

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**EVALUACIÓN DE METALES NEFROTÓXICOS EN AGUA
POTABLE EN MUNICIPIOS DE GUATEMALA CON LA TASA MÁS
ALTA DE ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA.**

Trabajo de graduación presentado por

Cinthia María Saravia Donis

para optar al grado académico de Licenciada en Química Farmacéutica

Guatemala,

2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



**EVALUACIÓN DE METALES NEFROTÓXICOS EN AGUA
POTABLE EN MUNICIPIOS DE GUATEMALA CON LA TASA MÁS
ALTA DE ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA.**

Trabajo de graduación presentado por

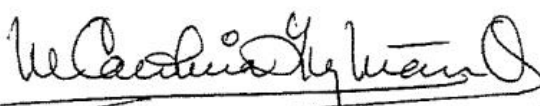
Cinthia María Saravia Donis

para optar al grado académico de Licenciada en Química Farmacéutica

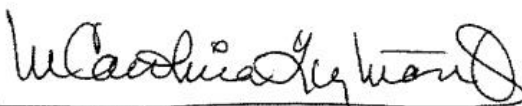
Guatemala,

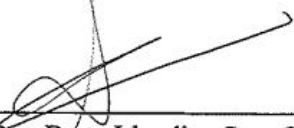
2022

Vo. Bo. :

(f) 
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo
Asesor

Tribunal Examinador:

(f) 
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo
Asesor

(f) 
Dra. Berta Irlandina Sam Colop

(f) 
Dr. Élfego Rolando López García
Director Departamento de Química Farmacéutica

Fecha de aprobación: Guatemala, 18 de noviembre de 2022

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO CONCEPTUAL	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Justificación	5
2.3. Planteamiento del problema	6
2.4. Alcances y límites	6
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Anatomía del riñón	8
3.1.1. Anatomía macroscópica	8
3.1.2. Anatomía interna	8
3.2. Función renal	10
3.2.1. Filtración glomerular	11
3.3. Enfermedad renal crónica	12
3.4. Enfermedad renal crónica no tradicional	14
3.4.1. Patogénesis y perfil clínico de la ERCnT	15
3.4.2. Situación internacional y nacional	15
3.5. Metales	16
3.5.1. Muestreo y preparación de muestras	18
3.5.2. Métodos de detección	18
3.5.2. Metales nefrotóxicos	21
3.5.3. Límites permisibles de metales en agua	33
3.6. Municipios con mayor tasa de personas terapia renal	34

3.6.1. Municipio de La Gomera, Departamento: Escuintla	34
3.6.2. Municipio de La Democracia, Departamento: Escuintla.....	36
3.6.3. Municipio de Sipacate, Departamento: Escuintla.....	37
3.6.4. Municipio de Retalhuleu Cabecera, Departamento: Retalhuleu	38
Distribución actual y población	38
3.6.5. Municipio de Santa Cruz Mulúa, Departamento: Retalhuleu	40
3.6.6. Municipio de Champerico, Departamento: Retalhuleu.....	41
3.6.7. Municipio de San José El Ídolo, Departamento: Suchitepéquez.....	43
3.6.8. Municipio de San Lorenzo, Departamento: Suchitepéquez.....	44
3.6.9. Municipio de Río Bravo, Departamento: Suchitepéquez.....	46
4. MARCO METODOLÓGICO	48
4.1. Objetivos.....	48
4.1.1. Objetivos generales	48
4.1.2. Objetivos específicos	48
4.2. Hipótesis	49
4.2.1. Hipótesis de investigación (Hi)	49
4.2.2. Hipótesis nula (Ho)	49
4.3. Variables	49
4.4. Población y muestra.....	50
Población.....	50
Muestra	50
4.5. PROCEDIMIENTO.....	50
4.5.1. Selección de municipios de muestreo	50
4.5.2. Solicitud de permiso para toma de muestras.....	51
4.5.3. Colecta de muestras de agua potable	52

4.5.4. Métodos de preparación y análisis de muestras.....	54
4.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	61
4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	61
4.7.1. Estadística descriptiva.....	62
4.7.2. Estadística inferencial	62
5. MARCO OPERATIVO	63
5.1. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	63
5.2 RECURSOS.....	63
Recursos humanos	63
<i>Recursos materiales</i>	64
5.3. ASPECTOS ECONÓMICOS	65
6. RESULTADOS	66
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	69
8. CONCLUSIONES	73
9. RECOMENDACIONES.....	74
10. BIBLIOGRAFÍA	75
11. ANEXOS	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Criterios para determinar padecimiento de ERC.....	13
2. Categorías de la tasa de filtración glomerular en ERC.....	13
3. Categorías de albuminuria en ERC.....	14
4. Límites permisibles de As, Cd y Pb en agua.....	35
5. Definición conceptual y operacional de variables a estudiar.....	50
6. Información de cada municipio considerado en estudio para definición del lugar de recolección de muestras de agua.....	52
7. Descripción de recipientes, volumen y condiciones de manipulación y almacenamiento de la muestra.....	53
8. Modificadores de matriz para espectrometría de absorción atómica electrotrémica..	55
9. Niveles de detección y rangos de concentración para espectrometría de absorción atómica electrotrémica.....	56
10. Niveles de detección y rangos de concentración para espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros.....	60
11. Aspectos económicos para proyecto de investigación.....	66
12. Niveles de cadmio, plomo y arsénico en muestras de agua potable en centros de salud ubicados en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez de Guatemala.....	67
13. Identificación de arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.....	67
14. Cuantificación de los niveles de arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.....	68
15. Comparación de los niveles obtenidos de plomo, cadmio y arsénico con respecto a los límites establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001..	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Cuantificación de los niveles de plomo en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Celda de reacción manual para producir hidruros de As	57
2. Diagrama de flujo del proceso.....	62

RESUMEN

La Enfermedad Renal Crónica es una condición en la que los riñones se encuentran dañados de manera irreversible, puede darse por causas tradicionales y no tradicionales. Esta última, se le ha atribuido a una multicausalidad de factores, incluidos la exposición a metales nefrotóxicos. En Guatemala, independientemente de su etiología, tienen alta incidencia y prevalencia por lo que existe la necesidad de la identificación de factores de riesgo. El propósito fundamental del presente estudio fue evaluar los niveles de los metales: plomo, cadmio y arsénico en agua potable; que han demostrado ser nefrotóxicos, compararlos y determinar su cumplimiento de acuerdo con límites establecidos en la NTG COGUANOR 29001.

El trabajo incluyó la evaluación por espectrofotometría de absorción atómica, se analizaron dos muestras de agua por cada municipio y se desarrolló el análisis por triplicado; en nueve municipios, pertenecientes a los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez, los cuales fueron seleccionados con base en el Registro Nacional de Diálisis y Trasplante Renal de Guatemala, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). Se identificó arsénico en las muestras de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez; y plomo en las muestras de Retalhuleu y Suchitepéquez. Para ambos metales, los valores están por debajo de los límites establecidos por la NTG COGUANOR 29001 (Arsénico = 3.52 ± 1.63 mcg/L y Plomo = 0.87 ± 0.06 mcg/L). Este estudio se considera una investigación exploratoria inicial, por lo que se recomienda darle seguimiento en las diferentes épocas climatológicas del país.

1. INTRODUCCIÓN

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) es una condición médica en la que los riñones se encuentran dañados y no pueden filtrar de manera adecuada la sangre que circula por el cuerpo humano, resultando en un exceso de líquidos y toxinas en el torrente sanguíneo causando múltiples problemas de salud (Pezzarossi., *et al*, 2017). Es un problema de salud pública mundial con una prevalencia e incidencia crecientes, un costo elevado y resultados adversos como la enfermedad vascular y la muerte prematura. Los factores causantes conocidos de la ERC incluyen principalmente diabetes, hipertensión y síndromes renales caracterizados. Sin embargo, desde principios de 1990, coincidiendo con una explotación más productiva y extensiva de la tierra para la agricultura, se ha reportado un aumento en la prevalencia de ERC relacionada con factores de riesgo no tradicionales (Jayasumana., *et al*, 2016).

Este tipo de ERC en Guatemala se ha identificado predominantemente en trabajadores agrícolas de género masculino, que viven en una situación de desventaja social y que habitan en la región sur del país. Su origen se le ha atribuido a una interacción compleja entre factores de riesgo propuestos, incluidos la exposición a agroquímicos, a metales nefrotóxicos, higiene ocupacional inadecuada, trabajo en condiciones de altas temperaturas e ingesta inadecuada de agua y hábitos nocivos como la ingesta de medicamentos nefrotóxicos, especialmente antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) (Ruíz, Orellano y Navarro, 2015). Pero, independientemente de la etiología de la enfermedad, esta es degenerativa e irreversible, afecta al paciente y su entorno familiar desde el punto de vista médico, social, psicológico y económico (MSPAS, 2020).

En Guatemala, los pacientes con mayor incidencia y mortalidad por dicha enfermedad son aquellos que tienen un perfil socioeconómico popular o marginal (Pezzarossi., *et al*, 2017). En la mayoría de las ocasiones, la enfermedad evoluciona de forma asintomática y, por consiguiente, no se detecta hasta en etapas muy avanzadas, por lo que la prevención de la enfermedad renal es clave. Las

intervenciones preventivas se refieren a actividades que se clasifican dentro de prevención primaria, secundaria y terciaria. Estas implican la modificación de factores de riesgo, conducción a un diagnóstico temprano y un tratamiento rápido y manejo de la enfermedad renal después de que esté establecida (MSPAS, 2020).

De lo cual deriva la necesidad de la identificación de factores de riesgo y progresión, pues supone el reconocimiento de personas con mayor susceptibilidad de desarrollar algún tipo de enfermedad renal crónica y de quienes tienen mayor riesgo de progresar hasta etapas finales de la enfermedad. Sin embargo, hasta el momento en el país, existe poca información o ninguna, especialmente sobre factores ambientales (Crowe., *et al*, 2018), tal es el caso de la exposición a metales nefrotóxicos conocidos, como el cadmio, arsénico y plomo; por los que ha habido una creciente preocupación, pues a pesar de que estos ocurren naturalmente y han sido un componente intrínseco del medio, su uso exponencial en varias actividades antropogénicas ha contribuido a un mayor riesgo de exposición. Por consiguiente, mayor riesgo de desarrollo de problemas de la salud (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, y Sutton, 2012).

De acuerdo a lo anterior, se llevó a cabo la recolección y análisis de muestras de agua potable en dependencias de salud o viviendas en los municipios con la tasa más alta de pacientes con enfermedad renal crónica de acuerdo con el registro nacional de diálisis y trasplante renal de Guatemala, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Los metales medidos fueron arsénico, cadmio y plomo mediante espectroscopía de absorción atómica con generador de hidruros para el primero y espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para los dos últimos. Esto con el objetivo de examinar los niveles detectados y compararlos respecto a límites establecidos por la NTG COGUANOR 29001.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes

Evaluación de metales en orina (arsénico, cadmio, níquel y uranio) en 222 cortadores de caña de azúcar en Guatemala en tres momentos durante un año, estudio realizado por Butler-Dawson., *et al.* en el 2021. En la investigación se exploraron las relaciones entre las concentraciones de metales y los marcadores de la función renal. Sus hallazgos sugieren que la exposición a dichos metales, incluidos el cadmio y arsénico, podría contribuir a la toxicidad renal que se observa en los trabajadores con riesgo de ERCnT. Estos resultados son consistentes con el potencial de nefrotoxicidad del metal a niveles más bajos de lo esperado en el marco del trabajo manual en un ambiente muy caluroso. Sin embargo, a la fecha, el origen de los nefrotóxicos, en general y en este estudio en particular, es desconocido.

Exploración de los niveles de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en el río Guastatoya, departamento de El Progreso en Guatemala, Tesis elaborada por Loida Morales en el 2018. En la misma se evaluó el río Guastatoya pues es uno de los más representativos de la región y porque la exposición a dichos metales supone un gran peligro por su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. El cuerpo de agua se muestreó durante la época seca (noviembre 2016) y época lluviosa (junio 2017). Se estableció que la concentración de estos metales era más alta durante la época seca sobrepasando los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo con la norma COGUANOR 29001, a diferencia de la época lluviosa donde se observó una disminución significativa cumpliendo con los límites establecidos.

Presentación de resultados de estudios epidemiológicos, clínicos, histopatológicos y tóxicoambientales que aportaron al conocimiento y caracterización de la ERCnT y sus factores asociados, Conferencia Internacional y Reunión de Alto Nivel sobre ERCnT en Centro América en San Salvador: COMISCA; 2013. Se reconoció que, a pesar de los avances de los últimos dos años, existe aún una brecha en el conocimiento de la ERCnT en la Región en lo que

respecta a su comportamiento epidemiológico, historia natural, etiología y factores de riesgo, con lo cual se hace necesario aumentar la investigación analítica sobre el problema a nivel regional.

Presentación de la perspectiva global de diálisis: Guatemala, estudio realizado por Pablo García y Vicente Sánchez en el 2020. En la investigación se brindó una actualización sobre el estado de la entrega de diálisis en Guatemala. Su informe indica que alrededor del 50% de la población son indígenas que viven en el área rural, donde el acceso a la atención médica, incluida la atención renal y diálisis es limitado. Lo que resulta preocupante pues la incidencia y prevalencia han aumentado notablemente en los últimos años (de 2013 a 2019); la incidencia fue de 125 por millón de habitantes (pmh) a 174 pmh y la prevalencia de 379 pmh a 564 pmh. Sin embargo, la terapia de reemplazo renal en Guatemala sigue siendo de las más bajas de las Américas y la prevalencia de diálisis es marcadamente más baja en las áreas rurales, a pesar de tener una de las tasas de mortalidad más altas en la región.

