecedentes familiares • Antecedentes laborales • Antecedentes patológicos • Antecedentes farmacológicos • Antecedentes quirúrgicos • Antecedentes de Hospitalización • Antecedentes toxicológicos • Antecedentes traumáticos
Valoración médica	• Valoración de signos y síntomas: generales, visuales, auditivos, respiratorios, cardiovasculares, músculo esqueléticos, digestivos, urinarios y neurológicos
Examen físico	• Mediciones: Presión arterial, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, temperatura, peso, talla, índice de masa corporal • Exploración de signos y síntomas asociados con intoxicación por Hg
Diagnóstico médico	• Impresiones diagnósticas • Recomendaciones • Firma y sello médico



CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Esta investigación corresponde a un estudio observacional descriptivo de corte transversal, a través de técnicas de muestreo estadístico. En donde se empleó un diseño estratificado según rangos de edades y mujeres en estado de embarazo, con un componente analítico, bioquímico, molecular y epigenético, así como de susceptibilidad genética con marco metodológico ampliamente descrito en la literatura ([Li et al. 2014](#), [Palacios-Torres et al. 2018b](#), [Carranza-Lopez et al. 2019b](#), [Valdelamar-Villegas and Olivero-Verbel 2020](#)). Las actividades fueron desarrolladas por la entidad ejecutora (Universidad de Cartagena) para responder al objetivo general, así como a los objetivos específicos.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Esta investigación se desarrolló en periodo comprendido entre enero de 2020 y diciembre de 2021 y fue realizado en las veredas San Antonio, Chirivico, Taminango, Brasilia y San José, en los valles interandinos, al sur occidente del Municipio de Santander de Quilichao en el departamento del Cauca, en los cuales se ha ubicado ancestralmente el Consejo Comunitario Aires de Garrapatero (CCAG) y las veredas Mandules, Balsa Brígida, San Miguel, La Balsa (cabecera), Ricaurte, Cascajero, Mazamorrero, Guayabal, San Francisco, Piedra Pintada, San Jerónimo, La Ceiba del municipio de Buenos Aires y Lomitas en el municipio de Santander de Quilichao, donde ancestralmente se han ubicado las comunidades del Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero (CCMTM) (**Figura 3.1**). Durante las salidas de campo fue incluida la vereda San Jerónimo perteneciente al Consejo Comunitario Aires de Garrapatero que anteriormente hacía parte de la Vereda Taminango, mientras que la Vereda Santa Catalina fue retirada del estudio por pertenecer actualmente al Consejo Comunitario Cerro Teta. Lo anterior fue notificado al MSPS y a Minciencias.

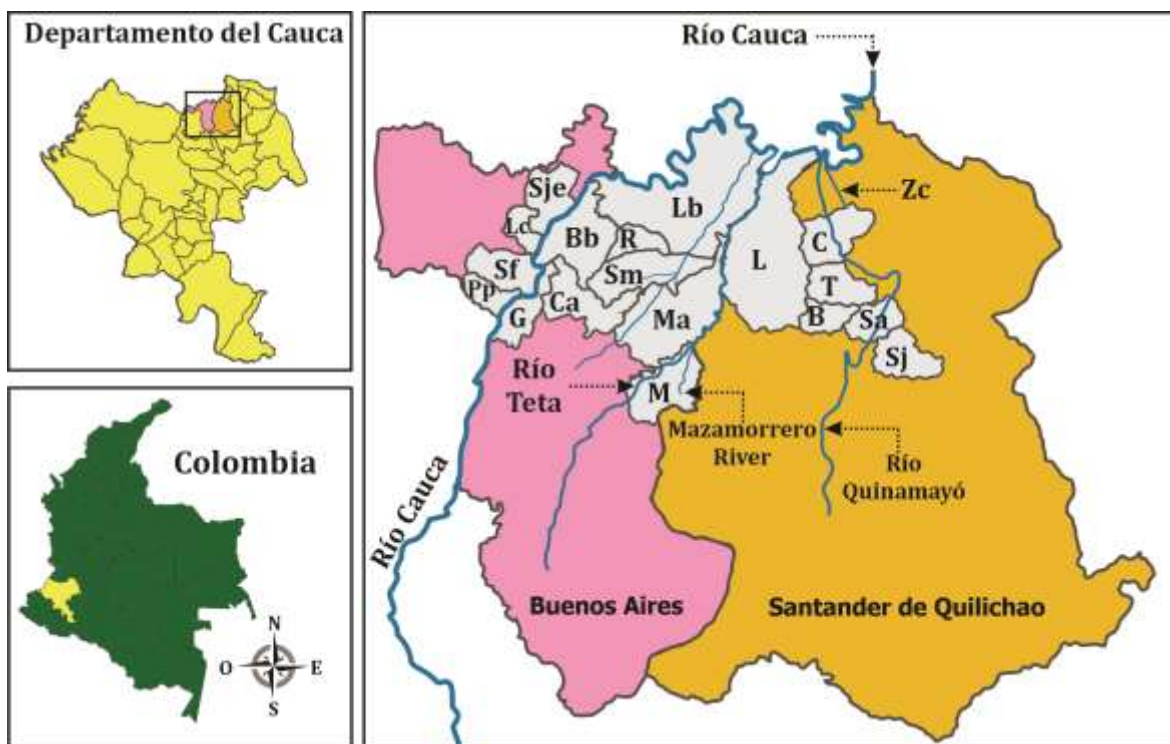


Figura 3.1. Mapa del departamento del Cauca (Colombia) mostrando el área de estudio y existencia de veredas y ríos. Abreviaciones: Veredas: M: Mazamorrero; Ma, Mandules; Sje, San José; Sa, San Antonio; B, Brasilia; T, Taminango; C, Chirivico; L, Lomitas; Lb, La Balsa; Sm, San Miguel; R, Ricaurte; Ca, Cascajero; G: Guayabal, Sf: San Francisco; Pp: Piedra Pintada, Bb, Balsa Brigida; Lc, La Ceiba; Sje, San Jerónimo. Pequeñas quebradas: Zcs, Zanjón cagalito.

3.1.1. Diseño estadístico para la selección de los hogares

Para la realización del operativo de campo fue creado un video (Disponible en el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=whKaXVp2OGQ>) y un folleto (**Anexo 2.4**) informativo del proyecto que sirvió para la socialización del proyecto. La Encuesta Sociodemográfica permitió recolectar datos primarios y secundarios (**Anexo 2.5**). Las encuestas diseñadas y aplicadas durante el trabajo en campo para la recolección de información, se realizaron en 19 veredas pertenecientes a ambos consejos comunitarios.

Universo de estudio: Para establecer el conjunto hogares de donde se extrajo la información sociodemográfica fue necesario determinar los sectores y el número de viviendas por segmento, para ello se realizó una estimación del número total de viviendas de cada una de las veredas de los dos consejos comunitarios. Ante la poca o nula información encontrada en estos sectores, se optó por realizar un conteo manual de las viviendas a partir de una cartografía diseñada con las imágenes satelitales de Google Earth disponible, lo que dio como resultado, además del número aproximado de viviendas por vereda, la geolocalización de cada uno de los hogares habitados. Posteriormente se proyectó un incremento estimado anual de viviendas, utilizando las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE 2005-2018). El incremento anual calculado corresponde al 2,8, porcentaje que sumado al total de viviendas se obtiene como resultado el número de viviendas aproximado por cada una de las veredas.



Una vez estimada el tamaño de la población de cada vereda se aplicó una fórmula estadística basada en proporciones (**Ecuación 1**), determinando de esta forma, el número de hogares a los cuales se les aplicó la encuesta sociodemográfica en cada consejo. El número de hogares que arroja la fórmula por cada consejo comunitario es mostrado en la **Tabla 3.1**.

$$n = \frac{N * (\alpha_c * 0,5)^2}{1 + (e^2 * (N - 1))} =$$

Ecuación 1. Fórmula para determinar el número de hogares para la aplicación de encuesta sociodemográfica

Tabla 3.1. Tamaño de muestra de hogares por cada consejo comunitario para la aplicación de encuesta sociodemográfica.

Consejo Comunitario	Número de muestras total por cada consejo comunitario
CCAG	298
CCMTM	333

Selección de los hogares: La selección de los hogares se realizó mediante un muestreo de proporciones teniendo en cuenta un tamaño de muestra proporcional al tamaño de la población total por veredas y las viviendas de cada vereda fueron seleccionadas de manera aleatoria en una hoja de cálculo de Excel, usando las coordenadas geográficas ubicadas en Google Earth como punto de referencia. Un ejemplo del clúster obtenidos se muestra en la **Figura 3.2**. El número de hogares visitados en cada vereda por consejo comunitario son mostrados en las **Tablas 3.2** y **3.3**. Como puede observarse los hogares visitados fueron superiores a lo estipulado (**Tabla 3.1**).



Tabla 3.2. Listado de viviendas seleccionadas para la recolección de información en el CCAG.

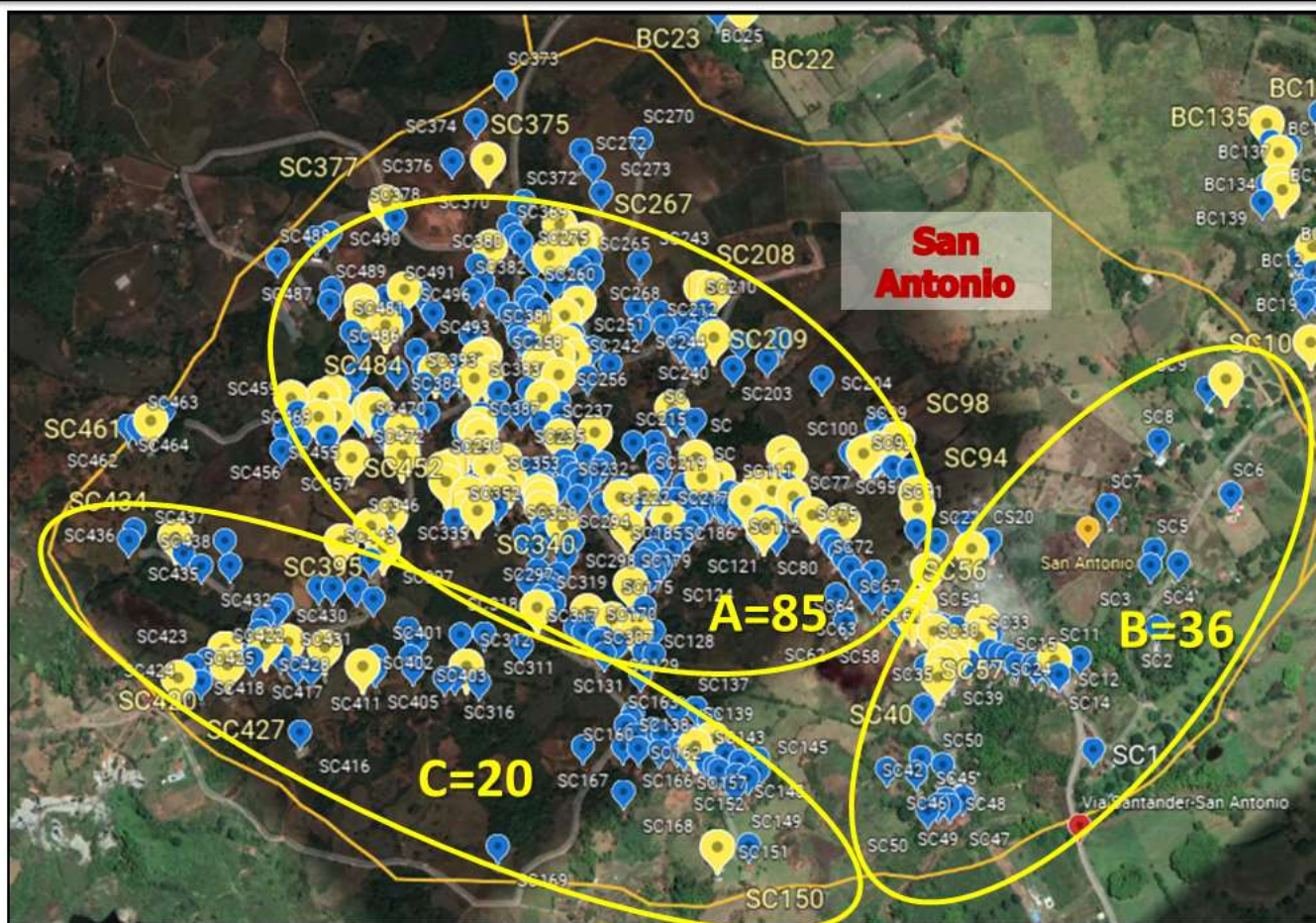
No.	Vereda	Estimación Google Earth 2015 + Incremento anual de viviendas según DANE 2005-2021	Proporción estimada (%)	No. de Viviendas mínimo a realizar	No. de hogares realizados	% de cumplimiento
1	San Antonio	540	40,5	121	158	114
2	Brasilia	217	16,3	48	36	69
3	Taminango	220	16,5	49	59	120
4	San Jerónimo*	*	No aplica	No aplica	29	
5	Chirivico	28	2,1	6	10	167
6	San José	327	24,6	73	90	123
Total		1.332	100	297	382	

* Vereda adicionada que hacía parte de la Vereda Taminango.



Tabla 3.3. Listado de viviendas seleccionadas para la recolección de información en el CCMTM.

No	Vereda	Estimación Google Earth 2015 + Incremento anual de viviendas según DANE 2005-2021	Proporción estimada (%)	No. de Viviendas mínimo a realizar	No. de hogares	% de cumplimiento
1	San Francisco	344	14,3	48	74	155,4
2	Guayabal	58	2,4	8	27	336,3
3	San Jerónimo	101	4,2	14	26	186,0
4	La Ceiba	26	1,1	4	2	55,6
5	Piedra pintada	88	3,7	12	30	246,3
6	Mazamorrero	207	8,6	29	39	136,1
7	Mandules	51	2,1	7	19	269,2
8	San Miguel	116	4,8	16	24	149,5
9	Ricaurte	93	3,9	13	33	256,4
10	Balsa Brígida	75	3,1	10	16	154,1
11	Cascajero	199	8,3	28	42	152,5
12	Lomitas	285	11,9	39	62	157,2
13	La Balsa	763	31,7	106	130	123,1
Total		2.406	100	318	524	



 Puntos seleccionados

Figura 3.2. Selección aleatoria de los hogares en la vereda San Antonio perteneciente al Consejo Comunitario Aires de Garrapatero.



3.2. SELECCIÓN DE LOS PARTICIPANTES

De acuerdo con fuentes municipales, el CCAG y el CCMTM comprenden alrededor de 3.740 y 7.325 individuos, respectivamente. La muestra seleccionada para cada consejo comunitario fue proporcional a la población estimada en la evaluación sociodemográfica. La cobertura porcentual en función del número total de individuos encuestados por cada uno de los consejos comunitarios es presentada en la **Figura 3.3**.

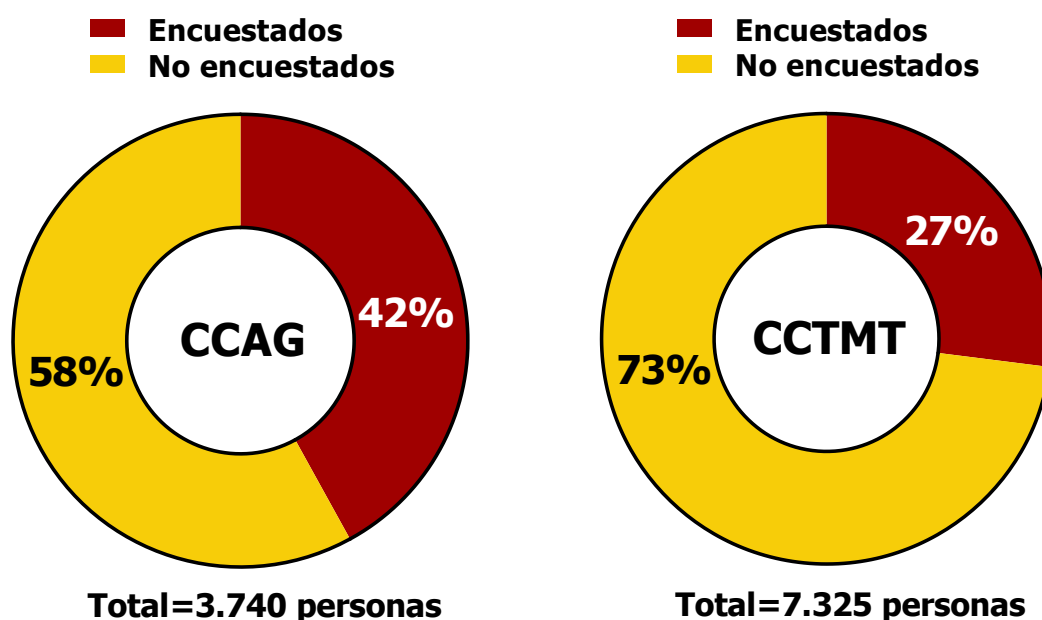


Figura 3.3. Cobertura porcentual en función del número total individuos encuestados por cada uno de los consejos comunitarios. Los datos del número de personas pertenecientes a ambos consejos fueron tomados del Anexo 2. Protocolo de estudio del Ministerio de Salud y Protección Social. Disponible en el enlace: https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo_2_protocolo_de_estudio_de_la_propuesta.pdf

3.2.1. Selección de los participantes incluidos en la muestra

La Encuesta Sociodemográfica permitió la identificación de la población objeto de estudio en cada vereda de los dos consejos comunitarios evaluada: niños, mujeres embarazadas y adulto mayor.

3.2.2. Consideraciones éticas

Este trabajo fue desarrollado de acuerdo con los parámetros internacionales y normas nacionales de bioética para realización de estudios con humanos, en particular las consideraciones señaladas en la declaración de Helsinki, incluyendo las aprobaciones del Comité de Ética de la Universidad de Cartagena (Acta No. 127 del 16 de Octubre de 2019). Además, los participantes firmaron el consentimiento y asentimiento informado (**Anexo 2.1 y 2.2**), en el caso de los menores de 3 y 5 años este fue obtenido de forma verbal con la firma del acudiente respectivo quien firmó el consentimiento informado.



3.2.3. Criterios de inclusión y de exclusión

Para la selección de la muestra objeto de estudio se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Criterios de Inclusión: Adulto mayor o igual a 60 años, cualquier sexo y grupo étnico, niños entre 3 y 5 años, mujeres en estado de embarazo, y un tiempo de residencia mínimo de un año en el área de estudio.

Criterios de Exclusión: Personas que no firmen el consentimiento informado, y aquellas con discapacidad cognitiva que no tengan un acudiente responsable.

Una vez realizada la encuesta sociodemográfica en ambos consejos comunitarios se pudo identificar la población objeto de estudio mujeres embarazadas, niños y adultos mayores como se muestra en las **Tablas 2.4 y 2.5**.

Tabla 3.4. Población objeto de estudio de CCAG.

Vereda	Embarazadas	Niños (3 a 5 años)	Adultos >60	Total
San Antonio*	5	20	48	73
Brasilia	1	8	25	34
San José	5	24	53	82
Taminango	1	17	20	38
San Jerónimo	2	2	21	25
Chirivico	0	0	7	7
Total	14	71	174	259

Tabla 3.5. Población objeto de estudio de CCMTM.

Vereda	Embarazadas	niños (3 a 5 años)	Adultos >60	Total
San Francisco	5	14	41	60
Guayabal	1	6	12	19
San Jerónimo	1	2	13	16
La Ceiba	0	0	1	1
Piedra pintada	3	9	20	32
Mazamorrero	3	8	24	35
Mandules	1	4	10	15
San Miguel	0	4	13	17
Ricaurte	2	7	28	37
Balsa Brígida	0	0	15	15
Cascajero	1	10	17	28
Lomitas	2	21	40	63
La Balsa	2	27	81	110
Total	21	112	315	448



Dadas las características de la zona de estudio el muestreo de los grupos en estudio (niños, mujeres embarazadas y adulto mayor) todos los participantes tuvieron la opción de ser elegidos para participar en el estudio, los cuales fueron citados a través de cada uno de los líderes comunitarios tanto del consejo comunitario como a través de los representantes de las veredas.

La muestra de los participantes estuvo conformada por 300 personas, de las cuales 143 pertenecieron a CCMTM y 157 al CCAG. A los mismos les fue aplicada una encuesta general de salud para niños entre 3 y 5 años (**Anexo 2.6**), mujeres embarazadas (**Anexo 2.7**) y adultos mayores (**Anexo 2.8**). Previamente, fue realizada la validación de los instrumentos de captura e información en la vereda San José, ubicada en el municipio de Santander de Quilichao (Cauca) con el objetivo de realizar correcciones a los instrumentos relacionados con la información sociodemográfica y de salud. La validación fue llevada a cabo empleando el coeficiente Alfa de Cronbach y Kuder-Richardson fórmula 20 (KR20) en el software SPSS, para medir la fiabilidad de las escalas de medida encontradas en cada una de las encuestas. Los resultados de la validación llevada a cabo, demostraron que los instrumentos propuestos para el desarrollo del estudio eran altamente confiables, por lo cual, se continuó con la realización de la Prueba Piloto en la vereda Quinamayó, ubicada al sur oriente del municipio de Santander de Quilichao (departamento del Cauca), y perteneciente al Consejo Comunitario Cuenca Del Río Páez Quinamayó (CURPAQ). Estas actividades fueron desarrolladas por el personal profesional del área de estudio, que fue capacitado en etapas previas del estudio.

3.3. TOMA DE MUESTRAS DE CABELLO, SANGRE Y ORINA

Una muestra de cabello de los participantes de aproximadamente 50-100 mg fue tomada en la región occipital del cráneo y colocada en un sobre de papel blanco debidamente rotulado, siguiendo las recomendaciones nacionales e internacionales para la recolección de este tipo de matriz humana ([Olivero-Verbel et al. 2011b](#)). Posteriormente, esta fue cortada con tijeras de acero inoxidable hasta obtener un tamaño de partícula fina (1 -2 mm) ([Olivero-Verbel et al. 2015b](#)), luego fueron sometidas a un proceso de lavado con agua, detergente y acetona, las muestras fueron secadas a 50 °C por 24 h ([Zhu et al. 2018](#)). Las muestras de cabello secas fueron depositadas en tubos de centrifuga estériles y almacenadas en un desecador hasta su análisis.

Las muestras de sangre venosa fueron colectadas con ayuda de un bacteriólogo mediante venopunción empleando un sistema Vacutainer. Sangre total con EDTA (Vacutainer®) como anticoagulante ([Alvarez-Ortega et al. 2017](#)) para análisis de Hg-t, extracción de ADN (frecuencia de polimorfismos y análisis epigenético) y hematología. Un tubo Vacuette Tempus Blood RNA tube (Applied Biosystems) fue empleado para la extracción de ARN (análisis de expresión génica). Un tubo con gel separador fue usado para las pruebas bioquímicas (ALT, AST, BUN, creatinina y perfil lipídico). La recolección de la sangre fue realizada de manera aséptica, mediante el uso de elementos nuevos, estériles, libres de pirógenos y conservando el sistema cerrado de acuerdo con lo establecido en el Artículo 40 del Decreto 1571/1993, siguiendo las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud establecidas en la Resolución 008430/1993 del Ministerio de Salud y Protección Social. Las muestras fueron preservadas a 4 °C y transportadas al



Laboratorio para su procesamiento. El suero fue obtenido mediante centrifugación a 4000 g durante 10 minutos, y almacenado a -80 °C hasta su análisis.

Una muestra de orina fresca (30-50 mL) de los participantes fue tomada en frascos recolectores de orina previa indicaciones de los investigadores del estudio para prevenir la contaminación de la muestra ([Calao-Ramos et al. 2021b](#)) y preservadas a -80 °C hasta su análisis.

3.4. DETERMINACIÓN DE Hg EN CABELLO HUMANO, SANGRE Y ORINA

Las concentraciones de Hg-t en muestras cabello, sangre, orina fueron determinadas utilizando un analizador directo de mercurio DMA-80 TriCell Milestone® (Milestone Inc., Shelton, CT) siguiendo el método USEPA 7473. La cuantificación fue llevada a cabo con curvas de calibración construidas con materiales de referencia certificados IAEA-086 (cabello humano), BE12-12, 13, 14,15 (Wadsworth Center, Trace elements in whole blood) (sangre) y solución estándar de Hg, Merck (orina). Las curvas fueron consideradas óptimas si el R^2 fue superior 0.99. Todas las muestras fueron medidas por duplicado. La exactitud para las muestras de cabello se verificó mediante el análisis de material de referencia certificado (CRM): ERM-BB422 (músculo de pescado) [valor de referencia, 0.601 ± 0.030 µg/g; valor obtenido ($n=10$), 0.605 ± 0.001 µg/g; porcentaje de recuperación, 100,72%], para sangre y orina fue verificado con una dilución de 10 µg/L a partir de la solución estándar de Hg (Merck) [valor de referencia, 10 µg/L; valor obtenido ($n=10$), $10,30 \pm 0,27$ µg/L; porcentaje de recuperación, 103,01% para sangre y $9,92 \pm 0,29$ µg/L; porcentaje de recuperación, 99,18% para orina]. El límite de detección (LD) se calculó como tres veces la desviación estándar de los portamuestra vacíos (cabello: 0.0001 µg/g, sangre y orina: 0.0001 µg/L). La precisión fue generalmente <10%. Cada muestra se analizó por duplicado.

Los análisis isotópicos para identificar la fuente de exposición a Hg estaban previstos realizarse en el 50% de la población con concentraciones de Hg-t superiores a 1 µg/g. Lo cual no fue posible dado los bajos niveles encontrados en la población de estudio. Sin embargo, algunas muestras con niveles altos de Hg-t en cabello fueron analizadas para MeHg en la Universidad de Córdoba.

3.5. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE SALUD

3.5.1. Encuesta general de salud y valoración médica

Además de los formularios de captura tipo encuestas (sociodemográfica y de salud) aplicados a los participantes, fue realizada una evaluación médica (**Anexo 2.9-2.11**) y una encuesta general de salud, la cual comprendió la identificación de antecedentes patológicos, toxicológicos y gineco-obstétricos. Adicionalmente, se realizó un examen físico completo con énfasis en sistema neurológico, enfocándose en antecedentes y hallazgos clínicos posiblemente relacionados con la exposición a Hg, participando en el mismo un médico general del área de estudio para participantes mujeres embarazadas y adultos mayores. En el caso de menores de 5 años fueron valorados por médico pediatra vinculado al proyecto.



3.5.2. Evaluación psicofísica de la visión del color

A un total de 23 mujeres embarazadas (13 pertenecientes al CCAG y 10 pertenecientes al CCMTM) se les aplicó una prueba de color en ambos ojos a través del test de Ishihara. Esta prueba consiste en un número de placas coloreadas, cada una de las cuales contiene un círculo de puntos que aparecen aleatorizados en color y tamaño. Dentro del patrón existen puntos que forman un número o forma claramente visibles para aquellos con visión de color normal, e invisibles, o difíciles de ver, para aquellos con un defecto de visión. Por el contrario, otras placas están diseñadas intencionalmente para revelar números solo a aquellos con una deficiencia de visión de color, y son invisibles para aquellos con visión normal.

3.5.3. Examen auditivo

A las participantes en estado de embarazo (12 del CCAG y 11 del CCMTM) se les realizó una exploración con un otoscopio convencional para examinar el conducto auditivo externo y evaluar el oído medio a través de la visualización directa del tímpano. Además, un examen audiométrico fue realizado a los participantes empleado un audiómetro de diagnóstico portátil (modelo AD226) en diferentes frecuencias para los oídos derecho e izquierdo por separado ([Abdel-Rasul et al. 2013](#)). Este examen fue realizado por un fonoaudiólogo del área de estudio.

3.5.4. Medición del coeficiente intelectual (CI)

El Test Breve de Inteligencia de Kaufman (K -BIT) se realizó en 35 y 24 niños (4-5 años) de los CCAG y CCMTM, respectivamente. La prueba se realizó en un espacio abierto, libre de ruidos, con iluminación adecuada. En primer lugar, el psicólogo estableció una breve conversación con los menores antes de la prueba para promover aspectos que fomenten la confianza y la empatía con ellos, asegurando un nivel adecuado de atención, motivación y disminución de los síntomas de ansiedad. La evaluación tomó alrededor de 15 a 30 minutos, dependiendo del niño evaluado. El resultado generado con esta prueba incluyó dos escalas: vocabulario y matrices, la primera está mayoritariamente relacionada con el aprendizaje escolar y comprende dos subescalas, una considera definiciones y la otra incluye vocabulario expresivo; y el segundo evalúa la capacidad para resolver problemas mediante el razonamiento lógico.

3.6. ENSAYOS BIOQUÍMICOS Y HEMATOLÓGICOS

3.6.1. Evaluación de parámetros bioquímicos

El suero aislado de los grupos poblacionales (niños, mujeres embarazadas y adultos mayores) fue empleado para los análisis de diferentes marcadores bioquímicos para evaluar el funcionamiento de órganos como hígado empleando la actividad de Fosfatasa Alcalina, Alanina Aminotransferasa, y Gammaglutamiltransferasa; en el caso del riñón se realizó el ensayo de BUN y creatinina. El riesgo cardiovascular fue determinado por perfil lipídico. Los ensayos fueron realizados en el equipo A25 BioSystem S.A. empleando kits comerciales.

3.6.2. Análisis hematológico

Los análisis de hemograma automatizado fueron realizados por impedancia eléctrica, utilizando el equipo Automatizado Abacus 380. Para verificar la calibración y



funcionamiento del instrumento fue utilizada sangre control de hematología ([Alvarez-Ortega et al. 2017](#)). Un total de 18 parámetros hematológicos fueron medidos: WBC: Conteo Global de leucocitos, RBC: Conteo Global de eritrocitos, HGB: Hemoglobina, HCT: Hematocrito, MCV: Volumen Corpuscular medio, MCH: Hemoglobina corpuscular media, MCHC: Concentración Hemoglobina Corpuscular Media, PLT: Plaquetas, PCT: Plaquetocrito, MPV: Volumen Plaquetario Medio, PDWc: Ancho de distribución de las plaquetas, RDWc: Ancho de distribución eritrocitaria, LYM: Linfocitos, MID: Células medias, GRA: Granulocitos, LYM%: Porcentaje de linfocitos, MID%: Porcentaje de células medias, GRA%: Porcentaje de granulocitos.

3.6.3. Frecuencia de los polimorfismos genéticos

Inicialmente fue realizada la extracción de ADN a partir de sangre total colectada con EDTA empleado el kit Invitrogen™ PureLink™ Genomic DNA (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, Estados Unidos), siguiendo las instrucciones del fabricante. El ADN aislado fue suspendido en 50 µL de tampón de elución y fue cuantificado por espectrofotometría (A260) usando un NanoDrop 2000 (Thermo Scientific), siendo la pureza evaluada midiendo las relaciones A260/A280 (1.8-2.0) y la 260/230 (>1.7). El ADN extraído fue sometido a electroforesis en gel de agarosa (2%) para verificar la calidad del mismo. Posteriormente, éste fue conservado a -80 °C antes de su uso. Los polimorfismos relacionados con *GST* ([Custodio et al. 2004](#), [Skvortsova et al. 2017](#)), *ABC* ([Llop et al. 2015](#)) fueron detectados por la reacción en cadena de la polimerasa – Polimorfismos de Longitud del Fragmento de Restricción (PCR-RFLP por sus siglas en inglés).

3.6.4. Ensayos de expresión génica

El ARN sanguíneo fue extraído usando Tempus Blood RNA (Applied Biosystems) y la subsecuente síntesis de ADNc con el kit High-Capacity cDNA Reverse Transcription kit (Applied Biosystems; Thermo Fisher Scientific, Inc.). El ADNc fue utilizado para la reacción de RT-PCR en un StepOnePlus™ Real-Time PCR System (Applied Biosystems® Inc., Foster City, CA, Estados Unidos) usando Maxima SYBR Green/ROX qPCR Master Mix (Thermo scientific, Waltham, MA, Estados Unidos) ([Pajaro-Castro et al. 2017](#)). Genes marcadores de exposición a metales (*MT1x*), estrés oxidativo (*GSTP1*, *SOD1*), transportadores (*ABCB1*) y apolipoproteína E (*APOE*) reportados en la literatura para exposición a Hg en cabello, sangre y orina fueron analizados. El cambio en la expresión de los genes blanco fue determinado usando Gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa (GAPDH) como control endógeno. El método comparativo doble delta CT fue utilizado para determinar la cantidad relativa de ARNm de los genes blanco.

3.6.5. Ensayos epigenéticos

La PCR específica de metilación (MSP) es un método basado en PCR para el análisis de los patrones de metilación en las islas CpG. Para realizar la MSP, 1 µg de ADN genómico fue desnaturalizado utilizando calor suave a un pH alcalino y modificado con bisulfito sódico. Las muestras de ADN fueron modificadas con el kit de modificación de ADN del genoma CpG (Methyl code bisulfite conversion, Invitrogen), de acuerdo con el protocolo del fabricante. El ADN modificado fue eluido en un tampón TE. MSP fue realizada con cebadores metilados y no metilados para cada una de las muestras. Posteriormente fue realizada una PCR y los productos de esta fueron sometidos a electroforesis en gel de agarosa (2%).



3.7. MERCURIO EN MATRICES AMBIENTALES

3.7.1. Toma de muestras de agua y sedimento superficial

Un total de 52 muestras de agua (26 en el CCAG, 23 del CCMTM y 3 de pozos abandonados en el CCAG) a unos 5 cm de la superficie fueron tomadas en los principales ríos que hacen parte de ambos consejos comunitarios, estas fueron preservadas con ácido nítrico ([Marrugo-Negrete et al. 2008](#)) (**Figura 3.4-3.5**). La recolección de las muestras de sedimentos fue llevada a cabo sobre los primeros cinco-diez centímetros de sedimento de fondo de forma manual alrededor del punto de referencia. La muestra de sedimento estuvo compuesta de cuatro submuestras, colectadas en lugares equidistantes hacia cada uno de los puntos cardinales, ubicados radialmente alrededor de un círculo de 5-10 m de diámetro, en lo posible en la zona central del cuerpo de agua. En cada punto fueron colectadas cuatro submuestras de 100 g, que fueron homogenizadas en un balde de plástico, hasta obtener una muestra compuesta homogénea, a partir de la cual fueron obtenidos aproximadamente 100 g, la cual fue rotulada y almacenada en tubos de centrifuga estériles. Las muestras fueron almacenadas a -20 °C. En el laboratorio, la humedad fue eliminada mediante liofilización empleando un equipo Labconco Freezone a -50 °C y -0.019 mbar, posteriormente maceradas, tamizadas a <75 µm y almacenadas a -20 °C hasta su análisis ([Palacios-Torres et al. 2018a](#)).

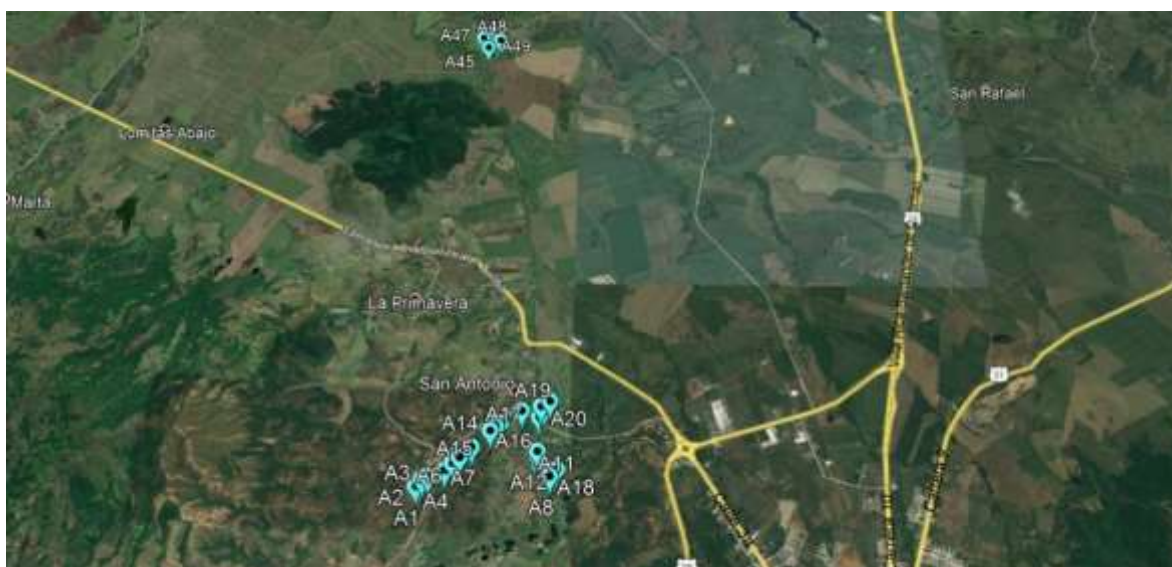


Figura 3.4. Ubicación de las muestras de agua superficial y sedimentos en el CCAG.



Figura 3.5. Ubicación de las muestras de agua superficial y sedimentos en el CCMTM.

