



Universidad
del Valle



EIDENAR

**CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO
EN FUENTES HÍDRICAS USANDO DISPOSITIVOS DE DETECCIÓN
IN-SITU COMO HERRAMIENTA DE ALERTA SOCIAL TEMPRANA
EN EL CORREGIMIENTO DE LA TOMA,
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

Nathalia Granada Del Castillo
Isabela Zertuche Calderón
Est. de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Facultad de Ingeniería

Dirigido por:
Prof. Irene Vélez Torres, PhD.
Prof. Diana Vanegas Gamboa, PhD.

Cali, Abril 11 de 2019

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. METODOLOGÍA
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
5. CONCLUSIONES
6. RECOMENDACIONES
7. AGRADECIMIENTOS





Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad



Incurción de nuevas técnicas
de extracción de oro



Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH



Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad



Incurción de nuevas técnicas
de extracción de oro



Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH



Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad



Incursión de nuevas técnicas
de extracción de oro



Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH



Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad



Incurción de nuevas técnicas
de extracción de oro



Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH



Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad



Incursión de nuevas técnicas
de extracción de oro

Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH





Yolombó -La Toma, Mun.
Suarez, Dpto. Cauca



Exposición de la población al
mercurio

Surge por el llamado de
preocupación de la comunidad



Problemas identificados por la
comunidad

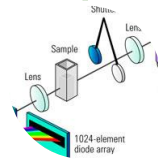


Incurción de nuevas técnicas
de extracción de oro



Necesidad de control y
seguimiento de RR.HH.

O.G: Evaluar la viabilidad del uso de sensores *in situ* en La Toma como herramienta de alerta social temprana frente a la contaminación por mercurio debido a la minería aurífera