Evaluación de la sobrevivencia de pacientes con Enfermedad Renal Crónica Tradicional y no Tradicional en clínicas de hemodiálisis del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, Guatemala, estudio realizado por Cano., *et al* en el 2020. Debido a la falta de datos sobre las características epidemiológicas de estas enfermedades, se realizó un estudio sobre la sobrevivencia de 55 pacientes con ERC y ERCnT, en tres departamentos de la costa sur de Guatemala. Se determinó que la tasa de incidencia de mortalidad general en pacientes con ERC y ERCnT durante el período de enero de 2013 a agosto 2019 fue de 29.1 por 100 años/personas. La mayor tasa de mortalidad en estos pacientes estuvo asociada a eventos cardiovasculares.

2.2. Justificación

La enfermedad renal crónica (ERC) consiste en la destrucción progresiva de las unidades funcionales del riñón hasta que no pueda realizar todas las funciones requeridas, el daño puede darse en uno o ambos riñones, hasta que se pierde la capacidad de filtrar sustancias tóxicas de la sangre. Comúnmente se asocia con una edad avanzada y otras enfermedades crónicas tales como diabetes, hipertensión y enfermedad cardiovascular (Sam, 2020). Sin embargo, en los últimos años, un número cada vez mayor de personas jóvenes, en conglomerados de comunidades agrícolas socialmente vulnerables en varios países centroamericanos; incluyendo Guatemala, han presentado una forma grave de insuficiencia renal de etiología incierta o no tradicional (ERCnT) (OPS, 2017).

De acuerdo con el Registro Guatemalteco de Diálisis y Trasplante Renal (RGDTR) la tasa de prevalencia de ERC del 2019 fue de 523 por millón de habitantes y una incidencia de 161 por millón de habitantes. Mientras que, para la ERCnT, la tasa de incidencia fue de 8 por millón de habitantes y sin datos de prevalencia debido a que son los primeros que se obtienen como país. Resaltando que, en ambos casos, el número de afectados fue más alto en los hombres comparado con las mujeres; siendo los departamentos con mayor número de pacientes tratados por cantidad de habitantes: Santa Rosa, Guatemala, Escuintla, Jutiapa, Sacatepéquez, Suchitepéquez, Retalhuleu, El Progreso, Jalapa y Quetzaltenango (Sam., *et al*, 2019).

Dichos datos ubican a Guatemala como uno de los países con mayor incidencia y prevalencia de ERC de América Latina. Siendo la ERC, independientemente de su etiología, una enfermedad degenerativa e irreversible que afecta al paciente y su entorno familiar desde el punto de vista médico, social, psicológico y económico (Sam., *et al*, 2019). Resulta de suma importancia la identificación de factores de susceptibilidad y/o progresión, pues supone el reconocimiento de personas con mayor riesgo de desarrollar ERC y de pacientes

que tienen mayor riesgo de progresar hasta etapas finales de la enfermedad, respectivamente. Sin embargo, hasta el momento en el país, existe poca información o ninguna, especialmente sobre factores ambientales, tanto para la población general como para la población que trabaja en el área agrícola y corre el riesgo de padecer ERCnT (Crowe., *et al*, 2018).

Se ha propuesto una amplia variedad de factores ambientales contribuyentes para la ERCnT en Centroamérica, entre ellas la exposición a metales pesados que se sabe causan daño renal (cadmio, arsénico, plomo) en agua contaminada. De acuerdo con el reporte del Tercer Taller Internacional sobre ERC de origen no tradicionales en Mesoamérica y otras regiones, la evaluación de la calidad del agua debería ser una investigación de máxima prioridad. Tomando en consideración lo mencionado, existe una necesidad clara de la evaluación de los niveles de dichos metales, en el agua potable de los municipios donde hay mayor número de casos de enfermedad renal crónica en Guatemala. De manera que, la información obtenida sirva de línea base para futuras investigaciones sobre la posible relación entre estos agentes y el riesgo de desarrollo de ERC y/o ERCnT en las comunidades afectadas (Crowe., *et al*, 2018).

2.3. Planteamiento del problema

¿Representan los niveles actuales de los metales arsénico, plomo y cadmio en agua un factor de riesgo ambiental asociado al padecimiento de la enfermedad renal crónica, tradicional y no tradicional, en los municipios con las tasas más altas de terapia de reemplazo renal?

2.4. Alcances y límites

Alcances: se identificaron y cuantificaron los niveles de metales nefrotóxicos (cadmio, plomo y arsénico) en muestras de agua potable en dependencias de salud ubicados en 3 municipios de cada uno de los departamentos

con mayor tasa de casos registrados en RGDTR: Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez mediante espectroscopía de absorción atómica.

Límites: no se pudieron contrastar las exposiciones en áreas de alta y baja tasa de pacientes con enfermedad renal crónica, se evaluaron los niveles de metales específicos de las muestras de agua más no su toxicidad general, se muestreo únicamente en época lluviosa debido al tiempo reducido del cronograma del trabajo y únicamente se evaluó uno de los factores de riesgo ambientales propuestos en estudios, es decir, no se consideró su interacción con otros.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Anatomía del riñón

3.1.1. Anatomía macroscópica

Los riñones están ubicados contra la pared abdominal posterior a ambos lados de la columna vertebral, tienen forma de frijol. Se encuentran por delante del diafragma y de varios músculos; sus superficies anteriores están cubiertas por peritoneo parietal. El riñón izquierdo está posterior al estómago, páncreas, bazo y colon descendente, y el derecho al hígado, la segunda parte del duodeno y el colon ascendente. El riñón izquierdo se encuentra entre las vértebras T12 a L3, mientras que el derecho está un poco más abajo debido a un leve desplazamiento por el hígado. Sus polos superiores están cubiertos por las glándulas suprarrenales (suprarrenales) (Makanjuola y Lapsley, 2014).

Respecto a su protección, están cubiertos por una cápsula fibrosa compuesta de un tejido denso e irregular que además les ayuda a mantener su forma. A su vez, la cápsula está cubierta por una capa de tejido adiposo llamada almohadilla de grasa renal que absorbe los impactos, la cual está rodeada por una fascia renal resistente que ayuda a anclar de manera firme los riñones a la pared abdominal. Más externamente, la parte de arriba de los riñones está protegida por la undécima y duodécima costillas. En cuanto a sus dimensiones, miden entre 11 y 13 cm de largo, 6 cm de ancho y 4 cm de grosor, pesando cada riñón alrededor de 150 g. Los riñones están muy bien vascularizados y reciben alrededor del 25% del gasto cardíaco en reposo (Biga., *et al*, 2019).

3.1.2. Anatomía interna

Si se observa una sección frontal a través del riñón, se distingue una región externa llamada corteza renal y una región interna llamada médula. Desde la corteza a través de la médula irradian las columnas renales que son extensiones de tejido conectivo, estas columnas sirven para dividir el riñón en seis a ocho

lóbulos y proporcionan un marco de apoyo para los vasos que entran y salen de la corteza. Además, las columnas renales separan los rasgos más característicos de la médula; las pirámides y papilas renales. Cada pirámide crea orina y termina en una papila renal y cada papila es un haz de conducción colector que transporta la orina producida a los cálices menores, que a su vez se conectan para formar un cáliz mayor. Todos los cálices principales del riñón se conectan a la pelvis renal que se conecta al uréter para la excreción de la orina. Las pirámides y las columnas renales tomadas en conjunto constituyen los lóbulos renales (Biga., *et al*, 2019).

Hilio renal

El hilio renal es el sitio de entrada y de salida de las estructuras que sirven a los riñones, como los vasos sanguíneos, los nervios, linfáticos y uréteres. La sangre ingresa al riñón a través de las arterias renales emparejadas que se forman directamente desde la aorta descendente y cada una ingresa al riñón en el hilio renal. Una vez en el riñón, cada arteria renal se divide primero en arterias segmentarias, seguido de más ramificaciones para formar arterias interlobares que pasan a través de las columnas renales para llegar a la corteza. Las arterias interlobares, a su vez, se ramifican en arterias arqueadas, arterias radiadas corticales y luego en arteriolas aferentes. Las arteriolas aferentes llevan sangre a un lecho capilar modificado llamado glomérulo, que es un componente de la "unidad funcional" del riñón llamada nefrona. Mientras que las venas renales devuelven sangre limpia directamente a la vena cava inferior (Biga., *et al*, 2019).

Nefronas

Son las unidades funcionales del riñón, y cada uno posee alrededor de 1.3 millones que trabajan para filtrar la sangre y equilibrar los componentes de la circulación. Estas son estructuras tubulares, que constan de varios elementos histológica y funcionalmente distintos. Cada nefrona tiene un solo glomérulo, que se encuentra en la parte exterior del riñón (la corteza) y es responsable de la ultrafiltración de la sangre. El resto de la nefrona consta de varias estructuras tubulares contiguas que modifican progresivamente la composición del

ultrafiltrado antes de que se elimine como orina. Estas estructuras son: el túbulo contorneado proximal, el bucle de Henle, el túbulo contorneado distal y el conducto colector (Makanjuola y Lapsley, 2014).

Hay dos tipos de nefronas, las nefronas corticales, que forman cerca del 85% del total y en su mayoría están ubicadas en la corteza del riñón. Son las principales responsables de la eliminación de sustancias de desecho y de la reabsorción de nutrientes. Y las nefronas yuxtamedulares cuya función principal es la concentración de la orina. La capacidad de los riñones para eliminar selectivamente las sustancias de desecho provenientes de la sangre y al mismo tiempo mantener los equilibrios del agua corporal esencial y de los electrolitos es controlada en la nefrona por medio de las siguientes funciones renales: flujo sanguíneo renal, filtración glomerular, reabsorción y secreción tubulares (King y Di Lorenzo, 2008).

3.2. Función renal

Los riñones tienen tres funciones principales: función excretora, la cual consiste en la eliminación de productos finales indeseables del metabolismo, exceso de iones inorgánicos ingeridos en la dieta y medicamentos y toxinas del cuerpo a través de la formación de orina. Proceso mediante el cual controla el volumen y la composición del líquido extracelular. La mayor parte del solvente y del soluto filtrado se reabsorbe, pero el control de los procesos responsables permite que la composición y el volumen de la orina se ajusten para satisfacer las necesidades fisiológicas de una persona. También tiene una función reguladora, mediante la cual mantiene el equilibrio ácido-base y las homeostasis adecuadas. Y, por último, tiene una importante función endocrina, pues es responsable de la producción y activación de varias hormonas (Dasgupta y Wahed, 2014; Makanjuola y Lapsley, 2014).

3.2.1. Filtración glomerular

La filtración glomerular es fundamental para la producción de orina y para las funciones homeostáticas del riñón. Las moléculas neutras muestran una permeabilidad glomerular mucho mayor que las moléculas con carga muy negativa. La tasa de filtración glomerular (TFG) es una medida de la capacidad funcional del riñón y es un parámetro importante para evaluar la función renal. Su medición se basa en el concepto de aclaramiento: la determinación del volumen de plasma del que se elimina por completo una sustancia por filtración glomerular durante su paso a través del riñón, es decir, el plasma se aclara de la sustancia. Se puede estimar utilizando la fórmula en la Ecuación 1 (Renkin y Robinson, 1974; Makanjuola y Lapsley, 2014):

$$TFG = (U_a \times V) / P_a \times 1.73 / A \quad (1)$$

Donde U_a es la concentración de un soluto en la orina, V es el volumen de orina en mL/minuto, P_a es la concentración de ese mismo soluto en el plasma y A es el área superficial corporal en metros cuadrados. La superficie estándar del cuerpo es de 1.73 m^2 (Makanjuola y Lapsley, 2014).

La Ecuación 1 sólo será válida para calcular la TFG si se utiliza un analito que es filtrado libremente en el glomérulo, si está en una concentración estable en el plasma y es inerte (carga neutra). Este soluto no debe ser secretado, reabsorbido, sintetizado o metabolizado por los riñones. Por lo que, de manera estándar, la estimación de la TFG se realiza mediante el aclaramiento de insulina. Sin embargo, en la práctica clínica habitual, el aclaramiento de creatinina es más práctico. También es importante tener en cuenta la edad, el sexo y la raza del paciente al realizar dichos cálculos. Entonces, se utiliza la modificación de la fórmula anterior de Cockcroft Gault por el Grupo de Estudio de Modificación de la Dieta en Enfermedad Renales como se muestra a continuación (Ecuación 2) (Dasgupta y Wahed, 2014):

$$TFG \text{ (mL/min/1.73m}^2\text{)} = 186 \times \text{creatinina en plasma en mg/dL}^{-1.154} \times \text{Edad}^{-0.203} \times F \quad (2)$$

Donde, F es 0.742 para mujeres y 1.21 para afroamericanos (Dasgupta y Wahed, 2014).

3.3. Enfermedad renal crónica

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) se define como anormalidades de la estructura o función del riñón, presente por más de 3 meses, con implicaciones para la salud de un individuo, que puede ocurrir repentinamente y resolverse o volverse crónica (KDIGO, 2012). La ERC es un término general para los trastornos heterogéneos que afectan la estructura y función del riñón con una presentación clínica variable, en parte relacionada con la causa, la gravedad y la tasa de progresión. Para determinar si una persona la padece, se toman en consideración los siguientes criterios:

Cuadro No.1. Criterios para determinar padecimiento de ERC.

Criterios para la ERC (cualquiera de los siguientes presentes durante > 3 meses)	
Marcadores de daño renal (uno o más)	Albuminuria (AER $\geq$ 30 mg/24 horas; ACR $\geq$ 30 mg/g [$\geq$ 3 mg/mmol]) Anormalidades del sedimento de orina Electrolitos y otras anomalías debidas a trastornos tubulares Anormalidades detectadas por histología Anormalidades estructurales detectadas por imágenes Historia de trasplante de riñón
TFG disminuida	TFG < 60 ml/min/1.73 m ²

Abreviaciones: TEA, tasa de excreción de albúmina; RAC, relación de albúmina-creatinina, TGF, tasa de filtración glomerular (KDIGO, 2013).

Una vez determinado el padecimiento de ERC, esta se clasifica de acuerdo con el filtrado glomerular calculado o estimado en las siguientes categorías:

Cuadro No.2. Categorías de la tasa de filtración glomerular en ERC.