3.7.2. Toma de muestras de suelo superficial

En el caso de las muestras de suelo superficial (**Figura 3.6 y 3.7**) estas fueron colectadas en un total de 155 puntos (50 en el CCAG y 105 en el CCMTM) ubicados a lo largo de la zona de estudio conformada por las veredas identificadas en la **Figura 3.1**, en las cuales se ha ubicado ancestralmente los Consejos comunitarios Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero. Para tal fin cuatro sub-muestras de 10 g fueron obtenidas en los puntos de muestreo hacia cada uno de los puntos cardinales ubicados alrededor de un círculo de 20x20 cm de diámetro, para obtener aproximadamente 40 g de muestra compuesta ([Ferreira et al. 2015](#), [Rocha-Román et al. 2018a](#)), la cual fue homogenizada *in situ* (**Figura 3.8**), almacenando en frascos recolectores de orina, una cantidad aproximada de 20 g por muestra. Todas las muestras fueron transportadas al laboratorio donde fueron almacenadas a -20 °C. La humedad de estas fue eliminada mediante liofilización empleando un equipo Labconco Freezone a -50 °C y -0.019 mbar, posteriormente maceradas, tamizadas a <75 µm y almacenados a -20 °C hasta su análisis.

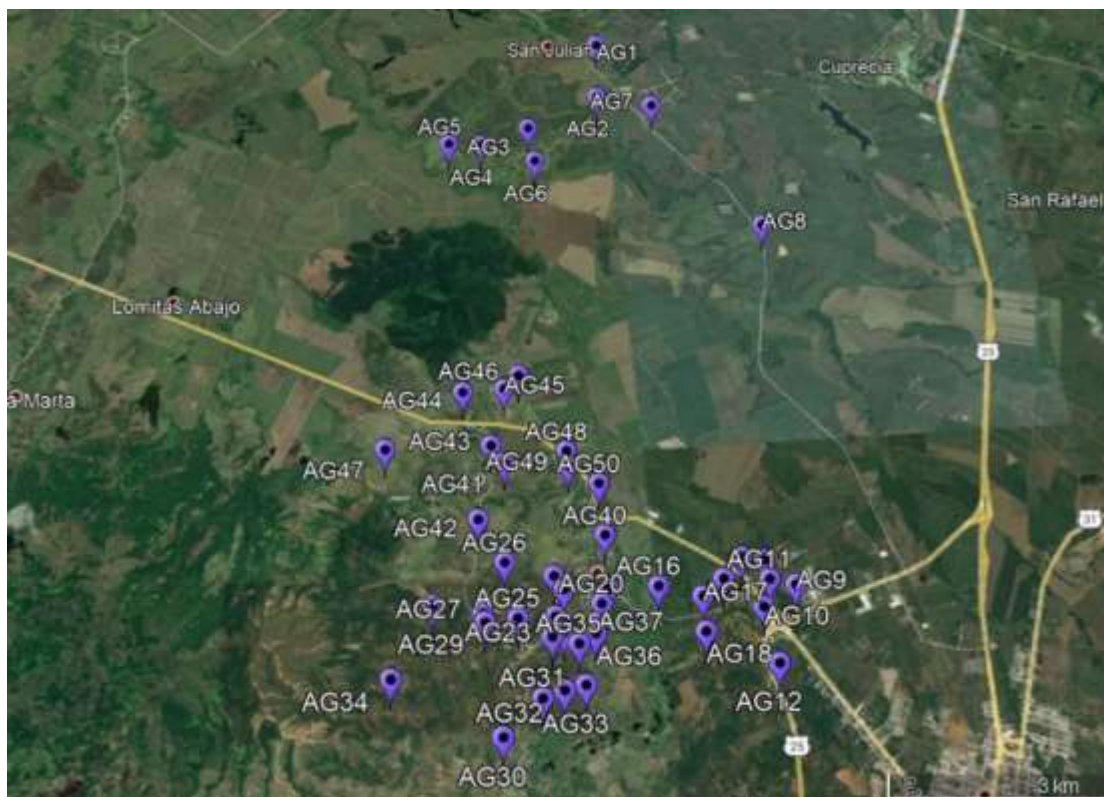


Figura 3.6. Ubicación de las muestras de suelo superficial en el CCAG.

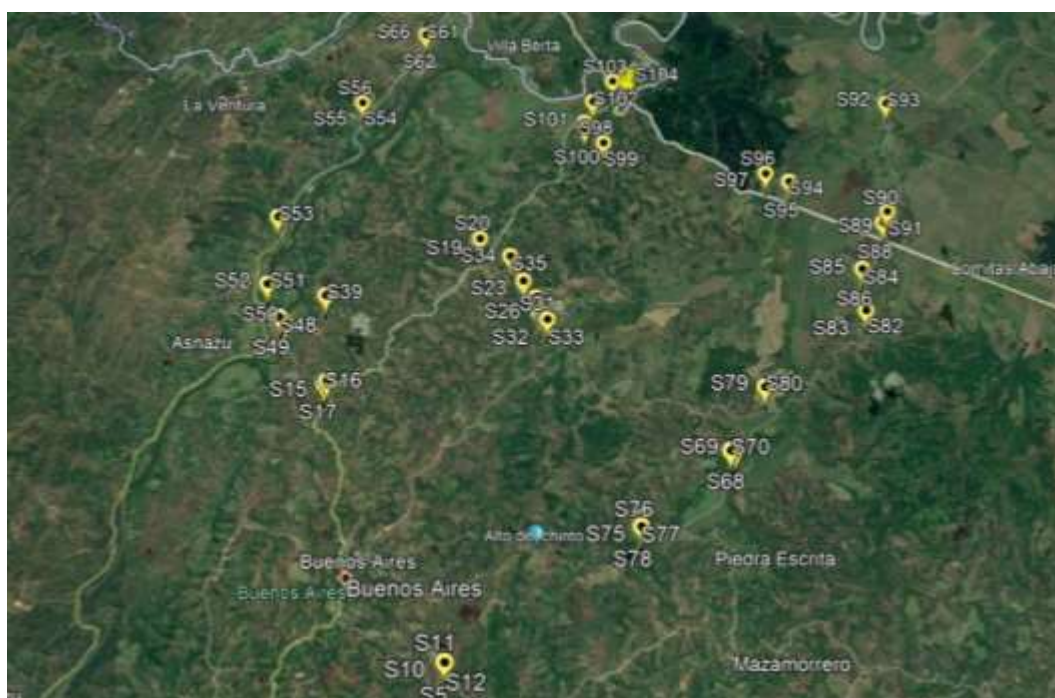


Figura 3.7. Ubicación de las muestras de suelo superficial en el CCAG.

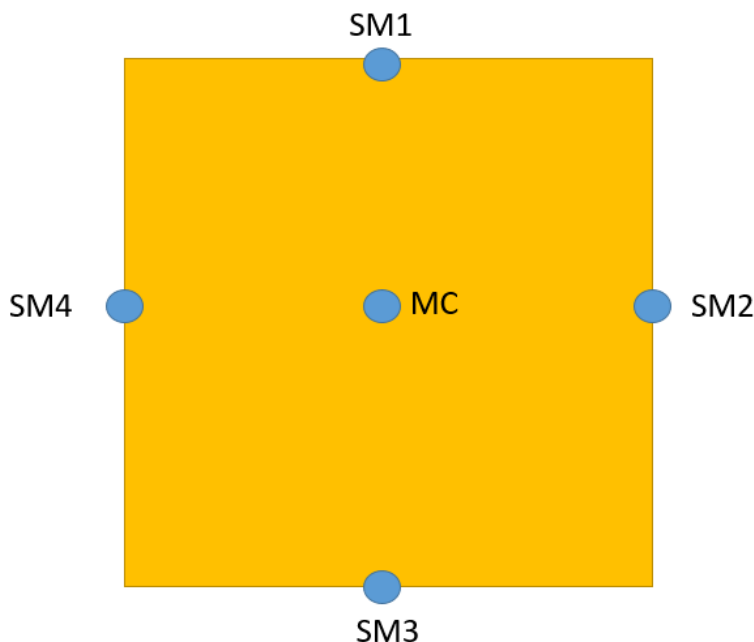


Figura 3.8. Localización de puntos de muestreo en el área de excavación para la toma de muestra de sedimento superficial de acuerdo con el siguiente procedimiento: 1.

Seleccionar el sitio a muestrear. 2. Eliminar la cobertura vegetal y piedras de la superficie en el sitio de muestreo. 3. Marcar en la pala la profundidad de muestreo y cavar un hueco en forma de "V" del ancho de la pala y la profundidad requerida (aproximadamente 5 cm).

4. Tomar un corte de suelo de 2 a 3 centímetros de espesor de la pared del hueco y llevarla al punto MC. 5. Repetir esta operación en cada uno de los puntos (SM1-SM4). 6. Mezclar las 4 submuestras en el punto MC, luego depositarla en un frasco recolector de orina (etiquetado). SM: submuestras, MC: muestra compuesta.

3.7.3. Toma de muestras de sedimentos

La recolección de las muestras de sedimentos fue llevada a cabo sobre los primeros cinco-diez centímetros de sedimento de fondo de forma manual alrededor del punto de referencia. La muestra de sedimento estuvo compuesta de cuatro submuestras, colectadas en lugares equidistantes hacia cada uno de los puntos cardinales, ubicados radialmente alrededor de un círculo de 5-10 m de diámetro, en lo posible en la zona central del cuerpo de agua. En cada punto fueron colectadas cuatro submuestras de 100 g, que fueron homogenizadas en un balde de plástico, hasta obtener una muestra compuesta homogénea, a partir de la cual fueron obtenidos aproximadamente 100 g, la cual fue rotulada y almacenada en tubos de centrifuga estériles. Las muestras fueron almacenadas a -20 °C. En el laboratorio, la humedad fue eliminada mediante liofilización empleando un equipo Labconco Freezone a -50 °C y -0.019 mbar, posteriormente maceradas, tamizadas a <75 µm y almacenadas a -20 °C hasta su análisis ([Palacios-Torres et al. 2018a](#)).

3.7.4. Toma de muestras de peces

Un total de 166 especímenes pertenecientes a 17 especies y diferente nivel trófico (**Figura 3.9**) fueron obtenidos por pescadores de la región correspondiente al área de influencia en ambos Consejos Comunitarios; de igual forma fueron adquiridas muestras de peces que se distribuyen en el comercio del municipio de Santander de Quilichao (Cauca). Los especímenes fueron almacenados en hielo y dentro de las ocho horas siguientes



fueron procesados *in situ*. Una vez obtenidas las variables morfométricas (longitud y peso), una muestra de músculo fue extraída de la parte dorsal del pez (Olivero-Verbel et al. 2015c) (Figura 3.10) con cuchillos plásticos y almacenando la misma en un frasco de plástico tapa rosca. Las muestras fueron almacenadas a una temperatura de -20 °C, para luego proceder a la realización de los análisis de Hg.

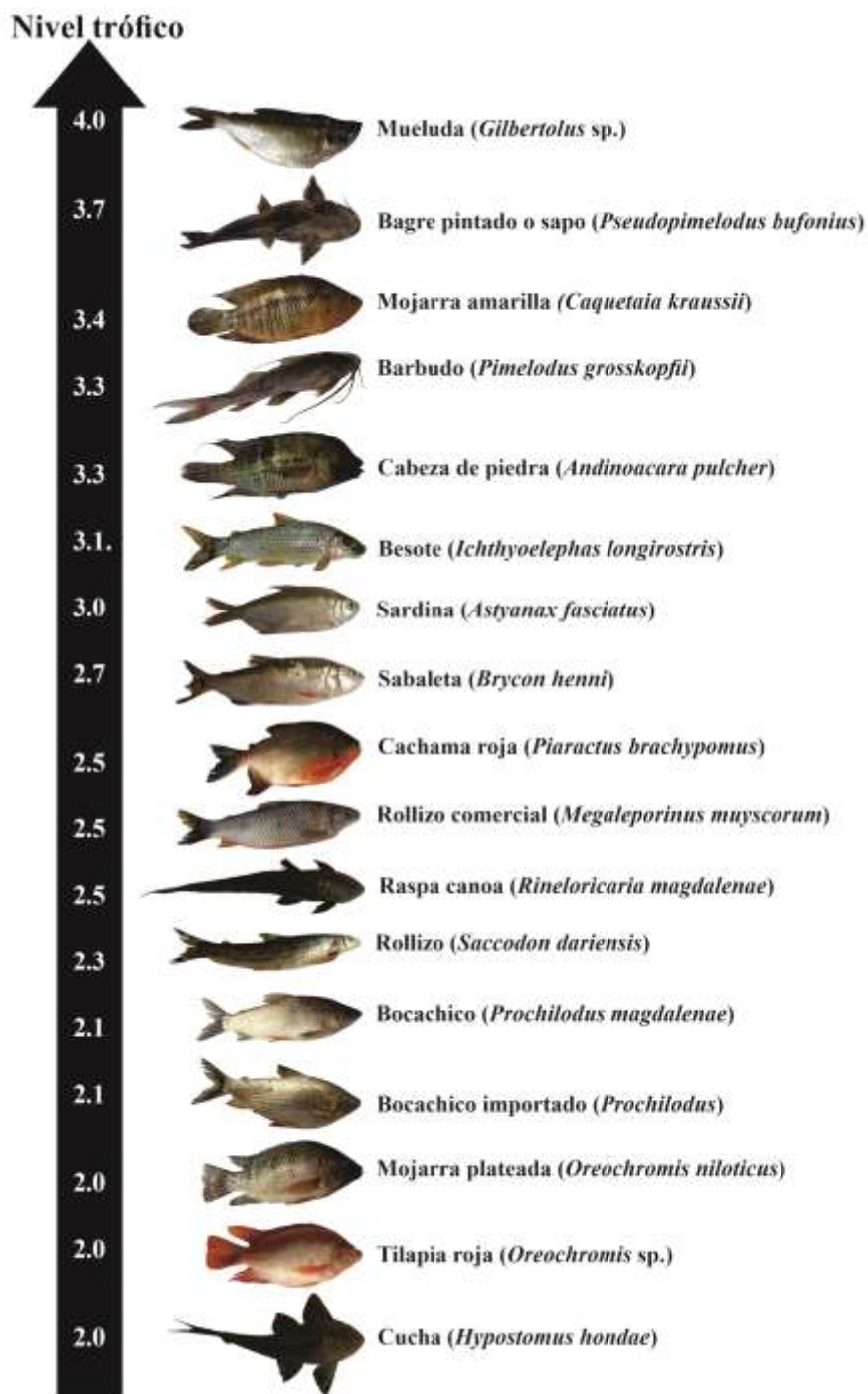


Figura 3.9. Imágenes de las diferentes especies de peces colectadas en el departamento del Cauca organizadas de acuerdo con el nivel trófico. *. Fish Base (<https://www.fishbase.de>).



Figura 3.10. Ubicación del sitio para la toma de muestra de músculo en los pescados.

3.7.5. Evaluación del riesgo potencial para la salud asociado con la exposición a Hg derivada del consumo de pescado

Con base en el contexto de salud pública, el Cociente de peligro (HQ) fue calculado como una medida de la relación entre el nivel de exposición y la dosis de referencia (RfD) para Hg ($HQ = E/RfD$), de acuerdo con lo reportado previamente ([Carranza-Lopez et al. 2019b](#)). El valor de RfD utilizado fue de $0,1 \mu\text{g/kg/día}$ ([USEPA 1989](#)). Para la población general, el nivel de exposición (E) se consideró como $E = C \cdot MS/W$; donde C es el nivel promedio de MeHg ($C = 0,90 \times \text{Hg-t}$) en el pescado, MS es el tamaño de la porción estándar de pescado (230 g) para un adulto promedio y W es el peso corporal estándar para adultos (70 kg). Un $HQ < 1$ significa que los efectos adversos para la salud en poblaciones humanas sensibles son insignificantes, mientras que un $HQ > 1$ indica que pueden ocurrir efectos sistémicos no cancerosos, especialmente en mujeres embarazadas y niños. Además, una evaluación de riesgos para mujeres embarazadas/lactantes y niños, ajustando el tamaño y el peso de las porciones de pescado ([USEPA-FDA 2018](#)) fue llevada a cabo. Por lo tanto, los tamaños de las porciones de pescado fueron 113; 31,2; 42,5 y 48,2 g para mujeres embarazadas/lactantes y niños de 3, 4 y 5 años, respectivamente; mientras que los pesos estándar fueron 75; 13,4; 15,7 y 21,1 kg ([USEPA-FDA 2018](#)). Para efectos no carcinógenos que no se esperaba que causen ningún efecto sistémico crónico, la tasa máxima permitida de consumo de pescado en las comidas por semana (CRmw) ([USEPA 2000](#)) se calculó como $CRmw = 49/(C \cdot MS)$.

3.7.6. Análisis de Hg en agua, suelo superficial, sedimentos y músculo de pescado

Un volumen de 100 μL de muestras de agua, 3-4 mg de suelo y sedimento, y 10 mg de músculo de pescado fresco fueron dispuestos en un portamuestra e introducido en un analizador directo de mercurio DMA-80 TriCell Milestone® (Milestone Inc., Shelton, CT) siguiendo el método USEPA 7473. En el caso de las muestras de sedimento y suelo superficial fueron analizadas en un analizador directo de Hg RA-915M Zeeman, software RA-915P (Lumex, St. Peterburgo, Rusia) con una unidad de pirolisis (RP-91c). La cuantificación fue realizada empleando material de referencia certificado para sedimento



(IAEA-433), pescado (ERM-BB422) y una solución estándar de Hg de 1000 ppm (Merck) para las muestras de agua. La exactitud para las muestras de suelo y sedimento se verificó mediante el análisis de material de referencia certificado (CRM): IAEA-158 (sedimento marino) [valor de referencia, 0.132 ± 0.014 $\mu\text{g/g}$; valor obtenido ($n=3$), 0.133 ± 0.003 $\mu\text{g/g}$; porcentaje de recuperación, 100,75% para suelo y valor obtenido ($n=3$), 0.131 ± 0.006 $\mu\text{g/g}$; porcentaje de recuperación, 99,2%], DORM-2 (músculo de cazón) del Consejo Nacional de Investigación de Canadá [valor de referencia, 4.64 ± 0.26 $\mu\text{g/g}$; valor obtenido ($n=10$), 4.53 ± 0.11 $\mu\text{g/g}$; porcentaje de recuperación, 98,11%]. El límite de detección (LD) se calculó como tres veces la desviación estándar de los portamuestra vacíos (suelo superficial: 0,004 $\mu\text{g/g}$, sedimento superficial: 0,0031, agua y músculo de pescado: 0,0001 $\mu\text{g/L}$). La precisión fue generalmente $<10\%$. Cada muestra se analizó por duplicado. Para muestras de peces con concentraciones altas de Hg (>0.5 $\mu\text{g/g}$) les fue analizado el contenido de MeHg, estos análisis fueron realizados en la Universidad de Córdoba.

3.7.7. Análisis estadístico

Para cada variable fue registrada su distribución de frecuencia, medidas de tendencia central y variabilidad. La normalidad y homogeneidad de varianzas fue verificada por Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. Comparaciones entre dos medias fue realizada por t-test o en su defecto el test no paramétrico de Mann-Whitney. Para todos los casos el nivel de significancia fue establecido a un valor de $p < 0.05$.



CAPÍTULO IV

CONDICIONES DEMOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS

4.1. INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo del proceso investigativo, la recolección de información es una de las primeras fases de estudio, que parte de un análisis previo de la zona, continúa con el diseño de cuestionarios y preguntas, donde la selección de la técnica e inclusión de conocimientos especializados es fundamental con el objetivo de que estos sean aplicados en las poblaciones que conforma el área de estudio. Lo anterior, permitió en gran medida obtener resultados condicionados al diseño de las preguntas que culmina en la implementación del método para obtener los datos poblacionales específicos que posteriormente serán analizados para llevar a cabo el diagnóstico, caracterizar la muestra y ejecutar las etapas siguientes de la investigación.

Por otra parte, en relación con la selección preliminar de las técnicas, la encuesta es de las principales herramientas en estudios epidemiológicos, ya que con un adecuado diseño de preguntas y cuestionarios es posible acceder a información actualizada de las condiciones en que se encuentran las poblaciones. Ante la importancia de poner en marcha trabajos que implican la realización de encuestas, en áreas de la ciencia para llevar a cabo proyectos de investigación.

En el marco del proyecto “Evaluación de los efectos en salud de la población vulnerable del territorio colectivo Aires de Garrapatero, Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta Mazamorrero expuesta a vertimientos contaminantes por explotación minera” con el objeto de brindar una visualización a las técnicas y procedimientos relacionados con la elaboración de formatos como metodología óptima para la captación de datos, en el contexto de la indagación científica.

4.2. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y SOCIOECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO

Las comunidades afrodescendientes objeto de estudio, fueron clasificadas en dos subgrupos de población dependiendo de su ubicación geográfica: comunidad perteneciente al CCAG y comunidad perteneciente al CCMTM, ambos ubicados al Norte del departamento del Cauca.

La pirámide poblacional general de los habitantes del CCAG es presentada en la **Figura 4.1**. Dentro de esta comunidad se registran 1.556 individuos, de los cuales 27 no muestran información. La población femenina ($n=828$) destaca sobre la población masculina ($n=701$), en número y promedio de edad con 32,3 años en mujeres y 31,3 años en hombres, respectivamente.

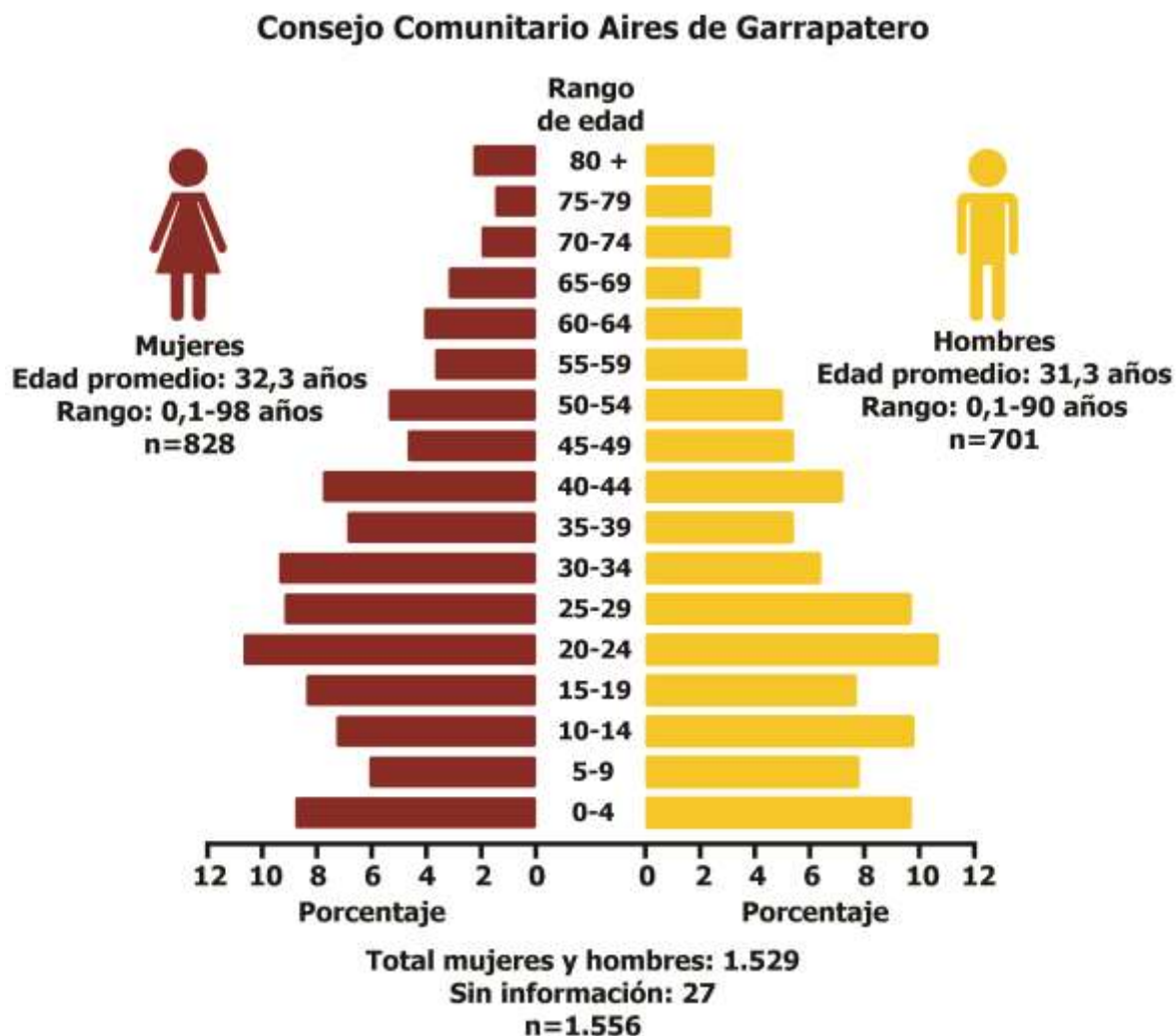


Figura 4.1. Pirámide poblacional general de los habitantes del CCAG (Departamento del Cauca, Colombia).

Por otra parte, la distribución poblacional por grandes grupos de edad del CCAG está representada por un 69,3% de mujeres y un 63,5% de hombres entre 15-64 años, seguido por la población de 0-14 años (22,0 y 27,0%, respectivamente), mientras que los adultos mayores (65+) están representados por una población inferior al 9,5% (**Figura 4.2**).



Consejo Comunitario Aires de Garrapatero

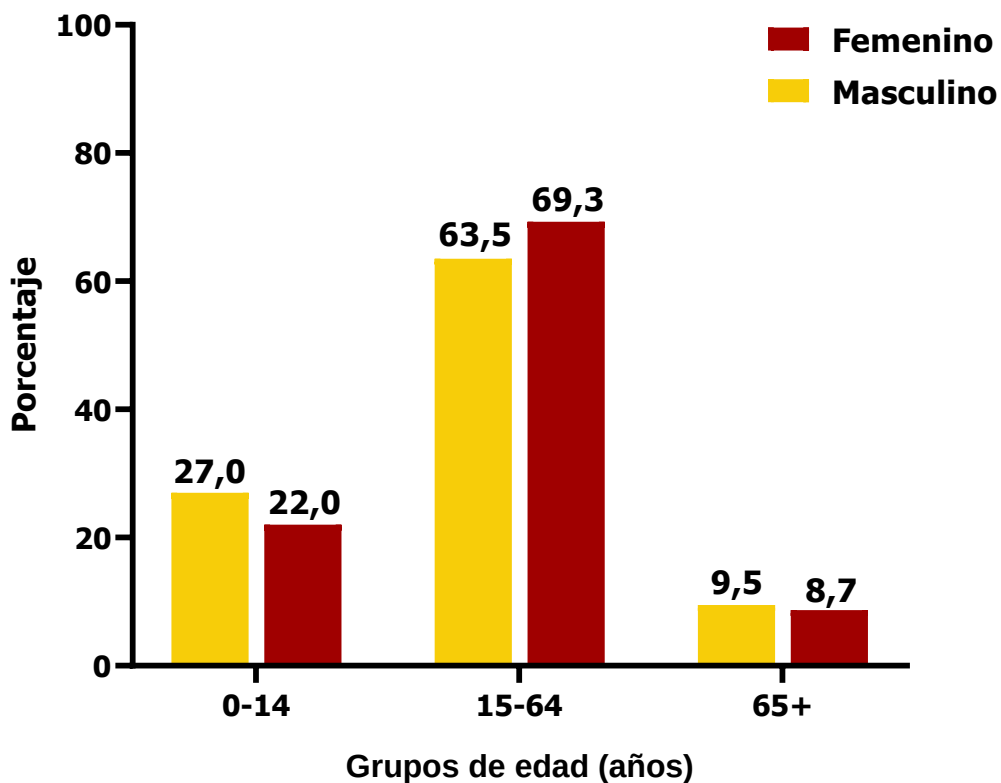


Figura 4.2. Distribución poblacional por grandes grupos de edad de los habitantes del CCAG (Departamento del Cauca, Colombia).

La pirámide poblacional general de los habitantes del CCMTM es mostrada en la **Figura 4.3**. Los resultados permitieron observar una población de 1.942 individuos, donde un n=35 no reporta información para edad y género; así mismo, un n = 1.026 de mujeres y n=881 de hombres fue encontrado, con una edad promedio de 34,0 años y 31,1 años, respectivamente. En este consejo comunitario el número de población es superior con respecto al CCAG.



Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y microcuenca del río Teta-Mazamorrero

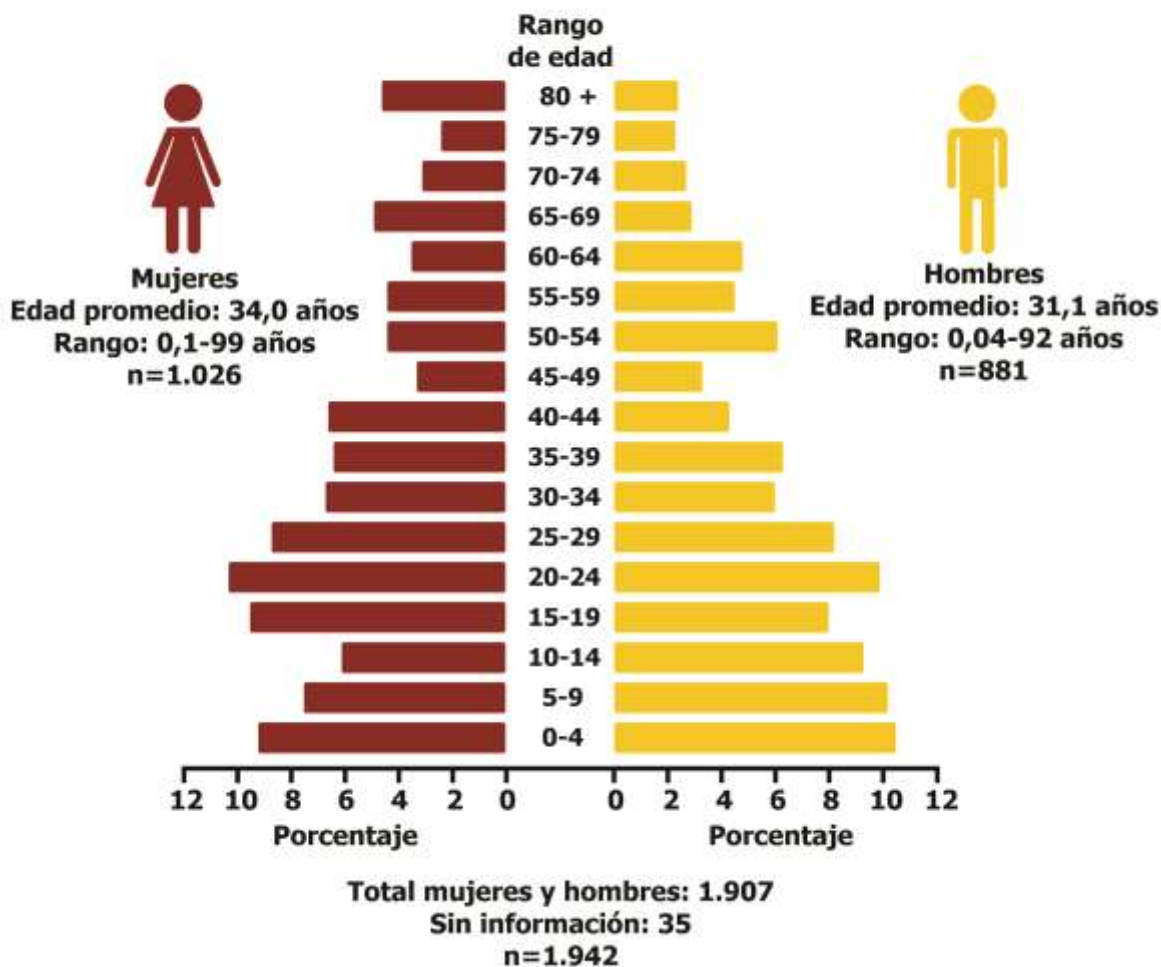


Figura 4.3. Pirámide poblacional general de los habitantes del CCMTM (Departamento del Cauca-Colombia).

El análisis de la distribución de población por grandes grupos etarios es presentado en la **Figura 4.4**, en donde se indica que la comunidad está representada en un 62,9 y 60,4% por mujeres y hombres, respectivamente, entre 15-64 años. Además, se ubica la población entre las edades 0-14 años con un 22,5% de mujeres y un 29,7% de hombres. Finalmente, la población de edad avanzada (65+) está representada por el 14,6% de mujeres y el 9,9% de hombres.



Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y microcuenca del río Teta-Mazamorrero

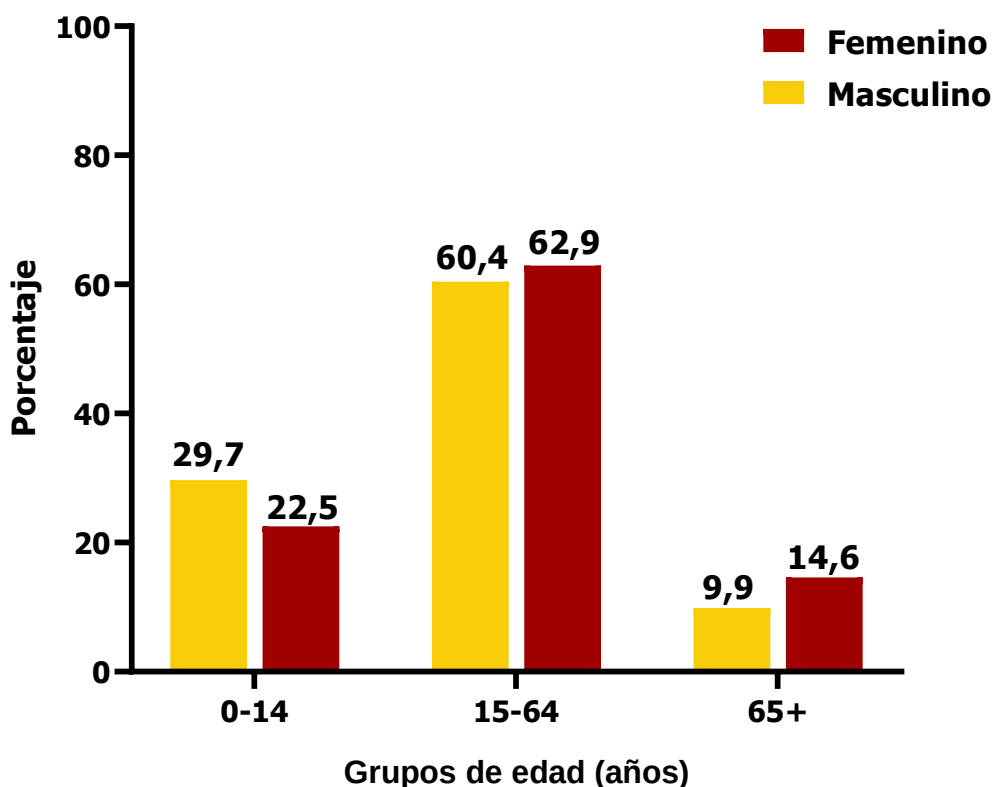


Figura 4.4. Distribución poblacional por grandes grupos de edad de los habitantes del CCMTM (Departamento del Cauca-Colombia).

En esta investigación, el estudio sociodemográfico se realizó con n=381 participantes del Consejo Comunitario Aires de Garrapatero y n=524 participantes del Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero.

Las variables sociodemográficas para cada subgrupo poblacional aparecen en la **Tabla 4.1**. Los resultados informan que, al evaluar la variable relacionada con la ocupación, las actividades agropecuarias destacan en el Consejo Comunitario Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero, con un 21,6% en comparación al 3,9% observado en el Consejo Comunitario Aires de Garrapatero. Las labores domésticas y de oficios varios son las actividades más desarrolladas por ambas poblaciones (entre el 26,5 al 38,6%) y la actividad por minería es desarrollada en un porcentaje superior al 6,5%, siendo mayor la actividad minera en el CCAG, donde el 8,1% de los participantes ejercen la minería como su principal medio de sustento.

Variables sociodemográficas como el estado civil y la escolaridad muestran que el 41,6% de la población del CCMTM conviven en unión libre, antes que convivir en un matrimonio (12,0%), mientras que el 37,4% es soltero(a). El 38,0% de la población indicó tener



estudios de primaria, el 34,9% estudios de secundaria, el 9,7% se registran como técnicos, el 3,4% indicaron tener estudios universitarios y el 2,1% son tecnólogos.

En contraste al subgrupo del CCMTM, la población perteneciente al Consejo Comunitario Aires de Garrapatero mostró preferencia por la convivencia en matrimonio (24,9%), un 34,9% de la población es soltero(a) y un 34,9% está en una unión libre. La variable escolaridad para la población del CCAG indicó que 54,3% tienen educación secundaria, el 28,4% educación primaria, el 11% son técnicos, el 4,5% tienen estudios universitarios y el 1,3% son tecnólogos.

Más del 99% en ambos subgrupos pertenecen al estrato 1. El 90,3% de la población del CCAG manifestó un número de familia reducido (máximo 2 integrantes), el 5% tiene más de 5 familiares y el 4,7% está conformado por 3 a 4 familiares. En contraste al CCAG, el 99,4% de la población estudio del CCMTM manifestó un número de familiares de máximo 2.

El 60,4% y 66,8% de los individuos del CCAG y CCMTM, respectivamente, refirió que la vivienda era propia, mientras que el 30,4% y el 25,2% de ambos subgrupos poblacionales manifestaron que las viviendas pertenecían a familiares. Sólo el 9,2% de la población del CCAG y el 7,4% de la población del CCMTM, se ubican en viviendas arrendadas.