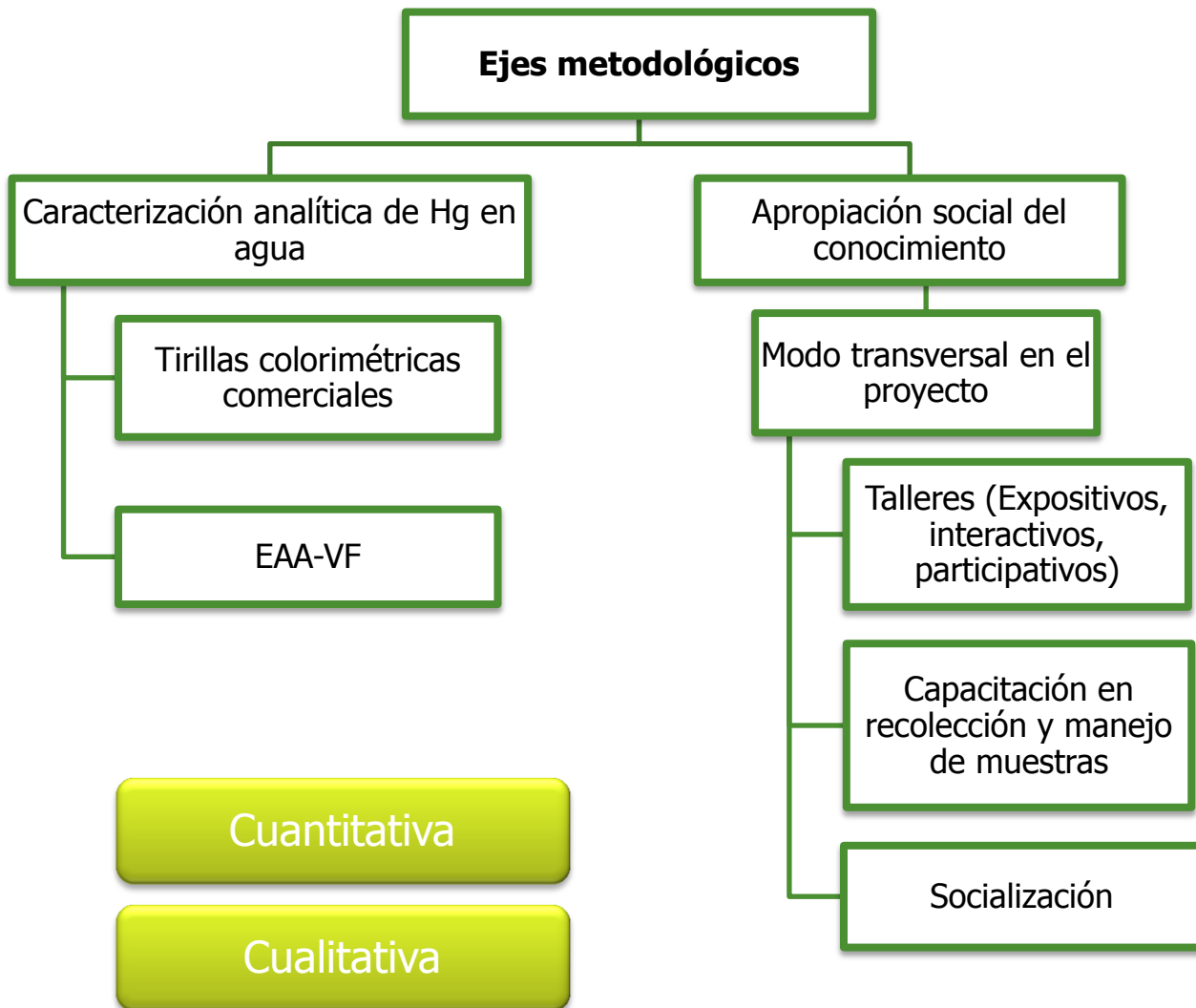


O.E1: Estimar un rango de concentración de mercurio iónico usando sensores comerciales marca SenSafe

OE.2: Analizar las muestras de cinco puntos de muestreo por el método EAA-VF para establecer una correlación con los resultados del O. E1

OE.3: Diseñar e implementar una estrategia informativa dirigida a la comunidad

OE.4: Diseñar una Guía de protocolo de alerta social temprana frente a la contaminación por mercurio



Ubicación espacial
Nº familias abastecidas

Método de detección de Hg	Puntos muestreo	Jornadas muestreos	Total muestras analizadas	Responsable
Tirillas colorimétricas (Hg ²⁺ método alternativo)	Total : 8 7 pozos 1 río	6	48 (por triplicado)	Tesistas
EAA-VF (Hg Total, método convencional)	Total: 5 4 pozos 1 río	2	10 (por duplicado)	Laboratorio Servicios a la comunidad UV (Acreditado IDEAM)

Muestreos Tesistas

- Febrero 27, Marzo 21 y Abril 18

Muestreos Comunidad

- Marzo 7, Abril 4 y Mayo 2

Mediciones de Hg²⁺ y Hg Total

Mediciones de Hg^{2+} con tirillas comerciales SenSafe

- Ensayos de Calibración
- Detección de Hg^{2+} en agua mediante inspección visual
- Detección de Hg^{2+} en agua mediante colorimetría

Mediciones de mercurio total mediante EAA-VF



Ruta y principios metodológicos

Estrategia Educativa e Informativa

- Revisión de literatura
- Apropiación del contenido
- Lenguaje adecuado para la comunidad
- Talleres de formación y socialización (3)

Guía de Protocolo alerta social temprana

- Revisión de literatura (Prevención de desastres de origen natural y contaminación)
- Establecer el contexto
- Sistematizar elementos pertinentes de los talleres de formación para el Protocolo
- Taller de Socialización