Categoría	TFG (ml/min/1.73m²)	Descripción
G1	$\geq$ 90	Normal o alto
G2	60 – 89	Descenso leve*
G3a	45 - 59	Descenso leve a moderado
G3b	30 – 44	Descenso moderado a grave
G4	15 – 29	Descenso grave
G5	< 15 o diálisis	Falla renal

Abreviaciones: TGF, tasa de filtración glomerular

* Relativo al nivel de un adulto joven.

En ausencia de evidencia de daño renal, ni la TFG de categoría G1 ni G2 cumplen los criterios de ECR (KDIGO, 2013; Alcazár., *et al*, 2008).

Otro parámetro por evaluar en la ERC son los niveles de albuminuria, como se observa en las siguientes categorías:

Cuadro No.3. Categorías de albuminuria en ERC.

Categoría	AER	ACR (mg/mmol)	ACR (mg/g)	Descripción
A1	< 30	< 3	< 30	Normal a ligeramente aumentada
A2	30 – 300	3 – 30	30 – 300	Moderadamente aumentada*
A3	> 300	> 30	> 300	Gravemente aumentada**

Abreviaciones: AER, tasa de excreción de albúmina; ACR, relación albúmina/creatinina

* Relativo al nivel de adulto joven.

** Incluido síndrome nefrótico (KDIGO, 2013)

La insuficiencia renal se considera tradicionalmente como el resultado más grave de la ERC. Los síntomas generalmente se deben a complicaciones de la función renal disminuida y, cuando son graves, solo pueden tratarse mediante diálisis o trasplante. Las etapas más tempranas de la enfermedad renal a menudo son asintomáticas, se detectan durante la evaluación de condiciones comórbidas y pueden ser reversibles. Las enfermedades de progresión rápida pueden provocar insuficiencia renal en unos meses, pero la mayoría de las enfermedades evolucionan a lo largo de décadas y algunos pacientes no progresan durante muchos años de seguimiento (KDIGO, 2013).

Los riesgos para el desarrollo de ERC pueden ser categorizado como susceptibilidad a la enfermedad renal debido a factores sociodemográficos y genéticos o exposición a factores que puede iniciar una enfermedad renal. Anormalidades en la estructura del riñón (daño) suele preceder a las anomalías en la función. Los resultados de la ERC pueden ser progresión y complicaciones

o ambas, principalmente debido a la falta de reconocimiento de la enfermedad. Y aunque la necesidad de tratamiento de la insuficiencia renal crónica (IRC) con diálisis y/o trasplante surge en un pequeño porcentaje de las personas con ERC, sigue siendo la más cara de las enfermedades crónicas además de reducir significativamente la esperanza de vida. Los costos de diálisis y trasplantes consumen cantidades desproporcionadas dentro de los presupuestos de salud en todas las jurisdicciones. Y en los países donde el acceso a dichos servicios es limitado o no están disponibles, la consecuencia final es la muerte (KDIGO, 2013).

3.4. Enfermedad renal crónica no tradicional

En los últimos cuarenta años, se ha observado un número cada vez mayor de jóvenes de entre 20 y 50 años, en comunidades agrícolas y socialmente vulnerables en varios países centroamericanos, que han presentado una forma grave de insuficiencia renal de etiología incierta (a la cual se le refiere como “enfermedad renal crónica no tradicional” o ERCnt) (OPS, 2017). Esta no está relacionada con las causas comunes de la ERC como la diabetes, hipertensión y otras causas conocidas. Por lo que ha habido investigaciones sobre sus causas que han dado una idea sobre los factores de riesgo de la enfermedad y apuntan a una multicausalidad. Se han propuesto varias etiologías, que incluyen exposición a agroquímicos, contaminantes ambientales, metales, estrés por calor, deshidratación, enfermedades infecciosas, medicamentos nefrotóxicos, alcohol, tabaco y factores genéticos (Cerón, 2020; Wesseling, 2019).

Aunque algunas de estas hipótesis están siendo investigadas con distintos enfoques, en algunos casos se le da mayor relevancia a un solo factor como el papel de la exposición a pesticidas, mientras que otros resaltan el papel de los comportamientos de los trabajadores agrícolas. Otras hipótesis, relacionadas con agua con metales pesados y contaminación del agua, han tenido menor prioridad (Cerón, 2020). Contrario a la recomendación del reporte del Tercer Taller Internacional sobre ERC de orígenes no tradicionales en Mesoamérica y otras

regiones, en donde se menciona que la evaluación de la calidad del agua debería ser una investigación de máxima prioridad. De manera que se contribuya a identificación de factores de susceptibilidad y/o progresión de la ERCnt en personas con mayor vulnerabilidad (Crowe., *et al*, 2018).

3.4.1. Patogénesis y perfil clínico de la ERCnT

El patrón morfológico de la ERCnt se describe como nefritis túbulo-intersticial crónica. Los principales hallazgos son fibrosis intersticial y atrofia tubular con o sin infiltración de monocitos inflamatorios. Además, también se observa esclerosis generalizada, aumento de tamaño glomerular, colapso de algunos mechones glomerulares y lesiones de vasos sanguíneos extraglomerulares. La mayoría de las manifestaciones tempranas están asociadas a síndromes tubulares o alteraciones en el sedimento urinario antes de que aparezca proteinuria o albuminuria clínicamente observable o un descenso de la FG (OPS, 2017). Otros síntomas generales en las primeras etapas son artralgia, astenia, disminución de la libido, calambres musculares y desmayo. Y en etapas posteriores nocturia, disuria, goteo posmiccional, dificultad para orinar y orina espumosa (Jayasumana., *et al*, 2017).

3.4.2. Situación internacional y nacional

En Centroamérica se ha observado un número creciente de pacientes con ERC y una mayor mortalidad por ERC durante las últimas dos décadas, particularmente en Nicaragua y El Salvador. La Organización Panamericana de la Salud ha reportado las siguientes tasas de mortalidad específicas por ERC (por 100,000 habitantes) en la región: Nicaragua: 42,8; El Salvador: 41,9; Guatemala: 13,6; Panamá: 12,3. Estas cifras representan cuatro veces la tasa global de mortalidad por ERC y hasta 17 veces en comparación con la mortalidad por ERC más baja reportada en la región de América. Las tasas de mortalidad por ERC son tres veces más altas en hombres que en mujeres (OPS, 2017).

Respecto a datos en Guatemala, de acuerdo con el Registro Guatemalteco de Diálisis y Trasplante Renal (RGDTR) la tasa de prevalencia de ERC del 2019 fue de 523 por millón de habitantes y una incidencia de 161 por millón de habitantes. Mientras que, para la ERCnT, la tasa de incidencia fue de 8 por millón de habitantes y sin datos de prevalencia debido a que son los primeros que se obtienen como país. Resaltando que, en ambos casos, el número de afectados fue más alto en los hombres comparado con las mujeres. Y siendo los departamentos con mayor número de pacientes tratados por cantidad de habitantes: Santa Rosa, Guatemala, Escuintla, Jutiapa, Sacatepéquez, Suchitepéquez, Retalhuleu, El Progreso, Jalapa y Quetzaltenango (Sam., *et al*, 2019).

Otros datos importantes son la tasa de sobrevida por ERC; durante el primer año es 49%; al cabo de tres años es 23%, y al cabo de cinco años es 11%; estas estimaciones por cada grupo de años son similares en ambos sexos. Mientras que para la ERCnt; al cabo de un año es de 52%, al cabo de tres años es de 21% y al cabo de cinco años es de 9%. Encontrando diferencia según sexo, siendo levemente mayor la sobrevida en el sexo femenino en los grupos de un año y en el de tres años, no así al cabo de cinco años, donde los hombres tienen mejor sobrevida. Al comparar este parámetro, se observa que la sobrevida es más alta en el grupo de un año para ambos, y se tienen valores más bajos en ERCnt al cabo de tres y cinco años respecto a la ERC (Sam., *et al*, 2019).

3.5. Metales

Los metales se definen químicamente como “elementos que conducen la electricidad, tienen un brillo metálico, son maleables y dúctiles, forman cationes y tienen óxidos básicos” (IUPAC, 2002). Son constituyentes naturales en el medio ambiente y varían en concentraciones entre regiones geográficas. Estos no se crean ni se destruyen mediante procesos biológicos o químicos; se transforman de una forma química a otra. Es decir, forman compuestos en varios estados de oxidación, dando lugar a compuestos inorgánicos como sales y compuestos organometálicos (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

En los compuestos metálicos, los átomos se unen mediante enlaces iónicos o covalentes. Los enlaces iónicos se forman predominantemente en sales metálicas como cloruros o nitratos, mientras que los enlaces covalentes se forman predominantemente, pero no exclusivamente, entre metales y átomos de carbono, como en los compuestos organometálicos; también se pueden encontrar formas intermedias. Disueltos en agua, los compuestos metálicos se disocian en iones metálicos, principalmente cationes. Los iones metálicos pueden formar compuestos con otros iones metálicos, formando compuestos con dos o más metales en proporciones variables (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

Debido a que los metales ocurren naturalmente y que han sido un componente intrínseco del medio, los humanos y animales se han adaptado a su presencia. Una "exposición natural" a varios metales puede ser inofensiva para los seres humanos y otras especies. Incluso algunos son necesarios para diversas funciones bioquímicas y fisiológicas; conocidos como metales nutricionales que son esenciales en niveles bajos, pero tóxicos en niveles más altos (p. ej. cobre, selenio y zinc). A diferencia de otros que no tienen una función biológica conocida y que se sabe inducen daño a múltiples órganos, incluso a niveles más bajos de exposición (p. ej. arsénico, cadmio, plomo), (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015; Tchounwou, Yedjou, Patlolla, y Sutton, 2012).

Por lo que, en los últimos años, ha habido una creciente preocupación ecológica y de salud pública mundial, pues la mayor parte de la contaminación ambiental y la exposición humana a metales ha aumentado drásticamente como resultado de su uso exponencial en varias aplicaciones industriales, agrícolas, domésticas y tecnológicas. Puede ser resultado de actividades antropogénicas como operaciones de minería y fundición, la producción y el uso industrial y el uso doméstico y agrícola de metales y compuestos que contienen metales. También puede ser consecuencia de corrosión de metales, deposición atmosférica, erosión del suelo de iones metálicos y lixiviación de los metales, resuspensión de

sedimentos y evaporación de metales de los recursos hídricos al suelo y al agua subterránea (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, y Sutton, 2012; EPA, 2007).

3.5.1. Muestreo y preparación de muestras

La exposición de los seres humanos a metales tóxicos puede estimarse a partir de mediciones de las concentraciones en medios ambientales (p.e aire, alimentos y agua) o muestras biológicas (p.e. sangre, cabello y orina). Independientemente de su origen, la recolección de muestras, el submuestreo para varios análisis y el manejo/almacenamiento de muestras deben satisfacer varias condiciones. Primero, las muestras deben recolectarse y almacenarse de una manera que preserve (no altere) la composición elemental y la especiación de interés analítico. Para la composición elemental, esto implica un control estricto e informado de las posibles fuentes de contaminación. Para la especiación elemental/química, esto adicionalmente implica que las muestras deben manejarse de manera que se evite la alteración/degradación de las especies (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

En segundo lugar, el diseño de muestreo debe tener en cuenta las fuentes de variación en el analito o los analitos de interés dentro de la muestra, y la exactitud y precisión deseadas asociadas con la medición de esos analitos. A menudo, se cree que las muestras recolectadas para análisis representan con precisión, en términos de composición química y concentración, la población o rango de muestras que podrían recolectarse con recursos ilimitados, aunque en la práctica esto puede no ser el caso debido a la heterogeneidad dentro de la población de la muestra. Por lo tanto, comprender la heterogeneidad de la población de la muestra es importante para optimizar los diseños de muestreo y análisis (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

3.5.2. Métodos de detección

Los métodos de detección pueden agruparse en aquellos que detectan niveles totales de elementos en una muestra versus aquellos que pueden detectar

selectivamente especies elementales específicas. La mayoría de los métodos detectan niveles totales de elementos en una muestra, por lo que requieren la separación de especies selectivas antes de la detección. Como ocurre con casi todos los métodos analíticos, la cuantificación de analitos en una muestra se basa en la comparación con una curva de calibración externa. La calibración se realiza frente a los estándares en una matriz similar calibrada para el elemento(s) de interés y que se somete al mismo procedimiento (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

3.5.2.1. Espectrometría de absorción atómica (AAS)

El principio básico de AAS es que los átomos del analito en estado fundamental vaporizados en un gas absorberán la radiación electromagnética característica de sus niveles de energía en el estado fundamental. Se utiliza una fuente de luz con la composición espectral de las líneas espectrales del estado fundamental del elemento para generar luz casi monocromática, que será absorbida específicamente por los átomos del estado fundamental de ese elemento. Si la intensidad de la fuente de luz incidente se compara con la intensidad de la luz después de que ha pasado a través de la muestra, la absorción relativa se puede determinar fácilmente. Entre los métodos principales para la atomización de una muestra líquida en AAS, está el método con horno de grafito (GF-AAS) y de generación de hidruros (HG-AAS) (Nordberg, Fowler y Nordberg, 2015).