En relación con el tratamiento de agua de bebida, más del 70% manifestó que el agua empleada para su consumo no es potable, sólo el 19,1% de la población del CCMTM hierve el agua antes de consumir; porcentaje que es ligeramente inferior en la población del CCAG (13,1%). Menos del 7% de la población utiliza otros métodos sencillos para el saneamiento del agua como son la filtración y la cloración.

Tabla 4.1. Características sociodemográficas de los participantes de los CCAG y CCMTM.

Característica	Condición	Frecuencia (%)	
		CCAG, n=381*	CCMTM, n=524*
Ocupación	Actividades agropecuarias	3,9	21,6
	Labores domesticas	38,6	33,6
	Minería	8,1	6,5
	Oficios varios	35,2	26,5
	Otro	13,7	11,6
	Sin información	0,5	0,2
Estado civil	Casado(a)	24,9	12,0
	Divorciado(a)	1,1	1,0
	Soltero(a)	34,9	37,4
	Unión libre	34,9	41,6
	Viudo(a)	4,2	8,0
Escolaridad	Ninguna	0,5	11,8
	Primaria	28,4	38,0
	Secundaria	54,3	34,9
	Técnico	11,0	9,7
	Tecnólogo	1,3	2,1
	Universidad	4,5	3,4
Estrato	1	100	99,8
	2	0,0	0,2



Continuación **Tabla 4.1.**

Característica	Condición	Porcentaje	
		CCAG, n=381*	CCMTM, n=524*
Número de familias	1 a 2	90,3	99,4
	3 a 4	4,7	0,6
	más de 5	5,0	0,0
Tipo de vivienda	Arrendada	9,2	7,4
	Propia	60,4	66,8
	Familiar	30,4	25,2
	Sin información	0,0	0,6
Tratamiento del agua de bebida	Ninguno	78,7	70,4
	Cloración	3,4	3,4
	Filtración	4,5	6,3
	Hervido	13,1	19,1
	Hervido y cloración	0,3	0,8

*. Hogares encuestados.

Los ingresos y egresos del CCAG son presentados en la **Figura 4.5.** En este análisis se observa que alrededor de un 20% de la población, sufragan los gastos de manutención con un ingreso que va desde \$600.000 a < \$1.000.000 (en pesos colombianos), menos del 40% percibe un ingreso menor que \$600.000, y un porcentaje similar de la población percibe un ingreso superior a \$1.000.000.

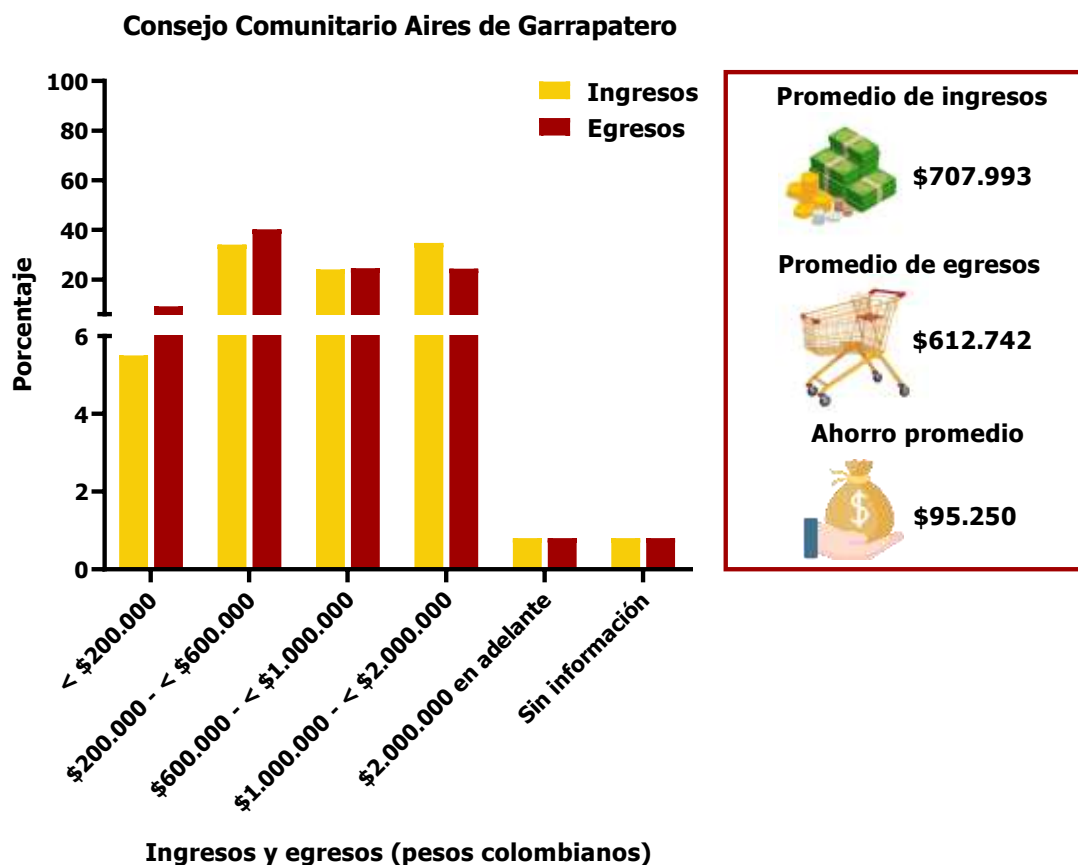


Figura 4.5. Ingresos y egresos mensuales de los participantes del CCAG.



Los resultados de la información relacionada con los ingresos y egresos son mostrados en la **Figura 4.6**. En contraste a lo observado en el CCAG, alrededor de un 10% de la población global objeto de estudio del CCMTM no registra la información de sus ingresos. Se observa que aproximadamente un 40% de la población del CCMTM percibe un ingreso que va desde \$200.000 a \$600.000 (pesos colombianos), y sólo el 20% tiene un ingreso menor a los \$2.000.000.

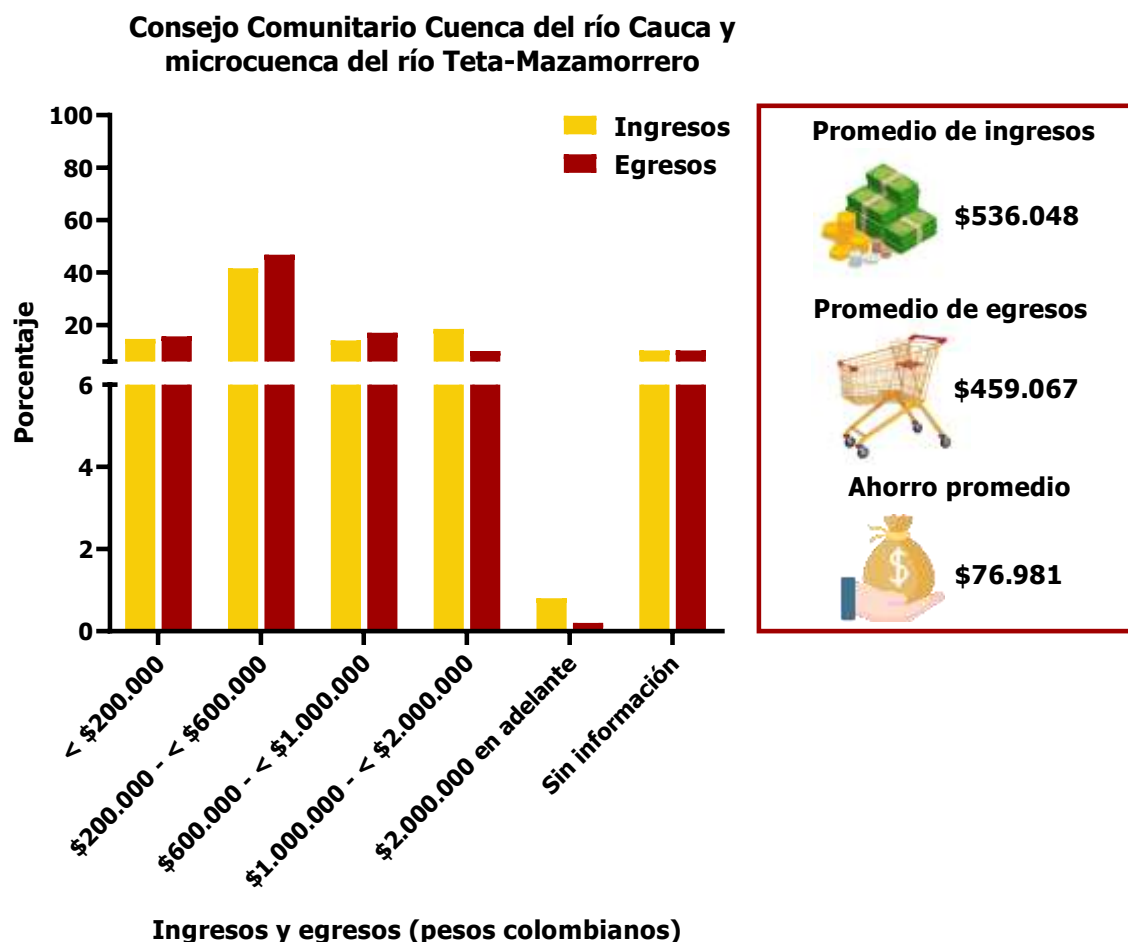


Figura 4.6. Ingresos y egresos mensuales de los participantes del CCMTM.

El acceso a servicios públicos por parte de los participantes de los CCAG y CCMTM es detallado en la **Figura 4.7**. Considerando el acceso a los servicios públicos, los participantes de los CCAG y CCMTM tienen garantizada la energía eléctrica. Sin embargo, el servicio de gas propano varía entre ambas poblaciones, es decir, un 90,6% de la población del CCAG se beneficia de manera óptima con el mismo, mientras que se calcula que el 21,4% de la población del CCMTM se ve afectada por la falta del suministro de gas propano. Un porcentaje menor al 70% de la población en ambos consejos comunitarios reportaron el uso óptimo del servicio de acueductos y el 46,7% de los participantes del CCAG expresó contar con el sistema de alcantarillado, el cual representa un porcentaje superior al reflejado por los participantes del CCMTM (24,6%). Finalmente, el servicio de recolección y el acceso a conexión de internet están limitados en ambos consejos



comunitarios y se observó una mínima disponibilidad que favorece a los participantes del CCAG.

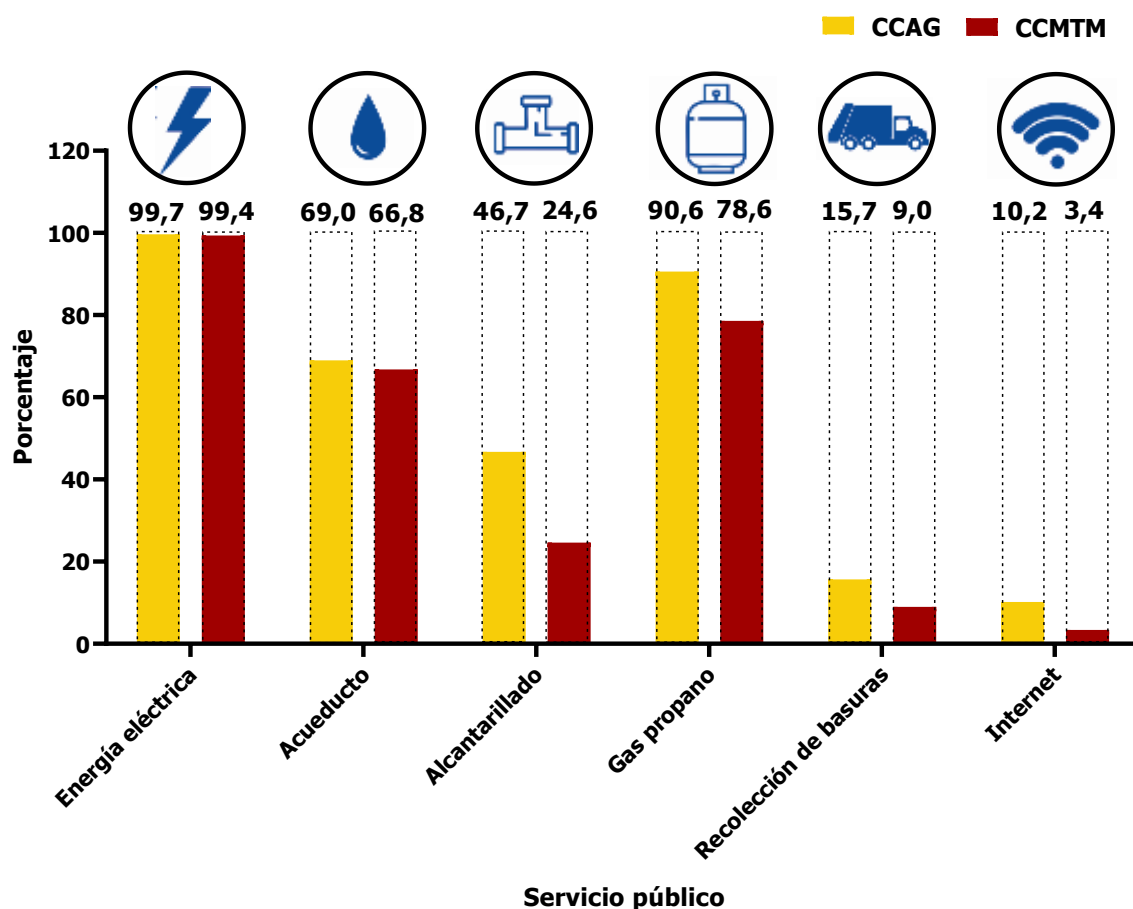


Figura 4.7. Acceso a servicios públicos por parte de los participantes de los CCAG y CCMTM.

4.3. CONCLUSIONES

La estadística poblacional de los habitantes del CCAG y CCMTM mostró que en ambos consejos comunitarios predominan las mujeres, con grandes grupos de edades comprendidas entre los 15-64 años.

Las labores domésticas y los oficios varios son las actividades más frecuentes desempeñadas por los participantes, mientras que las desarrolladas en minería de oro son muy poco frecuentes.

El tipo de seguridad social de los participantes fue principalmente subsidiado (>50%).



Los participantes de ambos consejos habitan en viviendas propias o de familiares ubicadas en estrato 1, la mayoría sin acceso a agua potable.

En los participantes prevalece un nivel de educación primaria o secundaria.

El ingreso mensual de los habitantes de los consejos comunitarios está por debajo del salario mínimo legal vigente en Colombia para los años 2020 y 2021.

El acceso a los servicios públicos domiciliarios en los dos consejos comunitarios es precario. Cerca del 30% de la población carece de acueducto y más del 50% de alcantarillado. La recolección de basuras y el acceso a internet son muy bajos.

4.4. RECOMENDACIONES

Mejorar el acceso a agua potable y la gestión de residuos sólidos para la población.

El mejoramiento de la infraestructura en salud y educación, así como el acceso a servicios públicos en los consejos comunitarios es un requisito para evitar un mayor deterioro de su situación socio-económica.



CAPÍTULO V

CONDICIONES DE SALUD DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO (NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS, MUJERES EMBARAZADAS Y ADULTOS MAYORES)

5.1. INTRODUCCIÓN

Las personas que viven en las proximidades de las zonas de minería aurífera artesanal son vulnerables a la exposición al Hg. Uno de los principales problemas de este metal es su capacidad para causar neurotoxicidad ([Grandjean et al. 1999](#), [Woods et al. 2013](#)) y teratogénesis ([Heinz et al. 2011](#)), así como lesiones en órganos tales como el hígado y los riñones ([Sonne et al. 2013](#)). Gran parte de la neurotoxicidad de este elemento ha sido asociada con su capacidad de alcanzar el cerebro mediante la unión a cisteína y utilizando el transportador de aminoácidos neutros ([Aschner et al. 1990](#)). A través de este proceso, el complejo metilmercuriocisteína atraviesa la barrera placentaria y llega al feto, donde el sistema nervioso en desarrollo es particularmente sensible a sus efectos ([Kajiwara et al. 1996](#)). Por lo tanto, estas alteraciones hacen a la vida prenatal más susceptibles al daño cerebral que los adultos ([Sakamoto et al. 2018](#)). De hecho, la exposición prenatal al Hg ha sido asociado con factores de riesgo para la reproducción, incluyendo nacidos muertos, bajo peso al nacer y anomalías congénitas ([Nyanza et al. 2018](#)). Así mismo, [Vigeh et al. \(2018\)](#) reportaron que las mujeres tanto embarazadas como en edad reproductiva deben evitar la exposición a este elemento, incluso a niveles bajos, debido a sus efectos potencialmente adversos sobre el desarrollo fetal. Hg también altera el glutatión celular, lo que resulta en la generación de estrés oxidativo ([Lebel et al. 1998](#)).

En Colombia, datos epidemiológicos en relación con los riesgos en la salud debido a la contaminación generada por minería de oro son escasos. Algunos estudios han sido centrados en el monitoreo de los niveles de mercurio total en cabello humano, estimación del riesgo de acuerdo con la ingesta de pescado y relación de algunos síntomas característicos de la intoxicación por el metal ([Olivero-Verbel et al. 2011b](#), [Salazar-Camacho et al. 2017](#)). De hecho, diferentes aproximaciones de evaluación de riesgos en salud por la exposición ambiental a mercurio en áreas protegidas como el Parque Nacional Natural Yaigójé Apaporis en el Amazonas colombiano, en donde altos niveles de Hg (promedio: 23,0 µg/g (rango: 2,6–63,7 µg/g) en las comunidades indígenas fueron reportados por [Valdelamar-Villegas and Olivero-Verbel \(2020\)](#). Cabe destacar que estas comunidades no son mineras; la contaminación deriva de la ingesta de pescados contaminados con mercurio. De igual forma, [Olivero-Verbel et al. \(2016\)](#) reportaron concentraciones de mercurio superiores a las aceptadas a nivel internacional por la USEPA (1 µg/g, promedio: 17,29 µg/g; rango: 1,2- 47,0 µg/g; 79% de las muestras mostraron niveles más altos de 10 µg/g) en indígenas que habitan a lo largo del río Caquetá (Amazonas colombiano); mostrando que, aunque no existen actividades de minería aurífera cerca de estas poblaciones, en aguas arriba del río, la minería artesanal es extensa. Además, a lo largo del río, los mineros usan botes del tamaño de una casa con la que extraen sedimentos del lecho del río tratados en el sitio con Hg para recolectar el oro, liberando el metal tóxico directamente a la corriente.

Los humanos están continuamente y cada vez más expuestos a bajas dosis de una gran cantidad de productos químicos a través de diferentes fuentes y rutas, como los



alimentos, bebidas, agua, drogas, aire y absorción a través de la piel. Muchos de estos químicos son persistentes y pueden ser acumulados en los tejidos animales, biomagnificarse a través de la cadena trófica, y de esta forma puede contribuir a muchas enfermedades crónicas, aumentando así las preocupaciones de la población general sobre los posibles efectos tóxicos de la exposición a combinados productos químicos ([Hernández et al. 2019](#)). En caso de los metales tóxicos como el Hg, los temas de interés actuales se relacionan con la contaminación generalizada por la forma más tóxica del metal (MeHg) y la exposición del consumo de pescado, las implicaciones, y la necesidad de proporcionar conciencia y orientación a las comunidades en general, especialmente a las más vulnerables (mujeres en edad fértil, recién nacidos y niños), junto con consideraciones de riesgo-beneficio, y el creciente conocimiento del efecto dosis-respuesta relacionados con biomarcadores internos y externos, haciendo énfasis en datos cuantitativos de las concentraciones de biomarcadores y niveles de preocupación para la salud ([Fan et al. 2019](#)).

En la mayoría de los estudios epidemiológicos y de exposición al Hg son realizados mediante análisis de cabello ([Kwaansa-Ansah et al. 2019](#)), sangre ([Achmadi et al. 2018](#)) u orina ([Kwaansa-Ansah et al. 2019](#)). Actualmente, en el ámbito internacional, varios estudios han mostrado que la exposición de las poblaciones que viven en áreas de influencia minera presenta altos niveles de Hg y que estos pueden estar relacionados con problemas neurológicos, teratogénicos, de susceptibilidad genética, entre otros. [Eltaib et al. \(2019\)](#) reportaron que en el área de minería de oro de Altwahen en Sudán (África) el 98% de las muestras de orina excedió la concentración de 100 µg/L, para la exposición a mercurio urinario, así mismo encontraron la concentración de Hg más alta en todo el mundo (10.250 µg/L), así como altos incidentes de síntomas neurológicos asociados con la neurotoxicidad. Por su parte, [Afrifa et al. \(2018\)](#) encontraron que 58,4% de los mineros de oro a pequeña escala en Bibiani (Ghana, África) tenían niveles de mercurio por encima del umbral ocupacional (≥ 5 µg/L) que puede afectar los niveles de hormona tiroidea. [Idris et al. \(2019\)](#) indicaron que todas las muestras de cabello de mineros tradicionales (rango: 3.02-8.34 mg/kg) del área de Butana al este de Sudán (África) excedieron el límite permitido establecido por la agencia de protección ambiental y Organización Mundial de la Salud.

Es importante mencionar que en la mayoría de estudios relaciones se enfocan en el papel de los genes relacionados con el tripéptido glutatión (GSH), como el principal mecanismo de eliminación de mercurio (tanto para Hg inorgánico como orgánico) que es mediante conjugación ([Ballatori 2002](#)). Otros sistemas de relevancia para la eliminación de MeHg y Hg inorgánico y a su vez de toxicidad son las metalotioneínas (MTs) y genes que codifican transportadores (ABC, OAT y LAT). Además, algunos genes con función clave en el sistema nervioso han sido evaluados para neurotoxicidad por este metal; los factores genéticos pueden modular la respuesta a químicos neurotóxicos.

Con relación a la exposición a Hg varios polimorfismos genéticos han sido identificados. [Kolbinger et al. \(2019\)](#) sugirieron que ciertos polimorfismos de transportadores potenciales de Hg como ABCC2 rs1885301 pueden influir en los efectos neurotóxicos en individuos con mercurio, de hecho, ha sido reportado relaciones del polimorfismo de MRP2 rs1885301 con altos niveles de Hg en orina en poblaciones expuestas a vapores de Hg en mineros de oro en Zimbabwe (África) ([Engström et al. 2013](#)). Otros autores han asociado los



polimorfismos genéticos con los niveles de Hg en cabello, sangre y orina ([Parajuli et al. 2016](#)). Además, las vías del glutatión (GSH) juegan un rol clave en el metabolismo y eliminación de neurotóxicos como el MeHg. Ha sido reportado una variación genética materna en los genes involucrados en la síntesis de GSH (GCLC rs761142) asociada con las concentraciones de Hg en el cabello materno ([Parajuli et al. 2016](#)). Con los desarrollos en espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente y colector múltiple (MC-ICP-MS). Las aplicaciones de isótopos metálicos estables recibieron cada vez más atención en los estudios de origen y destino de metales pesados en el medio ambiente. Algunos estudios sobre isótopos estables naturales de Hg han sido realizados para identificar la fuente de exposición a MeHg y vapores de Hg ([Sherman et al. 2013](#), [Li et al. 2014](#), [Sherman et al. 2015](#)).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en este capítulo se describe el estado de salud de las comunidades vulnerables de los territorios colectivos Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y microcuenca del río Teta-Mazamorrero basado en las mediciones de Hg en muestras biológicas, análisis bioquímico, hematológico, valoración médica, entre otros.

5.2. RESULTADOS Y DISCUSION

5.2.1 NIVELES DE Hg EN MUESTRAS BIOLÓGICAS (CABELLO, SANGRE Y ORINA)

Los niveles de Hg-t para muestras de cabello, sangre y orina de los tres grupos poblacionales de los dos consejos comunitarios son presentados en la **Figura 5.1** y **Tabla 5.1**. Los valores promedio de Hg-t en cabello en niños y embarazadas fueron más bajo que en los adultos, pero similares en ambos consejos. De otro modo, las mujeres embarazadas de CCMTM presentaron niveles ligeramente superiores que las participantes de CCAG que solo fueron significativas en la matriz, sangre ($p<0,05$). De otro modo, las concentraciones de Hg-t en orina de los adultos CCMTM fueron ligeramente superiores que en los adultos del CCAG ($p=0,08$).

Tabla 5.1. Concentraciones de Hg-t en cabello, sangre y orina de los participantes pertenecientes a los CCAG y CCMTM.

Grupos poblacionales	Cabello ($\mu\text{g/g}$)	Sangre ($\mu\text{g/L}$)	Orina ($\mu\text{g/L}$)
CCAG			
Niños	$0,21 \pm 0,02$ (LD-0,57)* n=49	$1,07 \pm 0,09$ (0,37-4,22) n=43	$1,15 \pm 0,29$ (0,06-9,54) n=44
Embarazadas	$0,21 \pm 0,06$ (0,02-0,89) n=14	$0,97 \pm 0,07$ (0,58-1,46) n=14	$1,08 \pm 0,24$ (0,13-3,30) n=14
Adultos	$0,42 \pm 0,06$ (0,001-2,97) n=80	$1,42 \pm 0,13$ (0,16-7,87) n=78	$0,42 \pm 0,07$ (LD-2,74) n=70
CCMTM			
Niños	$0,22 \pm 0,04$ (0,01-1,03)	$1,17 \pm 0,14$ (0,49-4,61)	$1,51 \pm 0,31$ (0,07-7,39)



	n=32	n=30	n=30
Embarazadas	0,29 ± 0,08 (0,07-0,87) n=11	1,73 ± 0,040 (0,71-5,36) n=11	0,91 ± 0,22 (0,02-2,18) n=11
Adultos	0,47 ± 0,05 (0,001-5,84) n=100	2,11 ± 0,15 (0,24-41,63) n=100	0,48 ± 0,06 (LD-6,99) n=103

*. Datos presentados como la media ± error estándar de la media, rango de las concentraciones de Hg-t entre paréntesis.

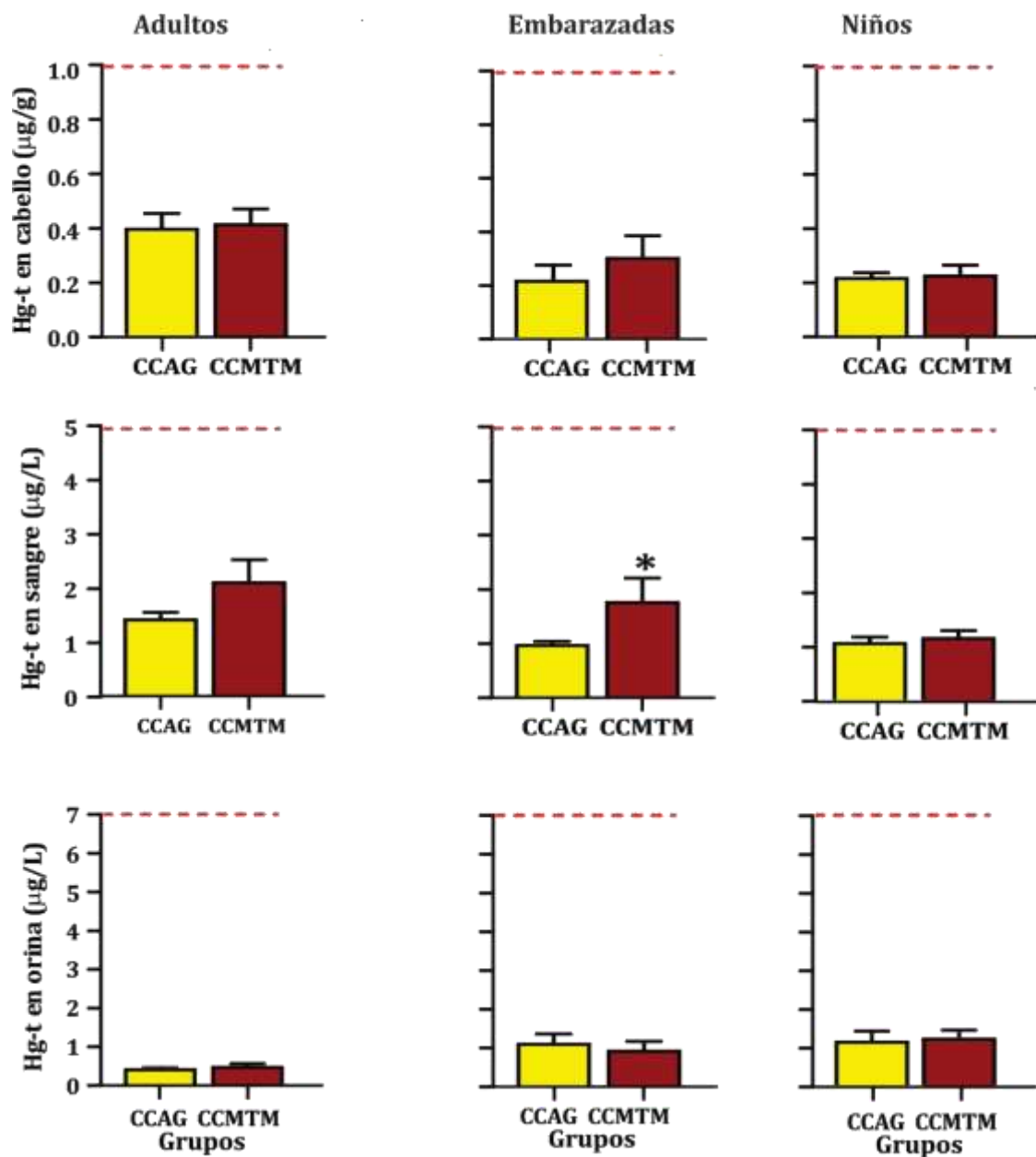


Figura 5.1. Niveles de Hg en muestras biológicas (cabello, sangre y orina).



5.3. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE SALUD

5.3.1. Encuesta de salud y valoración médica

Las distribuciones de los participantes que respondieron a la encuesta de salud de acuerdo consejo comunitario y vereda son mostradas en la **Figura 5.2**. En total 300 participantes quedaron incluidos en el estudio. Los grupos estuvieron conformados por 192 adultos (64%), 25 mujeres embarazadas (8,3%) y 83 niños (27,3%). De los cuales, el 47,3% (n=143) provinieron del CCMTM y 52,3% eran de CCAG (n=157). Como era de esperarse el CCMTM la mayoría de los adultos (14,58%) y niños (12%) procedían de la vereda La Balsa. Por su parte, en el CCAG la mayor participación fue de la vereda San Antonio con 19,79% de adultos, 36,00% de las embarazadas y 32,53% de los niños.

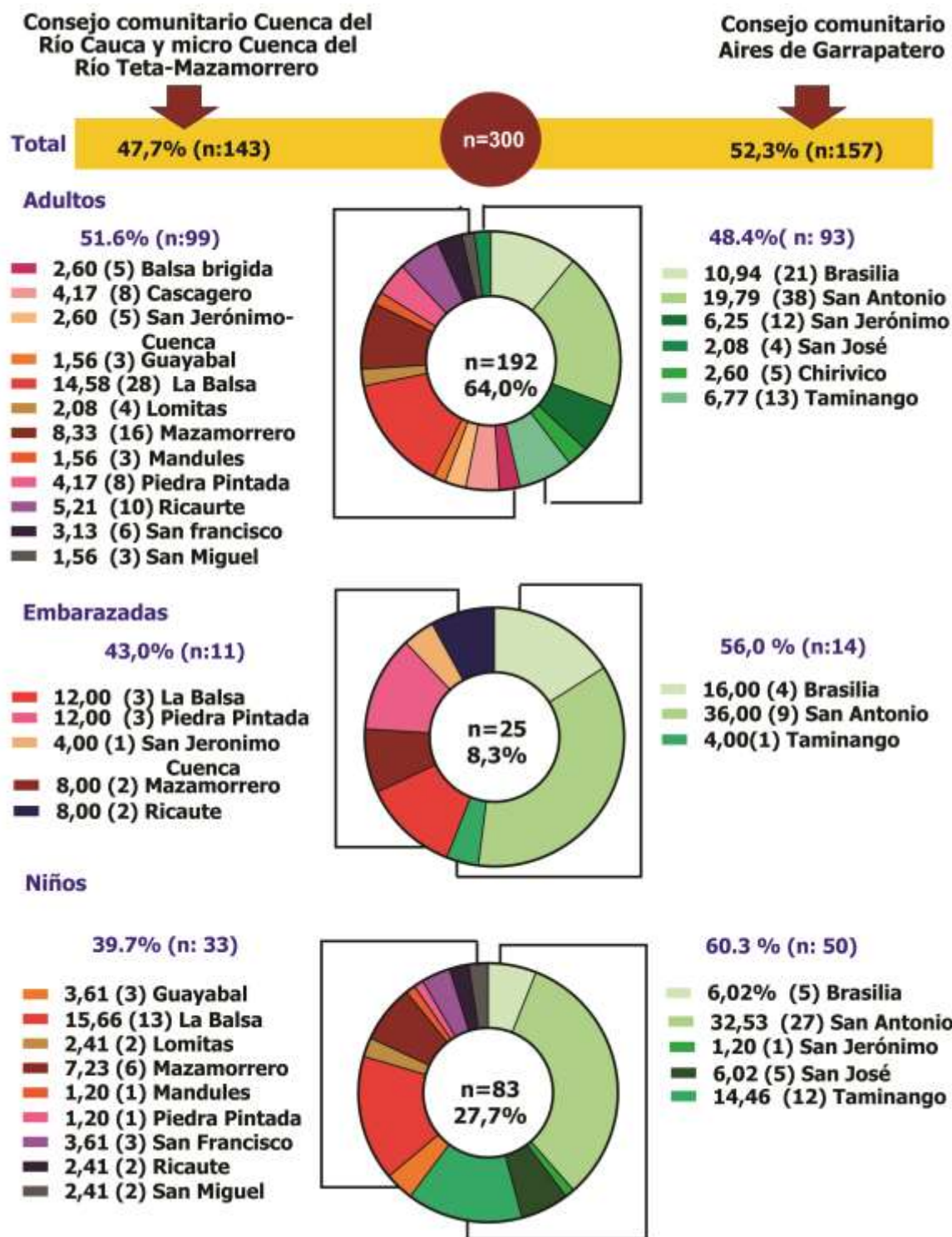


Figura 5.2. Distribución de los participantes que realizaron la encuesta de salud por Consejo comunitario, vereda y grupos: Embarazadas, Niños, Adultos.

Dadas las particularidades de los grupos poblacionales evaluados a continuación son mostrados los resultados de la encuesta general de salud y valoración médica por cada grupo realizando comparaciones entre los dos consejos comunitarios.



Encuesta de salud y valoración médica- Adultos: Las comparaciones de las variables evaluadas en la encuesta general de salud para el grupo de los adultos entre los consejos comunitarios son presentadas en **Tabla 5.2**. La edad difirió entre los dos consejos ($p<0,05$) con un promedio total de $70,0\pm0,6$ años. El porcentaje de participación de hombres y mujeres fue diferente con una mayor participación de mujeres (61,5%) que de hombres (38,5%). La ocupación mostró patrones significativamente diferentes entre los consejos comunitarios ($p=0,006$), pese a que los oficios varios predominaron en ambos lugares, las actividades agropecuarias se presentaron con mucha mayor frecuencia en el CCMTM (26,2%) que en el CCAG (4,3%), además la minería fue ejercida en CCMTM (10,1%). Ahora bien, el nivel de escolaridad de este grupo fue primaria en un 67,8%. En otro sentido, los hábitos saludables como hacer actividad física solo estuvo presente en el 28,1% de los participantes y el 39,1% manifestó sufrir de depresión. Lo que concierne a la alimentación, la frecuencia de consumo de granos, y pescado es mayor en el CCMTM con porcentajes de 94,6 y 100% respectivamente. Mientras que el consumo de carne fue más frecuente en el CCAG (97,8%).

Tabla 5.2. Variables asociadas con el estado de salud en adultos de los CCAG y CCMTM.