Ensayo de calibración



0 ppb



50 ppb



100 ppb



200 ppb



500 ppb

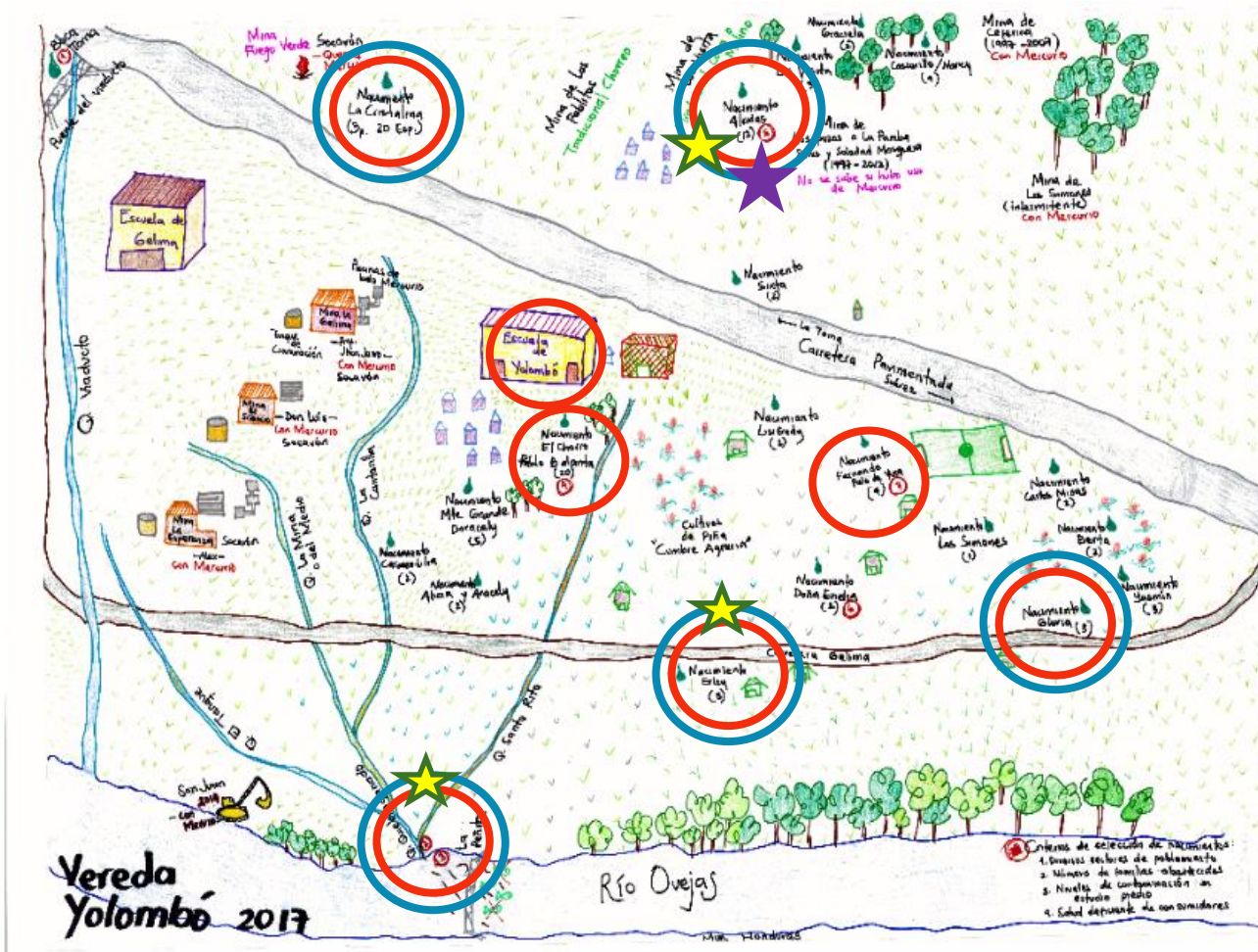


1000 ppb

Rango (ppb)	Cambio de color (ΔE total)
0-50	4,6
50-100	5,2
100-200	4,5
200-500	9,5
500-1000	12,1

- Condiciones controladas
- Cambios de color esperados según carta de color del fabricante
- Subjetividad del observador
- Medición por colorimetría