Espectroscopia de absorción atómica con horno de grafito

Se basa en el mismo principio que la atomización de llama directa, pero un horno de grafito reemplaza el cabezal del quemador estándar. Se dispensa un pequeño volumen de muestra en el tubo de muestra de grafito. Normalmente, las determinaciones se realizan calentando la muestra en tres o más etapas. Primero, una corriente baja calienta el tubo para secar la muestra. La segunda etapa, o carbonización, destruye la materia orgánica y volatiliza otros componentes de la matriz a una temperatura intermedia. Y en la tercera etapa, una alta corriente calienta el tubo a incandescencia y atomiza el elemento por determinar (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Con frecuencia se añaden etapas para ayudar a secar, carbonizar, limpiar y enfriar el tubo entre muestras. El vapor atómico en estado fundamental obtenido absorbe la radiación monocromática de la fuente. Luego un detector fotoeléctrico mide la intensidad de la radiación transmitida. La inversa de la transmitancia está relacionada logarítmicamente con la absorbancia, que es directamente proporcional a la densidad del número de átomos vaporizados en estado de tierra (la ley de Beer-Lambert) en un rango de concentración limitado (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Espectroscopia de absorción atómica por generación de hidruros

Este método aplica a la determinación de arsénico por conversión a sus hidruros con el reactivo de borohidruro de sodio y la aspiración en un atomizador de absorción atómica. El ácido arsénico, cuyo estado de oxidación es As (III), se convierte instantáneamente mediante el reactivo de borohidruro de sodio en solución ácida en sus hidruros volátiles. Los hidruros se purgan continuamente mediante argón o nitrógeno en un atomizador apropiado de un espectrómetro de absorción atómica y se convierten en átomos en fase gaseosa. La generación rápida de hidruros mediante el agente reductor por el gas portador proporciona determinaciones rápidas y sensibles (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

A temperatura ambiente y valores de pH de la solución de 1 o menos, el ácido arsénico, el estado de oxidación As (V) del arsénico, se reduce relativamente lentamente mediante borohidruro de sodio a As (III), que luego se convierte instantáneamente en arsina. Los picos de absorción atómica de arsina comúnmente disminuyen de un cuarto a un tercio para As (V) en comparación con As (III). La determinación del arsénico total requiere que todos los compuestos de arsénico inorgánico estén en estado As (III). Las formas orgánicas e inorgánicas de arsénico se oxidan primero a As (V) por digestión ácida. A continuación, el As (V) se reduce cuantitativamente a As (III) con yoduro de sodio o potasio antes de la reacción con borohidruro de sodio (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

3.5.2. Metales nefrotóxicos

3.5.2.1. Arsénico

Elemento natural que se distribuye ampliamente en la corteza terrestre. Se clasifica químicamente como un metaloide, que tiene tanto propiedades de metal como de no metal; sin embargo, con frecuencia se lo denomina metal. El arsénico elemental es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, se encuentra generalmente en el medio ambiente combinado con otros elementos como oxígeno, cloro y azufre, denominándose arsénico inorgánico. Mientras que al estar combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico. Al estar en dichas combinaciones, la mayoría de los compuestos son polvos blancos o incoloros que no se evaporan. No tienen olor y la mayoría no tiene un sabor especial. Por lo que, generalmente no se puede saber si hay arsénico presente en comida, agua o aire (ATSDR, 2010).

Ocurrencia ambiental, producción industrial y uso

Las principales formas inorgánicas de arsénico incluyen el arsenito trivalente y el arsenato pentavalente, que se encuentra naturalmente en el suelo y en muchos tipos de rocas, especialmente en minerales. Mientras que las orgánicas incluyen metabolitos metilados como: ácido monometilarsónico (MMA), ácido dimetilarsónico (DMA) y óxido de trimetilarsina. La contaminación ambiental por arsénico se produce como resultado de fenómenos naturales como erupciones volcánicas y erosión del suelo y actividades antropogénicas. Se produce industrialmente para productos con aplicaciones agrícolas, como insecticidas, herbicidas, fungicidas, alguicidas, conservantes de madera y colorantes. También se utiliza como elemento de aleación en municiones y soldaduras; en la industria electrónica para semiconductores, células solares; como decolorante y agente clarificante en la producción de artículos de vidrio, entre otros (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012; ATSDR, 2010).

Potencial de exposición humana

Si bien el arsénico se libera al medio ambiente a partir de fuentes naturales, las liberaciones de fuentes antropogénicas las superan. La mayoría de las emisiones antropogénicas se van hacia la tierra o al suelo, principalmente en forma de plaguicidas o desechos sólidos. Sin embargo, también se liberan cantidades considerables al aire y al agua. El arsénico en el suelo, forma complejos insolubles con óxidos de hierro, aluminio y magnesio; haciéndolo relativamente inmóvil. Sin embargo, en condiciones reductoras, el metal puede liberarse resultado en formas móviles solubles, que tienen potencial de filtrarse al agua subterránea o en el agua de lluvia superficial. Las concentraciones en el agua suelen ser $<10 \mu\text{g} / \text{L}$, aunque pueden producirse niveles más altos cerca de depósitos minerales naturales o fuentes antropogénicas (ATSDR, 2010).

La exposición al arsénico ocurre por vía oral (ingestión), inhalación y/o por contacto dérmico. Por lo que la contaminación con altos niveles de arsénico ha sido motivo de preocupación pues puede ocasionar varios efectos perjudiciales en la salud humana. Estudios han establecido una fuerte asociación entre la exposición al arsénico y un mayor riesgo de efectos sistémicos y cancerígenos en la salud. Como es el caso de grandes poblaciones en Bengala Occidental, Bangladesh, Tailandia, Mongolia, Taiwán, China, México, Argentina, Chile, Finlandia y Hungría; que han estado expuestas a altas concentraciones del metal en el agua que beben y presentan distintas afecciones clínico-patológicas. La exposición al arsénico afecta prácticamente a todos los sistemas orgánicos, incluidos el cardiovascular, dermatológico, nervioso, hepatobiliar, renal, gastrointestinal y respiratorio (ATSDR, 2010).

Liberación a cuerpos de agua

El arsénico puede liberarse al agua debido a la meteorización natural del suelo y las rocas, y en áreas de vulcanismo. También puede filtrarse del suelo y los minerales al agua subterránea. En cuanto a las fuentes antropogénicas, están la minería, metales no ferrosos, fundición, aguas residuales, plantas de energía que queman carbón, procesos de fabricación, deposición atmosférica y granjas

avícolas. La lixiviación de arsénico del suelo o vertederos es una fuente del metal en las fuentes subterráneas (ATSDR, 2010).

Transformación y degradación en el agua

El arsénico en agua puede atravesar una compleja serie de transformaciones, incluyendo reacciones de óxido-reducción, intercambio de ligando, precipitación y biotransformación. Entre los factores que influyen en el destino que tendrá el metal están el pH, concentraciones de iones sulfuros y sulfuros metálicos, temperatura, salinidad, distribución y composición de la biota, estación y la naturaleza y concentración de la materia orgánica natural. En el medio acuático las especies inorgánicas de arsénico son las predominantes respecto a las orgánicas (ATSDR, 2010).

Mecanismo molecular de toxicidad

La gravedad de los efectos adversos para la salud está relacionada con la forma química del arsénico, su estado de oxidación, solubilidad, así como por otros factores intrínsecos y extrínsecos. También depende de la dosis, la frecuencia y la duración de la exposición, la especie biológica, la edad y el sexo, así como de susceptibilidades individuales y factores genéticos y nutricionales. La mayoría de los casos de toxicidad se han asociado con la exposición a arsénico inorgánico. El arsenito trivalente inorgánico (As (III)) es de dos a diez veces más tóxico que el arseniato pentavalente (As(V)). Este se une a grupos tiol o sulfhidrilo en distintas proteínas, pudiendo inactivar hasta más de 200 enzimas. También puede reemplazar al fosfato que está involucrado en muchas vías bioquímicas (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Dichos mecanismos son los responsables de los amplios y generalizados efectos del arsénico a nivel sistémico. De los cuales resulta el deterioro de la respiración celular por la inhibición de diversas enzimas mitocondriales y el desacoplamiento de la fosforilación oxidativa. Además, pruebas de genotoxicidad han indicado que los compuestos de arsénico inhiben la reparación del ADN e

inducen mutaciones cromosómicas, intercambios de cromátidas hermanas y formación de micronúcleos. E investigaciones epidemiológicas han indicado que la exposición prolongada al arsénico provoca la promoción de la carcinogénesis (Li y Rossman, 1989; Zhao., *et al*, 1997).

Efectos a la salud humana

Las dosis bajas y la exposición a largo plazo de arsénico provocan una variedad de complicaciones médicas denominadas “arsenicosis”. Su distribución en el cuerpo es bastante constante, pero se distribuye ampliamente en órganos como la piel, los pulmones, el hígado y los riñones. Aproximadamente el 70% de arsénico se excreta a través del sistema renal a través de la orina. Los niveles bajos a moderados de exposición (10-300 µg/L) tienen efectos adversos como lesiones cutáneas, trastornos circulatorios, complicaciones neurológicas, diabetes, complicaciones respiratorias, disfunción hepática y renal, incluida la mortalidad por enfermedades crónicas. Dependiendo del tipo de exposición, el desarrollo de síntomas clínicos varía. Sin embargo, los síntomas de la exposición aguda se desarrollan mucho más rápido, mientras que los de la crónica se desarrollan durante un período prolongado de exposición (Mohammed., *et al*, 2015).

Efectos en el sistema renal

La excreción urinaria representa la vía principal de eliminación del arsénico. Dado que una gran fracción absorbida se filtra en el sitio del riñón, el riñón es un sitio importante de captación y acumulación de arsénico. La intoxicación renal aguda inducida por arsénico puede provocar nefritis tubulointersticial y necrosis tubular aguda. Algunas de las manifestaciones clínicas son hipourea, hipercalcemia, niveles elevados de creatinina sérica, nitrógeno ureico en sangre, albuminuria, proteinuria y nefrocalcinosis seguidas de lesión renal (necrosis tubular aguda). Además, puede dañar los capilares y glomérulos del riñón (Mohammed., *et al*, 2015).

Estudios epidemiológicos también han revelado una asociación causal entre la exposición al arsénico y las enfermedades renales. Además, la enfermedad renal crónica ha mostrado un crecimiento gradual en el pasado reciente como un resultado notable en las complicaciones de la enfermedad inducida por el arsénico. La exposición a altos niveles de arsénico aumentó la tasa de mortalidad por enfermedad renal en varios países (Mohammed., *et al*, 2015).

El aumento del riesgo de ERC como consecuencia de la exposición al arsénico puede deberse a la muerte de las nefronas y a cambios compensatorios en las nefronas sanas que conducen a una pérdida progresiva de nefronas. La exposición temprana y aguda a arsénico puede aumentar la TFG, lo que sugiere que a medida que se lesionan las nefronas, las que quedan sanas compensan aumentando la TFG total. Entonces cuando dichos cambios compensatorios lesionan y/o matan a nefronas sanas, los pacientes pueden desarrollar ERC. Cuando esto sucede, se ha demostrado que la excreción urinaria de arsénico y otros tóxicos disminuye, lo que puede provocar efectos toxicológicos adicionales en las células y órganos diana (Orr y Bridges, 2017).

3.5.2.2. Cadmio

Ocurrencia ambiental, producción industrial y uso

El cadmio se distribuye ampliamente en la corteza terrestre a una concentración media de 0.1 mg/kg. Se encuentra principalmente como minerales de sulfuro en asociación con minerales de zinc, minerales de plomo que contienen zinc y minerales complejos de cobre, plomo y zinc. Las concentraciones del suelo dependerán de la movilidad, geoquímica natural y la contaminación de fuentes como fertilizantes y deposición atmosférica. También es un constituyente natural del agua del océano con niveles entre <5 y 110 ng/L, principalmente en áreas costeras. De igual manera, las emisiones naturales pueden resultar de erupciones volcánicas, incendios forestales y otros fenómenos naturales (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Por otra parte, respecto a fuentes antropogénicas, entre las principales están la minería y el refinado de metales no ferrosos, la fabricación y aplicación de fertilizantes fosfatados, la combustión de combustibles fósiles y la incineración y eliminación de desechos. A excepción de aquellos que viven cerca de industrias que emiten cadmio, puede ocurrir la inhalación a partir del aire, pero no es una fuente importante de exposición. Las fuentes de agua cercanas a las industrias emisoras de cadmio, han mostrado altos niveles del metal en sedimentos de agua y organismos acuáticos. El cadmio del suelo y el agua contaminados puede acumularse en plantas y organismos, ingresando así al suministro de alimentos (ATSDR, 2012).

En cuanto a su uso en productos de consumo, el cadmio se utiliza con frecuencia en diversas actividades industriales. Las principales aplicaciones incluyen la producción de aleaciones no ferrosas, pigmentos, revestimientos y enchapados, estabilizadores para plásticos, dispositivos fotovoltaicos, baterías y otros usos. Aunque su empleo en baterías ha mostrado un crecimiento considerable en los últimos años, su uso comercial ha disminuido en los países desarrollados en respuesta a preocupaciones ambientales (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Potencial de exposición humana

Debido a sus diversas aplicaciones industriales, la contaminación ambiental y exposición humana han aumentado bastante en los últimos años. Puede ser liberado a la atmósfera, siendo los principales compuestos encontrados en el aire el óxido, el cloruro y el sulfato de cadmio. Mediante esta vía, se transporta largas distancias y luego se deposita en la superficie del suelo y el agua, lo que puede resultar en niveles elevados de cadmio incluso en lugares remotos. Aparte de la deposición atmosférica, los métodos de aplicación directa, como el uso de fertilizantes fosfatados y la eliminación de lodos de aguas residuales pueden ser una fuente en el suelo. Generalmente, el cadmio se unirá fuertemente a la materia orgánica inmovilizándolo. Sin embargo, de esta manera está

disponible para la vida vegetal y puede ingresar fácilmente al suministro de alimentos (ATSDR, 2012).

Una fuente importante es a través de fumar cigarros, pues las hojas de tabaco acumulan el cadmio naturalmente. Mientras que, para la población no fumadora, generalmente, es a partir de vegetales, particularmente los de hoja como la lechuga y espinaca. También pueden encontrarse altos niveles de cadmio en legumbres y frutos secos como los cacahuates, la soya y las semillas de girasol. Y también existirá un mayor riesgo de exposición para las personas que consumen regularmente mariscos y vísceras (hígado y riñón), ya que estos organismos tienden a acumularlo. Como se menciona, la deposición en el agua puede provocar que plantas y animales acuáticos los retengan, pero también puede ser una fuente de exposición a través del suministro de agua potable (ATSDR, 2012).