Variables	Consejos comunitarios		Total	Estadística	p-valor
	CCAG n=93 (%)	CCMTM n=99 (%)	n=192 (%)		
Edad	70,9±0,8	69,2±0,8	70,0±0,6	U: 1675	0,035
<i>Sexo del adulto</i>					
Femenino	51 (54,8)	67 (67,7)	118 (61,5)	X²: 3,337	0,033
Masculino	42 (45,2)	32 (32,3)	74 (38,5)		
<i>Ocupación del adulto</i>					
Actividades agropecuarias	4 (4,3)	26 (26,3)	30 (15,6)	X²: 30.61	<0,001
Labores Domésticas	24 (25,8)	22 (22,2)	46 (24)		
Minería	3 (3,2)	10 (10,1)	13 (6,8)		
Ninguna	0 (0)	1 (1,0)	1 (0,5)		
NR	1 (1,1)	0 (0)	1 (0,5)		
Oficios varios	46 (49,5)	34 (34,3)	80 (41,7)		
Otros	15 (16,1)	6 (6,1)	21 (10,9)		
<i>Escolaridad del adulto</i>					
Ninguna	13 (14)	15 (15,2)	28 (14,6)	X²: 6,234	0,2841
Primaria	63 (67,7)	69 (69,7)	132 (68,7)		
Secundaria	14 (15,0)	10 (10,1)	24 (12,5)		
Técnico	0 (0)	4 (4,0)	4 (2,1)		
Tecnólogo	1 (1,1)	0 (0)	1 (0,5)		
Universitario	2 (2,2)	1 (1,0)	3 (1,6)		
<i>Practica deporte</i>					
Sí	37 (39,8)	17 (17,2)	54 (28,1)	X²: 13,03	0,001
No	54 (58,1)	82 (82,8)	136 (70,8)		
NR	2 (2,1)	0 (0)	2 (1,0)		
<i>Sufre de ansiedad</i>					
Si	42 (45,2)	33 (33,3)	75 (39,1)	X²: 4,103	0,128



No	50 (53,8)	66 (66,7)	116 (60,4)		
NR	1 (1,0)	0 (0)	1 (0,5)		
<i>Consume pan</i>					
Sí	86 (92,2)	87 (87,9)	173 (90,1)	X²: 1.18	0,1381
No	7 (7,5)	12 (12,1)	19 (9,9)		
<i>Consume granos</i>					
Sí	88 (94,6)	86 (86,9)	174 (90,6)	X²: 3.39	0,032
No	5 (5,4)	13 (13,1)	18 (9,4)		
<i>Consume verduras</i>					
Sí	92 (98,9)	97 (98)	189 (98,4)	X²: 2.54	0.055
No	1 (1,1)	2 (2,0)	3 (1,6)		
<i>Consume frutas</i>					
Sí	92 (98,9)	93 (93,9)	185 (96,4)	X²: 3.48	0,174
No	1 (1,1)	5 (5,1)	6 (3,1)		
NR	0 (0)	1 (1,0)	1 (0,5)		
<i>Consume pescado</i>					
Sí	93 (100)	92 (92,9)	185 (96,4)	X²:6,827	0,005
No	0 (0)	7 (7,1)	7 (3,6)		
<i>Consume carne</i>					
Sí	91 (97,8)	90 (90,9)	181 (94,3)	X²:4,277	0,019
No	2 (2,2)	9 (9,1)	11 (5,7)		
<i>Consume plátano</i>					
Sí	93 (100)	92 (92,9)	185 (96,4)	X²: 6,825	0,005
No	0 (0)	7 (7,1)	7 (3,6)		
<i>Consume pescado enlatado</i>					
Si	71 (76,3)	57 (57,6)	128 (66,7)	X²: 7,601	0,002
No	22 (23,7)	42 (42,4)	64 (33,3)		
<i>Vive en una mina (entorno)</i>					
Sí	5 (5,4)	22 (22,2)	27 (14,1)	X²: 12,14	0,002
No	87 (93,5)	77 (77,8)	164 (85,4)		
NR	1 (1,1)	0 (0)	1 (0,5)		
<i>Vive cerca de vías del tránsito</i>					
Sí	42 (45,2)	72 (72,7)	114 (59,4)	X²: 15,11	<0,001
No	51 (54,8)	27 (27,3)	78 (40,6)		
<i>Ha manipulado azogue (entorno)</i>					
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)	X²: 1.070	0.300
No	92 (98,2)	99 (100)	191 (99,5)		
NR	1 (1,8)	0 (0)	1 (0,5)		

χ^2 : Chi cuadrado, U: U de Mann-Whitney

Los resultados de la valoración médica realizada a los adultos mayores son mostrados en la **Tabla 5.3**. Dentro de los problemas de salud más frecuentes en la población adulta valorada fue encontrado que más del 50% es hipertensa (n: 101), el 17% con problemas auditivos, en menor proporción el 2,1% tiene epilepsia y el 1,5% ha presentado cáncer.



Tabla 5.3. Valoración médica de los adultos mayores participantes de los CCAG y CCMTM.

Estado de salud	Consejos comunitarios		Total n=195
	CCAG n=91	CCMTM n=104	
<i>Problemas de fertilidad</i>			
Sí	2 (2,2)	3 (2,9)	5 (2,6)
No	89 (97,8)	101 (97,1)	190 (97,4)
<i>Sufre de asma</i>			
Sí	3 (3,3)	3 (3,2)	6 (7,7)
No	88 (96,7)	92 (96,8)	180 (92,3)
<i>Usa lentes</i>			
Sí	32 (35,2)	38 (36,5)	70 (35,9)
No	32 (35,2)	63 (60,6)	95 (48,7)
NS/NR	27 (29,7)	3 (2,9)	30 (15,4)
<i>Problema auditivo</i>			
Sí	7 (7,7)	26 (25)	33 (17,0)
No	83 (95,6)	76 (73,1)	159 (81,5)
NS/NR	1 (1,1)	2 (1,9)	3 (1,5)
<i>Presión arterial alta</i>			
Sí	47 (51,6)	54 (52)	101 (51,8)
No	44 (48,4)	50 (48)	94 (48,2)
<i>Ha tenido hepatitis</i>			
Sí	0 (0)	4 (3,8)	4 (2,1)
No	91 (100)	100 (96,2)	191 (97,9)
<i>Insuficiencia renal</i>			
Sí	9 (9,9)	12 (11,5)	21 (10,8)
No	82 (90,1)	92 (88,5)	174 (89,2)
<i>Ha tenido cáncer</i>			
Sí	3 (3,3)	0 (0)	3(1,5)
No	88 (96,7)	104 (100)	192 (88,5)
<i>Ha tenido Parkinson</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	90 (98,9)	104 (100)	194 (99,5)
NS/NR	1 (1,1)	0 (0)	1 (0,5)
<i>Ha tenido epilepsia</i>			
Sí	0 (00)	4 (3,8)	4 (2,1)
No	91 (100)	100 (96,2)	191 (97,9)
<i>Ha tenido enfermedades mentales</i>			
Sí	2 (2,2)	4 (3,8)	6 (3,1)
No	89 (97,8)	100 (96,2)	189 (96,9)
<i>Se ha realizado cirugías</i>			
Sí	61 (67)	56 (53,8)	117 (60)
No	30 (33)	48 (46,2)	78 (40)
<i>Exposición al tabaco</i>			
Sí	25 (27,5)	32 (30,8)	57 (29,2)
No	66 (72,5)	72 (69,2)	138 (70,8)



<i>Exposición a humos</i>			
Sí	74 (82,2)	86 (83,5)	160 (82,9)
No	16 (17,8)	17 (16,5)	33 (17,1)
<i>Exposición a alcohol</i>			
Sí	19 (20,9)	31 (29,8)	50 (25,6)
No	71 (78)	73 (70,2)	144 (73,8)
NR	1 (1,1)	0 (0)	1 (0,5)
<i>Sustancias alucinógenas</i>			
Sí	0 (0)	1 (1)	1 (0,5)
No	90 (98,9)	98 (98)	188 (98,4)
NS/NR	1 (1,1)	1 (1)	2 (1,0)
<i>Ha sufrido traumatismo</i>			
Sí	11 (12,1)	29 (27,9)	40 (20,5)
No	80 (87,9)	75 (72,1)	155 (79,5)

El concepto de impresión diagnóstica actual realizado en la valoración médica para los adultos mayores en ambos consejos comunitarios es mostrado en la **Figura 5.3**. La condición de hipertensión fue la más frecuente en ambos consejos. Por otra parte, la diabetes en CCAG y el sobrepeso-obesidad CCMTM ocuparon el segundo lugar de afecciones que aquejan a los adultos valorados.

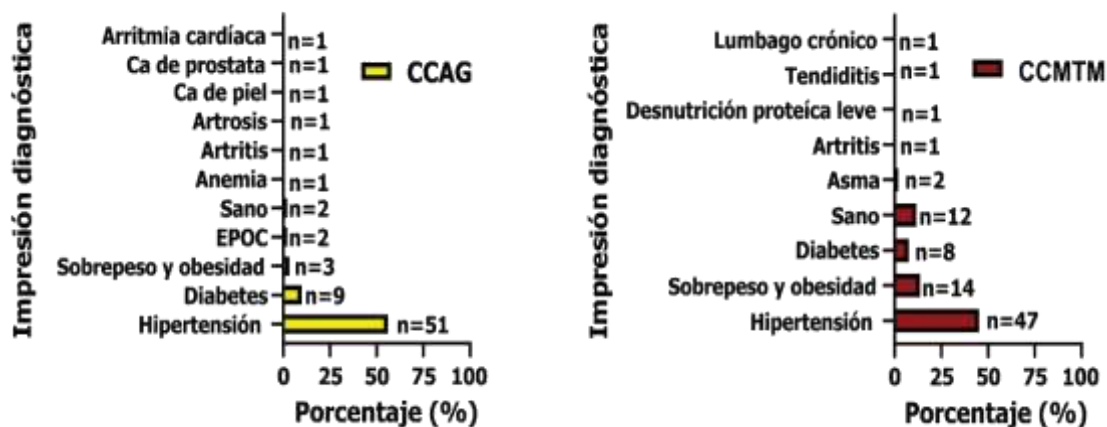


Figura 5.3. Impresión diagnóstica realizada por el médico en la valoración médica.

Dentro del componente de valoración médica se lleva a cabo la valoración antropométrica de peso y talla, determinándose el IMC, cuyos resultados arrojaron que el 42,1% (n=82 adultos) tenía sobrepeso, con un IMC que varió entre 24,2 y 46,6 m²/kg. En contraste un porcentaje menor (7,2%) tuvo un IMC <23, considerándose como bajo peso. Lo anterior indica, que solo menos de la mitad de la población adulta (48,7%) evaluada posee un buen peso y talla (**Figura 5.4**).

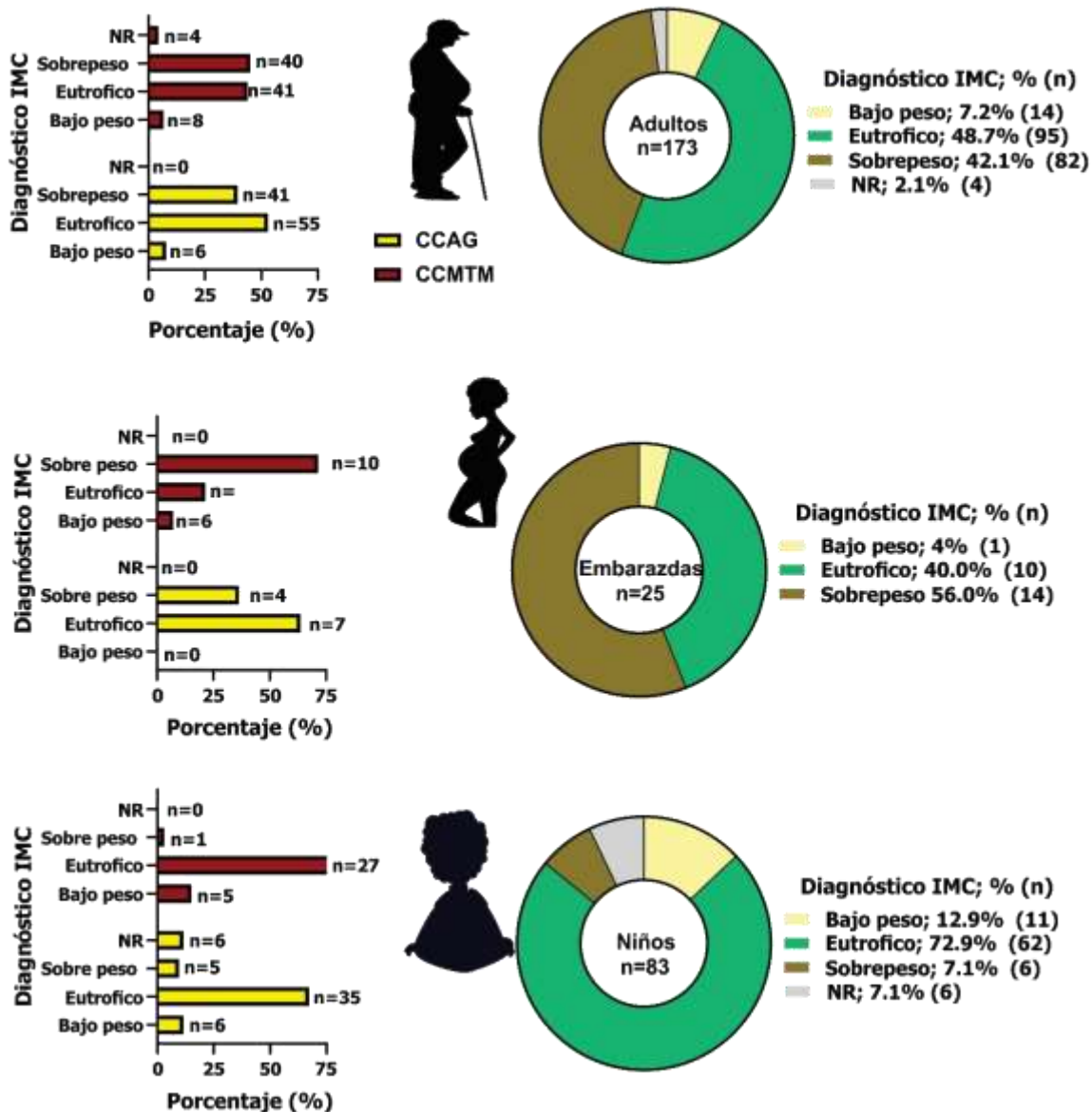


Figura 5.4. Diagnóstico de IMC realizada por el médico en la valoración médica.

Encuesta de salud mujeres embarazadas: Las comparaciones de las variables evaluadas en la encuesta general de salud entre los consejos comunitarios para las mujeres embarazadas son presentadas en **Tabla 5.4**. En general el comportamiento de las variables fue similar entre los consejos comunitarios. La edad promedio de $24,7 \pm 0,3$ años. El 39,1% de las mujeres se dedican a labores domésticas, seguido de oficios varios con 30,4 %. En cuanto al estado civil más del 60% viven en unión libre y el 26,1% son madres solteras. De manera alarmante los patrones de depresión fueron reportados en el 60,9-% de las embarazadas. Además, entre los hábitos saludables fue encontrado que muy pocas mujeres realizan actividad física. Por otra parte, el 21,5% de las participantes están expuestas a humo de segunda mano. Entre los hábitos alimenticios el consumo de



pescado mostró diferencias entre los consejos comunitarios, dado que CCMTM presentó un consumo del 100% mientras que para CCAG el consumo fue del 60,9%.

Tabla 5.4. Variables de la encuesta de salud en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.

Variables	Consejos comunitarios		Total	Estadística	p-valor
	CCAG n=13 (%)	CCMTM n=10 (%)	n (%)		
Edad	24,9±1,8	24,3±2,73	24,7±0,3	66	0,280
<i>Ocupación</i>					
Labores domésticas	6(46,1)	3(30)	9 (39,1)	χ ² : 1,78	0,619
Actividades agropecuarias	0(0)	1(10)	1(4,4)		
Oficios varios	4(30,2)	3(30)	7(30,4)		
Otros	3(23,1)	3(30)	6(26,1)		
<i>Estado civil</i>					
Soltero(a)	3(21,1)	3(30)	6(26,1)	χ ² : 1,78	0,618
Casado	0(10)	1(10)	1(4,3)		
Unión libre	9(50)	5(50)	14(60,9)		
Viudo(a)	1(10)	1(10)	2(8,7)		
<i>Practica deporte</i>					
Sí	1(7,7)	1(10)	2(8,7)	χ ² : 0,037	0,422
No	12(92,3)	9(90)	21(91,3)		
<i>Sufre de depresión</i>					
Sí	5(38,5)	4(40,0)	9(39,1)	χ ² : 0,005	0,470
No	8(61,5)	6(60,0)	14(60,9)		
<i>Consume pescado</i>					
Sí	9(69,2)	10(100)	19(57,6)	χ ² : 3,725	0,027
No	4(30,8)	0(0)	4(12,1)		
<i>Consume pescado enlatado</i>					
Sí	8(61,5)	6(60)	14(60,9)	χ ² : 0,005	0,470
No	5(38,5)	4(40)	9(39,1)		
<i>Personas que fuman en la vivienda</i>					
Sí	2(15,4)	3(30)	5(21,7)	χ ² : 0,709	0,199
No	11(84,6)	7(70)	18(78,3)		
<i>Vive cerca o trabaja en una mina de oro</i>					
Sí	3(23,1)	3(30)	6(26,1)	χ ² : 0,140	0,353
No	10(76,9)	7(70)	17(73,9)		
<i>Vive cerca de vías de tránsito</i>					
Sí	10(76,9)	5(50)	15(65,2)	χ ² : 1,806	0,085
No	3(23,1)	5(50)	8(37,8)		

Por otra parte, en la valoración médica, el 48% manifestó que algún miembro de su familia tiene alguna enfermedad grave. Correspondientemente, la Diabetes, hipertensión arterial, enfermedad coronaria fueron las patologías más destacadas con un 24,0% de los casos familiares. En contraste en la actualidad las participantes manifestaron gozar de un



buen estado de salud, informando que el 100% se encuentran libres de enfermedades como la hipertensión, cáncer, enfermedad renal, Parkinson, enfermedad mental, entre otras (**Tabla 5.5**). No obstante, el resultado de la impresión diagnóstica realizada por el médico mostró que, si bien la mayoría de las embarazadas se encuentran sin ninguna patología grave, ocho (34,8%) de las 23 mujeres evaluadas tienen obesidad, más allá el diagnóstico del IMC evidenció que más del 50% de las gestantes estaba en sobrepeso (**Figura 5.5**). Por otro lado, una tiene hipertensión, una tiene tiña capitis y una tuvo intento de suicidio con pesticidas anteriormente.

Tabla 5.5. Valoración médica de las mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.

Condición Salud	Consejos comunitarios		Total n=25
	CCAG n=14	CCMTM n=11	
Enfermedades graves (familiares)			
Sí	6(42,9)	6(54,5)	12(48,0)
No	8(57,1)	5(45,5)	13(52,0)
Enfermedades familiares			
Diabetes, hipertensión arterial, enfermedad coronaria	4(28,6)	2(18,2)	6(24,0)
Diabetes, hipertensión arterial, cáncer de seno y de cola	0(0)	2(18,2)	2(8,0)
Diabetes mellitus	1(7,1)	1(9,1)	2(8,0)
Hipertensión arterial	1(7,1)		1(4,0)
Síndrome Nehemías	0(0)	1(9,1)	1(4,0)
Ninguna	8(57,1)	5(45,5)	13(52,0)
Asma			
Sí	0(0)	1(9,1)	1(4,0)
No	14(100)	10(89,9)	24(96,0)
Hipertensión			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Insuficiencia renal			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Cáncer			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Parkinson			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Epilepsia			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Enfermedad mental			
Sí	0(0)	0(0)	0(0)
No	14(100)	11(100)	25(100)
Otra enfermedad			



Diabetes	0(0)	1(9,1)	1(4,0)
Prediabetes	0(0)	1(9,1)	1(4,0)
Trombocitopenia	1(7,1)	0(0)	1(4,0)
Ninguna	13(92,9)	9(81,8)	22(88,0)

X²: Chi cuadrado, U: U de Mann-Whitney

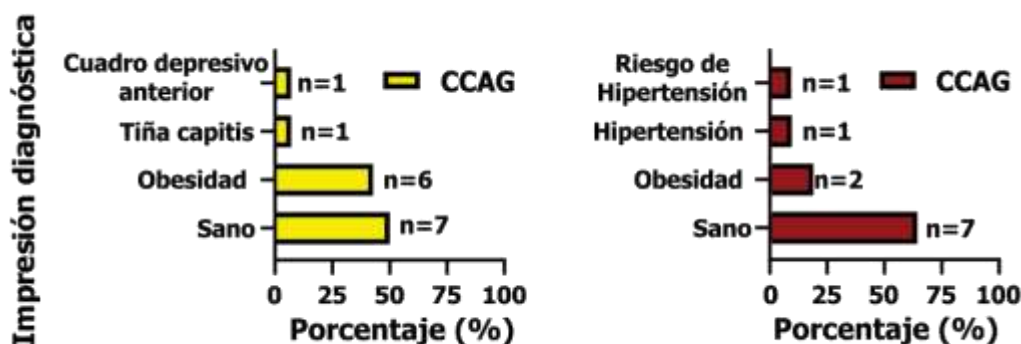


Figura 5.5. Impresión diagnóstica realizada por el médico en la valoración médica

Encuesta de salud- niños: Las comparaciones de las variables evaluadas en la encuesta general de salud para el grupo de los niños entre los consejos comunitarios son presentadas en **Tabla 5.6**. En general el comportamiento de las variables fue similar entre los consejos comunitarios. El 60,3 % de los niños participantes (n=50) provenían de CCAG y el 39,7% de CCMTM (n=50), con edad promedio de $4,1 \pm 0,1$ años, los niños y niñas tuvieron un porcentaje de participación del 50,6 y 49,4% respectivamente. Concerniente a la ocupación de los padres, estos se dedican en un 31,3% a las actividades agropecuarias, sin desconocer que el 13,3% realiza actividad minera, en el caso de las madres, más del 40% se dedican a las labores domésticas. Ahora bien, el hábito de fumar se observó en el 95,5% de los padres y solo un 4,5% de las madres. Sumado a esto el consumo de alcohol ocasional fue de 67,2 y 52,2% para padres y madres, respectivamente. En relación con los hábitos alimenticios, el consumo de pan, granos, verduras, carnes, y lácteos fueron en su mayoría superiores al 90% y no existió diferencia en el modo de alimentación en los dos consejos comunitarios. En este mismo sentido, el consumo de pescado fue predominante en los menores, de hecho, el 50% y 25,4% comen al menos una o dos veces a la semana, respectivamente. Siendo el Bocachico y la tilapia las especies más apetecidas, en esta misma línea la adquisición de los mismos ocurre en el mercado en un 40,3%.



Tabla 5.6. Variables asociadas con el estado de salud en niños de los CCAG y CCMTM.

Tabla 6. Variables asociadas con el Estado de salud de niños de 6 años de los CCAG y CCMTM					
Variables	Consejos comunitarios CCAG n=50 (%)	CCMTM n=33 (%)	Total n= 83 (%)	Estadística	p-valor
Edad del niño	4,2±0,1	4,2±0,2	4,2±0,1	U: 313,5	0,188
<i>Sexo del niño</i>					
Femenino	28 (56)	13 (39,4)	41 (49,4)	χ ² : 2,193	0,069
Masculino	22 (44)	20 (60,6)	42 (50,6)		
<i>Variables acerca del padre</i>					
Edad del padre	34,2±1,3	31,9±1,2	33,2±0,9	U: 357,5	0,065
<i>Vive cerca de una mina de oro (padre)</i>					
Sí	8 (16)	8 (24,2)	16 (19,3)	χ ² : 3,892	0,142
No	29 (58)	22 (66,7)	51 (61,4)		
NR	13 (26)	3 (9,1)	16 (19,3)		
<i>Escolaridad del padre</i>					
Primaria	3 (6)	7 (21,2)	10 (12)	χ ² : 6,981	0,222
Secundaria	29 (58)	20 (60,6)	49 (59)		
Tecnólogo	1(2)	1 (3)	2 (2,4)		
Universitario	2 (4)	1 (3)	3 (3,6)		
Ninguna	2 (2)	1 (3)	3 (3,6)		
NA	13(26)	3 (9,1)	16 (19,3)		
<i>Ocupación del padre</i>					
Minería	7 (14)	1 (3)	8 (9,6)	χ ² : 25,13	0,001
Actividades agropecuarias	4 (8)	18 (54,5)	22 (26,5)		
Oficios varios	10 (20)	7 (21,2)	17 (20,5)		
Otros	15 (30)	4 (12,1)	19 (22,9)		
Labores domésticas	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
NA	13 (26)	3 (9,1)	16 (19,3)		
<i>Consumo de alcohol del padre</i>					
Ocasional	24 (48)	21 (63,6)	45 (54,2)	χ ² : 5,394	0,145
Nunca	11 (22)	9 (27,3)	20 (24,1)		
Habitual	2 (4)	0 (0)	2 (2,4)		
NA	13 (26)	3 (9,1)	16 (19,3)		
<i>Hábito de fumar del padre</i>					
Abuso	0(0)	1 (3)	1 (1,2)	χ ² : 7,064	0,132
Habitual	0 (0)	1 (3)	1 (1,2)		
Ocasional	1(2)	0 (0)	1(1,2)		
Nunca	36(72)	28 (84,8)	64 (77,1)		
NA	13 (26)	3 (9,1)	16 (19,3)		
<i>Variables acerca de la madre</i>					
Edad (años)	29,8±0,9	28,7±1,0	29,3±0,6	U: 6,45	0,915
<i>Vive cerca o trabaja en una mina de oro</i>					
Sí	12 (24)	11 (33,3)	23 (27,7)	χ ² : 7,664	0,021
No	37 (74)	22 (66,7)	59 (71,1)		



NA	11 (2)	(0)	11 (1,2)		
Escolaridad de la madre					
Ninguna	2 (4)	1 (3)	3 (3,6)	χ^2 : 3,119	0,793
Primaria	3 (6)	4 (12,1)	7 (8,4)		
Secundaria	35 (70)	24 (72,7)	59 (71,1)		
Técnico	4 (8)	3 (9,1)	7 (8,4)		
Tecnólogo	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
Universitario	4 (8)	1 (3)	5 (6)		
NA	1 (2)	(0)	1 (1,2)		
Ocupación					
Minería	4 (8)	1 (3)	5 (6)	χ^2 : 11,15	0,048
Actividades agropecuarias	0 (0)	5 (15,1)	5 (6)		
Oficios varios	11(22)	9 (27,3)	20 (24,1)		
Otros	13 (26)	4 (12,1)	17 (20,5)		
Labores domésticas	21 (42)	14 (42,4)	35 (42,2)		
NA	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
Consumo de alcohol					
Ocasional	17 (34)	12 (36,4)	29 (34,9)	χ^2 : 3,127	0,756
Nunca	31 (62)	21 (63,6)	52 (62,7)		
NA	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
NR	1 (2)	(0)	1 (1,2)		
Hábito de fumar					
Nunca	45 (90)	33 (100)	78 (94,0)	χ^2 : 4,181	0,382
Ocasional	3 (16)	0 (0)	3 (3,6)		
NA	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
NR	1 (2)	0 (0)	1 (1,2)		
Variables acerca del niño					
Estado general de salud					
Excelente	14 (28)	7 (21,2)	21 (25,3)	χ^2 : 0,184	0,667
Bueno	35 (70)	22 (66,7)	57 (68,7)		
Regular	1 (2)	4 (12,1)	5 (6)		
Consume pan					
Sí	48 (96)	31(93,9)	79 (95,2)	χ^2 : 0,005	0,470
No	2 (4)	2 (6,1)	4 (4,8)		
Consume granos					
Sí	50 (100)	33 (100)	83 (100)	NA	NA
No	0(0)	0 (0)	0 (0)		
Consume verduras					
Sí	50 (100)	30 (90,9)	80 (96,4)	χ^2 : 4,716	0,029
No	0 (0)	3 (9,1)	3 (3,6)		
Consume frutas					
Sí	49 (98)	30 (90,9)	79 (95,2)	χ^2 : 2,197	0,06
No	1 (2)	3 (9,1)	4 (4,8)		
Consume pescado					
Sí	49 (98)	30(90,9)	79 (95,2)	χ^2 : 0,140	0,353



No	1 (2)	3 (9,1)	4 (4,8)		
<i>Días de la semana que consume pescado</i>					
0	1(2)	3 (9,1)	4 (4,8)	X ² : 1,539	0,029
1-4	47(94)	29 (87,8)	76 (91,6)		
>4-7	2 (4)	1(3,1)	3 (3,6)		
<i>Consume carne</i>					
Sí	47 (94)	31 (93,9)	78 (94)	X ² : 0,001	0,990
No	3 (6)	2 (6,1)	5 (6)		
<i>Consume huevo</i>					
Sí	50 (100)	30 (90,9)	80 (96,4)	X ² : 4,716	0,014
No	0 (0)	3 (9,1)	3 (3,6)		
<i>Consume lácteos</i>					
Sí	48 (96)	29 (87,9)	77 (92,8)	X ² : 6,12	0,006
No	2 (4)	4 (12,1)	6 (7,2)		
<i>Consume cereales</i>					
Sí	50(100)	32 (97)	80 (98,8)	X ² : 1,534	0,107
No	0 (0)	1 (3)	1 (1,2)		
<i>Consume pescado enlatado</i>					
Sí	29 (58)	28 (84,8)	57 (68,7)	X ² : 9,494	0,008
No	21 (42)	4 (12,1)	25 (30,1)		
NA	0 (0)	1 (3)	1 (1,2)		

χ^2 : Chi cuadrado, U: U de Mann-Whitney

Con referencia a la valoración médica realizada por el pediatra en los menores, en la historia de su nacimiento, fue encontrado que todas las madres asistieron al control prenatal y el 18% de los menores tuvieron alguna complicación al nacer. En la actualidad 16 niños tienen problemas de salud. Las enfermedades reportadas por los padres fueron asma y epilepsia (**Tabla 5.7**). Sin embargo, el concepto de la valoración de pediatría mostró que, si bien más del 50% de los niños son escolares eutróficos, el 47% de los menores presentan caries dentales, siendo 19 niños de CCAG y 20 niños de CCMTM, además el 27,7% (n=23) presentaron hernia. La obesidad también fue reportada por el pediatra en 4 menores del CCAG (**Figura 5.6**).

Tabla 5.7 Valoración médica en niños de los CCAG y CCMTM.

Estado de salud		Consejos comunitarios	Total
	CCAG	CCMTM	
Control prenatal			
Si	46 (100)	34 (100)	80 (100)
No	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Complicaciones al nacer			
Si	8 (17,4)	7 (20,6)	15 (18,8)
No	38(82,6)	27 (79,4)	65 (81,2)
Problemas del salud del menor			
Si	9 (19,6)	7 (20,6)	16 (20)
No	37 (80,4)	27 (79,4)	64 (80)



<i>Leche materna</i>			
Sí	36 (80)	32 (94,1)	68 (86,1)
No	9 (20)	2 (5,9)	11 (13,9)
<i>Leche de fórmula</i>			
Sí	15 (33,3)	6 (17,6)	21 (26,6)
No	30 (66,7)	28 (82,4)	58 (73,4)
<i>Vacunación</i>			
Completa	46 (0)	34 (100)	80 (100)
Incompleta	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Sufre de asma</i>			
Si	2 (4,3)	2 (5,9)	4 (5)
No	44 (95,7)	31 (91,2)	75 (93,8)
NR	0 (0)	1 (2,9)	1 (1,2)
<i>Usa lentes</i>			
Si	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Problema auditivo</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Presión arterial alta</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Ha tenido hepatitis</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Insuficiencia renal</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Ha tenido cáncer</i>			
Sí	0 (0)	0 (0)	0 (0)
No	46 (100)	34 (100)	80 (100)
<i>Ha tenido epilepsia</i>			
Sí	1 (2,2)	2 (5,9)	3 (3,8)
No	45 (97,8)	32 (94,1)	77 (96,2)
<i>Ha tenido otras enfermedades</i>			
Si	1 (2,2)	2 (5,9)	3 (3,8)
No	44 (97,8)	32 (94,1)	76 (96,2)

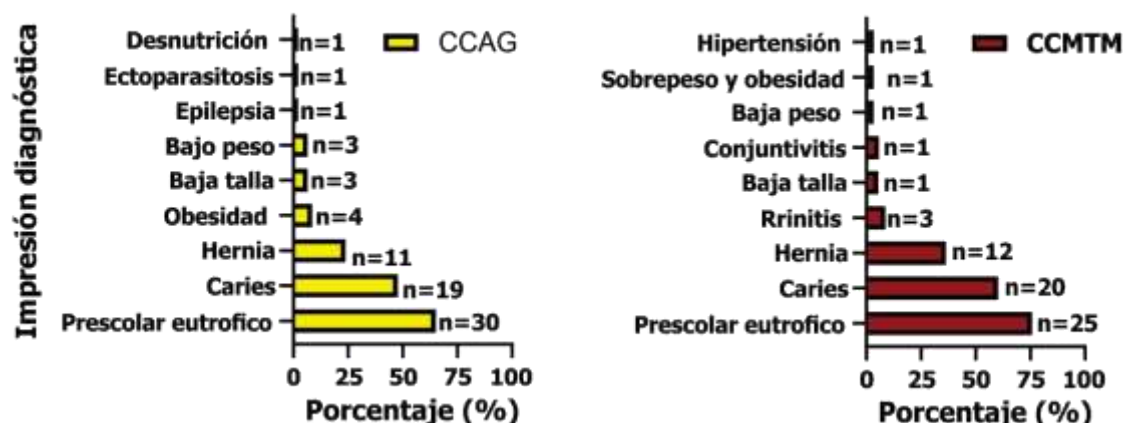


Figura 5.6. Impresión diagnóstica realizada por el pediatra durante la valoración médica.

5.3.2. Evaluación de la visión del color para mujeres embarazadas

Los resultados de la prueba de color en ambos ojos a través del test de Ishihara son presentados en la **Figura 5.7**. Para las mujeres embarazadas de ambos consejos comunitarios no fueron encontradas alteraciones en la capacidad visual de las participantes.

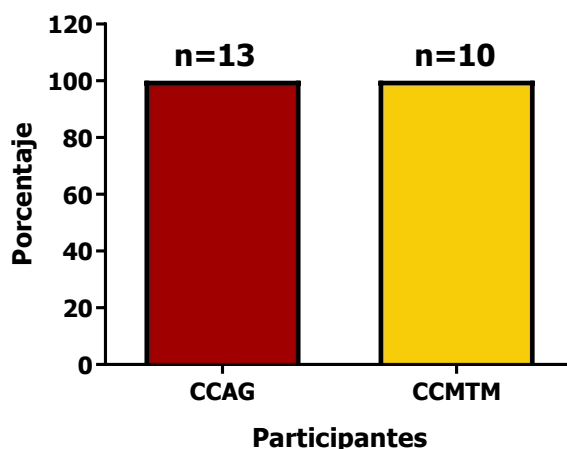


Figura 5.7. Resultados de la prueba de color realizado en mujeres embarazadas empleando el test Ishihara.

5.3.3. Examen auditivo para mujeres embarazadas

Los resultados de la valoración auditiva (otoscopio) y audiometría (audiómetro) realizada por el profesional en fonoaudiología son mostrados en la **Figura 5.8** y en la **Tabla 5.8**. La revisión de los oídos derecho e izquierdo de las mujeres embarazadas del CCAG presentó un aspecto normal en el total de las participantes, por su parte en el CCMTM este fue del 70%, encontrándose un 20% con tapón parcial de cerumen y un 10% con



tapón de cerumen (**Figura 5.8**). Las participantes informaron escuchar igual por ambos oídos en un 85% y el 20% manifestaron haber tenido dolor en los oídos (**Tabla 5.8**).

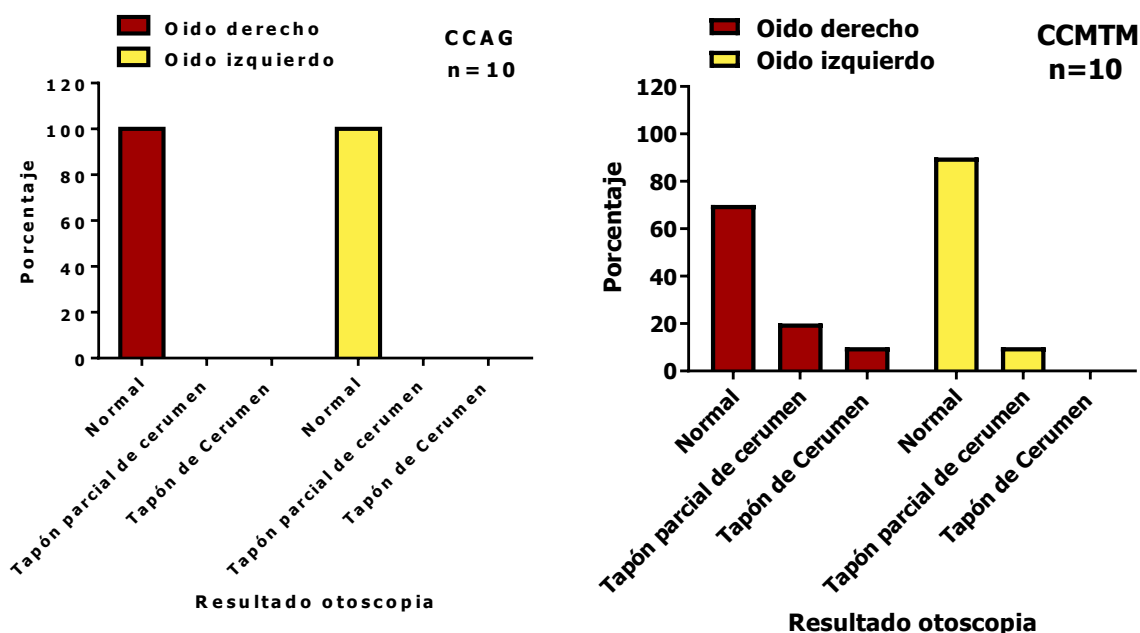


Figura 5.8. Resultados examinación auditiva en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.

Tabla 5.8. Frecuencia de signos y síntomas de la audición y prueba de color para el grupo de embarazadas.