Cartografía social





Tirillas
colorimétricas



EAA-VF



Evidencia de
contaminación previa



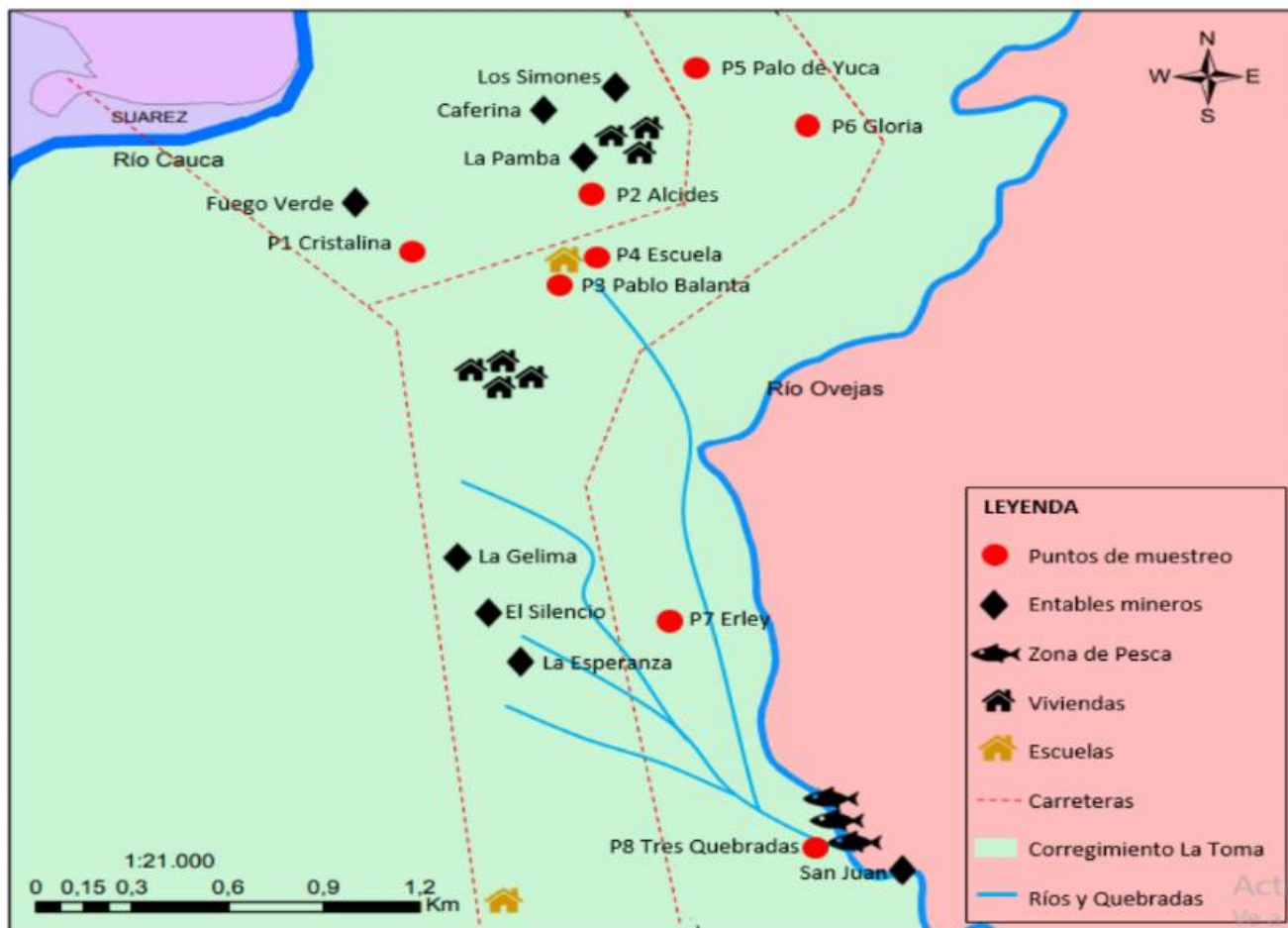
Afectaciones a la salud
detectadas por la
población



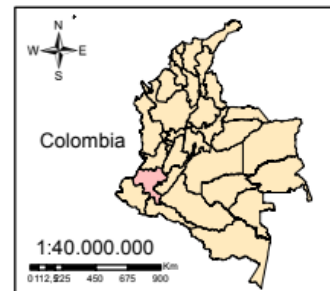
Criterios de selección de muestras:

1. Diversos sectores de población
2. Número de muestras representativas
3. Niveles de contaminación en estudio previo
4. Salud percibida de los comunidades

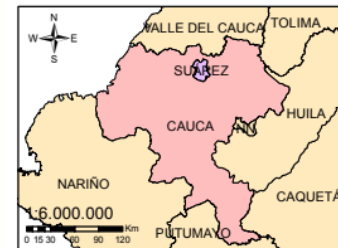
Mapa técnico



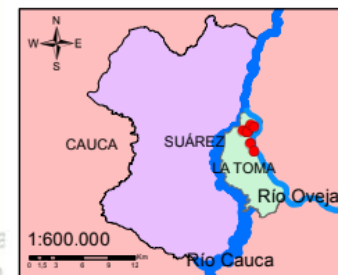
Corregimiento La Toma



Nacional



Departamental



Municipal

Tratamiento estadístico de los datos por Tirillas colorimétricas comerciales

Resultados obtenidos por las tirillas

Agrupación:

(0-50] ppb → Baja sospecha de Hg^{2+} → 1

(50 - ∞) ppb → Alta sospecha de Hg^{2+} → 2

Posibles combinaciones sin importar orden

Creación de variables:

$w_1 = 1, 1, 1$

$w_2 = 1, 1, 2$

$w_3 = 1, 2, 2$

$w_4 = 2, 2, 2$



Q1= Si hay, 5 o 6 w_1

Q2= Si hay 2 w_2 y 4 w_1

Q3= Si hay 4 w_1 , 1 w_2 , 1 w_4

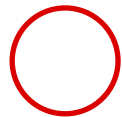
Q4= Si hay 1 w_3 , 1 w_4 y resto cualquiera
ó 2 w_2 , 1 w_3 , 1 w_4 y resto cualquiera

Variable dicotómica

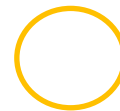
$$z \begin{cases} Q \in \{1, 2\} \rightarrow 0 \\ Q \in \{3, 4\} \rightarrow 1 \end{cases}$$

ID sitio	Fecha de muestreo						Q	Z
	Feb 27	Mar 7	Mar 21	Abr 4	Abr 18	May 2		
La cristalina	w4	w1	w1	w1	w1	w2	3	1
Alcides	w2	w1	w2	w1	w1	w1	2	0
Pablo Balanta	w1	w1	w1	w2	w1	w1	1	0
Escuela	w2	w1	w1	w1	w1	w1	1	0
Palo de yuca	w1	w1	w1	w1	w1	w1	1	0
Gloria	w2	w1	w2	w1	w1	w4	4	1
Erley	w2	w1	w2	w4	w1	w1	4	1
Tres quebradas	w1	w1	w3	w1	w1	w4	4	1

Alta sospecha



Baja sospecha



Estadísticas descriptivas

Grupo	0	1
Mínimo	0,8634	4,901
Q-1	3,008	5,678
Median	6,869	8,997
Mean	6,5958	7,710
Q-3	9,2823	9,098
Max	13,6713	9,875
Var	12,794	5,073
CV	54,231	29,213

Método de U de Mann Whitney

No existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo cual quiere decir que las diferencias de los grupos 0 y 1 no es significativa ($p \geq 0.05$).

Variación de la probabilidad de encontrar Hg²⁺

P (Hg)	P(Hg-T=1)
0,1	0,0357
0,2	0,077
0,3	0,125
0,4	0,18
0,5	0,25
0,6	0,33
0,7	0,4375
0,8	0,5714
0,9	0,75

La probabilidad de que haya Hg²⁺ cuando la tirilla marca un color diferente al control negativo (0ppb Hg²⁺) es de un 25%.

Las tirillas colorimétricas SenSafe marcarán un 75% de asertividad en muestras donde la probabilidad de que haya Hg²⁺ sea mayor a un 90%.

Método máxima verosimilitud

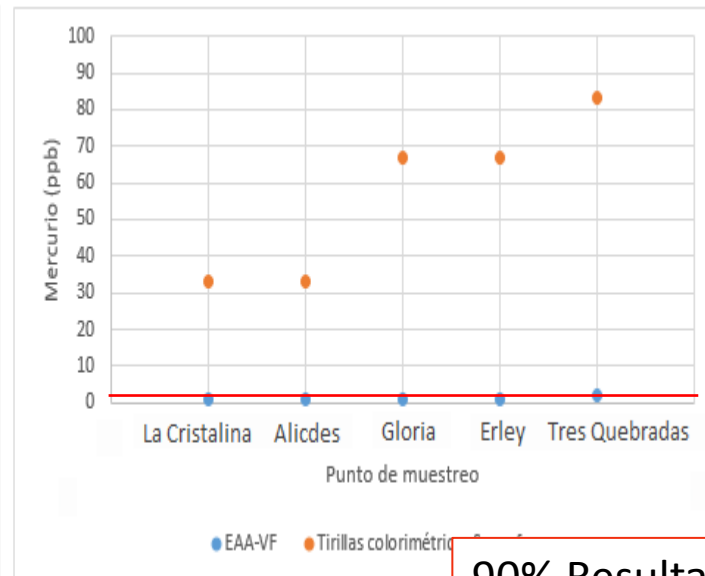
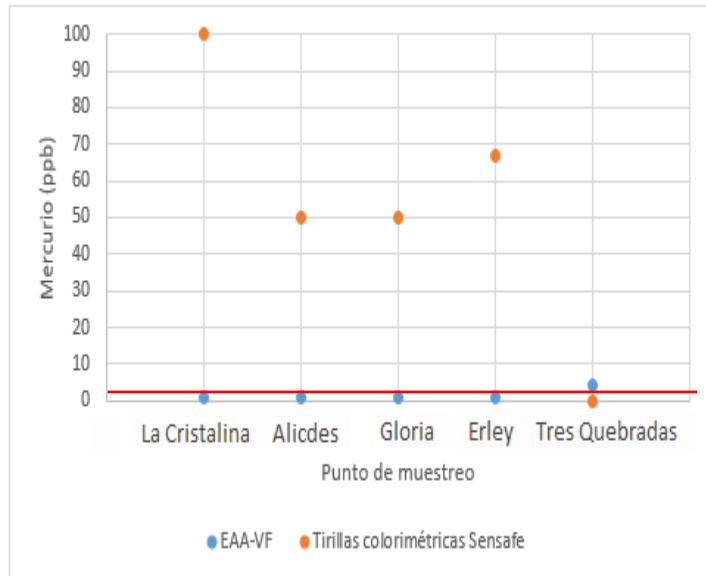
Las tirillas presentan grandes limitaciones de precisión y confiabilidad incluso cuando son asistidos por una tecnología analítica para la determinación del color