Liberación a cuerpos de agua

El cadmio puede ser liberado al agua por procesos de meteorización natural, descarga de instalaciones industriales o plantas de tratamiento de aguas residuales, deposición atmosférica, lixiviación de vertederos o suelo, o fertilizantes fosfatados. También puede filtrarse a los suministros de agua potable desde las tuberías del sistema de distribución. Se ha informado que el nivel promedio de cadmio en el agua del océano está entre <5 y 110 ng / L , con niveles más altos cerca de las áreas costeras y en fosfatos y fosforitas marinos. En aguas superficiales y subterráneas, el cadmio puede existir como ión hidratado o como complejos iónicos con otras sustancias inorgánicas u orgánicas. Mientras que las formas solubles pueden migrar en agua, el cadmio es relativamente inmóvil en complejos insolubles o adsorbido a sedimentos (ATSDR, 2012).

Transformación y degradación en el agua

En el agua dulce, el cadmio está presente principalmente como el ion cadmio ($+2$) y los complejos $\text{Cd}(\text{OH})_2$ y CdCO_3 , aunque en altas concentraciones de material orgánico, más de la mitad puede encontrarse en complejos orgánicos.

Algunos compuestos, como el sulfuro de cadmio, el carbonato de cadmio y el óxido de cadmio, son prácticamente insolubles en agua. Sin embargo, estos pueden transformarse en sales solubles mediante la interacción con ácidos o luz y oxígeno. Mientras que, en agua de mar, el cadmio existe casi en su totalidad como especies de cloruro (CdCl^+ , CdCl_2 , CdCl_3^-) con una porción menor como Cd^{2+} (ATSDR, 2012).

Mecanismo molecular de toxicidad

Los mecanismos de la toxicidad son poco conocidos, sin embargo, se cree que causa daño a las células principalmente a través de la generación de ROS, que causa daño al ADN e interrumpe la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. Se ha indicado que también afecta las vías de transducción de señales induciendo la formación de polifosfato de inositol, aumentando los niveles de calcio libre citosólico en varios tipos de células y bloqueando los canales de calcio. También se une a proteínas, disminuye la reparación del ADN, activa la degradación de proteínas, regula un aumento de citocinas y protooncogenes e induce la expresión de varios genes que incluyen metalotioneínas, hemo-oxigenasas, glutatión S-transferasas, proteínas de choque térmicos, reactantes de fase aguda, entre otros (ATSDR, 2012).

Efectos en el sistema renal

El cadmio tiene una vida media prolongada dentro del cuerpo, después de la exposición pueden ser necesarias décadas para la eliminación completa de este metal tóxico. Después de la exposición crónica al cadmio, aproximadamente el 50% de las reservas corporales totales se acumulan en el riñón. Por tanto, este órgano es uno de los principales objetivos de la intoxicación. Su acumulación renal conduce a una reducción de la TFG, poliuria y disfunción tubular generalizada. Recientemente, se ha demostrado que la exposición crónica incluso a niveles bajos puede resultar en signos tempranos de toxicidad renal. El primer signo de daño renal inducido por cadmio es la microproteinuria, que generalmente se caracteriza por la presencia de β 2-microglobulina en la orina (Orr y Bridges, 2017).

Las exposiciones más prolongadas provocan acortamiento y pérdida de microvellosidades tubulares proximales, lo que reduce la capacidad para absorber los sustratos captados normalmente por las células de los túbulo proximales. Esto puede conducir a la presencia del síndrome de Fanconi caracterizado por glucosuria, aminoaciduria, hiperfosfaturia e hipercalciuria. Además, se induce autofagia y apoptosis en las células mesangiales intraglomerulares, se lesionan los glomérulos y, en consecuencia, se reduce la TFG. Por tanto, hay una correlación positiva entre la enfermedad renal crónica y la acumulación renal del metal. También aumenta la incidencia de cálculos renales y la posibilidad del impedimento de la conversión de la vitamina D en su forma activa (Orr y Bridges, 2017).

3.5.2.3. Plomo

El plomo es un metal gris azulado, pesado, de bajo punto de fusión que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre en aproximadamente 15-20 mg/kg. En comparación con los dos metales más abundantes en la Tierra; el aluminio y el hierro, el plomo es un metal relativamente poco común. Rara vez se encuentra en su estado elemental, pues generalmente está combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo. Se encuentra en su estado de oxidación +2 en varios minerales de la tierra, como galena (PbS), anglesita (PbSO₄) y cerusita (PbCO₃) (ATSDR, 2007).

El plomo metálico es resistente a la corrosión, es decir, no es fácilmente atacado por el aire o el agua. Y se puede combinar con otros metales para formar aleaciones, que poseen distintas aplicaciones industriales. Los niveles de plomo en el medio ambiente (no contenido en depósitos de mineral) han aumentado durante los últimos tres siglos como resultado de la actividad humana (ATSDR, 2007).

Ocurrencia ambiental, producción industrial y uso

Aunque el plomo se encuentra naturalmente en el medio ambiente, las actividades antropogénicas contribuyen a la liberación de altas concentraciones. Tiene muchas aplicaciones industriales, agrícolas y domésticas. Actualmente se utiliza en la producción de baterías de plomo-ácido, municiones, productos metálicos (soldaduras y tuberías), dispositivos para proteger los rayos X, cubiertas de cables, láminas que se utilizan como protección contra la radiación. Sus compuestos también se utilizan como pigmentos en pinturas, tintes y esmaltes cerámicos y en masilla; principalmente en países en desarrollo. Y solían usarse en la gasolina (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Potencial de exposición humana

La exposición de plomo se da principalmente por la inhalación de partículas de polvo contaminadas con plomo, la ingestión de agua, alimentos y pinturas contaminadas con el metal. Los adultos absorben entre el 35 y el 50% del plomo a través del agua potable, mientras que la tasa de absorción de los niños puede ser más de un 50%. Además de la edad, la absorción del plomo también se ve influenciada por el estado fisiológico. Ya en el cuerpo humano, la mayor cantidad se introduce en el riñón, seguido por el hígado y demás tejidos blandos incluyendo el corazón y cerebro, también se encuentra una gran proporción en el esqueleto. De estas dianas, el sistema nervioso es el más vulnerable tras una intoxicación por plomo (CDC, 2001).

La exposición al plomo ha disminuido desde 1970, pues se han tomado medidas como la eliminación de plomo en la gasolina y su reducción en pinturas residenciales, latas de comida y bebida y sistemas de plomería. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos la exposición humana al metal sigue siendo un problema de salud grave. Pues continúa siendo una fuente de exposición en pinturas domésticas en deterioro, en ciertos lugares de trabajo, en cristales y recipientes de

cerámica que se filtran en el agua y los alimentos, el uso de plomo en pasatiempos, y en algunos medicamentos y cosméticos tradicionales. La exposición por plomo es de especial preocupación entre las mujeres, especialmente durante el embarazo y la población pediátrica (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Liberación a cuerpos de agua

La solubilidad de los compuestos de plomo en el agua es función del pH, la dureza y la salinidad. La solubilidad es máxima en agua blanda y ácida. De las emisiones acuáticas conocidas de plomo, las más importantes provienen de las industrias del acero y del hierro y de las operaciones de producción y procesamiento de plomo. La escorrentía urbana y la deposición atmosférica son fuentes indirectas importantes que se encuentran en el medio acuático. El plomo que llega a las aguas superficiales se absorbe en sólidos y sedimentos en suspensión (ATSDR, 2007).

Aunque se espera que las emisiones acuáticas industriales de plomo sean pequeñas con respecto a las emisiones a la tierra y el aire, este puede estar presente en niveles significativos en el agua potable. Como sería el caso de áreas que reciben lluvia ácida, pues al aumentar la acidez del agua potable también lo hace su corrosividad, lo que a su vez resulta en la lixiviación de plomo de los sistemas de agua; particularmente los sistemas más antiguos durante la primera descarga de agua a través de las tuberías. Por lo que, la edad de una casa o edificio y el tipo de plomería instalada será un factor importante con respecto a los niveles de plomo en el agua potable (ATSDR, 2007).

Transformación y degradación en el agua

La química del plomo en agua es muy compleja pues este se puede encontrar en distintas formas. El plomo tiende a formar compuestos de baja solubilidad con los principales aniones que se encuentran en las aguas naturales. La cantidad de plomo disuelto en las aguas superficiales depende del pH y del contenido de sal disuelta en el agua. La solubilidad máxima del plomo en agua

dura es de aproximadamente 30 $\mu\text{g/L}$ a $\text{pH} > 5,4$ y la solubilidad máxima del plomo en agua blanda es de aproximadamente 500 $\mu\text{g} / \text{L}$ a $\text{pH} > 5,4$ (EPA, 1977).

Y en cuanto a su especiación, influirá la presencia de otros ligandos en el agua y si es dulce o de mar. En agua dulce, el plomo puede existir parcialmente como catión divalente (Pb^{2+}) a pH por debajo de 7.5, pero se compleja con carbonato disuelto para formar PbCO_3 insoluble en condiciones alcalinas. Mientras que, en el agua de mar, el cloruro de plomo y el carbonato de plomo son los principales complejos formados (ATSDR, 2007).

Mecanismo molecular de toxicidad

Uno de los principales mecanismos es mediante procesos bioquímicos que incluyen la capacidad del plomo para inhibir o imitar las acciones del calcio e interactuar con distintas proteínas. Dentro del esqueleto el plomo se incorpora al mineral en lugar del calcio, por lo que interfiere con los procesos dependientes de calcio relacionados con la señalización neuronal y la transducción de señales intracelulares. También se une a moléculas biológicas, interfiriendo con su función; como es el caso de enzimas en donde se une a los grupos sulfhidrilo y amida, alterando su configuración y disminuyendo sus actividades. El plomo también puede competir con los cationes metálicos esenciales por los sitios de unión, inhibiendo la actividad enzimática o alterando el transporte de cationes esenciales. (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Se ha demostrado que también induce daño celular mediado por la formación de especies reactivas del oxígeno (ROS). Induciendo la muerte celular y el estrés oxidativo, la activación transcripcional de los genes del estrés, daño al ADN, externalización de la fosfatidilserina y activación de la caspasa 3. El plomo se considera como posible carcinógeno humano, causa daño genético a través de varios mecanismos indirectos que incluyen la inhibición de la síntesis y reparación del ADN, el daño oxidativo y la interacción con proteínas de unión al ADN y proteínas supresoras de tumores (Tchounwou, Yedjou, Patlolla y Sutton, 2012).

Efectos en el sistema renal

Debido al papel del riñón en la excreción urinaria de sustancias tóxicas, el riñón parece ser uno de los sitios principales de acumulación del plomo. La exposición a niveles bajos en etapas tempranas de la vida produce hipertrofia glomerular, que se manifiesta como un aumento del volumen de los capilares glomerulares. La exposición al plomo puede interrumpir el desarrollo glomerular que puede resultar en insuficiencia renal más adelante en la vida y también pueden verse afectados los túbulos. La exposición aguda puede provocar defectos generalizados en el transporte de solutos y aminoácidos en los túbulos renales, lo que da lugar al síndrome de Fanconi. Mientras que la exposición crónica puede llevar a una nefritis tubulointersticial progresiva que se caracteriza por infiltración de leucocitos, fibrosis intersticial y atrofia tubular (Orr y Bridges, 2017).

El aumento del riesgo de ERC como consecuencia de la exposición al plomo puede deberse a que uno de los principales efectos celulares es la inducción de estrés oxidativo en las células del riñón. También se ha demostrado que la exposición al plomo conduce a la oxidación de lípidos y la fragmentación del ADN. Además, altera la distribución subcelular del calcio en las células renales, lo cual puede conducir a alteraciones significativas en las vías de señalización intracelular y eventual apoptosis (Orr y Bridges, 2017).

3.5.3. Límites permisibles de metales en agua

La contaminación química, especialmente por metales, es una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos, las especies presentes en ellos y los consumidores. Con base a normas vigentes se han definido las concentraciones de metales en agua, las cuales al pasar el límite superior de estos valores implica un daño a la salud del consumidor (Boy, 2015). A continuación, en el Cuadro No. 4 se enlista la relación de las sustancias cuya presencia en el agua es significativa para la salud de acuerdo con la Norma Técnica Guatemalteca 29001 de COGUANOR (1999):

Cuadro No. 4. Límites permisibles de As, Cd y Pb en agua.

Sustancia	LMP (mcg/L)
Arsénico (As)	10
Cadmio (Cd)	3
Plomo (Pb)	10

(COGUANOR 29001, 1999)

3.6. Municipios con mayor tasa de personas terapia renal

3.6.1. Municipio de La Gomera, Departamento: Escuintla

Distribución actual y población

El municipio está dividido territorialmente de la siguiente manera: la cabecera municipal denominada La Gomera; 6 aldeas conocidas como Cerro Colorado, Chipilapa, El Terrero, Texcuaco, Ceiba Amelia y Nuevo Texcuaco; 10 caseríos denominados San Francisco, Texcuaco, El Paraíso, El Culatillo, La Quirica, Las Cruces, El Silencio, Los Chatos, San Jerónimo, Costa Rica y La Guapa; 20 colonias entre las que se encuentran San Rafael, El Tesoro, La señal, El Porvenir, El Brito, Santa Catalina, entre otras y alrededor de 100 fincas. Dichos lugares, a su vez se encuentran organizados dentro de 3 microrregiones: Región 1 Coyolate, Región 2 Acome Sur y Región 3 Acome Norte. Su población se encuentra principalmente en el área rural del municipio, para el año 2018 el porcentaje de la población urbana era del 38% mientras que para el área rural era del 62% (Castillo, *et al.* 2019).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. El servicio de salud se localiza en pocas de las comunidades del municipio de La Gomera, centralizando más este servicio en la cabecera municipal, ya que es el único centro poblado que cuenta con un centro de Salud e IGSS. La cobertura de salud en general se considera deficiente principalmente en el área rural. Lo que si se puede encontrar en el área rural son puestos de salud

ubicados en las comunidades El Terrero, El Chontel, Texcuaco, Ceiba Amelia y Viejo Texcuaco; cuyos servicios de asistencia intermedia (Castillo, *et al.* 2019).