Condición Salud auditiva y visual	Consejos comunitarios CCAG n=10	CCMTM n=10	Total n=20
Escucha mejor por alguno de los oídos			
Igual	9(90)	8(80)	17 (85)
Derecho	1(10)	1(10)	2 (10)
Izquierdo		1(10)	1 (5)
Dolor en los oídos			
Sí	4(40,0)	0	4(20,0)
No	6(60,0)	10(100)	16(80,0)
Escucha pitos en los oídos			
Sí	4(40,0)	4(40,0)	8(40,0)
No	6(60,0)	6(60,0)	12(60,0)
Presenta mareos o vértigo			
Sí	8(80)	5(50,0)	13(75,0)
No	2(20,0)	5(50,0)	7(35,0)
Trabaja expuesto a ruido			
Sí	1(10,0)	0(0)	1(5,0)
No	9(90,0)	10(100,0)	19(95,0)



La evaluación audiométría del oído derecho en las participantes de los dos consejos comunitarios mostró que el 10% tenía Hipoacusia mixta de predominio conductivo de grado leve. De otro modo el oído izquierdo de las mujeres de CCMTM no presentaron alteración, caso contrario a lo ocurrido en CCAG donde el 30% presentó audición periférica normal con descenso sensor neural leve en las frecuencias 6Khz y 8Khz, lo que podría sugerir que el desempeño auditivo se encuentra disminuido por fatiga de las células ciliadas externas. La otoscopia de oído derecho indico tampón parcial y tampón de cerumen en un 10 y 5 de los casos y en el oído izquierdo un 5%. Entre otros signos fue encontrado dolor y pitos en los oídos en el 20 y 40% de los casos, respectivamente (**Figura 5.8**).

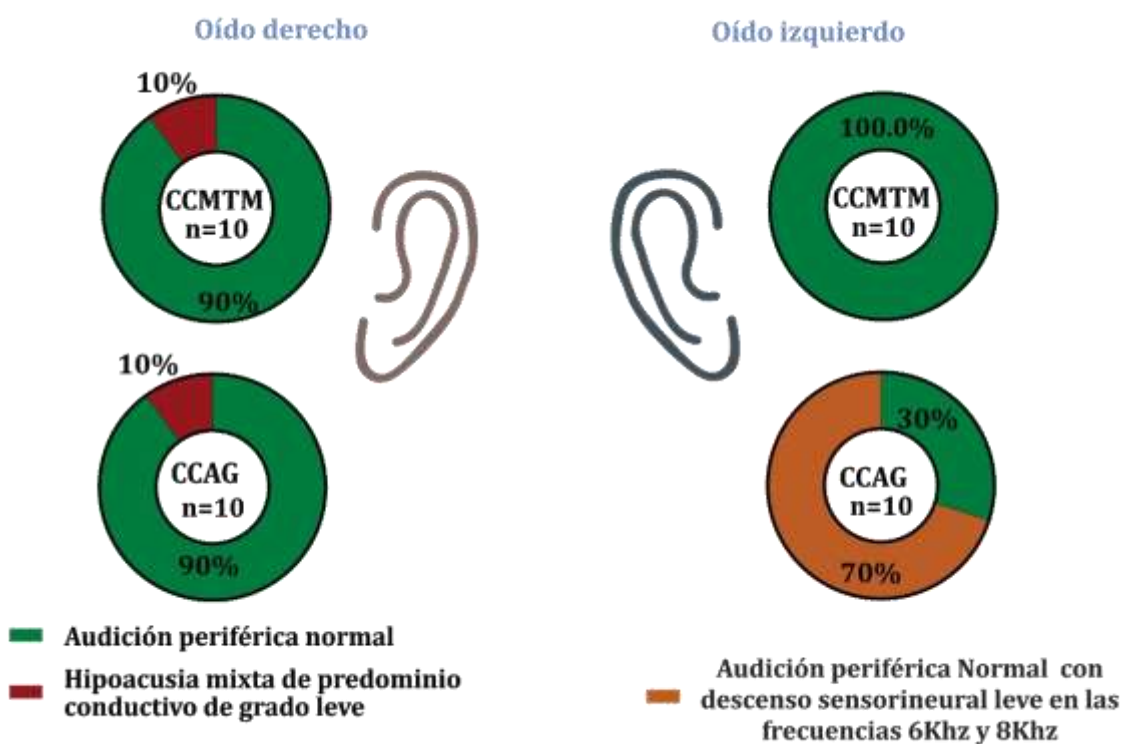


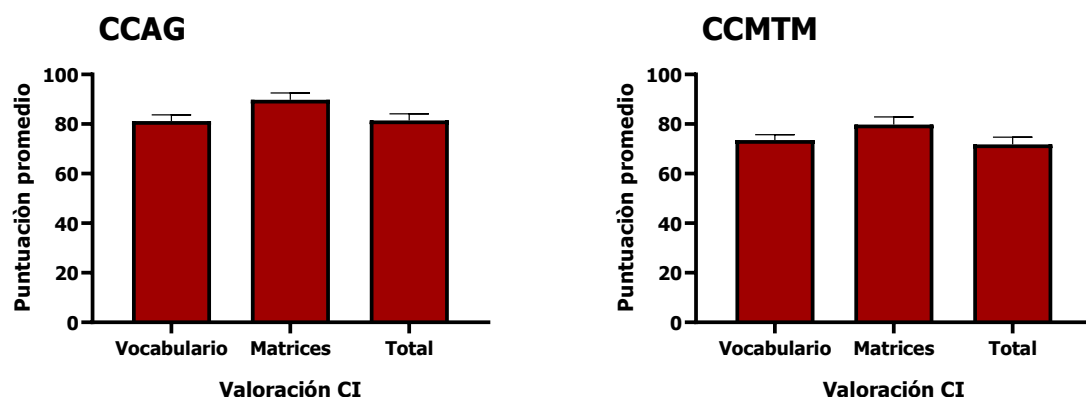
Figura 5.9. Evaluación del oído derecho e izquierdo de las mujeres embarazadas.

5.3.4. Medición del coeficiente intelectual (CI) en niños

Investigaciones sobre el aprendizaje cognitivo dan valor a la relación intrínseca entre los componentes emocionales, comportamentales y sociales en respuesta a condiciones ambientales ([Saldarriaga-Zambrano et al. 2016](#)). Para el análisis de coeficiente intelectual ha sido utilizado el test K-BIT con el fin de evaluar la escala verbal (vocabulario) y no verbal (matrices) en contextos que confluyen en identidad cultural y características sociodemográficas. A partir de la medición de habilidades verbales fueron establecidos elementos del desarrollo del lenguaje que propician la formación de conceptos y almacenamiento de información escolar, a su vez, las habilidades no verbales abordaron la respuesta de los participantes para resolver problemas nuevos y la capacidad para adaptarse al contexto ([Gaviria Jaramillo et al. 2020](#)).



Teniendo en cuenta que el K-BIT ha sido ampliamente utilizado en investigaciones ([Naranjo and Robles-Bello 2020](#), [Zavala-Crichton et al. 2020](#), [Herrera-Gutiérrez et al. 2021](#)), particularmente relacionado en datos de niños, niñas y adolescentes en Colombia ([Alvarez-Ortega et al. 2017](#), [Alvarez-Ortega et al. 2019](#), [Arán Filippetti et al. 2021](#), [Lara-Díaz et al. 2021](#)). Los resultados de la valoración del CI en niños mayores de 4 años del CCAG y CCMTM empleando el test K-BIT son presentados en la **Figura 5.10**.



Sitios	% de acuerdo con la puntuación obtenida							Total
	Muy alto CI: >130	Alto CI: 120-129	Medio alto CI: 110-119	Medio CI: 90-109	Medio bajo CI: 80-89	Bajo CI: 70-79	Muy bajo CI: <69	
CCAG	0	0	0	17	4	33	46	100
CCMTM	0	0	6	17	40	17	20	100

Figura 5.10. Puntuaciones de los valores de coeficiente intelectual en niños participantes de los CCAG y CCMTM.

El análisis de los resultados establece puntuaciones de valores para coeficiente intelectual con predominio categórico bajo (33%), muy bajo (46%) y medio (17%) en niños del CCAG; mientras que en el CCMTM presentaron puntuaciones medio bajo (40%), muy bajo (20%), resaltando que en este consejo fue encontrado que el 6% de los niños presentaron puntuaciones con categoría medio alto. En general en ambos consejos comunitarios ninguno de los niños tuvo puntuaciones de CI muy alto y alto.

5.4. ENSAYOS BIOQUÍMICOS Y HEMATOLÓGICOS

5.4.1. Evaluación de parámetros bioquímicos

La enfermedad de las arterias coronarias es una de las principales causas de muerte a nivel mundial y la dislipidemia es uno de sus principales factores de riesgo. La dislipidemia se caracteriza por trastornos en el metabolismo de lípidos, que conducen a cambios en los niveles séricos de lípidos y que circula lipoproteínas y sus subclasificaciones se establece mediante la determinación de las concentraciones de triglicéridos (TRIG), colesterol total (CT) y sus fracciones de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y lipoproteínas de baja densidad (LDL).



Los resultados de los análisis bioquímicos en muestras de suero de los participantes pertenecientes a los CCAG y CCMTM son presentados en las **Tablas 5.9-5.11**. Los marcadores bioquímicos de daño hepático, renal y riesgo cardiovascular fueron estadísticamente diferentes cuando se compararon entre los dos consejos comunitarios (AST, CREAT, CT, CLDL, TRIG). De manera alarmante se encontró que el colesterol total se encuentra alterado en los adultos, donde más del 50% ($n=87$) de los participantes tenían el colesterol total elevado. Así mismo, la lipoproteína de muy baja densidad, LDL, se encontró elevada con una mayor frecuencia ($p<0,05$) en CCMTM, sin desconocer que el en el CCAG más del 50% se encontró elevado. Por su parte los triglicéridos mostraron un incremento en más del 25% en el total de los adultos, la frecuencia difirió entre los consejos ($p<0,035$) (**Figura 5.11**).

Entre el grupo de las embarazadas los resultados más relevantes se observaron en las pruebas de función renal, las cuales difirieron significativamente entre los dos consejos comunitarios ($p<0,05$). Por su parte, el colesterol fue mayor para el grupo de mujeres embarazadas del CCMTM con promedio de 211,40 mg/dL, mientras que en CCAG fue de 184,85 mg/dL (**Tabla 5.10**). Lo anterior indica un factor de riesgo cardiovascular sobre todo si es tenido en cuenta que la fracción de colesterol LDL también fue significativamente mayor en este CCMTM, de hecho, todas las participantes de este consejo (100%) tenían el LDL superior a 100 mg/dL, sin desconocer que cerca de 50% de los participantes de CCAG también presentaron niveles elevados de esta fracción (**Figura 5.11**). Por otro lado, los participantes de CCAG obtuvieron un promedio significativamente mayor de triglicérido 147.46 mg/dL.

En el caso particular de los niños los resultados bioquímicos fueron similares entre ambos consejos (**Tabla 5.11**). Sin embargo, el 12,5% de los niños ($n=9$) presentaron niveles elevados de colesterol, de otro modo, el 8,3 tenían alterado el LDL ($n=6$) y un menor presentó alteración de los triglicéridos (**Figura 5.11**).



Tabla 5.9. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en los adultos mayores de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=74 Media±EE	Valor min.-max.	CCMTM, n=98 Media±EE	Valor min.-max.	Total, n=172 Media±EE	Valor de <i>p</i>
<i>Daño hepático</i>						
FA (UI/L)	128,57 ± 4,03	60,00 - 226,50	128,46 ± 4,39	52,00 - 282,00	128,7±2,9	0,985
ALT/GPT (UI/L)	23,33 ± 1,41	9,50 - 80,00	26,43 ± 1,82	11,50 - 130,00	25,0±1,1	0,203
AST/GOT (UI/L)	26,96 ± 1,05	13,50 - 79,00	30,83 ± 1,32	15,50 - 98,00	29,2±0,8	0,031*
GGT (UI/L)	39,67 ± 4,27	7,00 - 286,00	35,18 ± 3,41	8,50 - 227,50	37,1±2,5	0,055
<i>Daño renal</i>						
CREAT (mg/dL)	1,09 ± 0,03	0,55 - 1,99	1,02 ± 0,06	0,28 - 6,73	1,1±0,0	0,005*
BUN (mg/dL)	12,77 ± 0,45	5,60 - 22,63	13,34 ± 0,73	5,13 - 71,40	13,1±0,4	0,930
<i>Riesgo cardiovascular</i>						
CT (mg/dL)	194,72 ± 4,31	110,50 - 281,00	207,81 ± 4,65	124,00 - 425,00	202,7±3,1	0,047*
CHDL (mg/dL)	60,81 ± 1,73	37,30 - 121,25	64,26 ± 1,62	35,15 - 114,10	63,0±1,1	0,151
CLDL (mg/dL)	112,79 ± 3,19	43,50 - 182,50	124,51 ± 3,74	62,50 - 276,00	120,0±2,4	0,023*
TRIG (mg/dL)	147,46 ± 11,17	32,50 - 576,00	116,97 ± 6,40	42,00 - 509,00	128,1±5,4	0,040*

*. Diferencias significativas entre las medias; EE: Error estándar; Min: Valor mínimo; Máx: Valor máximo; FA: Fosfatasa alcalina; ALT: Alanino aminotransferasa; AST: Aspartato aminotransferasa; GGT: Gamma glutamiltransferasa; CT: Colesterol total; CHDL: Lipoproteínas de alta densidad o Colesterol HDL; CLDL: Lipoproteínas de baja densidad o Colesterol LDL; TRIG: Triglicéridos; CREAT: Creatinina sanguínea; BUN: Nitrógeno ureico en sangre.

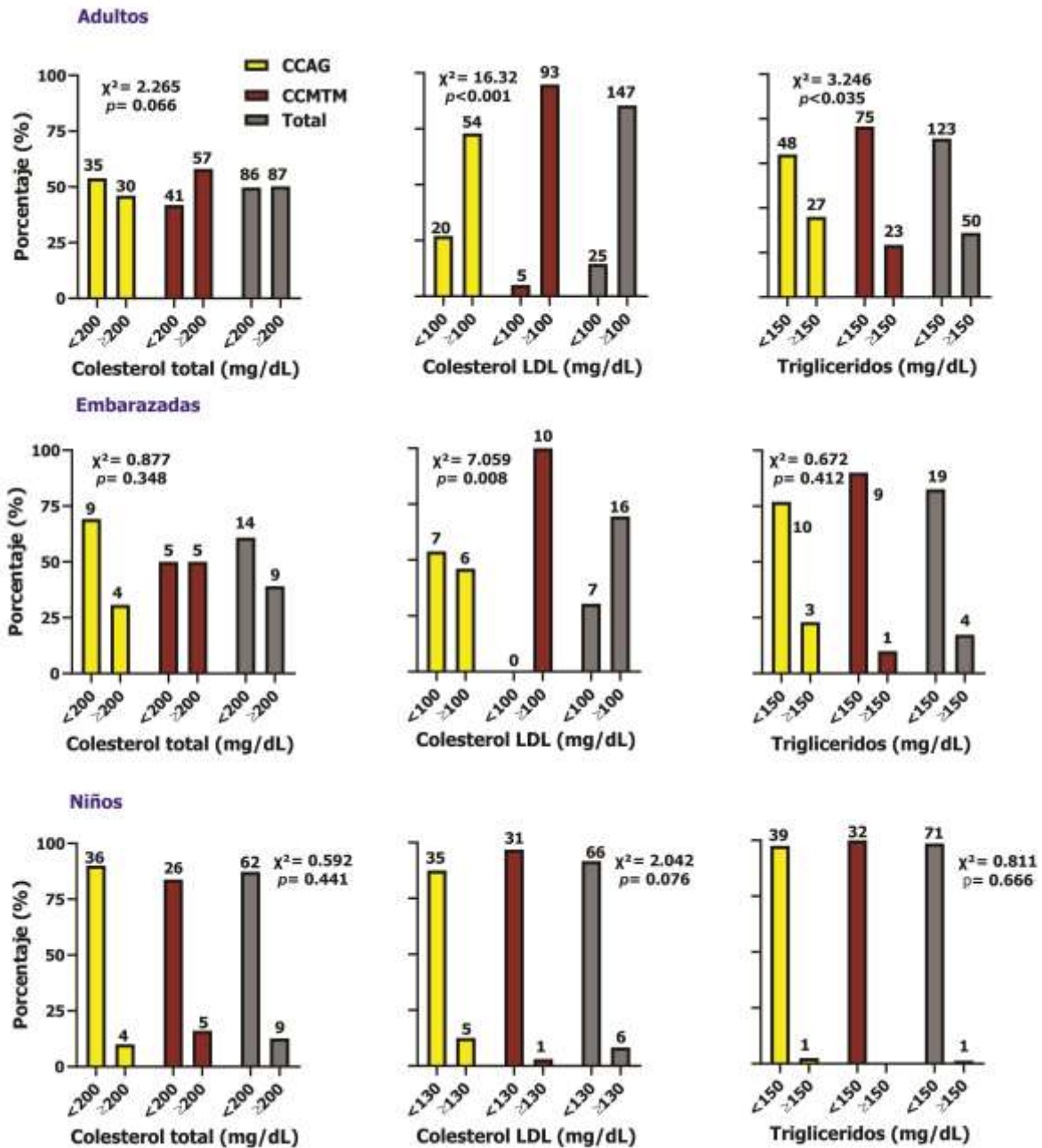


Figura 5.11. Alteraciones del perfil lipídico en los adultos mayores, embarazadas y niños.



Tabla 5.10. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en embarazadas de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=13 Media±SEM	Valor min.-max.	CCMTM n=10 Media±SEM	Valor min.-max.	Total n=23	Valor de <i>p</i>
<i>Daño hepático</i>						
FA (UI/L)	188,85 ± 35,13	71,50 - 585,50	143,05 ± 11,29	84,00 - 192,50	165,8±19,1	0,282
ALT/GPT (UI/L)	23,62 ± 6,10	6,50 - 82,50	21,65 ± 2,81	13,00 - 35,00	22,8±3,4	0,794
AST/GOT (UI/L)	27,77 ± 4,09	12,00 - 64,50	24,65 ± 1,59	17,50 - 32,00	26,5±2,2	0,530
GGT (UI/L)	17,92 ± 1,64	8,00 - 0,00	20,95 ± 3,77	10,00 - 42,50	19,3±5,9	0,446
<i>Daño renal</i>						
CREAT (mg/dL)	0,65 ± 0,03	0,46 - 0,85	0,82 ± 0,04	0,63 - 0,95	0,7±0,1	0,004*
BUN (mg/dL)	6,80 ± 0,65	3,73 - 13,07	11,06 ± 0,85	6,77 - 14,23	8,7±2,3	<0,0001*
<i>Riesgo cardiovascular</i>						
CT (mg/dL)	184,85 ± 12,17	95,50 - 249,50	211,40 ± 9,89	172,00 - 274,50	193,7±8,2	0,120
CHDL (mg/dL)	68,80 ± 7,47	45,10 - 144,55	71,36 ± 2,80	54,70 - 82,20	68,6±4,1	0,777
CLDL (mg/dL)	105,31 ± 9,56	43,50 - 171,50	129,70 ± 6,80	109,00 - 176,50	115,2±6,1	0,064
TRIG (mg/dL)	127,38 ± 16,02	47,50 - 278,00	91,00 ± 20,38	50,00 - 266,00	111,6±57,7	0,169

*. Diferencias significativas entre las medias; EE: Error estándar; Min: Valor mínimo; Máx: Valor máximo; FA: Fosfatasa alcalina; ALT: Alanino aminotransferasa; AST: Aspartato aminotransferasa; GGT: Gamma glutamiltransferasa; CT: Colesterol total; CHDL: Lipoproteínas de alta densidad o Colesterol HDL; CLDL: Lipoproteínas de baja densidad o Colesterol LDL; TRIG: Triglicéridos; CREAT: Creatinina sanguínea; BUN: Nitrógeno ureico en sangre.



Tabla 5.11. Parámetros bioquímicos asociados con daño hepático, renal y riesgo cardiovascular en niños de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=39 Media±SEM	Valor min.-max.	CCMTM n=32 Media±SEM	Valor min.-max.	Total n=71	Valor de <i>p</i>
<i>Daño hepático</i>						
FA (UI/L)	362,82 ± 20,78	114,00 - 686,50	361,48 ± 15,14	230,00 - 566,00	362,2±12,1	0,931
ALT/GPT (UI/L)	17,40 ± 0,87	8,00 - 36,00	18,70 ± 1,28	10,00 - 51,50	18,0±0,7	0,388
AST/GOT (UI/L)	35,56 ± 1,01	24,50 - 56,50	37,91 ± 1,31	27,50 - 58,00	36,6±0,8	0,154
GGT (UI/L)	18,83 ± 1,81	8,50 - 78,50	16,87 ± 1,10	6,00 - 27,50	18,0±1,0	0,391
<i>Daño renal</i>						
CREAT (mg/dL)	0,40 ± 0,03	0,13 - 1,17	0,46 ± 0,02	0,28 - 0,81	0,4±0,0	0,132
BUN (mg/dL)	9,23 ± 0,40	5,60 - 15,87	8,78 ± 0,58	3,50 - 14,00	9,0±0,3	0,542
<i>Riesgo cardiovascular</i>						
CT (mg/dL)	166,78 ± 4,87	95,00 - 248,00	172,44 ± 5,12	103,00 - 220,50	169,3±3,2	0,428
CHDL (mg/dL)	66,97 ± 3,29	12,25 - 149,00	64,85 ± 3,02	32,50 - 118,00	66,0±2,1	0,642
CLDL (mg/dL)	98,36 ± 4,21	47,00 - 149,50	100,75 ± 3,55	64,50 - 152,00	99,4±2,6	0,674
TRIG (mg/dL)	74,03 ± 5,33	16,50 - 174,00	73,11 ± 4,99	29,00 - 146,00	73,6±3,4	0,902

*. Diferencias significativas entre las medias; EE: Error estándar; Min: Valor mínimo; Máx: Valor máximo; FA: Fosfatasa alcalina; ALT: Alanino aminotransferasa; AST: Aspartato aminotransferasa; GGT: Gamma glutamiltransferasa; CT: Colesterol total; CHDL: Lipoproteínas de alta densidad o Colesterol HDL; CLDL: Lipoproteínas de baja densidad o Colesterol LDL; TRIG: Triglicéridos; CREAT: Creatinina sanguínea; BUN: Nitrógeno ureico en sangre.



5.4.2. Análisis hematológico

Los resultados de las variables hematológicas son presentados en las **Tablas 5.12-5.14**. Diferencias estadísticas fueron observadas entre los valores promedios de las variables hematológicas tales como WBC, LYM, MID, LYM (%), MID (%), GRA (%), MPV en la población de adultos mayores y MCHC en mujeres embarazadas y niños.

Los parámetros hematológicos se encuentran entre las pruebas de laboratorio clínico más importantes que utilizan para diagnosticar enfermedades, monitorear diversas afecciones médicas y evaluar el estado nutricional. La anemia, se diagnostica con datos de los parámetros eritrocitarios primarios: HGB: Hemoglobina (HGB); HCT: Hematocrito; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina corpuscular media y CHCM: Concentración de hemoglobina corpuscular media. Los promedios de HGB de Las embarazadas, niños y adultos fueron similares con valores de $12,7 \pm 1,6$, $12,3 \pm 0,1$ y $13,4 \pm 0,1$ g/dL, respectivamente.



Tabla 5.12. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en los adultos mayores de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=72 Media±SEM	Valor min.-max.	CCMTM, n=96 Media±SEM	Valor min.-max.	Valor de <i>p</i>
<i>Glóbulos rojos</i>					
RBC ($\times 10^{12}/L$)	4,56 $\pm$ 0,06	3,37 - 5,72	4,71 $\pm$ 0,05	5,38 - 6,44	0.065
HGB (mg/dL)	13,28 $\pm$ 0,16	8,75 - 16,20	13,42 $\pm$ 0,13	14,00 - 16,95	0.440
HCT (%)	38,58 $\pm$ 0,48	27,00 - 46,60	39,04 $\pm$ 0,43	40,69 - 55,27	0.471
MCV (fL)	84,93 $\pm$ 0,76	63,50 - 100,00	83,21 $\pm$ 0,66	75,50 - 96,50	0.090
MCH (pg/cell)	29,26 $\pm$ 0,28	20,80 - 34,90	28,68 $\pm$ 0,25	26,00 - 33,35	0.144
MCHC (g/dL)	34,44 $\pm$ 0,09	32,50 - 37,05	34,46 $\pm$ 0,11	34,35 - 36,55	0.801
RDWc (%)	16,97 $\pm$ 0,17	14,80 - 23,20	17,03 $\pm$ 0,13	19,40 - 22,65	0.755
<i>Glóbulos blancos</i>					
WBC ($\times 10^9 /L$)	6,56 $\pm$ 0,18	3,50 - 11,48	5,77 $\pm$ 0,16	3,84 - 10,69	0.001*
LYM ($\times 10^9 /L$)	2,69 $\pm$ 0,09	0,88 - 5,10	2,17 $\pm$ 0,06	2,19 - 4,60	<0.0001
MID ($\times 10^9 /L$)	0,72 $\pm$ 0,04	0,21 - 1,81	0,54 $\pm$ 0,03	0,39 - 1,83	<0.0001
GRA ($\times 10^9 /L$)	3,15 $\pm$ 0,15	1,06 - 7,37	3,06 $\pm$ 0,13	1,26 - 7,00	0.656
LYM (%)	42,05 $\pm$ 1,34	12,90 - 76,50	38,79 $\pm$ 0,99	17,20 - 62,30	0.047*
MID (%)	10,99 $\pm$ 0,50	4,15 - 23,85	9,46 $\pm$ 0,37	2,75 - 25,45	0.016*
GRA (%)	46,97 $\pm$ 1,31	18,65 - 79,80	51,76 $\pm$ 1,05	30,40 - 74,05	0.004*
<i>Plaquetas</i>					
PLT ($\times 10^9 /L$)	226,40 $\pm$ 7,76	117,00 - 534,00	221,01 $\pm$ 6,20	192,50 - 464,00	0.584
PCT (%)	0,18 $\pm$ 0,01	0,12 - 0,41	0,18 $\pm$ 0,01	0,17 - 0,44	0.086
MPV (fL)	8,16 $\pm$ 0,11	6,55 - 11,80	8,38 $\pm$ 0,09	8,80 - 10,80	0.047*
PDWc (%)	38,72 $\pm$ 0,22	34,85 - 43,50	39,05 $\pm$ 0,15	38,40 - 42,80	0.160

*. Diferencias significativas entre las medias.



Tabla 5.13. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en mujeres embarazadas de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=12 Media±SEM	Valor min.-max.	CCMTM n=9 Media±SEM	Valor min.-max.	Valor de <i>p</i>
<i>Glóbulos rojos</i>					
RBC ($\times 10^{12}/L$)	4,44 $\pm$ 0,19	3,36 - 5,28	4,60 $\pm$ 0,14	4,09 - 5,41	0.526
HGB (mg/dL)	12,83 $\pm$ 0,46	10,50 - 16,00	12,55 $\pm$ 0,37	10,50 - 14,25	0.660
HCT (%)	36,60 $\pm$ 1,46	29,21 - 46,54	36,94 $\pm$ 1,10	33,87 - 41,60	0.862
MCV (fL)	83,00 $\pm$ 2,30	63,50 - 96,50	80,56 $\pm$ 2,47	66,50 - 89,00	0.482
MCH (pg/cell)	29,16 $\pm$ 0,88	22,35 - 35,10	27,41 $\pm$ 1,00	22,25 - 30,95	0.203
MCHC (g/dL)	35,12 $\pm$ 0,23	33,90 - 36,40	33,99 $\pm$ 0,33	31,70 - 34,95	0.010*
RDWc (%)	16,30 $\pm$ 0,23	15,10 - 17,50	16,78 $\pm$ 0,42	15,20 - 19,30	0.305
<i>Glóbulos blancos</i>					
WBC ($\times 10^9 /L$)	8,74 $\pm$ 0,75	5,55 - 13,18	7,48 $\pm$ 0,66	4,42 - 10,65	0.240
LYM ($\times 10^9 /L$)	2,72 $\pm$ 0,19	1,31 - 3,60	2,59 $\pm$ 0,18	2,02 - 3,41	0.640
MID ($\times 10^9 /L$)	0,77 $\pm$ 0,11	0,45 - 1,60	0,79 $\pm$ 0,12	0,37 - 1,44	0.938
GRA ($\times 10^9 /L$)	5,25 $\pm$ 0,71	2,20 - 9,33	4,10 $\pm$ 0,56	1,85 - 6,54	0.243
LYM (%)	33,69 $\pm$ 3,57	13,30 - 55,95	36,28 $\pm$ 3,21	24,90 - 49,75	0.609
MID (%)	8,81 $\pm$ 0,80	5,50 - 13,40	10,39 $\pm$ 1,02	5,30 - 14,55	0.232
GRA (%)	57,52 $\pm$ 3,69	36,60 - 77,65	53,34 $\pm$ 3,44	39,90 - 68,05	0.433
<i>Plaquetas</i>					
PLT ($\times 10^9 /L$)	287,08 $\pm$ 26,83	120,00 - 437,50	235,78 $\pm$ 17,73	147,00 - 334,50	0.156
PCT (%)	0,24 $\pm$ 0,02	0,14 - 0,36	0,20 $\pm$ 0,01	0,14 - 0,25	0.120
MPV (fL)	8,71 $\pm$ 0,33	7,40 - 11,55	8,72 $\pm$ 0,35	7,20 - 10,70	0.964
PDWc (%)	39,85 $\pm$ 0,53	37,40 - 43,15	39,76 $\pm$ 0,77	37,05 - 43,50	0.918

*. Diferencias significativas entre las medias.



Tabla 5.14. Parámetros hematológicos evaluados mediante hemograma automatizado en niños de los CCAG y CCMTM.

Variable	CCAG, n=40 Media±SEM	Valor min.-max.	CCMTM n=30 Media±SEM	Valor min.-max.	Valor de <i>p</i>
<i>Glóbulos rojos</i>					
RBC ($\times 10^{12}/L$)	4,65 $\pm$ 0,05	4,58 - 4,33	4,64 $\pm$ 0,09	3,84 - 6,04	0,929
HGB (mg/dL)	12,39 $\pm$ 0,13	10,75 - 14,25	12,26 $\pm$ 0,14	10,95 - 13,65	0,633
HCT (%)	35,53 $\pm$ 0,36	30,98 - 40,92	35,79 $\pm$ 0,47	31,06 - 40,62	0,652
MCV (fL)	76,68 $\pm$ 0,86	63,00 - 85,00	77,55 $\pm$ 0,85	63,00 - 84,50	0,483
MCH (pg/cell)	26,74 $\pm$ 0,31	21,85 - 29,60	26,61 $\pm$ 0,34	21,45 - 29,25	0,818
MCHC (g/dL)	34,87 $\pm$ 0,08	33,90 - 35,85	34,31 $\pm$ 0,13	32,95 - 35,80	<0,0001*
RDWc (%)	17,07 $\pm$ 0,17	15,80 - 19,80	17,18 $\pm$ 0,21	15,30 - 21,60	0,692
<i>Glóbulos blancos</i>					
WBC ($\times 10^9 /L$)	7,07 $\pm$ 0,31	4,59 - 12,18	6,24 $\pm$ 0,28	4,12 - 9,99	0,055
LYM ($\times 10^9 /L$)	3,36 $\pm$ 0,17	1,45 - 8,38	3,10 $\pm$ 0,16	1,71 - 5,18	0,298
MID ($\times 10^9 /L$)	0,63 $\pm$ 0,04	0,29 - 1,24	0,60 $\pm$ 0,05	0,18 - 1,41	0,677
GRA ($\times 10^9 /L$)	3,09 $\pm$ 0,23	1,55 - 6,95	2,54 $\pm$ 0,16	1,31 - 5,41	0,073
LYM (%)	48,34 $\pm$ 1,83	25,60 - 71,25	49,77 $\pm$ 1,63	34,40 - 67,90	0,574
MID (%)	8,95 $\pm$ 0,43	5,05 - 18,65	9,58 $\pm$ 0,67	3,45 - 20,70	0,417
GRA (%)	42,70 $\pm$ 1,82	21,95 - 66,30	40,65 $\pm$ 1,73	20,20 - 62,05	0,430
<i>Plaquetas</i>					
PLT ($\times 10^9 /L$)	317,75 $\pm$ 9,17	195,50 - 439,50	316,12 $\pm$ 9,03	194,50 - 415,00	0,902
PCT (%)	0,24 $\pm$ 0,01	0,16 - 0,35	0,25 $\pm$ 0,01	0,17 - 0,33	0,278
MPV (fL)	7,62 $\pm$ 0,11	6,40 - 9,70	7,77 $\pm$ 0,17	6,45 - 10,50	0,392
PDWc (%)	37,59 $\pm$ 0,23	34,70 - 41,35	37,96 $\pm$ 0,31	34,35 - 42,35	0,311

*. Diferencias significativas entre las medias. Abreviaciones: WBC: Conteo Global de leucocitos, RBC: Conteo Global de eritrocitos, HGB: Hemoglobina, HCT: Hematocrito, MCV: Volumen Corpuscular medio, MCH: Hemoglobina corpuscular media, MCHC: Concentración Hemoglobina Corpuscular Media, PLT: Plaquetas, PCT: Plaquetocrito, MPV: Volumen Plaquetario Medio, PDWc: Ancho de distribución de las plaquetas, RDWc: Ancho de distribución eritrocitaria, LYM: Linfocitos, MID: Células medias, GRA: Granulocitos, LYM%: Porcentaje de linfocitos, MID%: Porcentaje de células medias, GRA%: Porcentaje de granulocitos.



Correlaciones entre Hg-T en cabello y los parámetros bioquímicos y hematológicos

Las correlaciones entre los niveles de Hg-T en cabello y Hg-T en sangre, los parámetros bioquímicos y hematológicos distribuidos por género, grupo poblacional y consejo comunitario son mostradas en la **Tabla 5.15**. Los niveles de Hg-T en cabello se correlacionaron positiva y significativamente con el Hg-T en sangre en los adultos mayores y niños de ambos géneros del CCMTM, pero no en el CCAG. Por otra parte, la variable bioquímica fosfatasa alcalina se encontró correlacionada negativamente en el grupo de mujeres embarazadas de ambos consejos comunitarios. Una posible explicación a lo anterior es que la actividad funcional de la fosfatasa alcalina está relacionada a la presencia de zinc (Zn), que es cofactor enzimático de la carboxipeptidasa y de la anhidrasa carbónica. Dado que algunos metales pesados compiten con el Zn, se inactiva la producción de fosfatasa alcalina ([Friedrichi et al. 2009](#)) .

Por otra parte, informes anteriores han sugerido que la exposición al Hg podría estar asociada con enfermedades cardiovasculares usando modelos epidemiológicos humanos y modelos animales ([Eom et al. 2014](#)). El análisis de correlación de Spearman, mostró que existe una correlación positiva mediana entre Hg-T en cabello y el colesterol total ($p=0,515$; $p<0,05$), LDL ($p=0,579$; $p<0,05$) y los triglicéridos ($p=0,397$; $p<0,05$) en los participantes género masculino de CCMTM, quienes presentaron los valores mayores de Hg-t (**Tabla 5.15**).

En cuanto a los parámetros hematológicos fue encontrada una correlación negativa con los granulocitos en las mujeres embarazadas y positiva con las células medias. En contraste, los niños de ambos géneros mostraron correlación negativa con el total de los leucocitos, este mismo comportamiento se observó en las niñas para los linfocitos y las células medias. Mientras que los adultos del género masculino presentaron una correlación positiva con los linfocitos.



Tabla 5.15. Correlación de Spearman entre el contenido de Hg-T en el cabello, con el Hg-T sangre, variables bioquímica y hematológica.

Correlación Hg-t en cabello	Adulto Mayor				Embarazadas		Niños			
	CCAG Fem	Mas	CCMTM Fem	Masc	CCAG	CCMTM	CCAG Fem	Mas	CCMTM Fem	Masc
Hg-T-sangre (µg/L)	0,209	0,478	0,4778*	0,450*	0,044	0,044	0,295	0,235	0,172	0,564
Fosfatasa alcalina (FA)	0,025	0,054	0,053	-0,201	-0,536*	-0,536*	0,149	0,198	-0,014	-0,104
Alanino aminotransferasa (ALT)	-0,260	0,014	0,013	0,296	-0,193	-0,193	-0,098	0,041	-0,483	0,023
Aspartato aminotransferasa (AST)	-0,259	-0,005	-0,005	0,236	0,033	0,033	-0,256	0,131	-0,141	0,339
Colesterol LDL (LDL)	-0,159	0,255	0,255	0,515*	0,300	0,300	0,146	-0,084	0,220	0,085
Colesterol total (CT)	-0,051	0,177	0,177	0,576*	0,366	0,366	0,185	0,061	0,218	0,100
Creatinina sanguínea (CREAT)	-0,221	0,029	0,028	-0,228	-0,069	-0,069	0,191	-0,109	-0,186	-0,168
Gamma glutamiltransferasa (GGT)	-0,135	-0,050	-0,050	-0,008	0,286	0,286	0,203	0,206	0,323	0,001
Triglicéridos (TRIG)	-0,208	-0,188	-0,188	0,397*	0,408	0,408	-0,310	0,151	0,088	0,332
Nitrógeno ureico en sangre (BUN)	-0,064	-0,054	-0,055	-0,130	-0,372	-0,372	0,115	-0,191	0,187	-0,040
Parámetros hematológicos										
RBC	0,040	0,0579	0,058	0,211	-0,483	-0,483	-0,483	-0,060	0,442	-0,323
HGB	0,020	-0,093	-0,093	-0,097	-0,161	-0,161	0,098	-0,001	0,187	-0,229
HTO	0,002	-0,081	-0,081	-0,075	-0,175	-0,175	-0,014	0,073	0,214	-0,343
VCM	-0,018	-0,168	-0,168	-0,325*	0,235	0,235	0,581	0,185	-0,303	0,093
PLT	0,123	0,272	0,272	0,074	-0,049	-0,049				
WBC	-0,039	-0,078	-0,078	-0,044	-0,308	-0,308	-0,468	-0,154	-0,539	-0,445
LIN	0,131	-0,112	-0,112	0,249	0,175	0,175	-0,322	-0,264	-0,695	-0,117
CM	-0,329	-0,106	-0,106	-0,174	0,490	0,490	-0,144	-0,306	-0,548	-0,388
GRA	-0,001	0,023	0,023	-0,116	-0,585*	-0,585*	-0,291	0,005	-0,404	-0,446
LIN%	0,070	-0,078	-0,078	0,361*	-0,049	-0,049	0,057	-0,169	0,204	0,192
CM%	-0,221	-0,060	-0,060	-0,115	0,511*	0,511*	0,113	-0,271	-0,204	-0,265
GRA%	0,083	0,109	0,109	-0,323*	-0,308	-0,308	-0,076	0,189	-0,137	-0,093

*. Diferencias estadísticas significativas



5.4.3. Frecuencia de los polimorfismos genéticos

La frecuencia de los polimorfismos *ABCB1* y *GSTP1* para los tres grupos de estudio es presentada en las **Figura 5.12-5.14**. La caracterización de los polimorfismos asociados con genes transportadores (*ABCB1*) mostró que el genotipo GG fue el más frecuente en los tres grupos evaluados y el comportamiento fue similar en ambos consejos.