EAA-VF

Muestra	Nombre	Origen	Febrero 27 /2018	Marzo 21/2018	Normatividad Colombiana		Normatividad Internacional	
					Res. 0631/15 (0,002mg/L)	Res 2115/07 (0,001mg/L)	OMS, Europa, Canadá, Alemania y Japón (0,001mg/L)*	EPA (0,002mg/L)*
1	La Cristalina	Pozo	<0,001	<0,001	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2	Alcides	Pozo	<0,001	<0,001	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
6	Gloria	Pozo	<0,001	<0,001	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7	Erley	Pozo	<0,001	<0,001	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
8	Tres Quebradas	Río	0,004	0,002	No cumple	No cumple	No cumple	No cumple/Cumple**

*Montenegro (2001)

**Según el límite sugerido para Hg en agua potable de la EPA. El resultado de Febrero 27 no cumple, el resultado de Marzo 21 está justo en el límite



Gráfica de concentración de Hg (ppb) para EAA-VF y Tirillas SenSafe Promedio, jornadas febrero 27 (Izq.) y marzo 21 (Der.)

90% Resultados sobre estimados por tirillas

Identificación de resultados falsos positivos de los sensores colorimétricos con respecto a EAA.VF

Punto	Jornada de muestreo	
	feb.-27	mar.-21
1 Nac. Cristalina	F.P	F.P
2 Nac. Alcides	F.P	F.P
6 Nac. Gloria	F.P	F.P
7 Nac. Erley	F.P	F.P
8 Río Tres Quebradas	1	F.P

1: Rango 0-50 ppb
F.P: Falso Positivo

Estrategia informativa-educativa



Rutas de exposición al mercurio y afectaciones a la salud

- ¿Qué es el mercurio?
- ¿Dónde se origina?
- ¿Cómo se transporta?
- Diversos usos
- Uso en la minería
- Macro rutas de exposición
- Afectaciones a la salud

IA

"Nuestra ruta de muestreo"

- Paso a paso de recolección
- Lista de chequeo
- Mapa con la ubicación de los puntos
- Cronograma

Estrategia informativa-educativa



Rutas de exposición al mercurio y afectaciones a la salud

- ¿Qué es el mercurio?
- ¿Dónde se origina?
- ¿Cómo se transporta?
- Diversos usos
- Uso en la minería
- Macro rutas de exposición
- Afectaciones a la salud

"Nuestra ruta de muestreo"

- Paso a paso de recolección
- Entrega y verificación de kit de recolección
- Lista de chequeo
- Mapa con la ubicación de los puntos
- Cronograma