Recursos hídricos

El sistema hidrológico de La Gomera está compuesto por subsistemas de la cuenca de los ríos Coyolate y Acome. Las microcuencas tributarias del Coyolate se encuentran en la zona oeste y suroeste del municipio, las microcuencas del Acome se ubican en el Este de La Gomera. Entre los ríos y corrientes de mayor importancia se encuentran el Río Acome, Seco, Coyolate y Agüero. Lastimosamente, la urbanización ha tenido impactos profundos sobre estos; los recursos hídricos en las cercanías se están acabando o degradando, principalmente por la eliminación incorrecta de desechos urbanos e industriales. Lo que resulta en la necesidad de explotar fuentes nuevas y más remotas, principalmente mediante el bombeo de agua subterráneas. Sus consecuencias son el hundimiento de la tierra con su consecuente daño a las estructuras urbanas y disminución del nivel freático (Castillo, *et al.* 2019).

Servicio de agua

Con base en información proporcionada por la municipalidad, para el año 2019, solamente 10 comunidades contaban con el servicio de agua, para cuya calidad se implementa el sistema de cloración por gas. Sin embargo, no se cuenta con personal ni recursos para realizar pruebas bacteriológicas o fisicoquímicas para comprobar que sea apta para el consumo humano. Lo que resulta preocupante pues para el año 2014 solo un 40% de las muestras de agua analizadas cumplían con normativa nacional. A la fecha el municipio cuenta con 19 pozos para el abastecimiento del agua, sin embargo, también existe población que se abastece de ríos o quebradas, lo cual resulta alarmante dada la conocida contaminación y nulo tratamiento de sus recursos hídricos (Castillo, *et al.* 2019).

3.6.2. Municipio de La Democracia, Departamento: Escuintla

Distribución actual y población

El municipio está dividido territorialmente en: El Casco Urbano, 9 aldeas, 3 caseríos, 10 cantones y 15 fincas. Su población reconoce tres microrregiones, según su potencialidad y accesibilidad. Microrregión 1 o Norte, conformada por el asentamiento La Bendición, Caserío Tierra Nueva, Parcelamiento Velazquitos, Caserío Las Flores y las Colonias San Vicente La Campiña, La Unión, Las Flores, El Recreo, San Benito y La Pedrera. Microrregión 2 o Noreste conformada por el Parcelamiento Cun Cun, Aldea Las Delicias y fincas aledañas. Por último, Microrregión 3 o “Sur conformada por la Aldea El Arenal, caserío El Milagro, Aldea y Parcelamiento El Pilar (Silva., *et al*, 2019). La población del municipio está distribuida en área rural (72.7%) y urbano (27.30), concentrándose el mayor número de personas en la microrregión 1 y 2 (Soto., *et al*, 2010).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Su escasa infraestructura en salud está constituida por 1 Centro de atención permanente (CAP) ubicado en el casco urbano, 1 Puesto de Salud (ubicado en el Parcelamiento El Pilar), 1 consultorio del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), 2 clínicas particulares y 10 farmacias (Soto., *et al*, 2010). Por lo que se busca ampliar este servicio, construyendo nuevos centros de convergencia o puestos de salud a fin de atender a las zonas rurales más alejadas del municipio (Silva., *et al*, 2019).

Recursos hídricos

El municipio es atravesado principalmente por 55 ríos, 9 riachuelos, 3 zanjones, 1 arroyo, 212 quebradas y 2 lagunitas, entre los más importantes se encuentran el río Obispo que atraviesa la microrregión 1 y el río Colojate que atraviesa la parte central de la microrregión 3. También está el río La Nopalera, río El Jute, río El Cangrejito y río Achiguate (Rojas, 2013). Sin embargo, la mayoría de los ríos del municipio se encuentran contaminados, así como la mayoría de sus afluentes pues gran

parte de la población deriva sus drenajes a la desembocadura de los ríos, tirando desechos sólidos, líquidos y algunas fábricas que también realizan sus descargas (Rojas, 2013).

Servicio de agua

A pesar de que en la mayoría de los hogares tienen agua, los niveles de potabilidad son mínimos o nulos. El sistema de agua consiste en apertura de pozos y un sistema de tubería principal implementado en el 2012 por la Municipalidad hacia el interior de las casas del casco urbano. Este sistema consta de la técnica de bombeo y de cloradores a gas, el agua que se utiliza es captada de cinco pozos para suministrar al casco urbano y algunas colonias circundantes. Otro abastecimiento es el agua del río El Obispo que pasa a un costado del casco urbano, la cual no es apta para el consumo humano. En cuanto a su cobertura, 72% de la población cuenta con pozos y 3% consumen agua del río (Rojas, 2013).

3.6.3. Municipio de Sipacate, Departamento: Escuintla

Distribución actual y población

El municipio para su funcionamiento administrativo se organiza en 3 microrregiones, compuestas por 18 centros poblados: 1 pueblo dividido en 2 zonas, 4 aldeas conocidas como Bamvi, Naranjo, El Paredón Buena Vista y La Empalizada, 7 colonias conocidas como San Carlos, Sol y Mar, Milagro de Dios Paredón Buena Vista, Milagro de Dios 1 y 2, Los Laureles y Guadalupe, 4 caseríos llamados Empalizada Las Brisas, El Jardín, Rama Blanca y La Laguna Rama Blanca y 1 finca conocida como Parcelamiento San Jerónimo. Cuenta con una población rural de 26.85% y una urbana de 73.15%, siendo el lugar más poblado el casco urbano, seguido de aldeas rurales La Empalizada y El Paredón (Nájera., *et al*, 2018).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. El servicio de salud se centraliza en el casco

urbano, al cual acuden de otros centros poblados del municipio, como de la aldea el Paredón y el Naranjo, que son las más lejanas y de más difícil acceso. Sin embargo, en caso de tratarse de casos graves, los pacientes deben acudir a La Gomera o al Hospital Nacional de Escuintla por la escasa infraestructura en atención primaria pues en Sipacate hay un único centro de salud que no está en capacidad de brindar un servicio integral (Nájera., *et al*, 2018).

Servicio de agua

El municipio cuenta con agua entubada en la mayoría de sus comunidades (13 de 18 centros poblados) para cuya calidad se implementa el sistema de cloración con pastilla o cloro líquido. Sin embargo, aún hay cierto porcentaje de población que no cuenta con este servicio básico; como el caserío El Jardín, aldea El Paredón Buena Vista y El Naranjo. En el caso de estas comunidades, se abastecen mediante pozos artesanales en la mayoría de los hogares. Lamentablemente en los últimos años se ha vuelto común la salinización de pozos, principalmente cerca de la línea costera; por lo que cada año hay menor cantidad. Sin mencionar que el municipio no cuenta con servicio de drenaje sanitario, por lo que todos los desechos manejados por fosas sépticas contaminan el nivel freático del suelo, resultando en que el agua subterránea se contamine (Nájera., *et al*, 2018).

3.6.4. Municipio de Retalhuleu Cabecera, Departamento: Retalhuleu

Distribución actual y población

El municipio está integrado por 1 ciudad, 1 lotificación, 41 colonias, 60 aldeas, 11 caseríos, 3 cantones, 46 fincas. Retalhuleu Cabecera está conformada por 12 microrregiones, las cuales son: Tres Cruces-El Chico, Valle Lirio-Blanquita, Caballo Blanco, Santa Fe-Las Cruces, La Guitarra-Ayutía, Víctorias El Salto-Santa Ines, El Retiro-Las Pilas, Cantón Copepe-Costa Real, Perú-Marinas del Rey, San Josecito-Ocos, Urbano Este y Urbano Sur. Se identifican dos centralidades, el casco urbano ubicado en la parte alta del territorio y la Aldea Caballo blanco ubicada en la parte baja. El casco urbano a su vez está dividido en 6 zonas (Guzmán., *et al*, 2018). La población del municipio está distribuida en área rural (51.33%) y urbana (48.67%) (Galindo., *et al*, 2011).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. La población es atendida por 2 distritos de salud y 7 puestos de salud. El primer distrito consiste en 1 Centro de Salud en la cabecera departamental y 3 puestos de Salud en Nueva Candelaria, Victorias El Salto y La Barrita. En el segundo distrito se encuentra 1 Centro de Salud en Aldea Caballo Blanco y 4 puestos de salud en Santa Fe, La Banquita, Valle Lirio y Las Cruces. El territorio también cuenta con otros centros asistenciales los cuales consisten en: 1 Hospital Nacional en la zona 2 y 1 Hospital del IGSS en la zona 3; ambos en la cabecera (Guzmán., *et al*, 2018).

Recursos hídricos

El municipio es atravesado por los ríos Bolas, Tzununá, Ixpatz, Ixquiya, Comepan, Poxolá, Tamarindo y Tinadas, y es limitado por los ríos Salamá y Ocosito; el cual recibe lahares del volcán Santiaguito. No hay prácticas de conservación de agua, por lo que existe un gran problema debido a la proliferación de basureros clandestinos y la cultura de tirar la basura en los ríos. Tampoco hay ninguna ley que regule su uso por empresas agroindustriales, por lo que estas se aprovechan de manera desmedida de las fuentes hídricas; desviando el cauce de los ríos, dañado el medio ambiente y atentando contra la seguridad de pobladores que dependen de ellos (Guzmán., *et al*, 2018).

Servicio de agua

El agua que se distribuye en el Municipio es suministrada por las corrientes del río Tzununá y es captada en una presa y procesada en la finca Xelajú (Hernández., *et al*, 2017). La cobertura que se tiene en el municipio de agua potable es de 51.49% de la población, cabe mencionar que se tiene debilidad en la cloración. De dicho porcentaje existe una baja cobertura en el área urbana y la casi inexistente prestación del servicio en el área rural (Guzmán., *et al*, 2018). Dado que para muchos de los

centros poblados del área rural es difícil el acceso al servicio de agua potable, la forma de obtenerla es a través de un pozo (Hernández., *et al*, 2017).

3.6.5. Municipio de Santa Cruz Mulúa, Departamento: Retalhuleu

Distribución actual y población

El municipio se divide en 1 pueblo que es la Cabecera Municipal, 6 aldeas, 7 caseríos, 1 barrio, 1 lotificación, 12 colonias, 12 fincas, 11 hacienda y 1 rancho. Se identifican tres lugares poblados o centralidades: la cabecera municipal Santa Cruz Mulúa, sus aldeas aledañas Brillantes-Siglo I en el norte del municipio y San Vicente Boxomá en el sur, más alejado de la cabecera; la cual no cuenta con los servicios básicos como agua (Morales., *et al*, 2018). La población se encuentra distribuida en 23.47% para el área urbana que la integra la cabecera y el 76.53% en el área rural conformada por las aldeas Petencito, Siglo I y II, Brillantes y las comunidades distantes al casco urbano, donde se encuentra la mayor parte de la población (Rivera., *et al*, 2010).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. De manera general existe un limitado acceso a los servicios de salud y escasa infraestructura, pues la población es atendida únicamente por un distrito de salud que cuenta con un centro de salud catalogado como tipo A en la Cabecera Municipal y tres puestos de salud que se ubican en la parte baja del municipio; siendo los lugares: Boxomá, la aldea La Lolita y en el caserío Los Mangales. Estos presentan la dificultad de movilidad debido a caminos de terracería, especialmente en época de invierno (Morales., *et al*, 2018).

Recursos hídricos

Los principales recursos hídricos del municipio son el Río Salamá, Laguna del Mezá y la Laguna del Oc, estos últimos ubicados en la parte sur del territorio. Lastimosamente, en la actualidad existe sobreexplotación y contaminación de estos por desechos sólidos y líquidos que dejan caer los pobladores del municipio. Además,

en las cercanías también existen industrias que derraman sus desechos, por lo que existe una alerta sobre no consumir peces originarios de algunos cuerpos de agua, como la Laguna Mezá. Derivado de esto, hay amenazas de agotamiento de fuentes de agua, pues tampoco existe un marco legal para el uso, consumo y tratado de los recursos, ni planes para su manejo (Morales., *et al*, 2018).

Servicio de agua

Este servicio es distribuido por la Municipalidad a las comunidades por medio de pozos; seis pozos mecánicos ubicados en las aldeas El Asintal, Brillantes, Las Tres Marías, San Vicente Boxomá, caserío Petencito y Cabecera Municipal, de estos a la vez se distribuyen a diez comunidades que son San Antonio, Siglo I y II, Vuelta El Nino, El Esfuerzo, El Centro, El Hall, El Chagüite, Esquipulas y con pozos artesanales Santa Lucia, Casa Blanca, La Lolita y Mangales (Alvarado, 2018). Por lo que la cobertura que se tiene en el municipio es del 90% para el área urbana y un 60% para el área rural, siendo para el municipio un promedio de 67%. Debe mencionarse que es un sistema deficiente pues hay un tratamiento mediano, debilidad en la cloración e insuficiente saneamiento básico (Morales., *et al*, 2018).

3.6.6. Municipio de Champerico, Departamento: Retalhuleu

Distribución actual y población

El municipio se divide en 1 pueblo, 3 aldeas, 15 caseríos, 2 colonias, 9 fincas y 2 labores. No está conformado por microrregiones, más bien se identifican cuatro lugares poblados o centralidades: la cabecera municipal de Champerico, Olga María Cuchupán, Monte Cristo y Nueva Cajolá. Descritos en orden descendente de importancia y de concentración de servicios básicos. Se ubican en la parte sur central, en la parte oriente, en la parte central oriente y en la parte central occidente del territorio del municipio, respectivamente. La población se encuentra distribuida en 29.66% para el área urbana y el 70.34% en el área rural (Benítez., *et al*, 2019).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. De manera general existe un limitado e insuficiente acceso al servicio de salud y escasa infraestructura, pues la población es atendida únicamente por un distrito de salud que cuenta con 1 centro de atención permanente (CAP) en la cabecera municipal, 11 puestos de salud, 1 consultorio del IGSS, 2 centros de convergencia de salud y 5 casas de salud. Los centros de salud se encuentran en la Colonia 20 de octubre, Parcelamiento El Rosario, Olga María Cuchupán, Nueva Cajolá, El Triunfo, El Codo, La Sureña, Aztlán y El Chico (Benítez., *et al*, 2019).