Por otra parte, se investigó el polimorfismo de enzimas involucradas en mecanismos de detoxificación celular (*GSTP1*) los hallazgos mostraron frecuencias similares en niños y adultos. En mujeres embarazadas el genotipo AG del polimorfismo del Gen *GSTP1* SNP Ile/Val mostró un mayor porcentaje (62,5%) en comparación con los niños (48,5%) y adultos (45,5%). Este genotipo es un indicador de una actividad enzimática reducida por lo que podrían incrementar los niveles de Hg en sangre u orina como se encontró en este grupo.

De otro modo Las metalotioneínas (MT) son una familia multigénica de proteínas que están involucradas en la distribución y excreción de Hg en particular el gen MT2A SNP rs 10636 afectan la carga corporal de Hg y, por lo tanto, modifican potencialmente los efectos adversos del Hg en las funciones neuroconductuales ([Woods et al. 2014](#)). El análisis de frecuencia mostró que el genotipo AC fue el más frecuente (>70%) en la comunidad estudiada.

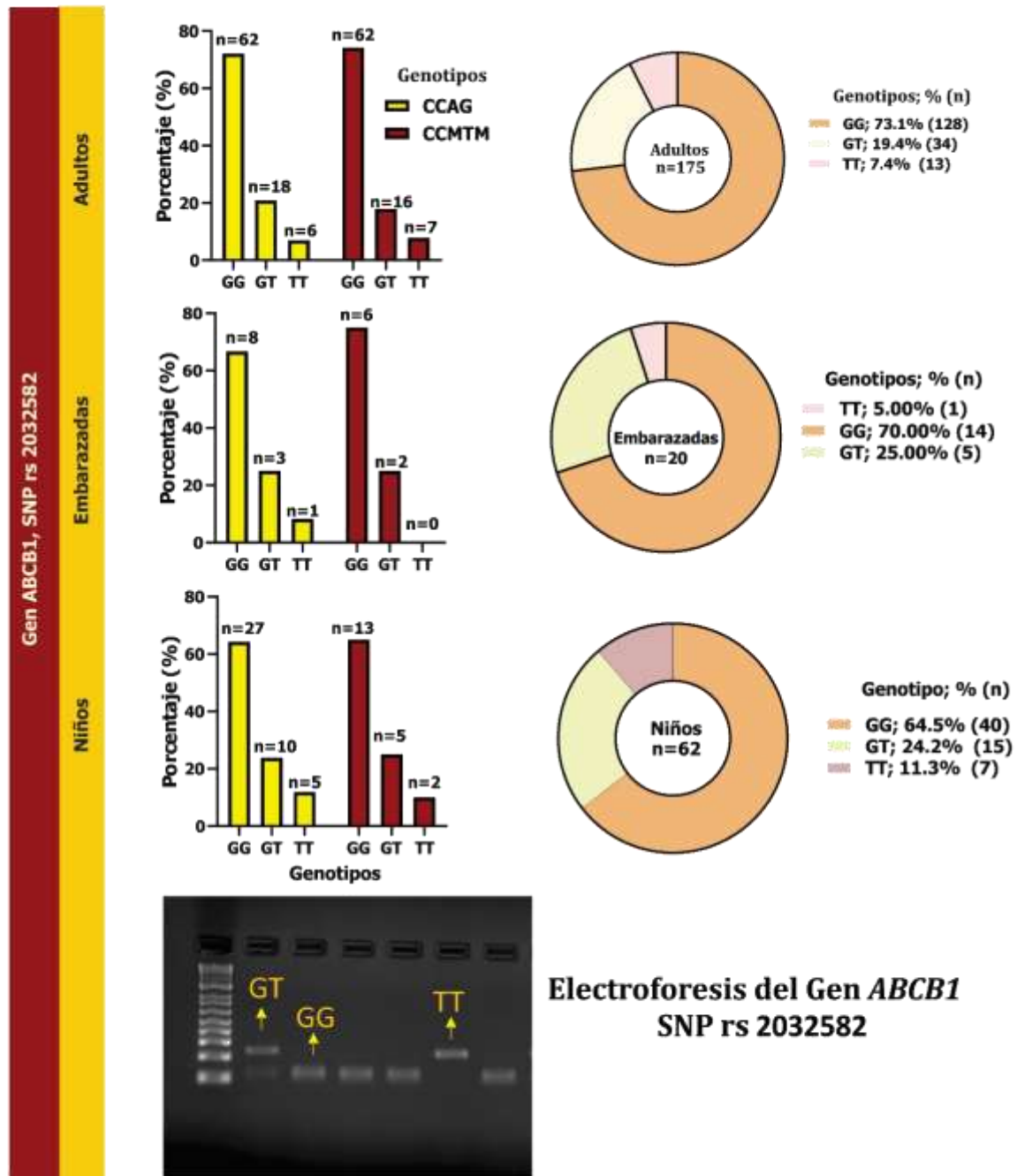


Figura 5.12. Polimorfismos de *ABCB1* encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.

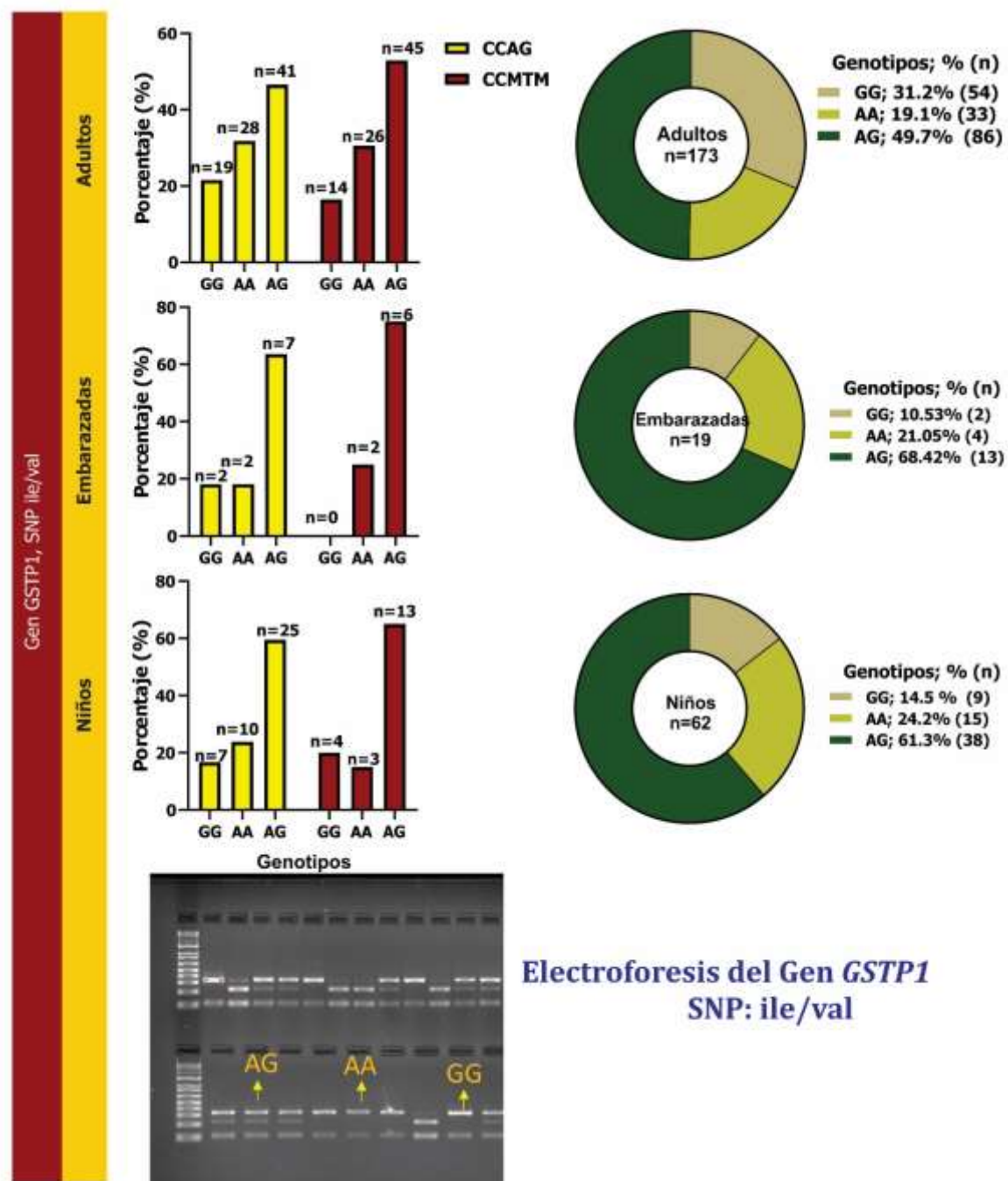


Figura 5.13. Polimorfismos del Gen *GSTP1* SNP Ile/Val encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.

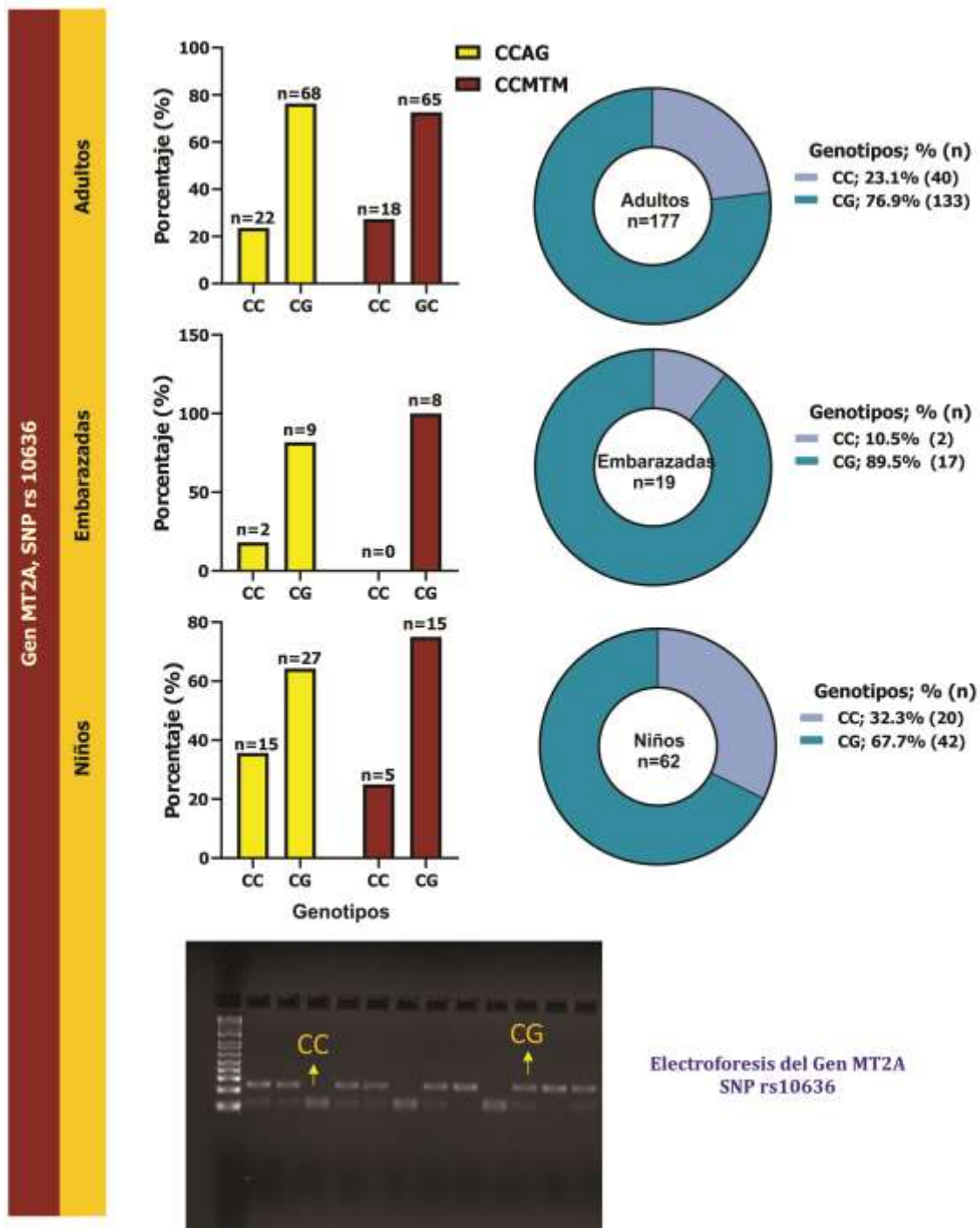


Figura 5.14. Polimorfismos del Gen *MT2A* SNP rs 10636 encontrados en niños, embarazadas y adultos mayores para el total de la población.



Expresión de genes. Los resultados de la expresión de los genes evaluados se presentan en la **Figura 15**. Los dos consejos comunitarios y los grupos (Adultos, embarazadas y niños) generaron patrones de expresión diferentes. Los del CCMTM mostraron una sobreexpresión significativa ($p < 0,05$) de genes implicados en el estrés oxidativo (*SOD1*) y metalotioneinas que se unen a varios metales pesados (*MT1X*). Otros genes tales como *GSTP1*, *ABCB1* y *APOE* mantuvieron una ligera sobreexpresión en el grupo adultos que no fue significativa. Por otra parte, los patrones de expresión de los genes evaluados para niños y embarazadas no mostraron cambios a excepción de la *MT1X* quien mostró una regulación negativa en el grupo de embarazadas.

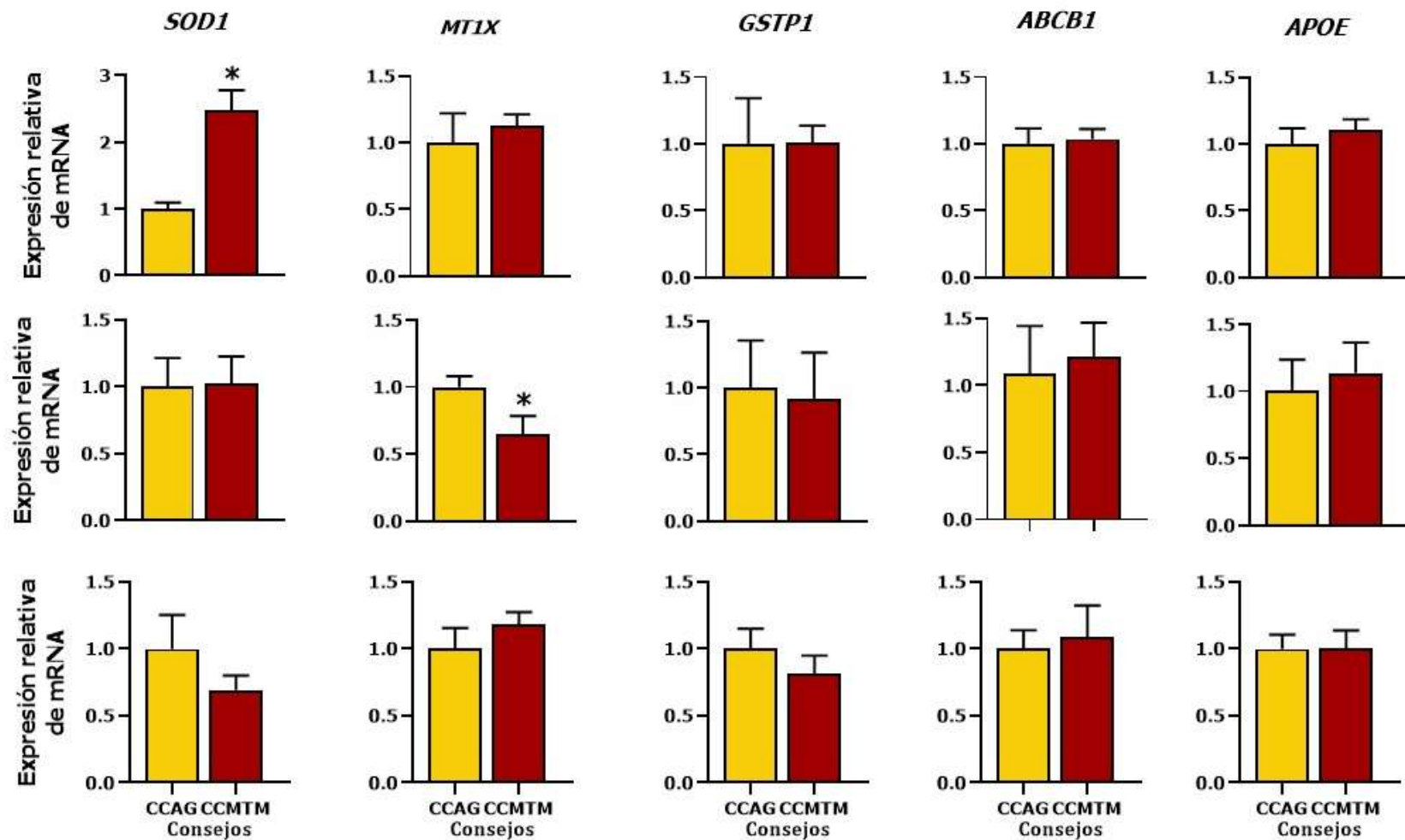


Figura 5.15. Cambios en la expresión de genes asociados con estrés oxidativo, metales, transportadores ABC y apolipoproteína para la población de estudio.



5.5. DISCUSIÓN

La minería de oro artesanal y en pequeña escala es practicada por millones de personas en todo el mundo, representando alrededor del 15% de la producción minera de oro total a nivel mundial ([Metcalf and Veiga 2012](#)), por lo que esta actividad tiene relevancia a nivel mundial, sobre todo en las comunidades rurales donde los mineros, y sus familias articulan sus medios de vida a la extracción de oro ([Vélez-Torres et al. 2018](#)). Si bien la minería es una necesidad para personas de escasos recursos, esta conlleva a desafíos ambientales y de salud no deseados debido al uso inadecuado en sus procesos de elementos químicos como el Hg. Esta situación, no es ajena al Departamento del Cauca, donde el crecimiento de la minería ilegal de oro en la última década en el Alto Cauca ha sido expresado con alarma en la comunidad, prensa regional y nacional. En este estudio multidisciplinario fue atendida la demanda del Auto Interlocutorio No. 275 y 050 de 2019, llevado por el Juzgado Primero Civil del Circuito Especializado en Restitución de Tierras de Popayán.

A través de esta investigación, fue posible determinar los niveles de Hg en cabello, sangre y orina en poblaciones vulnerables (mujeres embarazadas, niños y adultos mayores) de las diferentes veredas que conforman los consejos comunitarios Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero en el departamento del Cauca. En general, los promedios de los niveles de mercurio evaluados fueron encontrados por debajo de los límites permisibles recomendados por la [USEPA \(2018\)](#) para todas las matrices analizadas [cabello ($<1 \mu\text{g/g}$), sangre ($<5 \mu\text{g/L}$), y orina ($<7 \mu\text{g/L}$)]. Estos resultados fueron similares a lo reportado por [Calao-Ramos et al. \(2021a\)](#) en el municipio de Buenos Aires, departamento de Cauca. No obstante, los niveles de Hg-T encontrados aquí estuvieron muy por debajo de lo reportado en el distrito minero de Medio San Juan está ubicado en la parte central sur del Departamento del Chocó ([Gutiérrez-Mosquera et al. 2018](#)), participantes del sur de Bolívar ([Olivero-Verbel et al. 2011a](#)), la Mojana sucreña ([Olivero et al. 2002](#)). Lo anterior, puede explicarse por la asociación con el consumo de pescado encontrada en estos estudios.

En cuanto a los hallazgos observados en la encuesta general de salud se encontró que la ocupación de los adultos fueron principalmente las actividades agropecuarias, situación que está acorde con el Censo Nacional Agropecuario el cual reportó que del total del área rural dispersa censada en Colombia el 38,6% se dedica a estas labores ([DANE 2014](#)). Por su parte, las mujeres se dedican a las actividades del hogar. Esta situación es similar a la del resto del país donde más del 50% las mujeres se dedican a labores del hogar ([González Olarte 2020](#)). En cuanto al estado civil más del 60% viven en unión libre y el 26,1% son madres solteras. De manera alarmante los patrones de depresión fueron reportados en el 60,9-% de las embarazadas, esta cifra fue 5 veces superior a la reportada por la OMS, quien muestra que alrededor del 10% de las mujeres embarazadas en todo el mundo experimentan un trastorno mental, también esta cifra fue superior a la reportada para los países en vía de desarrollo (15,6%) ([Fan et al. 2021](#)). Además, fue evidenciado que más del 30% de los encuestados manifestó sufrir de ansiedad, a lo que respondieron que la causa principal estaba asociada a razones emocionales, seguida por problemas económicos y familiares. Es probable que este resultado estuviese asociado con la pandemia por COVID-19, la cual de acuerdo con la Organización Panamericana de Salud ha sido un factor importante en la prevalencia de la ansiedad en todo el mundo ([OPS 2022](#)).



La evidencia científica avala la importancia de un estilo de vida saludable para la prevención de enfermedades ([Organización Mundial de la 2019](#)). En este estudio, fue encontrado que dentro de los hábitos saludables muy pocas mujeres y adultos realizan actividad física. Los hallazgos de otros estudios respaldan una fuerte reducción en las tasas de ataques cardíacos fatales y no fatales con un aumento en el gasto energético semanal de ≥ 2000 Kcal por semana ([Kokkinos et al. 2011](#)). Al respecto, la Organización Mundial de la Salud considera que la inactividad física es el cuarto factor de riesgo para la mortalidad global ya que causa aproximadamente 3,2 millones de muertes anuales. Es preocupante aún más que las investigaciones también demuestran que solo cerca del 40% de la población femenina cumple con las recomendaciones mínimas de 150 minutos de actividad física moderada a la semana ([González and Rivas 2018](#)).

La situación en la población estudiada requiere de medidas urgentes, sobre la base de la valoración médica donde se encontró un alto porcentaje de mujeres y adultos mayores con problemas de hipertensión, diabetes, sobrepeso y obesidad por lo que se considera que la actividad física y el ejercicio regular como medidas preventivas primarias y secundarias eficaces para la prevención de enfermedades no transmisibles, como las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la diabetes ([Organización Mundial de la 2019](#)). Las intervenciones en la población de estudio son requeridas desde la niñez dado que fue encontrado que más del 7% de los menores sufría de obesidad. La prevalencia de la obesidad entre niños y adolescentes ha aumentado rápidamente, con más de 100 millones de afectados en 2015. La obesidad infantil y adolescente rastrea la obesidad en la edad adulta y se ha relacionado con muchas enfermedades crónicas, como la diabetes tipo 2, la hipertensión y las enfermedades cardiovasculares ([Lee and Yoon 2018](#)), estos escenarios ya evidentes en la población adulta aquí estudiada, la situación es aún más alarmante teniendo en cuenta los resultados evaluación bioquímica del perfil lipídico donde resulto que el colesterol total se encuentra alterado en más del 50% los adultos.

La dislipidemia se caracteriza por trastornos en el metabolismo de lípidos, que conducen a cambios en los niveles séricos de lípidos y que circula lipoproteínas y sus subclasificaciones se establece mediante la determinación de las concentraciones de triglicéridos (TRIG), colesterol total (CT) y sus fracciones de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y lipoproteínas de baja densidad (LDL). La hipótesis de que los metales pesados son factores de riesgo de para las enfermedades cardiovasculares ha sido verificada por muchos estudios. Sin embargo El Hg y otras tóxicos ambientales son factores de exposición prevenibles ([Bhatnagar 2006](#)). En este estudio, a pesar de los bajos niveles de mercurio anteriormente mencionados se encontraron asociaciones positivas con el colesterol total, LDL y los triglicéridos, lo anterior puede explicarse dado que el Hg aumenta la peroxidación lipídica; aumenta la oxidación de LDL y aumenta los complejos LDL plasmáticos ([Houston 2011](#)).



Con relación al componente genético, se encontró que las variantes de los genes *ABCB1*, *MT2A* y *GSTP1* se distribuyen de manera similar entre los consejos comunitarios. La frecuencia del polimorfismo *GSTP1*-Ile105Val descrita en este estudio es similar a las reportadas para otras poblaciones ([Millikan et al. 2000](#), [Kvitko et al. 2006](#)). *GSTP1* exhibe una mutación sin sentido en el codón 105 (*GSTP1*-105), que sustituye val por ile, y están asociados con diferencias en la actividad enzimática para varios sustratos. *GSTP1* con capacidad de conjugación reducida o sin ella, puede ser asociado con una mayor retención de Hg^{2+} en sangre y plasma o aumento de la excreción urinaria ([Barcelos et al. 2013](#)). Con relación al gen *MT2A*, este estudio encontró un porcentaje elevado de portadores con el genotipo CC (<25%). No obstante este porcentaje es ligeramente superior a lo reportado para la población china sana tenía el porcentaje del genotipo CC (9,7%) ([Yang et al. 2008](#)). Los SNP del gen *MT2A* se han asociado con diversas condiciones fisiológicas y patológicas. Estos incluyen el envejecimiento y las enfermedades crónicas, la diabetes mellitus tipo 2 y la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, entre otros ([Sekovanić et al. 2020](#)). Además, según varios informes estas proteínas están involucradas en las respuestas del cuerpo a los metales pesados, como el mercurio ([Joneidi et al. 2019](#)).

Por otra parte, en este estudio se exploraron los parámetros hematológicos. Dentro de los resultados más relevantes en este estudio, se encontró que más del 17% de los niños y mujeres embarazadas presentaron anemia. La anemia es un problema de salud global que afecta aproximadamente al 25% de la población mundial, con mayor prevalencia entre los niños en edad preescolar y las mujeres embarazadas ([Orsango et al. 2021](#)).

Además, aquí fueron analizadas las correlaciones entre el mercurio y la hematología y fue encontrada una correlación negativa con Hg-T y los granulocitos en las mujeres embarazadas y los niños de ambos géneros mostraron correlación negativa con el total de los leucocitos. Estos resultados coinciden con otros reportes donde se ha mostrado que existe relación o asociación entre la exposición al mercurio y los efectos hematológicos, especialmente linfopenia ([Vianna et al. 2019](#)). Sin embargo, ninguno de estos estudios pudo determinar una relación causal ya que existe mucha controversia entre los diferentes reportes ([Queiroz and Dantas 1997](#)). Solo hay un número limitado de estudios sobre el efecto regulador inmunitario del mercurio en humanos por ejemplo se informó que la exposición al mercurio redujo la proliferación de linfocitos B en humanos ([Queiroz et al. 1997](#)).

En esta investigación también se realizaron valoraciones del coeficiente intelectual de los niños. Investigaciones sobre el aprendizaje cognitivo dan valor a la relación intrínseca entre los componentes emocionales, comportamentales y sociales en respuesta a condiciones ambientales. En general en ambos consejos comunitarios ninguno de los niños tuvo puntuaciones de CI muy alto y alto, manteniendo puntuaciones a la de otros niños en Colombia que viven en situaciones de vulnerabilidad como la pobreza ([Alvarez-Ortega et al. 2017](#), [Alvarez-Ortega et al. 2019](#), [Arán Filippetti et al. 2021](#), [Lara-Díaz et al. 2021](#)), desafortunadamente, en este estudio no pudimos establecer una relación con la exposición a Hg probablemente por el reducido número de participantes.

Otro de los análisis realizados a las mujeres embarazadas fue la prueba de color y evaluación por audiometría. Afortunadamente la evaluación de Test de Ishihara arrojó resultados positivos, no obstante, la valoración auditiva presentó algunas alteraciones



importantes. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) alrededor de 45 millones de personas sufren pérdida auditiva de leve a severa debido a la exposición al ruido. Los efectos no auditivos de la exposición al ruido incluyen interferencias en el habla, trastornos del sueño, efectos cardiovasculares y otros efectos fisiológicos, efectos psicológicos, y efectos secundarios como el aumento del riesgo de accidentes ([Golmohammadi and Darvishi 2019](#)). Las mujeres aquí evaluadas tuvieron un 30% audición periférica normal con descenso sensor neural leve en las frecuencias 6Khz y 8Khz. Diferentes informes han señalado demostrado que la exposición al ruido y la exposición a metales pesados exacerba las enfermedades crónicas como las enfermedades cardiovasculares y viceversa ([Shlomo et al. 2002](#)) por lo que dada las características clínicas y alteración del perfil lipídico en embarazadas se requieren estudios adicionales para establecer dicha asociaciones.

5.6. CONCLUSIONES

La mayoría de los participantes en ambos consejos manifestaron no vivir o trabajar en minas de extracción de oro (>70%), y menos del 10% registró haber manipulado azogue, lo cual sugiere una baja exposición al Hg.

En la población adulta, fue evidenciado que más 30% de los encuestados manifestaron sufrir de ansiedad.

En el caso de las mujeres embarazadas se encontró que el 30% se dedicaba a oficios varios y más del 25% eran madres solteras.

Los adultos en ambos consejos comunitario presentan hipertensión (50%), seguido de diabetes (<15%).

De acuerdo con el IMC calculado, más del 40% de la población adulta presentó sobrepeso, este patrón fue similar en las mujeres embarazadas (>50%).

En los niños la impresión diagnóstica reveló que más del 40% tenía caríes dental, seguido de hernia umbilical.

Las concentraciones de Hg halladas en las matrices humadas evaluadas dan cuenta de un bajo nivel de exposición a este metal en las comunidades.

Las mujeres embarazadas de ambos consejos comunitarios no presentaron alteraciones en la capacidad visual.

Un 20% de las mujeres embarazadas del CCMTM presentaron tapón parcial de cerumen y un 10% tapón total del mismo, lo cual podría comprometer la función auditiva.

El 70% de las mujeres embarazadas del CCAG registraron audición periférica normal con descenso sensorineural leve en las frecuencias 6 Khz y 8 Khz para el oído izquierdo, mientras que en el CCMTM fue normal.



Las puntuaciones de Coeficiente Intelectual para los niños mayores de 4 años ninguno reportó puntuaciones de CI muy alto o alto.

Varios marcadores bioquímicos de daño hepático, renal y riesgo cardiovascular fueron estadísticamente diferentes en los dos consejos comunitarios, tanto en adultos mayores (AST, CREAT, CT, CLDL, TRIG) como en embarazadas (CREAT, BUN).

Los adultos mayores presentaron colesterol >200 mg/dL en más del 50% de la población estudiada y el 100% de las mujeres embarazadas presentó niveles mayores a 130 mg/dL de CLDL.

Los niveles de Hg-t en cabello se correlacionaron positiva y significativamente con el CT y CLDL en los adultos mayores de CCMTM.

La fosfatasa alcalina mostró una correlación inversa con las concentraciones de Hg-t en cabello, mientras que en los niños no fueron observadas correlaciones entre los niveles de este elemento con los parámetros bioquímicos analizados.

Los valores promedio de Hg-t en cabello, sangre y orina en adultos, embarazadas y niños en ambos consejos comunitarios estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos por la USEPA y el INS.

Más del 17% de los niños y mujeres embarazadas tienen anemia.

Correlaciones entre las concentraciones de Hg-t y los parámetros hematológicos mostraron patrones diferentes de acuerdo con los grupos poblaciones y el género.

Las mujeres embarazadas presentaron alteraciones leves en el examen audiométrico.

Una sobreexpresión de *SOD1* se encontró en los adultos mayores de CCMTM, mientras que el gen *MT1X* fue regulado negativamente en las mujeres embarazadas del CCMTM.

Los polimorfismos asociados con genes transportadores (*ABCB1*) mostraron que la variante GG fue la más frecuente en los tres grupos de estudio. El genotipo AG del polimorfismo *GSTP1* fue más frecuente en mujeres embarazadas, seguido de niños y adultos. Para SNPs *MT2A* el patrón más frecuente fue AC.

5.7. RECOMENDACIONES

El bajo nivel intelectual y cognitivo de los niños requiere de una intervención inmediata para evitar secuelas que imposibiliten su óptimo desempeño escolar y social.

Los valores promedio de Hg-t en cabello, sangre y orina en adultos, embarazadas y niños estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos por la USEPA y el INS. Sin



embargo, los adultos y embarazadas de CCMTM los niveles de Hg-t en cabello y sangre fueron ligeramente superiores a los del CCAG.

Es prioritario involucrar de forma más activa y decidida a los consejos comunitarios en el desarrollo de proyectos y políticas públicas asociadas con el territorio.

Ambos consejos requieren planes gubernamentales para mejorar la seguridad alimentaria, el bienestar nutricional, la higiene oral, y evaluar clínicamente la etiología asociada con hernias umbilicales en la población, frecuentes entre los niños.

Realizar programas materno-infantiles tendientes a mejorar las condiciones de desarrollo fetal, incluyendo una suplementación vitamínica y de minerales que soporte un adecuado crecimiento del bebé y mejore la salud de la gestante.

Los consejos comunitarios necesitan un mayor apoyo del gobierno para la defensa de sus territorios, no solo del impacto ambiental de la minería del oro, sino de la presencia de diferentes actores armados en la región, los cuales mantienen una gran presión sobre la salud mental de las comunidades.

El empoderamiento de la mujer como actor social determinante en el desarrollo de las comunidades debe ser fortalecido para garantizar un tejido social menos vulnerable a las presiones sociales, culturales y económicas externas.

Realizar estudios de audiometría en todos los grupos etarios a fin de establecer asociaciones con el mercurio y las enfermedades cardiovasculares y alteración de lípidos.



CAPÍTULO VI

MERCURIO EN MATRICES AMBIENTALES

6.1. INTRODUCCIÓN

La dinámica ambiental en Colombia está vinculada con una serie de procesos que buscan el aprovechamiento de los recursos y riquezas medioambientales de las regiones, en función del desarrollo económico de los territorios. Estos procesos, involucran actividades como la minería de oro cuyo problema surge cuando se realiza de manera artesanal y a pequeña escala, al utilizar Hg como metal para formar una amalgamación con el oro ([Esdaile and Chalker 2018](#)). En los pasos posteriores de lixiviación y vaporización para la recuperación del oro (Au), se libera Hg al medio ambiente mediante un ciclo biogeoquímico, como vapor en la atmósfera Hg^0 ([Esdaile and Chalker 2018](#)) y como vertiente a las fuentes de aguas y superficies terrestres Hg^{2+} ([Esdaile and Chalker 2018](#)). Además, el transporte de Hg hacia los cuerpos de agua, lo deposita en los sedimentos donde se convierte por acción biológica en MeHg, el cual tiene la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse a través de la cadena trófica ([Esdaile and Chalker 2018](#)). Lo anterior, constituye una fuente de exposición para las comunidades que consumen los productos de la pesca como principal fuente de proteínas.

Varios autores han reportado la liberación de Hg al ambiente. Este elemento ha sido encontrado en agua ([Olivero-Verbel et al. 2015a](#)), aire ([Olivero-Verbel et al. 2014](#), [Palacios-Torres et al. 2018a](#), [Carranza-Lopez et al. 2019a](#)), peces ([Palacios-Torres et al. 2018a](#)), sedimentos ([Palacios-Torres et al. 2018a](#)) y suelo superficial ([Rocha-Román et al. 2018a](#)) en áreas de influencia de minería de oro en Colombia.

Por otra parte, en Colombia uno de los departamentos poco estudiados, en relación con la contaminación por Hg derivada de las actividades de minería, es el departamento del Cauca, el cual por sus eventos históricos y étnico-culturales sostiene su importancia en la complejidad de las actividades mineras observadas en los últimos años, en la búsqueda de la apropiación de territorios que está dejando una infortunada huella de degradación ambiental. No obstante, se han monitoreado y cuantificado niveles de Hg en peces de la Cuenca del río Cauca, en donde fueron reportados niveles superiores a los permisibles para peces (0.5 ppm) en especies tales como *Petenia kraussi* y *Ageneiosus caucanus* y *Hoplias malabaricus* ([Olivero et al. 1998](#)). Además, Hg en efluentes afectados por actividad minera en el municipio de Suárez - Cauca fue monitoreada en agua y sedimentos ([Rosero Rosero 2017](#)). No obstante, actualmente poca evidencia existe sobre la presencia de Hg como contaminante en agua, sedimentos, suelo superficial y peces de los territorios colectivos Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y Microcuenca del río Teta-Mazamorrero expuesta a vertimientos contaminantes derivados de la minería de oro.