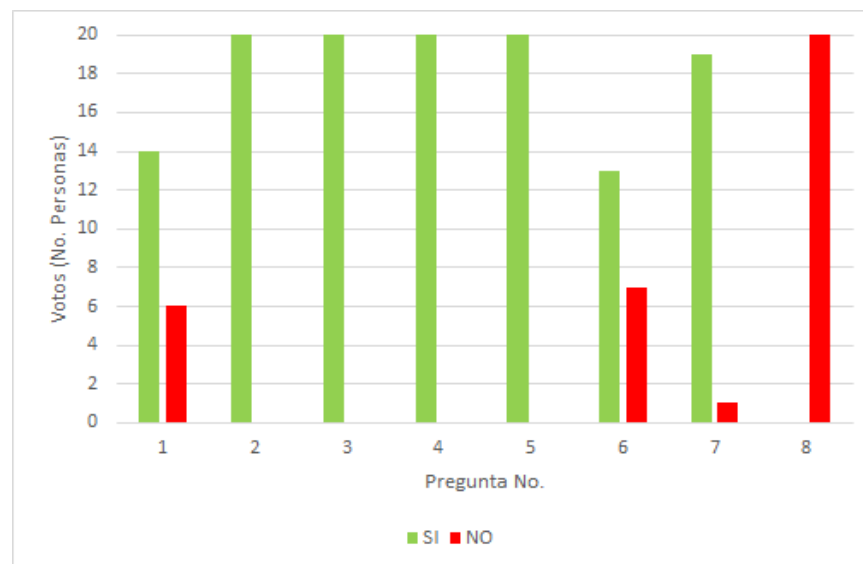
IAP

Socialización de resultados

Pregunta

- 1 Antes de ésta socialización ¿Sabía ud que el mercurio estaba afectando su territorio y potencialmente su salud?
- 2 Actualmente, ¿usted considera que el mercurio puede afectar su salud y la de los niños?
- 3 ¿Considera usted que es importante su participación en las investigaciones sobre el mercurio y sus efectos?
- 4 ¿Está usted de acuerdo con reducir el riesgo de exposición a mercurio cambiando fuentes de abastecimiento de agua?
- 5 ¿Está usted de acuerdo con reducir el riesgo de exposición a mercurio mediante el uso de filtros para el agua de consumo humano?
- ★ 6 ¿Está usted de acuerdo con reducir el riesgo de exposición a mercurio cambiando su dieta, por ejemplo, cambiando el pescado?
- 7 ¿Está usted de acuerdo con reducir el riesgo de exposición a mercurio mediante prohibir el mercurio en las minas?
- ★ 8 ¿Está usted de acuerdo con reducir el riesgo de exposición a mercurio mediante salir del territorio?

Respuestas



Total=20 personas

Guía de

Rol	Responsabilidades
-----	-------------------

1. Estructur

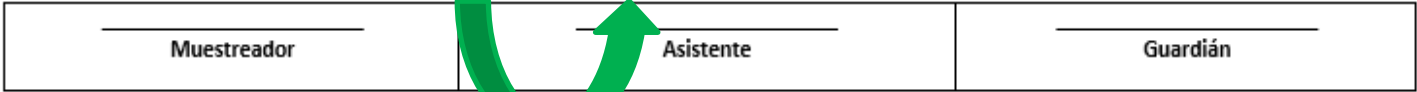
2. ¿Cuándo

3. ¿Cómo s posterior re

4. Sistem

5. ¿Cómo socializar la información encontrada?

Fecha	Hora	Rutina	Extraordinario	Nombre Punto Monitoreo	Color	Olor	Sabor*	pH	[Hg] Por sensor	Eventualidades	Firma



Mu Cada 3 meses: Comité de mujeres
 Anualmente: Consejo veredal
 Figuras externas

ódicas,
 as
 in a la
 /medio
 mación
 ados lo
 ción de
 se llene
 ol
 pleta y
 dián/a
 figuras
 puntos
 ardián

O.E1: Estimar un rango de concentración de mercurio iónico usando sensores comerciales marca SenSafe

- Rango de $[\text{Hg}^{+2}]$ encontrado 0-50ppb, 50-100ppb y 100-200ppb.
- Determinación del rango : manera subjetiva, variar según observador, el tiempo de inspección visual y el color del analito según el lote de fabricación
- Los rangos de detección de las tirillas muy amplios y no permiten identificar cuando se cumple o se supera los límites máximos permisibles de mercurio para agua de consumo humano, ->>desventaja, riesgo salud.
- Existe poca probabilidad de que las tirillas comerciales SenSafe detecten acertadamente la $[\text{Hg}^{+2}]$ de una muestra. No son la mejor técnica de detección de mercurio para implementar en la zona de interés.