Recursos hídricos

El municipio tiene varios ríos que lo atraviesan, entre ellos están el río Bolas, Comepan, Jesús, Ixquiya, Cola de Pollo, Jovel, el Espinal, San Lucas y Manacales, los zanjones Granada, El Español, El Tigre, San Lucas, Monacal, Las Balonas, Jabalin, Barbudo, El Escapulario y El Pijuy; muchos de los cuales pierden su caudal en la época seca y algunas lagunas. En el sur del municipio en el Océano Pacífico se encuentran algunos esteros como Acapolon, Champericon, entre otros: 12 en total que permiten realizar labores de pesca de subsistencia y son también entrada de agua para varias empresas que cultivan camarones a nivel internacional. Cabe mencionar que la conservación del agua no es una práctica en el municipio, los desagües desfogon en algunos de los recursos y algunos son únicamente receptores de desechos, mientras que otros cuerpos de agua son utilizados para el consumo humano (Ovando., *et al*, 2010; Diaz, 2018).

Servicio de agua

La cobertura de agua potable que se tiene en el municipio en promedio es del 67%; estando la mayor parte en la cabecera municipal y los principales lugares poblados. Cabe mencionar que el agua entubada domiciliar proviene de fuentes subterráneas, debido a que no hay nacimientos ni fuentes superficiales (Benítez., *et al*, 2019). En cuanto al porcentaje restante de hogares sin acceso al servicio de agua potable, las otras fuentes de agua domiciliar son agua entubada sin tratamiento y agua

de pozos artesanales en sus domicilios; en donde según los ingresos del hogar, los mecanismos para la extracción son poleas o bombas eléctricas. De los hogares sin el servicio casi la totalidad corresponden al área rural respecto a la urbana (Ovando., *et al*, 2010; Díaz, 2018).

3.6.7. Municipio de San José El Ídolo, Departamento: Suchitepéquez

Distribución actual y población

El municipio está dividido territorialmente en: 1 pueblo dentro de un perímetro urbano, 5 aldeas llamadas San Ramón, Concepción, Aurora, Nahualate I, Nahualate II y el Fresnillo, 11 caseríos, 1 barrio, 24 fincas y 3 haciendas. Estos a su vez se dividen básicamente en dos sectores, una parte al Norte que constituye 30% del área total territorial que es la más densamente poblada, en donde se ubica la cabecera municipal y las principales comunidades San Ramón, Pinal del Ríos y las aldeas Nahualate. El otro sector al sur, menos poblado conocido como el sector de las fincas privadas dedicadas principalmente a las actividades agrícolas. La mayor concentración de la población de este municipio está en el área rural con un 70.48% y en el área urbana un 29.52% (Oliva., *et al*, 2019).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. De manera general, se tiene una escasa infraestructura que resulta insuficiente para atender a la población, principalmente a la del área rural. Su mayor atención y cobertura es en el puesto de salud tipo B, que se encuentra ubicado en el casco urbano; cuya ubicación deja al descubierto una gran parte del territorio. También en la cabecera municipal existe una extensión del IGSS. Esto evidencia la escasa cobertura e infraestructura del servicio, pues además de dichas dependencias de salud, solo hay algunos centros de convergencia en las principales comunidades ya identificadas, en donde se realizan jornadas de vacunación y otras atenciones básicas (Oliva., *et al*, 2019).

Recursos hídricos

El territorio está comprendido entre la cuenca del Nahualate y la cuenca Sis-Ican; a las cuales corresponden las corrientes de agua. El municipio es recorrido por 4 ríos, 1 riachuelo, 3 zanjones y 1 quebrada. En la parte alta del territorio existen algunos nacimientos de agua de menor importancia (Pineda., *et al*, 2010). Lastimosamente este municipio no está exento de la contaminación, pues la industria azucarera que opera en municipios cercanos, así como los pobladores de la localidad son los principales contaminadores. Afectan estos recursos mediante el desfogue de drenajes sin el debido tratamiento y la disposición de desechos sólidos y líquidos (Oliva., *et al*, 2019).

Servicio de agua

Este municipio brinda el servicio de agua a través de los proyectos de perforación de pozos mecánicos, contando actualmente con tres de ellos para algunas comunidades y en el peor de los casos el agua es racionada, cumpliendo en buena medida con los requisitos del Ministerio de Salud para que esta sea apta para el consumo humano. Sin embargo, este servicio no llega a todas las comunidades, por lo que recurren a pozos artesanales o al abastecimiento mediante los ríos Ixtacapa y Nahualate. Mediante esta práctica exponen su salud, pues por la contaminación no reúne las características que aseguren su condición potable (Pineda., *et al*, 2010; Oliva., *et al*, 2019).

3.6.8. Municipio de San Lorenzo, Departamento: Suchitepéquez

Distribución actual y población

Al año 2015 se registraron 27 centros poblados, distribuidos en un pueblo, tres caseríos, cinco aldeas y quince fincas (Fong, 2018). El territorio en su parte norte es utilizado para el asentamiento de las áreas urbanas principales (cabecera municipal, Pacún y La Soledad) y en las partes media y sur para las actividades agrícolas y el resto de las comunidades. Su organización territorial se basa principalmente en la forma de pueblo y aldeas, entre las cuales están: San Lorenzo, Nuevo Amanecer, Valle de Candelaria, Chapinas y La Providencia; que también poseen una alta

cantidad de habitantes. La mayor concentración de la población se encuentra en el área rural con un 79.5%, respecto a la urbana que representa un 20.5% (Ayala., *et al*, 2018).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. De manera general, la población de San Lorenzo dispone de una escasa infraestructura que consiste en tres puestos de salud, uno ubicado en la cabecera a dos cuadras lado oriente de la Municipalidad y del Parque Central y los otros dos están situados en Valle de Candelaria y Aldea Chapinas, aunque solo se utilizan para realizar jornadas de salud programadas pues carecen de abastecimiento de medicina y personal. Cada aldea tiene un centro de convergencia con un facilitador de salud que les atiende en lo que logran llegar a un puesto de salud (Ayala., *et al*, 2018).

Recursos hídricos

Los accidentes hidrográficos son el río Chita, Icán, Sis, Shesheca y Seco. Además, existían nueve riachuelos de los cuales solamente quedan cinco. En San Lorenzo, como microcuencas y ríos existen el río Nahualate, la microcuenca río Sis-Ican, la del Estero la Pampona, la del río Seco y la del río Sis II (Lapoyeu., *et al*, 2010). Los ríos Sis e Icán se ubican a las afueras de las comunidades de La Soledad, Valle de Candelaria, El Espino, Canales, Chapinas y La Providencia, mientras que el río Shesheca esta contiguo a viviendas en el casco urbano. Debido al incremento de amenazas socio-naturales, principalmente de inundaciones en época de lluvia y con la ocurrencia de tormentas y huracanes. Sumado al manejo inadecuado del territorio se ha favorecido el desecamiento y contaminación estos recursos hídricos (Ayala., *et al*, 2018).

Servicio de agua

La fuente que abastece el sistema de agua de la cabecera municipal se localiza en el municipio de Zunilito (al norte). Sin embargo, solo un 37% de las viviendas tiene cobertura, por lo que se tiene planificada a la construcción de un pozo mecánico

y tanque elevando para satisfacer la demanda del servicio. Mientras que la población ubicada en el sur, en La Soledad, Valle de Candelaria, El Espino, Canales, Chapinas y La Providencia obtienen agua por medio de sistemas individuales consistentes en pozos mecánicos, artesanales y tanques elevados. Pero como en otros municipios, se utilizan los ríos y riachuelos de botaderos resultando en que la mayoría de las fuentes mencionadas estén contaminadas. Como consecuencia, los pozos son cada vez más profundos para encontrar agua suficiente en cantidad como en calidad (Ayala., *et al*, 2018).

3.6.9. Municipio de Río Bravo, Departamento: Suchitepéquez

Distribución actual y población

El municipio actualmente está conformado por 40 centros poblados: 1 pueblo, 5 colonias, 4 caseríos y 32 fincas. De los cuales, el mayor porcentaje de la población se encuentra en la cabecera municipal Río Bravo, el caserío Comunidad Agraria Campesina, Finca Santa Elena, Finca Morazán, Finca la Capital, Finca Las Mercedes, entre otros. La mayor concentración de la población se encuentra en el área rural con un 62.2%, respecto a la urbana que representa un 37.8% (Pol., *et al*, 2019).

Salud

En el municipio, la rectoría de las acciones en salud está a cargo del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Los servicios en salud se prestan a través de un centro de salud tipo CAP ubicado en la cabecera municipal y cuatro puestos de salud más que atienden a personas en su mayoría del área rural. Existen tres puestos de salud que son de primer nivel de atención ubicados en aldea Guatalón, aldea Morazán y Comunidad Agraria La Campesina. También está presente el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) en la cabecera municipal, con una clínica tipo B que presta atención únicamente a los afiliados. Y distintos centros de convergencia en salones comunales ubicados en distintas comunidades del municipio (Pol., *et al*, 2019; Flores, 2012).

Recursos hídricos

El municipio es regado por los ríos San Francisco, Río Bravo, Moca, Siguacan y Río Seco. Afluentes menores como Pachul, Trozo, Siguacancito, Zanjón de Arenal, El Juilín, Agua Caliente; todos comprendidos en la cuenca Madre Vieja – Moca. También existen nacimientos en finca Parraxé; Cantón Chiguaxte sector Ixcán que actualmente no se aprovechan. En cuanto al riesgo, destaca el peligro de inundaciones por el Río Siguacán y Río Bravo, también hay susceptibilidad a sequías y contaminación. En cuanto a su estado, existe la amenaza latente hacia las fuentes hídricas por aguas residuales y avance de frontera agrícola-habitacional (Pol., *et al*, 2019).

Servicio de agua

En 1974 se donó a la municipalidad una parcela del Parcelamiento Santa Elena para aprovechar un manantial para introducir agua potable a la cabecera municipal, por lo que el área urbana cuenta con los servicios básicos de agua. Su cobertura es del 42% y se considera que su calidad es regular. Sin embargo, aún existen centros poblados que no cuentan con el servicio, principalmente del área rural, por lo que para abastecerse hacen uso de pozos comunales, pozos artesanales propios y ríos o manantiales. Lo cual es una potencial amenaza contra la salud de los habitantes pues algunos servicios y sistemas colapsados desfogon a los ríos, los cuales también son contaminados con desechos sólidos y líquidos; como el río Jordan y el San Francisco (Pol., *et al*, 2019).

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivos generales

- a. Evaluar los niveles de metales nefrotóxicos (cadmio, plomo y arsénico) en muestras de agua potable de 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez de Guatemala que poseen alta tasa de pacientes con enfermedad renal crónica en terapia de reemplazo renal.
- b. Generar información científica que contribuya a la Vigilancia Centinela de Enfermedad Renal Crónica realizada en los municipios de La Gomera y Sipacate, en Escuintla por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

4.1.2. Objetivos específicos

- a. Identificar los metales arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.
- b. Cuantificar los niveles de arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.
- c. Comparar los niveles obtenidos de plomo, cadmio y arsénico con respecto a los límites establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001.

4.2. Hipótesis

4.2.1. Hipótesis de investigación (Hi)

Los niveles de los metales cuantificados de arsénico, plomo y cadmio en las muestras de agua potable superan los límites permisibles establecidos por la NTG COCUANOR 29001.

4.2.2. Hipótesis nula (Ho)

Los niveles de los metales cuantificados de arsénico, plomo y cadmio en las muestras de agua potable no superan los límites permisibles establecidos por la NTG COCUANOR 29001.

4.3. Variables

Cuadro No. 5. Definición conceptual y operacional de variables a estudiar.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional
Concentración de arsénico	Determinación de la cantidad del analito disuelta en determinado volumen (Skoog, West, James y Crouch, 2015).	Determinación de la concentración del metal en una muestra de agua mediante HG-AAS. No más de 0.010 mg/L (COGUANOR 29001, 1999).
Concentración de cadmio	Determinación de la cantidad del analito disuelta en determinado volumen (Skoog, West, James y Crouch, 2015).	Determinación de la concentración del metal en una muestra de agua mediante GF-AAS. No más de 0.003 mg/L (COGUANOR 29001, 1999).
Concentración de plomo	Determinación de la cantidad del analito disuelta en determinado volumen (Skoog, West, James y Crouch, 2015).	Determinación de la concentración del metal en una muestra de agua mediante GF-AAS. No más de 0.010 mg/L (COGUANOR 29001, 1999).

4.4. Población y muestra

Población

Muestras de agua potable en dependencias de salud ubicados en los departamentos de:

- Escuintla
- Retalhuleu
- Suchitepéquez

Muestra

Se estableció un número de muestra de 2 recipientes con agua por municipio. Resultando en 18 muestras en total, cada uno siendo analizado por triplicado. Los municipios fueron:

- La Gomera
- La Democracia
- Sipacate
- Retalhuleu Cabecera
- Santa Cruz Mulúa
- Champerico
- San José el Ídolo
- San Lorenzo
- Río Bravo

4.5. PROCEDIMIENTO

4.5.1. Selección de municipios de muestreo

Se obtuvo del registro de diálisis y trasplante de Guatemala del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social la información sobre los municipios con la tasa más alta de pacientes con enfermedad renal crónica en tratamiento de terapia de reemplazo renal.

4.5.2. Solicitud de permiso para toma de muestras

Se contactó a los enlaces del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, en el Departamento de Epidemiología para solicitar permiso para la toma de muestras de agua potable en las dependencias de salud definidas en dichos municipios. En base a la investigación previa de cada municipio, considerando la procedencia del agua, el porcentaje de población y la ubicación geográfica de los centros/puestos de salud, se definieron los lugares a continuación. Posteriormente, se solicitó a las Direcciones de Salud correspondientes el contacto de colaboradores para la guía y apoyo en la recolección de muestras.