Por consiguiente, ante los indicadores de posible riesgo de contaminación ambiental en los territorios colectivos del departamento del Cauca, en donde han sido desarrolladas prácticas de extracción de oro durante los últimos años, y teniendo en cuenta el riesgo ambiental y poblacional que genera el Hg, en este capítulo son presentados los resultados



de los análisis de Hg-total en agua, sedimentos, suelo superficial y peces provenientes de los municipios de Santander de Quilichao y Buenos Aires en el departamento del Cauca (Colombia), con el fin de caracterizar los niveles de Hg presentes en dichas matrices ambientales y el posible riesgo asociado a la salud de las comunidades afrodescendientes que habitan en estos territorios.

6.2. RESULTADOS

6.2.1. Niveles de Hg en agua, sedimentos y suelo superficial

Las distribuciones de frecuencia de los niveles de Hg-t en el agua y los valores promedio por sitio de muestreo aparecen en la **Figura 6.1**. En general, las concentraciones de Hg-t en agua para CCAG y CCMTM oscilaron entre 0,34 y 1,83 $\mu\text{g/L}$ (mediana: 0,77 $\mu\text{g/L}$) y entre 0,22 y 1,84 $\mu\text{g/L}$ (mediana: 0,54 $\mu\text{g/L}$), respectivamente. Aunque los resultados fueron similares para esta matriz en ambos consejos comunitarios, el promedio más alto de Hg-t en agua se observó en el CCAG (0.86 $\mu\text{g/L}$ vs 0.65 $\mu\text{g/L}$). Además, fue posible obtener tres muestras de pozos mineros de oro abandonados en la vereda Brasilia pertenecientes a la CCAG, donde se encontraron resultados similares (Promedio $\pm$ SEM: 0,68 $\pm$ 0,06 $\mu\text{g/L}$, rango: 0,59-0,80 $\mu\text{g/L}$) a las muestras colectadas en ambos territorios. Todas las muestras de agua analizadas presentaron niveles cuantificables de Hg, pero ninguna alcanzó los 2 $\mu\text{g/L}$, el nivel máximo en el que el Hg puede estar presente en el agua potable según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ([USEPA 2018](#)). Sin embargo, varias estaciones de muestreo de agua (W7, W12, W13 en CCAG y W31 en CCMTM) tenían concentraciones cercanas a 2 $\mu\text{g/L}$ (datos complementarios). No se encontraron diferencias significativas entre el contenido promedio de Hg-t en las aguas de la CCAG y CCMTM (T-test, $p=0.12$).

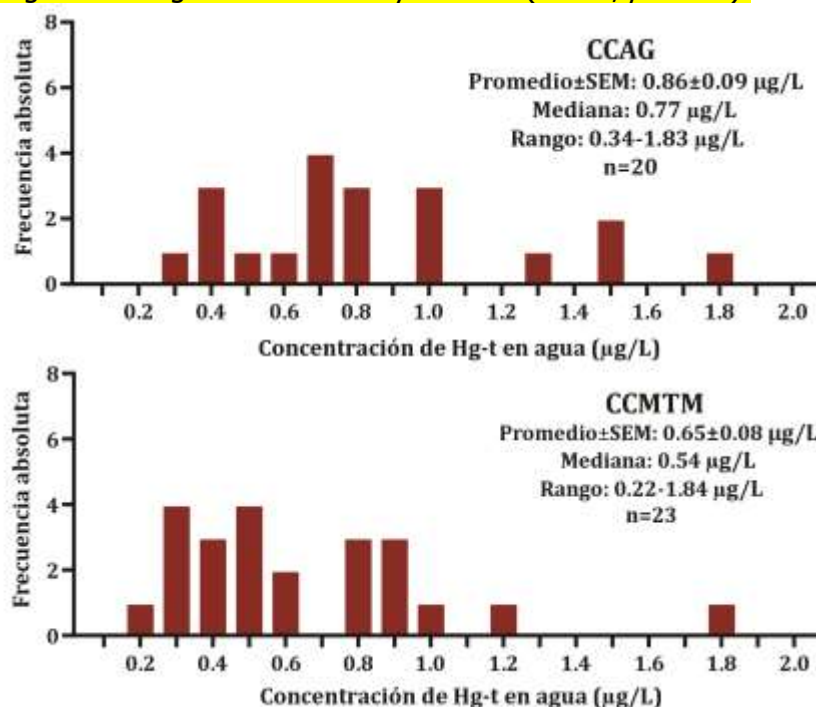




Figura 6.1. Concentraciones de Hg-t en muestras de agua colectadas en los CCAG y CCMTM.

Los niveles de T-Hg en muestras de sedimentos colectadas en diferentes sitios de los territorios colectivos de la CCAG y CCMTM se muestran en la **Figura 6.2**. El promedio observado en sedimentos de la CCMTM ($1.72 \mu\text{g/g}$) fue superior al encontrado para sedimentos de CCAG ($0.184 \mu\text{g/g}$) y en los pozos mineros ($0.061 \pm 0.003 \mu\text{g/g}$, rango: 0.055 - $0.064 \mu\text{g/g}$). Las concentraciones más altas se encontraron en el río Teta ($4.67 \mu\text{g/g}$) seguido del río Mazamorrero ($0.29 \mu\text{g/g}$), puente San Francisco ($0.20 \mu\text{g/g}$), vereda La Balsa ($0.15 \mu\text{g/g}$), quebrada San Miguel ($0.14 \mu\text{g/g}$), y quebrada San Jerónimo ($0.04 \mu\text{g/g}$). Es evidente que existe una alta contaminación en los sedimentos del río Teta, donde fue posible encontrar concentraciones que oscilan entre 0.24 y $10.90 \mu\text{g/g}$. No se observaron diferencias significativas entre el contenido promedio de Hg-t en los sedimentos de CCAG y CCMTM (prueba de Mann-Whitney, $p=0.25$).

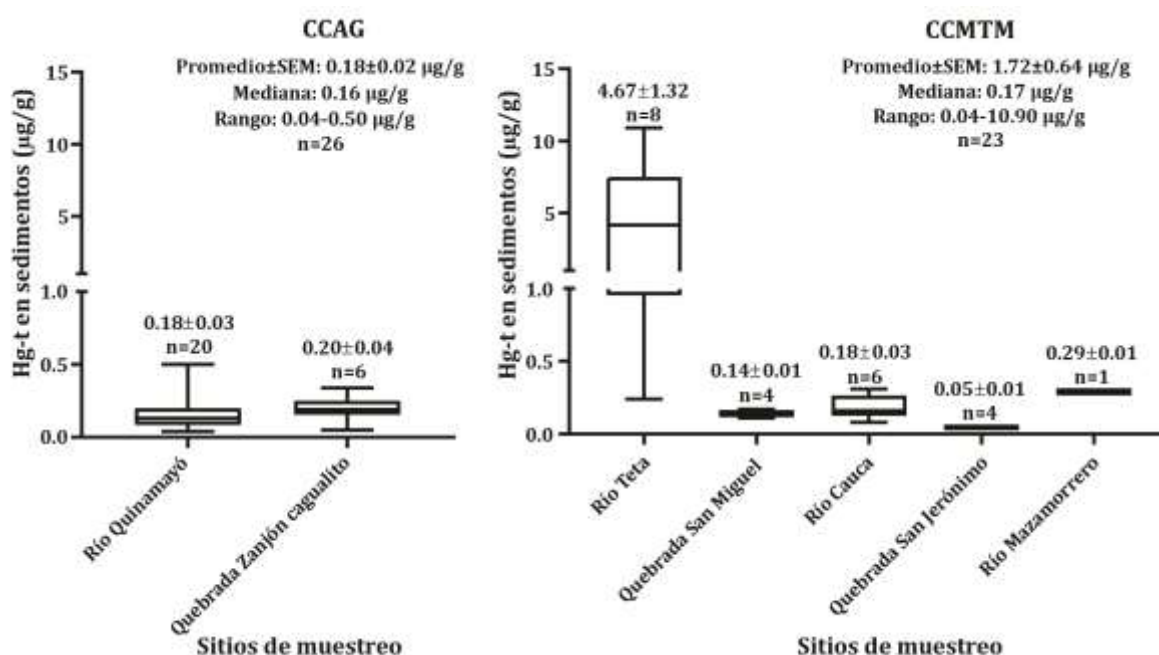


Figura 6.2. Concentraciones de Hg-t en muestras de sedimentos colectadas en los CCAG y CCMTM.

La distribución de los niveles de Hg-t en el suelo superficial de los diferentes puntos de muestreo en los CCAG y CCMTM se presentan en la **Figura 6.3**. El promedio de las concentraciones de Hg-t en la CCAG ($0.09 \mu\text{g/g}$, rango: 0.02 - $0.26 \mu\text{g/g}$) fue inferior al encontrado en el CCMTM ($0.42 \mu\text{g/g}$, rango: $<LD$ - $11.29 \mu\text{g/g}$). Al igual que en las muestras de sedimentos, el suelo superficial del área de influencia del río Teta presentó los valores más altos de Hg. Esto sugiere que este punto debe estudiarse en detalle para prevenir posibles efectos en la salud de las personas expuestas a los vapores de Hg en esta área.

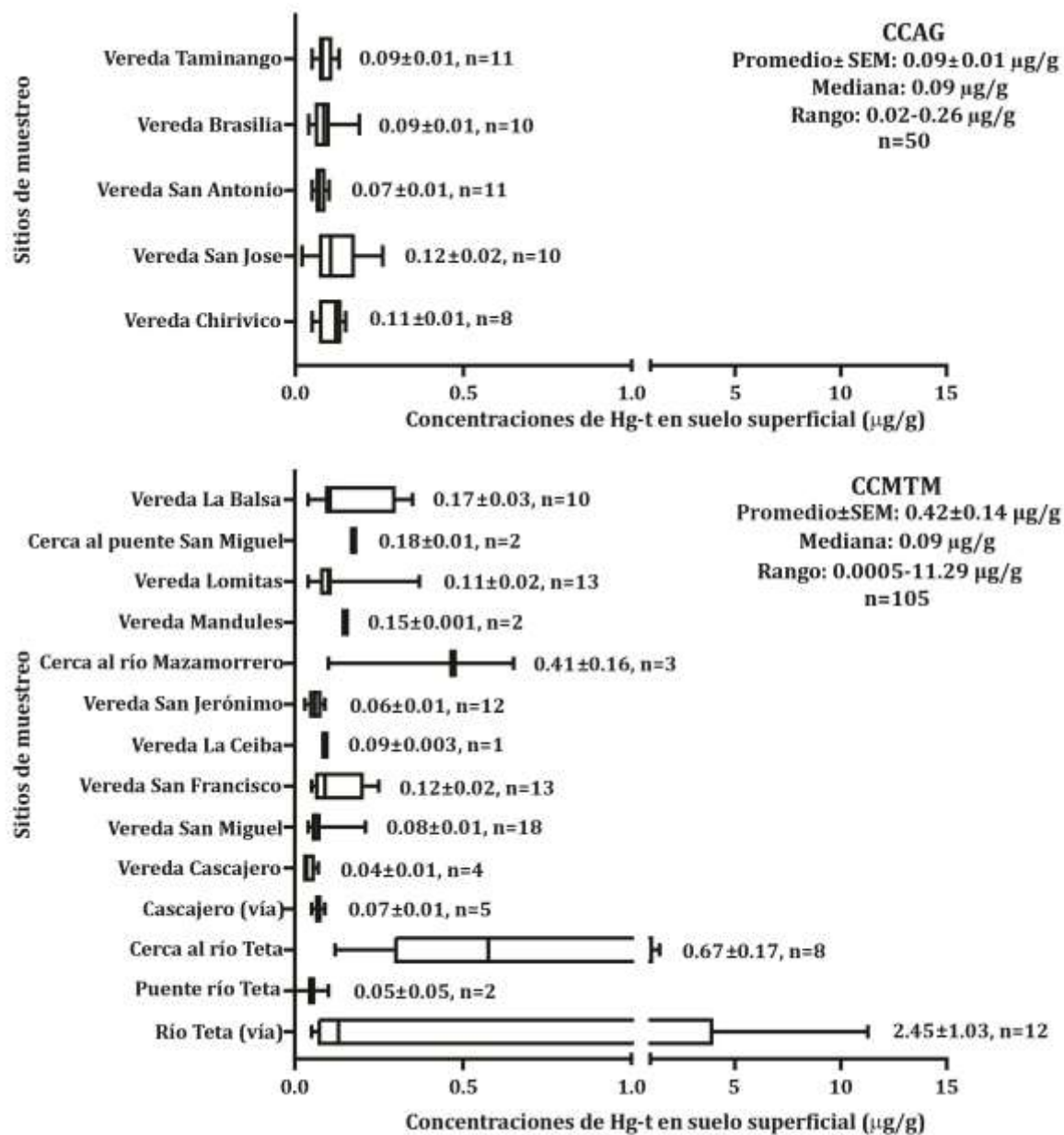


Figura 6.3. Concentraciones de Hg-t en muestras de suelo superficial colectadas en en los CCAG y CCMTM.



6.2.2. Niveles de Hg en músculo de pescado

La concentración de Hg-t y los parámetros morfométricos de diferentes especies de peces colectados en cuerpos de agua cercanos a los consejos comunitarios de estudio, así como aquellos adquiridos en el comercio con su nivel trófico se presentan en la **Tabla 6.1**. El nivel trófico para las 17 especies de peces varió entre 2.0 y 4.0. El mayor promedio de longitud y peso total se observó en peces comerciales como *Megaleporinus muyscorum* (49 cm y 1.356 g). Las especies de peces con niveles de T-Hg superiores al límite permisible para este elemento en el músculo de pescado fueron: *Pseudopimelodus bufonius* (Bagre pintado o sapo) ($2,53 \pm 0,01$ µg/g) de La Balsa (Cauca), *Brycon henni* (Sabaleta) ($0,77 \pm 0,07$ µg/g) del río Quinamayó y *Andinoacara pulcher* (Cabeza de piedra) ($0,57 \pm 0,09$ µg/g); mientras que los valores más bajos se observaron en pescados adquiridos comercialmente como cachama roja, *Piaractus brachypomus* (0.004 ± 0.001 µg/g).



Tabla 6.1. Especies, nivel trófico, concentración de Hg-t y parámetros morfométricos de peces colectados de diferentes cuerpos de agua aledaños a los consejos comunitarios de estudio y adquiridos en el comercio.

Lugar	Nombre común	Nombre científico	Nivel trófico*	n	Hg-t (µg/g)	Peso (kg)	Talla (cm)
La Balsa-Río Cauca	Cucha	<i>Hypostomus hondae</i>	2,0	3	0,17 ± 0,03	124,67 ± 21,98	23,00 ± 1,53
	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	2,1	22	0,40 ± 0,05	297,27 ± 21,25	28,92 ± 0,61
	Sardina	<i>Astyanax fasciatus</i>	3,0	5	0,28 ± 0,06	18,74 ± 2,14	10,80 ± 0,37
	Besote	<i>Ichthyoelephas longirostris</i>	3,1	1	0,40 ± 0,01	880,00 ± 0,01	45,00 ± 0,01
	Barbudo	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	3,3	14	0,26 ± 0,09	187,86 ± 18,87	27,04 ± 0,94
	Bagre pintado o sapo	<i>Pseudopimelodus bufonius</i>	3,7	1	2,53 ± 0,01	49,00 ± 0,01	16,00 ± 0,01
	Mueluda	<i>Gilbertolus</i> sp.	4,0	1	1,04 ± 0,01	416,00 ± 0,01	34,90 ± 0,01
Río Quinamayó	Mojarra plateada	<i>Oreochromis niloticus</i>	2,0	9	0,25 ± 0,07	167,11 ± 11,09	16,46 ± 0,63
	Cucha	<i>Hypostomus hondae</i>	2,0	17	0,36 ± 0,02	117,58 ± 14,23	21,88 ± 0,87
	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	2,1	11	0,56 ± 0,06	351,27 ± 27,26	28,73 ± 0,69
	Rollizo	<i>Saccodon dariensis</i>	2,3	1	1,75 ± 0,05	65,00 ± 0,00	17,00 ± 0,00
	Raspa canoa	<i>Rineloricaria magdalenae</i>	2,5	3	0,36 ± 0,03	45,33 ± 13,17	20,67 ± 1,76
	Sabaleta	<i>Brycon henni</i>	2,7	1	0,77 ± 0,07	104,00 ± 0,01	20,00 ± 0,01
	Sardina	<i>Astyanax fasciatus</i>	3,0	6	0,59 ± 0,10	27,83 ± 2,18	12,00 ± 0,26
	Barbudo	<i>Pimelodus grosskopfii</i>	3,3	1	0,32 ± 0,01	55,00 ± 0,00	16,00 ± 0,01
	Cabeza de piedra	<i>Andinoacara pulcher</i>	3,3	3	0,54 ± 0,04	18,07 ± 2,03	9,33 ± 0,33
	Mojarra amarilla	<i>Caquetaia kraussii</i>	3,4	3	0,68 ± 0,30	124,67 ± 39,62	19,00 ± 2,31
Mazamorrero	Mojarra plateada	<i>Oreochromis niloticus</i>	2,0	5	0,03 ± 0,02	198,40 ± 26,54	21,86 ± 1,11
	Sabaleta	<i>Brycon henni</i>	2,7	4	0,010 ± 0,001	260,50 ± 22,17	26,67 ± 0,86
Río Mazamorrero	Sardina	<i>Astyanax fasciatus</i>	3,0	1	0,14 ± 0,03	16,15 ± 1,27	11,32 ± 0,36
San Miguel	Sardina	<i>Astyanax fasciatus</i>	3,0	1	0,09 ± 0,02	18,57 ± 2,56	11,08 ± 0,40



Continuación **Tabla 6.1.**

Lugar	Nombre común	Nombre científico	Nivel trófico*	n	Hg-t (µg/g)	Peso (g)	Talla (cm)
Pozo minero abandonado de Brasilia	Sardina	<i>Astyanax fasciatus</i>	3,0	8	0,43 ± 0,09	26,50 ± 1,80	12,25 ± 0,24
	Cabeza de piedra	<i>Andinoacara pulcher</i>	3,3	3	0,57 ± 0,09	29,43 ± 2,34	11,90 ± 0,01
	Mojarra amarilla	<i>Caquetaia kraussii</i>	3,4	1	0,56 ± 0,01	31,10 ± 0,01	13,40 ± 0,01
	Raspa canoa	<i>Rineloricaria magdalenae</i>	2,5	8	0,43 ± 0,05	51,50 ± 5,97	23,46 ± 0,82
	Cucha	<i>Hypostomus hondae</i>	2,0	4	0,30 ± 0,07	29,50 ± 5,25	15,88 ± 0,88
Comercio	Tilapia negra	<i>Oreochromis niloticus</i>	2,0	9	0,007 ± 0,001	427,11 ± 24,60	26,92 ± 0,36
	Tilapia roja	<i>Oreochromis</i> sp.	2,0	7	0,012 ± 0,002	424,14 ± 19,28	26,44 ± 0,40
	Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>	2,1	3	0,14 ± 0,001	476,00 ± 13,20	31,67 ± 0,67
	Bocachico importado	<i>Prochilodus</i>	2,1	4	0,03 ± 0,003	1,127,50 ± 135,00	45,63 ± 1,86
	Cachama roja	<i>Piaractus brachypomus</i>	2,5	5	0,004 ± 0,001	849,20 ± 44,99	34,30 ± 0,59
	Rollizo	<i>Megaleporinus muyscorum</i>	2,5	1	0,04 ± 0,001	1,359,00 ± 0,01	49,00 ± 0,01

*. FishBase (<https://www.fishbase.de>). Valores negrita representan concentraciones de Hg-t superiores al límite permisible para Hg en músculo de pescado de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud ([WHO 1990](http://www.who.int)).

A las muestras de peces con niveles altos de Hg-t les fue analizado el contenido de MeHg. Los resultados mostraron valores de MeHg para especies como *P. magdalenae* y *B. henni* provenientes del río Quinamayò de 1,68 µg/g peso seco y 2,38 µg/g peso seco, respectivamente, mientras que en Bocachico colectado en La Balsa (río Cauca) presentó valores de 2,25 µg/g peso seco. Además, la especie *Hypostomus hondae* la concentración de MeHg fue de 2,25 µg/g peso seco.



6.2.3. Evaluación del riesgo para la salud humana

Los valores estimados de la ingesta diaria estimada por comida (EDIm), el cociente de riesgo (HQ) y la tasa de consumo máximo permitido de pescado en comidas/semana (Crmw) son presentados en la **Tabla 6.2**. Entre las especies de peces evaluadas aquellas provenientes del río Cauca (La Balsa), río Quinamayó, río Mazamorrero y pozo minero abandonado mostraron que todas las especies colectadas tienen un riesgo potencial alto para adultos, embarazadas/lactantes y niños 3-5 años; mientras que las especies de comerciales a excepción del Bocachico y el Rollizo, y Mazamorrero no representan un riesgo potencial para adultos, embarazadas/lactantes y niños 3-5 años, mientras que *H. malabaricus* y *C. beani* con valores HQ de 24,09 y 79,31, presentaron el riesgo potencial más alto.

Los valores del HQ mostraron que existe un riesgo potencial por el consumo de cualquiera de las especies de peces colectadas ($HQ > 1$), lo cual se evidencia al observar el número de comidas semanales (pescado) que pueden consumir los adultos, embarazadas/lactantes y niños 3-5 años pueden consumir mientras se mantienen por debajo de los niveles de tóxicos de exposición.



Tabla 6.2. Cociente de peligro (HQ) y tasa máxima permitida de consumo de pescado en las comidas por semana (CRmw) para niños (3, 4 y 5 años), mujeres embarazadas/lactantes y adultos.

Lugar	Nombre común	Nombre científico	Adultos			Embarazadas/lactantes			Niños 3 años			Niños 4 años			Niños 5 años		
			EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw
La Balsa-Río Cauca	Cucha	<i>H. hondae</i>	0.50	5.03	1	0.23	2.31	3	0.36	3.56	9	0.41	4.14	7	0.35	3.50	6
	Bocachico	<i>P. magdalenae</i>	1.18	11.83	1	0.54	5.42	1	0.84	8.38	4	0.97	9.75	3	0.82	8.22	3
	Sardina	<i>A. fasciatus</i>	0.83	8.28	1	0.38	3.80	2	0.59	5.87	6	0.68	6.82	4	0.58	5.76	4
	Barbudo	<i>P. grosskopfii</i>	0.77	7.69	1	0.35	3.53	2	0.54	5.45	6	0.63	6.33	4	0.53	5.35	4
	Bagre pintado o sapo	<i>P. bufonius</i>	7.48	74.82	0	3.43	34.31	0	5.30	53.02	1	6.16	61.64	0	5.20	52.01	0
	Mueluda	<i>Gilbertolus</i> sp.	3.08	30.75	0	1.41	14.10	0	2.18	21.79	2	2.53	25.34	1	2.14	21.38	1
	Besote	<i>I. longirostris</i>	1.18	11.83	1	0.54	5.42	1	0.84	8.38	4	0.97	9.75	3	0.82	8.22	3
Río Quinamayó	Mojarra plateada	<i>O. niloticus</i>	0.74	7.39	1	0.34	3.39	2	0.52	5.24	6	0.61	6.09	5	0.51	5.14	4
	Cucha	<i>H. hondae</i>	1.06	10.65	1	0.49	4.88	1	0.75	7.54	4	0.88	8.77	3	0.74	7.40	3
	Bocachico	<i>P. magdalenae</i>	1.66	16.56	0	0.76	7.59	1	1.17	11.73	3	1.36	13.64	2	1.15	11.51	2
	Rollizo	<i>S. dariensis</i>	5.18	51.75	0	2.37	23.73	0	3.67	36.67	1	4.26	42.64	1	3.60	35.98	1
	Raspa canoa	<i>R. magdalenae</i>	1.06	10.65	1	0.49	4.88	1	0.75	7.54	4	0.88	8.77	3	0.74	7.40	3
	Sabaleta	<i>B. henni</i>	2.28	22.77	0	1.04	10.44	1	1.61	16.14	2	1.88	18.76	1	1.58	15.83	1
	Sardina	<i>A. fasciatus</i>	1.74	17.45	0	0.80	8.00	1	1.24	12.36	3	1.44	14.37	2	1.21	12.13	2
	Barbudo	<i>P. grosskopfii</i>	0.95	9.46	1	0.43	4.34	1	0.67	6.71	5	0.78	7.80	4	0.66	6.58	3
	Cabeza de piedra	<i>A. pulcher</i>	1.60	15.97	0	0.73	7.32	1	1.13	11.32	3	1.32	13.16	2	1.11	11.10	2
	Mojarra amarilla	<i>C. kraussii</i>	2.01	20.11	0	0.92	9.22	1	1.42	14.25	2	1.66	16.57	2	1.40	13.98	1
Mazamorrero	Mojarra plateada	<i>O. niloticus</i>	0.09	0.89	7	0.04	0.41	14	0.06	0.63	52	0.07	0.73	38	0.06	0.62	34
	Sabaleta	<i>B. henni</i>	0.03	0.30	21	0.01	0.14	43	0.02	0.21	157	0.02	0.24	115	0.02	0.21	102
Río Mazamorrero	Sardina	<i>A. fasciatus</i>	0.41	4.14	2	0.19	1.90	3	0.29	2.93	11	0.34	3.41	8	0.29	2.88	7
San Miguel	Sardina	<i>A. fasciatus</i>	0.27	2.66	2	0.12	1.22	5	0.19	1.89	17	0.22	2.19	13	0.19	1.85	11



Continuación **Tabla 6.2.**

Lugar	Nombre común	Nombre científico	Adultos			Embarazadas/lactantes			Niños 3 años			Niños 4 años			Niños 5 años		
			EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw	EDIm	HQ	CRmw
Pozo minero abandonado de Brasília	Sardina	<i>A. fasciatus</i>	1.27	12.72	0	0.58	5.83	1	0.90	9.01	4	1.05	10.48	3	0.88	8.84	2
	Cabeza de piedra	<i>A. pulcher</i>	1.69	16.86	0	0.77	7.73	1	1.19	11.94	3	1.39	13.89	2	1.17	11.72	2
	Mojarra amarilla	<i>C. kraussii</i>	1.66	16.56	0	0.76	7.59	1	1.17	11.73	3	1.36	13.64	2	1.15	11.51	2
	Raspa canoa	<i>R. magdalenae</i>	1.27	12.72	0	0.58	5.83	1	0.90	9.01	4	1.05	10.48	3	0.88	8.84	2
	Cucha	<i>H. hondae</i>	0.89	8.87	1	0.41	4.07	1	0.63	6.29	5	0.73	7.31	4	0.62	6.17	3
Comercio	Tilapia negra	<i>O. niloticus</i>	0.02	0.21	30	0.01	0.09	62	0.01	0.15	224	0.02	0.17	165	0.01	0.14	145
	Tilapia roja	<i>Oreochromis</i> sp.	0.04	0.35	18	0.02	0.16	36	0.03	0.25	131	0.03	0.29	96	0.02	0.25	85
	Bocachico	<i>P. magdalenae</i>	0.41	4.14	2	0.19	1.90	3	0.29	2.93	11	0.34	3.41	8	0.29	2.88	7
	Bocachico importado	<i>Prochilodus</i>	0.09	0.89	7	0.04	0.41	14	0.06	0.63	52	0.07	0.73	38	0.06	0.62	34
	Cachama roja	<i>P. brachypomus</i>	0.01	0.12	53	0.01	0.05	108	0.01	0.08	393	0.01	0.10	288	0.01	0.08	254
	Rollizo	<i>M. muyscorum</i>	0.12	1.18	5	0.05	0.54	11	0.08	0.84	39	0.10	0.97	29	0.08	0.82	25

■ Valores HQ <1 y ■ Valores HQ ≥1. ■ Valores para CRmw de cero (0) y ■ uno (1).



6.3. DISCUSIÓN

La pequeña minería del oro genera un gran impacto ambiental sobre los ecosistemas donde esta es desarrollada ([Barkdull et al. 2019](#)). Además, un gran porcentaje de las operaciones mineras son llevadas a cabo en zonas de alta importancia para la biodiversidad, lo cual puede traducirse en una amenaza a bosques, cuerpos de agua y los organismos vivos presentes, así como el hombre, no solo por la destrucción realizada sino por el uso de Hg. A nivel internacional, existe una abundante documentación en la literatura acerca de las repercusiones sobre la salud por exposición a Hg debido a la contaminación ambiental en áreas de influencia de minería aurífera. De hecho, niveles de Hg-t han sido reportados en músculo de pescado ([Olivero-Verbel et al. 2016](#), [Palacios-Torres et al. 2018a](#)), suelo ([Rocha-Román et al. 2018a](#)), sedimentos ([Pinedo-Hernández et al. 2015](#)) y agua ([Marrugo-Negrete et al. 2008](#)) como resultado de la minería de oro en los departamentos de Bolívar, Amazonas, Chocó y Antioquia, así como en la Región de la Mojana. Sin embargo, en Colombia, en particular en el departamento del Cauca, particularmente en el Territorio Colectivo Aires de Garrapatero y Cuenca del río Cauca y microcuenca del río Teta-Mazamorrero los impactos sobre el ambiente generados por las descargas mineras son desconocidos. En el presente estudio se determinaron los niveles de Hg en muestras de agua, sedimentos, suelo superficial y peces colectados en los municipios de Santander de Quilichao y Buenos Aires (Cauca, Colombia).

El monitoreo de Hg en aguas superficiales es importante debido a su papel en la ruta de transporte y transformación hacia el medio ambiente y, en algunos casos, hacia los humanos. En el presente estudio, las concentraciones de Hg observadas estuvieron dentro del límite máximo permisible para el agua potable según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ([USEPA 2018](#)), así como tampoco los niveles de Hg excedieron el estándar internacional de agua potable de 6 µg/L para Hg recomendado por la Organización Mundial de la Salud ([WHO 2008](#)). Sin embargo, el promedio encontrado en el CCAG (0.84 µg/L) y CCMTM (0.65 µg/L) fue superior a los reportados por [Gutiérrez-Mosquera et al. \(2021\)](#) en muestras de agua de extracción (0.013 µg/L) y sitios de drenaje (0.011 µg/L) de minas de oro abandonadas en la región del Chocó, Colombia. Además, los resultados del presente estudio fueron más bajos que los encontrados en muestras de agua tomadas de pozos (4,009 µg/L) en el área de extracción de oro de Sekotong West Lombok ([Ekawanti et al. 2021](#)).

En la mayoría de las estaciones CCAG, los niveles de Hg estaban por debajo de 0,5 µg/g. Aunque estos valores son bajos, la presencia de Hg en estos sedimentos presupone su disposición a entrar en la cadena trófica. Además, estos resultados fueron superiores a los observados por [Gutiérrez-Mosquera et al. \(2021\)](#) quienes reportaron un promedio de 0.21 ± 0.25 µg/g (rango: 0.04-1.27 µg/g) en sedimentos de balsas mineras. Las concentraciones de Hg-t encontradas en los sedimentos del CCMTM fueron superiores a los valores de fondo (0,077 µg/g) ([Rúa et al. 2014](#)) y también a los promedios reportados en sedimentos de zonas mineras de la región de Mojana (0,187 µg/g y 0,097 µg/g) ([Marrugo-Negrete et al. 2008](#)), Bolívar (0,71 µg/g) ([Marrugo-Negrete et al. 2008](#)) y Chocó (0,081 µg/g) ([Palacios-Torres et al. 2018a](#)). Los niveles de Hg en el CCMTM fueron diferentes a los encontrados en CCAG, encontrándose valores considerablemente superiores en diferentes puntos del río Teta, que registraron concentraciones de hasta 10,9 µg/g. La única explicación posible de este hallazgo es que el río Teta es un punto



caliente como fuente de Hg en el Departamento del Cauca. La magnitud de la contaminación a lo largo de su cauce debe ser evaluada en detalle y es necesario tanto suspender la contaminación en la zona, como desarrollar un proceso de remediación para reducir la presencia de Hg en sus sedimentos.

En la CCAG, la concentración media en suelo está por debajo de $0,1 \mu\text{g/g}$, observándose unos picos para M15, M17 y M33 que en ningún caso llegan a triplicar el valor promedio, sugiriendo una distribución relativamente homogénea del Hg presente en este consejo. La situación es diferente en CCMTM, ya que, al igual que las muestras de sedimentos, las muestras obtenidas cerca de vías ubicadas alrededor del río Teta muestran niveles de Hg considerablemente más altos. Queda por determinar si se están aprovechando las arenas o los sedimentos del río Teta para mejorar estas vías terciarias. Si se usaron para este propósito, la contaminación asociada a los sedimentos ahora se ha dispersado fuera de la matriz del río, lo que hace que el problema sea un poco más complejo de resolver. El promedio encontrado para los puntos muestreados cercanos al río Teta ($2.45 \mu\text{g/g}$, rango: $0.053\text{--}11.29 \mu\text{g/g}$) fue 1.4 veces menor a los valores reportados en suelos superficiales de zonas auríferas del municipio de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar ($3.40 \mu\text{g/g}$, rango: $0.002\text{--}23.83 \mu\text{g/g}$) ([USEPA-FDA 2018](#)), confirmando que el 100% de las muestras del río Teta presentaron valores superiores al fondo reportado en Alemania (0.09), Eslovenia ($0,07 \mu\text{g/g}$), Canadá ($0,06 \mu\text{g/g}$), China ($0,06 \mu\text{g/g}$), EE. UU. ($0,09$) y resto del mundo ($0,06 \mu\text{g/g}$) ([Rocha-Román et al. 2018c](#)).

Las personas que viven en las inmediaciones de las zonas de extracción de oro artesanal son vulnerables a la exposición al Hg, siendo el mayor riesgo para quienes consumen pescado contaminado con este elemento. En este estudio, para la mayoría de las especies analizadas, la concentración de Hg sugirió una bioacumulación dependiente de la cadena trófica. Como tal, hay varios estudios de casos de especies de peces que deben revisarse en detalle. Bocachico adquirido tanto en La Balsa, a orillas del río Cauca, como en el río Quinamayó, presentan altos niveles de Hg, estando el promedio encontrado en este último por encima de las concentraciones máximas permisibles. Estos altos valores para Bocachico en esta área no han sido reportados para otros sitios en Colombia, especialmente porque esta especie es detritívora. Especies como el bagre, la mueluda, el rollizo, la sabaleta, la mojarra amarilla y la sardina, también presentan altas concentraciones de Hg, reduciendo así el posible número de especies que ofrecen alguna seguridad alimentaria en cuanto a la exposición de Hg asociado a su consumo. Los resultados encontrados en Mojarra amarilla del río Quinamayó ($0,68 \pm 0,30 \mu\text{g/g}$) y pozos mineros de oro abandonados de la Vereda Brasilia ($0,56 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$) fueron superiores a los reportados por [Gutiérrez-Mosquera et al. \(2021\)](#). para estanques abandonados en áreas de minería de oro artesanal/a pequeña escala ($0,16 \mu\text{g/g}$). Por su parte, las concentraciones de Hg encontradas en *A. pulcher* fueron 15,8 veces superiores a las reportadas en la ciénaga El Salado y La Marimonda en el municipio de Necoclí (Antioquia-Colombia) ($0,036 \mu\text{g/g}$).

Los bajos niveles de Hg encontrados para las sardinas en San Miguel, aunque podrían estar asociados con el tamaño de los peces, también podrían sugerir que es posible que algunas de estas especies, incluida Bocachico, posiblemente se cultiven en estanques que anteriormente estaban relacionados con la minería artesanal. Esto no fue posible verificar en campo, pero esta posibilidad debe ser investigada, ya que la exposición a Hg en



consumidores de especímenes cultivados en pozos o perforación de minas puede ser bastante alta, afectando negativamente su salud. De acuerdo con la evaluación del riesgo asociado a la exposición al Hg derivado del consumo de pescado para las diferentes especies monitoreadas en este estudio, es claro que, para la mayoría de las especies obtenidas en los cuerpos de agua examinados, independientemente del nivel trófico, el HQ sugieren un alto riesgo para el consumo humano, tanto para niños, mujeres embarazadas y adultos. Incluso el Bocachico adquirido en el mercado es peligroso como fuente de proteínas.

6.4. CONCLUSIONES

Las concentraciones de Hg en sedimentos y suelos superficiales más altas fueron encontradas en el río Teta.

De las 17 especies de peces monitoreadas, 8 excedieron el límite de 0,5 µg/g establecido por la OMS.

De acuerdo con el cociente de peligrosidad y el número de comidas semanales (pescado) consumidas, las especies de pescado que la población adulta no puede consumir son Bagre pintado, Mueluda, Cucha, Rollizo, Sabaleta, Sardina, Cabeza de piedra, Mojarra amarilla y Raspa canoa.

6.5. RECOMENDACIONES

Las concentraciones de Hg-t en agua, sedimentos y suelo superficial permitieron identificar un punto caliente (hotspot) de contaminación en el río Teta al cual debe prestarse atención inmediata.