OE.2: Analizar las muestras de cinco puntos de muestreo por el método EAA-VF para establecer una correlación con los resultados del O. E1

- Existe sobre estimación del 90% de $[Hg^{+2}]$, por parte de las tirillas colorimétricas comparada con los resultados obtenidos por EAA-VF $[Hg \text{ total}]$.
- Los cuatro nacimientos evaluados por EAA-VF cumplen con los límites establecidos por la normatividad colombiana y por estándares internacionales para concentración de mercurio en agua para consumo humano en las dos jornadas de muestreo evaluadas (febrero 27 y marzo 21).

OE.3:Diseñar e implementar una estrategia informativa dirigida a la comunidad

- La comunidad de Yolombó se caracterizó por mujeres empoderadas de su territorio. Se apropiaron de la necesidad de un ambiente sano y libre de contaminación por mercurio, relevante en la actualidad y en el futuro, para la salud de ellos, sus familias y sus descendientes.
- Las contradicciones al interior de la comunidad sobre el uso de mercurio se expresa en un desacuerdo sobre el potencial peligro que significa para los habitantes de la vereda.
- La comunidad no ve como una opción salir del territorio en busca de nuevas fuentes hídricas para abastecimiento, ni hay consenso sobre cambio en algunas prácticas alimenticias. Los pobladores se muestran dispuestos a cambiar sus prácticas cotidianas en pro de mejorar las condiciones ambientales para obtener un ambiente sano para ellos y las generaciones futuras.

O.E.4. Diseñar una Guía de protocolo de alerta social temprana frente a la contaminación por mercurio

- El empoderamiento de la comunidad fue vital para el proyecto y lo será para la implementación del SAT.
- Posterior a este trabajo de grado se tienen buenos indicios de que la lucha contra la minería que usa mercurio continuará puesto que: la comunidad ya había iniciado procesos antes de este y el marcado interés mostrado a lo largo de toda la investigación.
- El método adecuado para detectar [Hg] debe superar la variación turbidez, color, pH, MO, generar resultados más consistentes en experimentos realizados bajo condiciones controladas. También, debe ser de bajo costo y fácil aplicación, sin sacrificar la certeza de los resultados.
- Los SAT deben involucrar a la comunidad en cada fase y ajustarse a la realidad del territorio. Y deben trascender en el apoyo para la toma de decisiones y ejecución de acciones de respuesta.

Debe continuarse la búsqueda de una metodología asertiva de utilización de sensores, en donde se superen dificultades halladas.

Evaluación de otras matrices: sedimentos (35-69 mg Hg/Kg sedimento) efectos biológicos adversos (Ramos, 2018), toma de muestras humanas (cabello, sangre, orina).

Encaminarse hacia la utilización de materiales alternos al mercurio en la extracción de oro, con alto grado de eficiencias, como por ejemplo Balsa de lana ("Ochroma pyramidale") o Separación por técnicas gravitacionales (95% de eficiencia).

Se debe actualizar el método de medición de mercurio en agua, una vez se encuentre una herramienta acorde a las necesidades de la comunidad, tanto en aspectos técnicos como económicos y debe ser incorporado en el SAT.

Realizar estudios que vayan más allá de las necesidades evidentes y permitan algún grado de avance para la comunidad de estudio.

Universidad de la Florida (EE.UU.)

- Laboratorio: Bio nanosensors for planetary health

Universidad del Valle

- Laboratorio: Servicios a la comunidad.
- Laboratorios: Semillas, Química Ambiental.
- Prof. José Rafael Tovar, Estudiantes Milena Gómez y Luis Wallis. Estadística

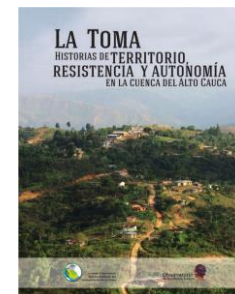
Ing. Lisseth Casso, Ing. Antonio Ramos.

Organizaciones comunitarias de La Toma y Yolombó

- Asomuafroyo
- Comunidad de Yolombó.

Directora: Irene Vélez Torres PhD. Codirectora: Diana Vanegas Gamboa PhD

Esta investigación fue financiada con recursos propios y el gran esfuerzo de familia y amigos.



UF UNIVERSITY of
FLORIDA