La recuperación ambiental del río Teta en materia de remediación de sedimentos contaminados con mercurio es imprescindible para minimizar los impactos presentes y futuros de este metal sobre el ecosistema y las comunidades locales.

Aunque el consumo de peces en la zona de estudio es limitado, es recomendable monitorear los niveles de mercurio en peces cultivados en pozos mineros abandonados, así como los ofertados en la localidad de La Balsa (río Cauca).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Rasul, G. M., M. A. Abu-Salem, M. A. Al-Batanony, M. M. Al-Dalatony, and H. K. Allam. 2013. Neurobehavioral, respiratory, and auditory disorders among mercury-exposed fluorescent lamp workers. *Menoufia Medical Journal* **26**:58.
- Achmadi, U. F., Y. Kristianingsih, A. J. I. J. o. P. H. R. Mallongi, and Development. 2018. Relationships between Blood Mercury Levels and SGPT among Communities Exposed to Mercury in Small Scale Gold Mining Village of Indonesia, 2017. **9**.



- Afrifa, J., W. D. Ogbordjor, and R. J. P. o. Duku-Takyi. 2018. Variation in thyroid hormone levels is associated with elevated blood mercury levels among artisanal small-scale miners in Ghana. **13**:e0203335.
- Alarcon-Franco, L. 2017. INTOXICACIÓN POR MERCURIO METÁLICO (ELEMENTAL).
- Alcala-Orozco, M., K. Caballero-Gallardo, and J. Olivero-Verbel. 2019. Mercury exposure assessment in indigenous communities from Tarapaca village, Cotuhe and Putumayo Rivers, Colombian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research* **26**:36458-36467.
- Alvarez-Ortega, N., K. Caballero-Gallardo, and J. J. E. i. Olivero-Verbel. 2019. Toxicological effects in children exposed to lead: A cross-sectional study at the Colombian Caribbean coast. **130**:104809.
- Alvarez-Ortega, N., K. Caballero-Gallardo, J. J. J. o. T. E. i. M. Olivero-Verbel, and Biology. 2017. Low blood lead levels impair intellectual and hematological function in children from Cartagena, Caribbean coast of Colombia. **44**:233-240.
- Anual, Z. F., W. Maher, F. Krikowa, L. Hakim, N. I. Ahmad, and S. Foster. 2018. Mercury and risk assessment from consumption of crustaceans, cephalopods and fish from West Peninsular Malaysia. *Microchemical journal* **140**:214-221.
- Arán Filippetti, V., M. C. Richaud, G. Krumm, W. J. P. Raimondi, and Neuroscience. 2021. Cognitive and socioeconomic predictors of Stroop performance in children and developmental patterns according to socioeconomic status and ADHD subtype.
- Ariza Torres, L. X., and T. A. Camargo Melo. 2019. Guía metodológica para el muestreo de suelos contaminados con mercurio por minería del oro en Colombia.
- Aschner, M., J. L. J. N. Aschner, and B. Reviews. 1990. Mercury neurotoxicity: mechanisms of blood-brain barrier transport. **14**:169-176.
- Ayerbe-Quiñones, F., J. P. López-Ordóñez, M. F. González-Rojas, F. A. Estela, M. B. Ramírez-Burbano, J. V. Sandoval-Sierra, and L. G. Gómez-Bernal. 2008. Aves del departamento del Cauca-Colombia. *Biota Colombiana* **9**.
- Baccarelli, A., and V. J. C. o. i. p. Bollati. 2009. Epigenetics and environmental chemicals. **21**:243.
- Ballatori, N. J. E. h. p. 2002. Transport of toxic metals by molecular mimicry. **110**:689-694.
- Barcelos, G. R. M., D. Grotto, K. C. de Marco, J. Valentini, A. v. H. Lengert, A. Á. S. d. Oliveira, S. C. Garcia, G. Ú. L. Braga, K. Schläwicke Engström, I. M. d. S. Cólus, K. Broberg, and F. Barbosa. 2013. Polymorphisms in glutathione-related genes modify mercury concentrations and antioxidant status in subjects environmentally exposed to methylmercury. *Science of The Total Environment* **463-464**:319-325.
- Barkdull, N. M., G. T. Carling, K. Rey, D. F. J. W. Yudiantoro, Air,, and S. Pollution. 2019. Comparison of Mercury Contamination in Four Indonesian Watersheds Affected by Artisanal and Small-Scale Gold Mining of Varying Scale. **230**:1-18.
- Bhatnagar, A. J. C. r. 2006. Environmental cardiology: studying mechanistic links between pollution and heart disease. **99**:692-705.
- Bocedi, A., A. Noce, G. Marrone, G. Noce, G. Cattani, G. Gambardella, M. Di Lauro, N. Di Daniele, and G. Ricci. 2019. Glutathione Transferase P1-1 an Enzyme Useful in Biomedicine and as Biomarker in Clinical Practice and in Environmental Pollution. *Nutrients* **11**.
- Calao-Ramos, C., A. G. Bravo, R. Paternina-Urbe, J. Marrugo-Negrete, and S. Díez. 2021a. Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. *Environment International* **146**:106216.
- Calao-Ramos, C., A. G. Bravo, R. Paternina-Urbe, J. Marrugo-Negrete, and S. J. E. I. Díez. 2021b. Occupational human exposure to mercury in artisanal small-scale gold mining communities of Colombia. **146**:106216.
- Cardona, C. A. 2017. Proceso organizativo de las comunidades negras rurales de Antioquia. Ancestralidad, etnicidad y política pública afroantioqueña. *Estudios Políticos*:180-202.
- Carranza-Lopez, L., K. Caballero-Gallardo, L. Cervantes-Ceballos, A. Turizo-Tapia, and J. Olivero-Verbel. 2019a. Multicompartment Mercury Contamination in Major Gold Mining Districts at the Department of Bolivar, Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **76**:640-649.



- Carranza-Lopez, L., K. Caballero-Gallardo, L. Cervantes-Ceballos, A. Turizo-Tapia, J. J. A. o. e. c. Olivero-Verbel, and toxicology. 2019b. Multicompartment mercury contamination in major gold mining districts at the department of Bolivar, Colombia. **76**:640-649.
- Casas, I. C., E. Gómez, L. M. Rodríguez, S. L. Girón, and J. C. Mateus. 2015. Toward a national plan to control health effects of mercury in Colombia. *Biomédica* **35**:8-19.
- Cataldo, R., M. Arancibia, J. Stojanova, and C. J. M. Papuzinski. 2019. Conceptos generales en bioestadística y epidemiología clínica: estudios observacionales con diseños transversal y ecológico. **19**.
- CDH. 2013. Consejo de Derechos Humanos. Informe anual de la Alta Comisionada de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos. Colombia : Asamblea General.
- CONPES. 2004. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Conpes 3310/2004. Política de acción afirmativa para la población negra o afrocolombiana.
- Córdoba, E. M. P., O. H. Martínez, and M. B. Martínez. 2010. Aprender de la memoria cultural afrocolombiana. *Revista Sociedad y Economía*:37-57.
- Cordy, P., M. M. Veiga, I. Salih, S. Al-Saadi, S. Console, O. Garcia, L. A. Mesa, P. C. Velásquez-López, and M. Roeser. 2011. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment* **410**:154-160.
- CPC. 1991. Constitución política de Colombia. Segunda edición corregida de la Constitución Política de Colombia, publicada en la Gaceta Constitucional No. 116 de 20 de julio de 1991. Disponible en: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html;
- Cremers, L., J. Kolen, and M. de Theije. 2013. Small-scale gold mining in the Amazon. The cases of Bolivia, Brazil, Colombia, Peru and Suriname. Cedla.
- Custodio, H. M., K. Broberg, M. Wennberg, J.-H. Jansson, B. Vessby, G. Hallmans, B. Stegmayr, and S. J. A. o. E. H. A. I. J. Skerfving. 2004. Polymorphisms in glutathione-related genes affect methylmercury retention. **59**:588-595.
- DANE. 2019. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Población negra, afrocolombiana, raizal y palenquera. Resultados del censo nacional de población y vivienda 2018. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>.
- DANE. 2020. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Proyecciones y retroproyecciones de población. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- DANE, D. 2014. Censo Nacional Agropecuario 2014. Bogotá.
- Delgado, S. A. C. 2006. El territorio: derecho fundamental de las comunidades afrodescendientes en Colombia. *Revista Controversia*:48-81.
- Ekawanti, A., S. Priyambodo, H. Kadriyan, A. Syamsun, I. Lestarini, G. Wirasaka, and A. Ardianti. 2021. Mercury pollution in water and its effect on renal function of school age children in gold mining area Sekotong West Lombok. Page 012055 *in* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing.
- Eltaib, L., S. E. T. E. Ali, and H. J. A. J. o. H. S. Rikabi. 2019. The exposure and toxic effects of mercury in gold mining activities. **5**:6-6.
- Engström, K., S. Ameer, L. Bernaudat, G. Drasch, J. Baeuml, S. Skerfving, S. Bose-O'Reilly, and K. J. E. h. p. Broberg. 2013. Polymorphisms in genes encoding potential mercury transporters and urine mercury concentrations in populations exposed to mercury vapor from gold mining. **121**:85-91.
- Eom, S.-Y., S.-H. Choi, S.-J. Ahn, D.-K. Kim, D.-W. Kim, J.-A. Lim, B.-S. Choi, H.-J. Shin, S.-W. Yun, H.-J. Yoon, Y.-M. Kim, Y.-S. Hong, Y.-W. Yun, S.-J. Sohn, H. Kim, K.-S. Park, H.-S. Pyo, H. Kim, S.-Y. Oh, J. Kim, S.-A. Lee, M. Ha, H.-J. Kwon, and J.-D. Park. 2014. Reference levels of blood mercury and association with metabolic syndrome in Korean adults. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **87**:501-513.



- Esdaile, L. J., and J. M. J. C. Chalker. 2018. The mercury problem in artisanal and small - scale gold mining. **24**:6905.
- Fan, A., P. Cohn, S. You, and P. Lin. 2019. Biomarkers in Epidemiology, Risk Assessment and Regulatory Toxicology. Pages 1175-1191 Biomarkers in Toxicology. Elsevier.
- Fan, S., J. Guan, L. Cao, M. Wang, H. Zhao, L. Chen, and L. Yan. 2021. Psychological effects caused by COVID-19 pandemic on pregnant women: a systematic review with meta-analysis. *Asian Journal of Psychiatry* **56**:102533.
- Ferreira, S. L., V. A. Lemos, L. O. Silva, A. F. Queiroz, A. S. Souza, E. G. da Silva, W. N. dos Santos, and C. F. das Virgens. 2015. Analytical strategies of sample preparation for the determination of mercury in food matrices—A review. *Microchemical Journal* **121**:227-236.
- Friedrichi, C., R. A. Lopes, M. A. Sala, A. L. d. C. Felippini, J. P. M. Issa, I.-S. Watanabe, and T. R. V. J. I. J. o. M. Lopes. 2009. Efectos del Cadmio Sobre las Glándulas Salivales de Rata, Durante la Lactancia. **27**:1129-1137.
- Gaviria Jaramillo, N., A. M. Salazar Acosta, M. C. Deossa Cañas, and D. M. J. P. Rincón Barreto. 2020. Características neuro-psicopedagógicas de las dificultades de aprendizaje escolar: un estudio de caso.187-204.
- Golmohammadi, R., and E. Darvishi. 2019. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors - a systematic review. *Noise & health* **21**:125-141.
- González-Estecha, M., A. Bodas-Pinedo, J. J. Guillén-Pérez, M. Á. Rubio-Herrera, J. M. Ordóñez-Iriarte, E. M. Trasobares-Iglesias, N. Martell-Claros, J. R. Martínez-Álvarez, R. Farré-Rovira, and M. Á. Herráiz-Martínez. 2014. Exposición al metilmercurio en la población general; toxicocinética; diferencias según el sexo, factores nutricionales y genéticos. *Nutrición Hospitalaria* **30**:969-988.
- González-Holguín, J. C. 2011. Sinopsis Histórica de Santander de Quilichao.
- González, M. C. 2011. Las comunidades afro frente al racismo en Colombia. *Encuentros* **9**:51-60.
- González, N. F., and A. D. Rivas. 2018. Actividad física y ejercicio en la mujer. *Revista Colombiana de Cardiología* **25**:125-131.
- González Olarte, M. C. 2020. Situación laboral y cargas domésticas de las mujeres durante la pandemia en Colombia en 2020.
- González, Y. C. 2018. Informe de estudios realizados en relación con la exposición a mercurio . Ministerio de Salud y Protección Social, p.77. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/informe-de-estudios-hg.pdf>.
- Grandjean, P., R. F. White, A. Nielsen, D. Cleary, and E. C. J. E. h. p. de Oliveira Santos. 1999. Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. **107**:587-591.
- Gutiérrez-Mosquera, H., J. Marrugo-Negrete, S. Díez, G. Morales-Mira, L. J. Montoya-Jaramillo, and M. J. J. o. H. M. Jonathan. 2021. Mercury distribution in different environmental matrices in aquatic systems of abandoned gold mines, Western Colombia: Focus on human health. **404**:124080.
- Gutiérrez-Mosquera, H., S. Sujitha, M. Jonathan, S. Sarkar, F. Medina-Mosquera, H. Ayala-Mosquera, G. Morales-Mira, and L. J. J. o. E. S. Arreola-Mendoza. 2018. Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia. **68**:83-90.
- Hahn, W. C., C. M. Counter, A. S. Lundberg, R. L. Beijersbergen, M. W. Brooks, and R. A. J. N. Weinberg. 1999. Creation of human tumour cells with defined genetic elements. **400**:464-468.
- Heinz, G. H., D. J. Hoffman, J. D. Klimstra, K. R. Stebbins, S. L. Kondrad, C. A. J. E. t. Erwin, and chemistry. 2011. Teratogenic effects of injected methylmercury on avian embryos. **30**:1593-1598.
- Hernández, A. F., F. Gil, and A. M. Tsatsakis. 2019. Biomarkers of chemical mixture toxicity. Pages 569-585 Biomarkers in Toxicology. Elsevier.
- Hernandez, V. J. E. I. I. a. D. 2017. Estudios epidemiológicos: tipos, diseño e interpretación. **16**:98-105.



- Herrera-Gutiérrez, E., J. Gómez-Amor, J. López-Ortuño, M. Navarro-Noguera, and V. J. J. A. P. Villanueva-Blasco. 2021. Cognitive and personality differences between adolescents with and without attention deficit/hyperactivity disorder. **219**:103386.
- Hinestroza Cuesta, L. 2017. Entre mito y realidad: el derecho a la propiedad colectiva de las comunidades negras en Colombia. *Apuesta teórica de un derecho sui géneris*.
- Houston, M. C. J. T. J. o. C. H. 2011. Role of mercury toxicity in hypertension, cardiovascular disease, and stroke. **13**:621-627.
- Ibargüen, A. Y., E. M. Moreno Ortiz, M. M. Mosquera Caicedo, Y. R. Rivera Daza, and M. Scarpetta Tovar. 2018. Saberes y prácticas territoriales ancestrales del Consejo Comunitario Aires de Garrapatero y el Municipio y Resguardo Indígena de Jambaló, Norte del Cauca, en la construcción de paz territorial.
- Idris, I., Y. Younis, and A. J. C. T. A. B. C. Elbashir. 2019. Mercury Levels in Human Hairs and Nails of Traditional Gold Miners in Butana-Area East of Sudan. **3**:108-113.
- INCODER. 2015. Instituto Colombianos de Desarrollo Rural. Instituto colombiano de Desarrollo Rural. Títulos Colectivos a Comunidades Negras adjudicados entre las vigencias 1996 y marzo 2012 Quibdó.
- INS. 2016. Instituto Nacional de Salud. Protocolo de Vigilancia en Salud Pública Intoxicaciones por Sustancias Químicas; versión 2; MSPS: Bogotá, Colombia, 2016; p. 57. (In Spanish). http://www.saludcapital.gov.co/CTDLab/Publicaciones/2018/Protocolo_Intoxicaciones_Sustancias_Quimicas.pdf.
- Javier Tarazona, B. M., and M. A. Rodrigo Romero. 2019. Determinación de mercurio y cadmio en producto cosmético, polvo compacto de cinco marcas diferentes comercializadas en el Cercado de Lima.
- Jirtle, R. L., and M. K. J. N. r. g. Skinner. 2007. Environmental epigenomics and disease susceptibility. **8**:253-262.
- Joneidi, Z., Y. Mortazavi, F. Memari, A. Roointan, B. Chahardouli, and S. Rostami. 2019. The impact of genetic variation on metabolism of heavy metals: Genetic predisposition? *Biomedicine & Pharmacotherapy* **113**:108642.
- Kajiwarra, Y., A. Yasutake, T. Adachi, and K. J. A. o. t. Hirayama. 1996. Methylmercury transport across the placenta via neutral amino acid carrier. **70**:310-314.
- Kokkinos, P., H. Sheriff, and R. Kheirbek. 2011. Physical Inactivity and Mortality Risk. *Cardiology Research and Practice* **2011**:924945.
- Kolbinger, V., K. Engström, U. Berger, and S. J. E. r. Bose-O'Reilly. 2019. Polymorphisms in potential mercury transporter ABCC2 and neurotoxic symptoms in populations exposed to mercury vapor from goldmining. **176**:108512.
- Kvitko, K., P. d. A. Gaspar, M. R. Torres, M. H. J. G. Hutz, and M. Biology. 2006. CYP1A1, GSTM1, GSTT1 and GSTP1 polymorphisms in an Afro-Brazilian group. **29**:613-616.
- Kwaansa-Ansah, E. E., E. K. Armah, F. J. J. o. H. Opoku, and Pollution. 2019. Assessment of total mercury in hair, urine and fingernails of small-scale gold miners in the Amansie West District, Ghana. **9**.
- Lara-Díaz, M. F., A. Mateus-Moreno, and J. C. J. F. i. P. Beltrán-Rojas. 2021. Reading and Oral Language Skills in Children With Developmental Language Disorder: Influence of Socioeconomic, Educational, and Family Variables. **4434**.
- Lebel, J., D. Mergler, F. Branches, M. Lucotte, M. Amorim, F. Larribe, and J. J. E. r. Dolbec. 1998. Neurotoxic effects of low-level methylmercury contamination in the Amazonian Basin. **79**:20-32.
- Lee, E. Y., and K.-H. Yoon. 2018. Epidemic obesity in children and adolescents: risk factors and prevention. *Frontiers of Medicine* **12**:658-666.
- Li, M., L. S. Sherman, J. D. Blum, P. Grandjean, B. Mikkelsen, P. I. Weihe, E. M. Sunderland, J. P. J. E. s. Shine, and technology. 2014. Assessing sources of human methylmercury exposure using stable mercury isotopes. **48**:8800-8806.
- Llop, S., F. Ballester, and K. J. C. e. h. r. Broberg. 2015. Effect of gene-mercury interactions on mercury toxicokinetics and neurotoxicity. **2**:179-194.



- Marrugo-Negrete, J., L. N. Benitez, and J. Olivero-Verbel. 2008. Distribution of Mercury in Several Environmental Compartments in an Aquatic Ecosystem Impacted by Gold Mining in Northern Colombia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **55**:305-316.
- Masindi, V., and K. L. J. H. m. Muedi. 2018. Environmental contamination by heavy metals. **10**:115-132.
- Mesa, J., and F. Díaz. 2011. Municipio de Buenos Aires departamento del Cauca. Cali-Colombia: Universidad de Valle.
- Metcalf, S. M., and M. M. Veiga. 2012. Using street theatre to increase awareness of and reduce mercury pollution in the artisanal gold mining sector: a case from Zimbabwe. *Journal of Cleaner Production* **37**:179-184.
- Millikan, R., G. Pittman, C.-K. Tse, D. A. Savitz, B. Newman, D. J. C. E. Bell, and P. Biomarkers. 2000. Glutathione S-transferases M1, T1, and P1 and breast cancer. **9**:567-573.
- Mina-Belalcázar, J. D. 2019. Proceso de resistencia del pueblo afrodescendiente consejo comunitario zanjón de garrapatero junto a otros consejos comunitarios en el norte del Cauca.
- Mincomercio. 2020. Ministerio de Comercio. Información: Perfiles Económicos Departamentales.
- Mininterior. 2020. Ministerio de Interior. Ley 70 de 1993. Disponible en: <https://www.mininterior.gov.co/la-institucion/normatividad/ley-70-de-1993-agosto-27-por-la-cual-se-desarrolla-el-articulo-transitorio-55-de-la-constitucion-politica>.
- Naranjo, N. V., and M. A. J. P. E. R. d. I. P. d. I. E. Robles-Bello. 2020. Dynamic assessment in preschoolers with Down syndrome and nonspecific intellectual disability. **26**:101-107.
- Nebert, D. W. J. A. j. o. h. g. 1997. Polymorphisms in drug-metabolizing enzymes: what is their clinical relevance and why do they exist? **60**:265.
- Ninaja Sarmiento, P. N. 2020. Determinación de los niveles de mercurio en los pescados de mayor consumo comercializados en los mercados de Tacna, 2017.
- Nyanza, E., M. Manyama, F. P. Bernier, J. Hatfield, J. W. Martin, and D. Dewey. 2018. Exposure to Arsenic and Mercury in Pregnant Women in Gold Mining Areas in Tanzania. *in* ISEE Conference Abstracts.
- Ochoa Machaca, V. S. 2020. Determinación de la relación entre la concentración de mercurio en sangre y el daño genotóxico ocasionado por la exposición en los trabajadores de la actividad de recuperación del oro en Cumbresas, Cusco-2019.
- Olivero-Verbel, J., K. Caballero-Gallardo, and J. Negrete-Marrugo. 2011a. Relationship Between Localization of Gold Mining Areas and Hair Mercury Levels in People from Bolivar, North of Colombia. *Biological Trace Element Research* **144**:118-132.
- Olivero-Verbel, J., K. Caballero-Gallardo, and J. J. B. t. e. r. Negrete-Marrugo. 2011b. Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, north of Colombia. **144**:118-132.
- Olivero-Verbel, J., K. Caballero-Gallardo, and A. Turizo-Tapia. 2015a. Mercury in the gold mining district of San Martin de Loba, South of Bolivar (Colombia). *Environmental Science and Pollution Research* **22**:5895-5907.
- Olivero-Verbel, J., K. Caballero-Gallardo, and A. Turizo-Tapia. 2015b. Mercury in the gold mining district of San Martin de Loba, South of Bolivar (Colombia). *Environmental Science and Pollution Research* **22**:5895-5907.
- Olivero-Verbel, J., K. Caballero-Gallardo, A. J. E. S. Turizo-Tapia, and P. Research. 2015c. Mercury in the gold mining district of San Martin de Loba, South of Bolivar (Colombia). **22**:5895-5907.
- Olivero-Verbel, J., L. Carranza-Lopez, K. Caballero-Gallardo, A. Ripoll-Arboleda, and D. Muñoz-Sosa. 2016. Human exposure and risk assessment associated with mercury pollution in the Caqueta River, Colombian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research* **23**:20761-20771.
- Olivero-Verbel, J., F. Young-Castro, and K. Caballero-Gallardo. 2014. Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **30**:07-13.



- Olivero, J., B. Johnson, and E. Arguello. 2002. Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Science of The Total Environment* **289**:41-47.
- Olivero, J., B. Solano, and I. Acosta. 1998. Total mercury in muscle of fish from two marshes in goldfields, Colombia. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology* **61**:182-187.
- OMS. 2017. Organización Mundial de la Salud. El mercurio y la salud. Obtenido de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>.
- ONU. 2006. Organización de las Naciones Unidas. El Derecho de las Comunidades Afrocolombianas a la consulta previa. Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos.
- ONU. 2021. ONU Programa para el medio ambiente. Chemicals & Pollution Action. [en línea] Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-convenio-de-minamata-sobre-el-mercurio-tres-anos-de-proteccion>.
- OPS. 2022. La pandemia por COVID-19 provoca un aumento del 25% en la prevalencia de la ansiedad y la depresión en todo el mundo. <https://www.paho.org/es/noticias/2-3-2022-pandemia-por-covid-19-provoca-aumento-25-prevalencia-ansiedad-depresion-todo>.
- Organización Mundial de la, S. 2019. Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030: personas más activas para un mundo más sano. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.
- Orsango, A. Z., W. Habtu, T. Lejisa, E. Loha, B. Lindtjørn, and I. M. S. Engebretsen. 2021. Iron deficiency anemia among children aged 2–5 years in southern Ethiopia: a community-based cross-sectional study. *PeerJ* **9**:e11649.
- Pajaro-Castro, N., K. Caballero-Gallardo, and J. J. M. Olivero-Verbel. 2017. Neurotoxic effects of linalool and β -pinene on *Tribolium castaneum* Herbst. **22**:2052.
- Palacios-Torres, Y., K. Caballero-Gallardo, and J. Olivero-Verbel. 2018a. Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. *Chemosphere* **193**:421-430.
- Palacios-Torres, Y., K. Caballero-Gallardo, and J. J. C. Olivero-Verbel. 2018b. Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. **193**:421-430.
- Parajuli, R. P., J. M. Goodrich, H.-N. Chou, S. E. Gruninger, D. C. Dolinoy, A. Franzblau, and N. J. E. r. Basu. 2016. Genetic polymorphisms are associated with hair, blood, and urine mercury levels in the American Dental Association (ADA) study participants. **149**:247-258.
- Patiño Castaño, D., and M. C. J. R. C. d. A. Hernández. 2021. Archaeology and History of Africans and Afro-descendants in Cauca, Colombia. **57**:125-162.
- Paz, S., A. Burgos, Á. Gutiérrez, C. Hernández, G. Lozano, C. Rubio, and A. Hardisson. 2017. The Mercury: A marine and food contaminant. *ARS Clinical Academica* **3**:5.
- PDCN. 2019. Plan de desarrollo de comunidades negras. Lineamientos de las bases del plan de desarrollo de comunidades negras 2018-2022. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/CNP/LineamientosbasesdelPlandeDesarrollo%20comunidadesnegras.pdf>.
- PDT. 2016. Plan de Desarrollo Territorial 2016-2019. Construyendo con la gente para la gente. Obtained from: https://buenosairescauca.micolombiadigital.gov.co/sites/buenosairescauca/content/files/000041/2036_plandedesarrollo20162019yacuerdomunicipaldelplan.pdf.
- Pinedo-Hernández, J., J. Marrugo-Negrete, and S. Díez. 2015. Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia. *Chemosphere* **119**:1289-1295.
- Queiroz, M. L., D. C. J. P. Dantas, and toxicology. 1997. B lymphocytes in mercury - exposed workers. **81**:130-133.
- Queiroz, M. L. S., and D. C. M. Dantas. 1997. B lymphocytes in mercury - exposed workers. *Pharmacology & toxicology* **81**:130-133.
- Rahman, Z., V. P. J. E. m. Singh, and assessment. 2019. The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. **191**:1-21.



- Rai, P. K., S. S. Lee, M. Zhang, Y. F. Tsang, and K.-H. J. E. i. Kim. 2019. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. **125**:365-385.
- Restrepo, E. 2017. Afrodescendientes y minería: tradicionalidades, conflictos y luchas en el norte del Cauca, Colombia. *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology* **14**.
- Restrepo, E. 2020. Afrodescendientes y minería: tradicionalidades, conflictos y luchas en el norte del Cauca, Colombia. *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology* **14**.
- Rocha-Román, L., J. Olivero-Verbel, and K. Caballero-Gallardo. 2018a. Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, sur de Bolívar (Colombia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **34**:93-102.
- Rocha-Román, L., J. Olivero-Verbel, and K. R. Caballero-Gallardo. 2018b. Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, sur de Bolívar (Colombia). *Revista internacional de contaminación ambiental* **34**:93-102.
- Rocha-Román, L., J. Olivero-Verbel, and K. R. J. R. i. d. c. a. Caballero-Gallardo. 2018c. Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, sur de Bolívar (Colombia). **34**:93-102.
- Rodríguez-Echeverry. 2006. Estado del arte de la investigación sobre las comunidades de afrodescendientes y raizales en Bogotá D. C. Alcaldía mayor de bogotá, 20-30.
- Rosero Rosero, A. L. 2017. Monitoreo para determinar la presencia de mercurio en efluentes, afectados por actividad minera en el municipio de Suárez-Cauca. Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo
- Rúa, A., G. Liebezeit, and J. J. E. e. s. Palacio-Baena. 2014. Mercury colonial footprint in Darién Gulf sediments, Colombia. **71**:1781-1789.
- Sakamoto, M., N. Tatsuta, K. Izumo, P. T. Phan, L. D. Vu, M. Yamamoto, M. Nakamura, K. Nakai, and K. J. T. Murata. 2018. Health impacts and biomarkers of prenatal exposure to methylmercury: lessons from Minamata, Japan. **6**:45.
- Salazar-Camacho, C., M. Salas-Moreno, S. Marrugo-Madrid, J. Marrugo-Negrete, and S. J. E. I. Díez. 2017. Dietary human exposure to mercury in two artisanal small-scale gold mining communities of northwestern Colombia. **107**:47-54.
- Saldarriaga-Zambrano, P. J., G. d. R. Bravo-Cedeño, and M. R. J. D. d. I. C. Loo-Rivadeneira. 2016. La teoría constructivista de Jean Piaget y su significación para la pedagogía contemporánea. **2**:127-137.
- Sánchez, A. N. B., C. C. B. Ledezma, E. P. Velasco, and M. I. V. Caicedo. 2020. Gamified Virtual Scenario for the Dissemination of Tourism in Post-Conflict Areas of the Department of Cauca. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação* **28**:151-162.
- Sekovanić, A., J. Jurasović, and M. Piasek. 2020. Metallothionein 2A gene polymorphisms in relation to diseases and trace element levels in humans. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* **71**:27-47.
- Sharma, A., A. Pandey, S. Sharma, I. Chatterjee, R. Mehrotra, A. Sehgal, and J. K. Sharma. 2014. Genetic polymorphism of glutathione S-transferase P1 (GSTP1) in Delhi population and comparison with other global populations. *Meta Gene* **2**:134-142.
- Sherman, L. S., J. D. Blum, N. Basu, M. Rajaei, D. C. Evers, D. G. Buck, J. Petrlik, and J. J. E. r. DiGangi. 2015. Assessment of mercury exposure among small-scale gold miners using mercury stable isotopes. **137**:226-234.
- Sherman, L. S., J. D. Blum, A. Franzblau, N. J. E. s. Basu, and technology. 2013. New insight into biomarkers of human mercury exposure using naturally occurring mercury stable isotopes. **47**:3403-3409.
- Shlomo, M., F. Avraham, H. Moshe, S. Mario, S. Jacklin, H. J. N. Mordechai, and Health. 2002. Effects of occupational exposure to mercury or chlorinated hydrocarbons on the auditory pathway. **4**:71.
- SIMCO. 2021. SIMCO. Producción de oro en Colombia año 2021. <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/oro.aspx>.
- Skvortsova, L., A. Perfelyeva, E. Khussainova, A. Mansharipova, H. J. Forman, and L. J. D. m. Djansugurova. 2017. Association of GCLM-588C/T and GCLC-129T/C promoter



- polymorphisms of genes coding the subunits of glutamate cysteine ligase with ischemic heart disease development in Kazakhstan population. **2017**.
- Sonne, C., P. S. Leifsson, R. J. T. Dietz, and E. Chemistry. 2013. Liver and renal lesions in mercury-contaminated narwhals (*Monodon monoceros*) from North West Greenland. **95**:1-14.
- Trujillo-Ospina, D., D. Rojas-Lozano, and N. Lopez-Cerquera. 2018. Desbordamiento del extractivismo minero en Colombia: el caso de Suárez, Cauca. **CS**:171-201.
- Ubal dini, S., D. Guglietta, F. Vegliò, and V. Giuliano. 2019. Valorization of Mining Waste by Application of Innovative Thiosulphate Leaching for Gold Recovery. *Metals* **9**:274.
- USEPA-FDA. 2018. United States Environmental Protection Agency. Food and Drug Administration. EPA-FDA Fish Advice: Technical Information. Available at <https://www.epa.gov/fish-tech/epa-fda-fish-advice-technical-information>.
- USEPA. 1989. USEPA risk assessment guidance for superfund vol 1: Human health evaluation manual (Part A interim final, EPA/540/1-89/002). Author Washington, DC.
- USEPA. 2000. Guidance for Assessing Chemical Contamination Data for Use in Fish Advisories, vol II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits EPA/823-B94-004. Washington, DC.
- USEPA. 2001. National Primary Drinking Water Standards US Environmental Protection Agency, Washington, DC (2001).
- USEPA. 2005. USEPA (US Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Office of Water) Water quality criterion for the protection of human health: methylmercury.
- USEPA. 2018. 2018 edition of the drinking water standards and health advisories Tables, EPA 822-F-18-001. Washington, D.C.: United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>.
- Valdelamar-Villegas, J., and J. J. B. t. e. r. Olivero-Verbel. 2020. High mercury levels in the indigenous population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon. **194**:3-12.
- Valencia, V. M. C. 2018. Prevalencia del interés colectivo de las comunidades Negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras sobre el interés general, en los procesos de consulta previa para la concesión de títulos mineros en el Departamento del Cauca.
- Vandegheuchte, M. B., and C. R. J. E. Janssen. 2011. Epigenetics and its implications for ecotoxicology. **20**:607-624.
- Vanegas, G., and A. Rojas. 2012. Poblaciones negras en el norte del Cauca, Contexto Político Organizativo. Cali: Observatorio de Territorios Étnicos. Proyecto de investigación y acompañamiento adscrito al Departamento de Desarrollo Rural y Regional de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia. Universidad Javeriana.
- Veiga, M. 2010. Antioquia, Colombia: El lugar más contaminado con mercurio en el mundo: impresiones de dos visitas de campo. ONUDI. Medellín. Recuperado de: http://quimicos.minambiente.gov.co/images/Mercurio/antioquia_lugar_mas_contaminado_c on_mercurio_onudi_2010.pdf.
- Vélez-Torres, I., D. C. Vanegas, E. S. McLa more, D. J. T. J. o. E. Hurtado, and Development. 2018. Mercury pollution and artisanal gold mining in Alto Cauca, Colombia: woman's perception of health and environmental impacts. **27**:415-444.
- Vianna, A. d. S., E. P. d. Matos, I. M. d. Jesus, C. I. R. F. Asmus, and V. d. M. J. C. d. s. p. Câmara. 2019. Human exposure to mercury and its hematological effects: a systematic review. **35**.
- Vigeh, M., E. Nishioka, K. Ohtani, Y. Omori, T. Matsukawa, S. Koda, and K. J. R. T. Yokoyama. 2018. Prenatal mercury exposure and birth weight. **76**:78-83.
- WHO. 1990. WHO, Methylmercury. Environmental Health Criteria 101 1990 World Health Organization, Geneva, Switzerland. World Health Organization.
- WHO. 2008. Guidelines for Drinking-water Quality Third edition incorporating the first and second addenda. Volume 1. Recommendations. https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/fulltext.pdf (accessed on 11 January 2022).



- Woods, J. S., N. J. Heyer, J. E. Russo, M. D. Martin, and F. M. Farin. 2014. Genetic polymorphisms affecting susceptibility to mercury neurotoxicity in children: Summary findings from the Casa Pia Children's Amalgam Clinical Trial. *NeuroToxicology* **44**:288-302.
- Woods, J. S., N. J. Heyer, J. E. Russo, M. D. Martin, P. B. Pillai, F. M. J. N. Farin, and teratology. 2013. Modification of neurobehavioral effects of mercury by genetic polymorphisms of metallothionein in children. **39**:36-44.
- Yang, L., H. Li, T. Yu, H. Zhao, M. G. Cherian, L. Cai, Y. J. A. J. o. P.-E. Liu, and Metabolism. 2008. Polymorphisms in metallothionein-1 and-2 genes associated with the risk of type 2 diabetes mellitus and its complications. **294**:E987-E992.
- Yorifuji, T., T. Tsuda, S. Inoue, S. Takao, and M. J. E. i. Harada. 2011. Long-term exposure to methylmercury and psychiatric symptoms in residents of Minamata, Japan. **37**:907-913.
- Zavala-Crichton, J. P., I. Esteban-Cornejo, P. Solis-Urra, J. Mora-Gonzalez, C. Cadenas-Sanchez, M. Rodriguez-Ayllon, J. H. Migueles, P. Molina-Garcia, J. Verdejo-Roman, and A. F. J. J. o. c. m. Kramer. 2020. Association of sedentary behavior with brain structure and intelligence in children with overweight or obesity: The ActiveBrains project. **9**:1101.
- Zhu, Y., Y. Wang, F. Meng, L. Li, S. Wu, X. Mei, H. Li, G. Zhang, D. J. E. Wu, and e. safety. 2018. Distribution of metal and metalloid elements in human scalp hair in Taiyuan, China. **148**:538-545.

ANEXOS

Anexo 2.1. Consentimiento informado.

Anexo 2.2. Asentimiento informado.

Anexo 2.3. Manual del encuestador.

Anexo 2.4. Folleto.

Anexo 2.5. Encuesta sociodemográfica.

Anexo 2.6. Encuesta general de salud para niños entre 3 y 5 años.

Anexo 2.7. Encuesta general de salud para mujeres embarazadas.

Anexo 2.8. Encuesta general de salud para adultos mayores.

Anexo 2.9. Valoración médica para niños entre 3 y 5 años.

Anexo 2.10. Valoración médica para mujeres embarazadas.

Anexo 2.11. Valoración médica para adultos mayores.