Cuadro No. 6. Información de cada municipio considerada en estudio para definición del lugar de recolección de muestras de agua.

Municipio	Mayoría de población	Procedencia del agua	Dependencia de salud
Departamento: Escuintla			
La Gomera	Urbana (38.0%)	Pozos	Puesto de salud en la Gomera
La Democracia	Urbana (27.3%)	Pozos	Puesto de salud en La Democracia
Sipacate	Urbana (30.0%)	Pozos	Puesto de salud en Sipacate
Departamento: Retalhuleu			
Retalhuleu cabecera	Urbana (48.7%)	Pozos	Puesto de salud de la cabecera
Santa Cruz Mulúa	Urbana (23.5%)	Pozos	Puesto de salud de Santa Cruz Mulúa
Champerico	Rural (70.3%)	Pozos	Puesto de Salud en Olga María Cuchupan
Departamento: Suchitepéquez			
San José El Ídolo	Urbana (29.5%)	Pozos	Centro de Salud de San José El Ídolo
San Lorenzo	Urbana (20.5%)	Pozos	Puesto de salud de San Lorenzo
Río Bravo	Urbana (37.8%)	Pozos	Centro de Salud de Río Bravo

* Es de importancia mencionar que, todos los resultados obtenidos referentes a las muestras tomadas en las dependencias de salud en el presente trabajo serán compartidos con el personal a cargo de ellos.

4.5.3. Colecta de muestras de agua potable

Se realizó conforme a la Norma COGUANOR 29006 se colectaron las muestras de agua potable en las ubicaciones identificadas en el estudio.

Consideraciones

Se creó un registro de cada muestra recolectada, identificando cada recipiente con un número único de muestra, rotulándolo adecuadamente. El código único de muestra se definió de la siguiente manera: AA-BB-XX; donde AA son las primeras dos letras del departamento, siendo ES para Escuintla, RE para Retalhuleu y SU para Suchitepéquez. De igual manera, BB corresponde a letras representativas del nombre del municipio y XX corresponde al tipo de muestra, siendo CO para la muestra 1 y MU para la muestra 2.

Entonces, se procedió a tomar las muestras de acuerdo con las siguientes condiciones de manipulación y almacenamiento (COGUANOR 29006, 2011).

Cuadro No. 7. Descripción de recipientes, volumen, condiciones de manipulación y almacenamiento de las muestras.

Parámetro	Recipiente	Cant. mín. de muestra (mL)	Preservación	Tiempo máx. de almac.
Arsénico (As)	Plástico (polietileno o equivalente), lavado en ácido	500	Acidificar con HNO_3	1 mes
Cadmio (Cd)	Plástico (polietileno o equivalente) lavado en ácido	100	Acidificar con HNO_3	1 mes
Plomo (Pb)	Plástico (polietileno o equivalente) lavado en ácido	100	Acidificar a $\text{pH} < 2$ con HNO_3	1 mes

(COGUANOR 29006, 2011)

Muestreo de metales

Cada recipiente con capacidad de dos litros se lavó con ácido nítrico grado analítico en el Centro de Información y Asesoría Toxicológica -CIAT- previo a la recolecta de agua; utilizándolo como preservante (COGUANOR 29006, 2011).

Registro de muestras

Se completó un registro de manera que se tuviera una identificación adecuada de las muestras mediante una etiqueta cubierta y adherida al recipiente con cinta adhesiva hipotes, incluyendo el número de identificación de muestra única, el nombre del recolector de la muestra, la fecha, la hora, la localización exacta, el tipo de muestra y el preservante utilizado. También se incluyó la fecha y hora de la preservación para la comparación con la fecha y la hora de la recolección. Se colocó la etiqueta al momento de la recolección de la muestra (COGUANOR 29006, 2011).

Recolección de muestras

Antes de recolectar las muestras de los sistemas de distribución, se dejó fluir el agua con el chorro totalmente abierto por al menos dos a tres minutos (COGUANOR 29006, 2011). Una vez recolectadas, se introdujeron en una hielera con hielo, mantenido las muestras a baja temperatura por todo el tiempo transcurrido desde su recolección hasta su entrega en el laboratorio de análisis (CIAT).

Bitácora de operación de campo

Se registró toda la información con relación a la fuente del muestreo, en una bitácora de operación foliada. Incluyó propósito del muestreo; localización del punto de muestreo; nombre y dirección del contacto en el campo; tipo de muestra; método, fecha y hora de la preservación. También la composición que se sospecha que contenga la muestra, incluyendo concentraciones; número y volumen de muestras recolectadas; descripción del punto de muestreo y del método de muestreo; fecha y hora de la recolección; números de identificación de la persona que recolecta la muestra; distribución de la muestra y cómo fue transportada; referencias tales como mapas o fotografías del sitio del muestreo; observaciones y medidas del campo de muestreo; y firmas del personal responsable de las observaciones (COGUANOR 29006, 2011).

4.5.4. Métodos de preparación y análisis de muestras

El análisis se tercerizo y se llevó a cabo en el Departamento de Toxicología del Centro de Información y Asesoría Toxicológica CIAT. Ubicado en la 3ra calle, zona 1 de la Ciudad de Guatemala. Se realizó en base a la metodología del libro “Standard Methods for the examination of water and wastewater”, como se describe a continuación:

a. Determinación de cadmio y plomo mediante espectrometría de absorción atómica electrotrémica

Pretratamiento de la muestra

Primero se preparó la solución modificadora de acuerdo con las siguientes indicaciones.

Cuadro No. 8. Modificador de matriz para espectrometría de absorción atómica electrotrémica.

Modificador	Aplicación
500 – 2000 mg Pd / L ¹ + agente reductor (ácido cítrico (1-2%))	Cd, Pb

¹L = asume 10 µL de modificador / 10 µL de muestra (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Al tratarse de muestras normales se utilizaron niveles bajos de paladio (50 a 250 mg/L). El modo recomendado de uso del modificador es mediante la coadición al horno de aproximadamente 10 µL de la solución de modificador (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Las soluciones modificadoras descritas en el Cuadro 8 se prepararon con una combinación volumétrica de las siguientes soluciones y agua.

1) Nitrato de paladio, 4000 mg Pd/L: Se disolverán 8.89 g Pd(NO₃)₂·H₂O en agua. Se diluyó a 1 L.

2) Ácido cítrico al 2%: Se disolvió 20 g de ácido cítrico en agua. Se diluyó a 1 L.

En un matraz aforado de 100 ml previamente enjuagado con 1 + 1 HNO₃ y agua, se transfirió cuantitativamente la muestra, se agregó una cantidad adecuada de modificador de matriz (ver Cuadro No. 8) y se diluyó a volumen con agua (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Operación del instrumento

Se colocó el horno de grafito en el compartimento de muestras del espectrómetro, se utilizó argón como gas de purga y se utilizaron tubos de grafito con plataformas para minimizar las interferencias y mejorar la sensibilidad. Se encendió el instrumento, seleccionó la fuente de luz adecuada y la longitud de onda adecuada (ver Cuadro No. 9) (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Cuadro No. 9. Niveles de detección y rangos de concentración para espectrometría de absorción atómica electrotérmica.

Metal	Longitud de onda (nm)	Límite de detección estimado (µg/L)	Rango de concentración óptimo (µg/L)
Cd	228.8	0.1	0.5-10
Pb	283.3	1	5-100

(Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995)

Calibración del instrumento

Se preparó un blanco y cuatro patrones de calibración en el rango de concentración apropiado (ver Cuadro No.9) para correlacionar la concentración del elemento y la respuesta del instrumento. Se hizo coincidir el fondo ácido de la matriz de las soluciones estándar con las de las muestras, por lo que se agregó la misma concentración de modificador de matriz a las soluciones estándar. Se inyectó una porción adecuada de cada solución estándar, en orden de concentración creciente y se analizó cada una por triplicado para verificar la precisión del método (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Análisis de la muestra

Se analizaron todas las muestras por triplicado.

a. Determinación directa

Se inyectó una porción medida de muestra pretratada en el horno de grafito. Se utilizó el mismo volumen que se utilizó para preparar la curva de calibración. Se agregó el modificador inmediatamente después de la muestra, utilizando una micropipeta. Se utilizó el mismo volumen y concentración de modificador para todos

los estándares y muestras. Se secó, carbonizó y atomizó de acuerdo con el programa preestablecido (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Cálculos

$$\mu g \text{ metal} / L = C \times F$$

Donde

C = concentración a partir de la curva de calibración ($\mu\text{g/L}$)

F = factor de dilución

(Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

b. Determinación de arsénico mediante espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros

Equipo analítico

- Espectrómetro de absorción atómica equipado con medidores de flujo de gas para argón e hidrógeno, lámparas de descarga sin electrodos de As con fuente de alimentación, corrección de fondo en longitud de onda de medición y registrador de gráfico de tiras apropiado. (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).
- Atomizador (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995)
- Celda de reacción para producir hidruros de As:

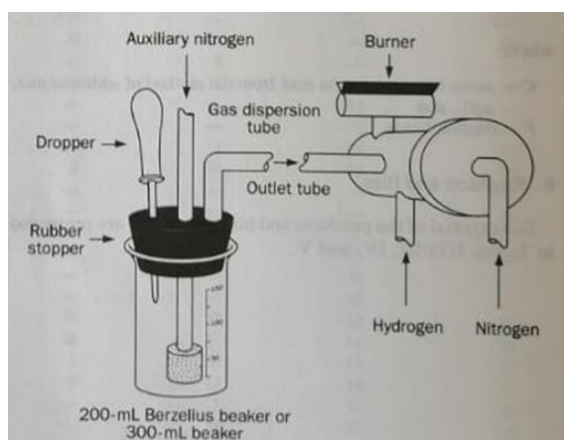


Figura No.1. Celda de reacción manual para producir hidruros de arsénico (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

- Gotero o jeringa capaz de administrar de 0.5 a 3.0 ml de reactivo de borohidruro de sodio (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Reactivos

Se utilizaron los siguientes reactivos y soluciones.

- Reactivo de borohidruro de sodio: se disolvió 8 g de NaBH_4 en 200 ml de NaOH 0,1 N.
- Solución prerreductante de yoduro de sodio: se disolvió 50 g de NaI en 500 ml de agua.
- Ácido sulfúrico, 18 N
- Ácido sulfúrico, 2.5N: se agregó con cuidado 35 ml de H_2SO_4 concentrado a aproximadamente 400 ml de agua, se dejó enfriar y se ajustó el volumen a 500 ml.
- Persulfato de potasio, solución al 5%: se disolvió 25 g de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ en agua y se diluyó a 500 ml.
- Ácido nítrico, HNO_3 , conc.
- Ácido perclórico, HClO_4 , conc.
- Ácido clorhídrico, HCl , conc.
- Argón (o nitrógeno), grado comercial
- Hidrógeno, grado comercial
- Soluciones de arsénico (III)
 - o Solución madre de As (III): se disolvió 1.320 g de trióxido de arsénico, As_2O_3 , en agua con 4 g de NaOH . Se diluyó a 1 L; 1.00 ml = 1.00 mg de As (III).
 - o Solución intermedia As (III): se diluyó 10 ml de solución madre As a 1000 ml con agua con 5 ml de HCl concentrado; 1.00 ml = 10.0 microgramos de As (III).
 - o Solución estándar de As (III): se diluyó 10 ml de solución de intermedio As (III) a 1000 ml con agua que contenga la misma concentración de ácido utilizada para la conservación de la muestra (2 a 5 ml de HNO_3 concentrado); 1.00 ml = 0.100 microgramos de As (III). Se prepararon soluciones diluidas diariamente.

- Soluciones de arsénico (V):
 - Solución madre de As (V): se disolvió 1,534 g de pentóxido de arsénico, As_2O_5 , en agua destilada con 4 g de NaOH. Se diluyó a 1 L; 1,00 ml = 1,00 mg de As (V).
 - Solución intermedia As (V): se preparó como en el caso de As (III) anterior; 1,00 ml = 1,00 mg de As (V).
 - Solución estándar de As (V): se preparó como para As (III) anterior; 1,00 ml = 0,100 microgramos de As (V).
 - Soluciones de arsénico orgánico:
 - Solución madre de arsénico orgánico: se disolvió 1.842 g de ácido dimetilarsínico (ácido cacodílico), $(\text{CH}_3)_2\text{AsOOH}$, en agua con 4 g de NaOH. Se diluyó a 1 L; 1,00 ml = 1,00 mg de As.
 - 2) Solución de arsénico orgánico intermedio: se preparó como en el punto (III) anterior; 1,00 ml = 10,0 microgramos de As.
 - Solución estándar de arsénico orgánico: se preparó como en el punto (III) anterior; 1,00 ml = 0,100 microgramos de As.
- (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Procedimiento para determinación de arsénico

- Configuración del equipo analítico

Se conectó la entrada de la celda de reacción con el gas de purga auxiliar controlado por el medidor de flujo. Antes de utilizar el sistema de generación/análisis de hidruros, se optimizaron los parámetros operativos. Se aspiraron las soluciones acuosas diluidas de As directamente en la llama para facilitar la alineación del atomizador. Se alinearon los atomizadores de cuarzo para obtener la máxima absorbancia. Se aspiró un espacio en blanco hasta que se eliminaron los efectos de memoria. Se estableció el flujo de gas de purga, la concentración y la velocidad de adición del reactivo de borohidruro de sodio, el volumen de la solución y la velocidad de agitación para obtener una respuesta óptima del instrumento para las especies químicas que se analizaron (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Cuadro No. 10. Niveles de detección y rangos de concentración para espectrometría de absorción atómica de arsénico por generación de hidruros.

Metal	Longitud de onda (nm)	Límite de detección estimado (mg/L)	Rango de concentración óptimo (mg/L)
As	193.7	0.002	0.002 – 0.02

(Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

- Estándares de calibración del instrumento

Se transfirieron 0.00, 1.00, 2.00, 5.00, 10.00, 15.00 y 20.00 ml de soluciones estándar de As (III) a matraces aforados de 100 ml y se llevaron a volumen con agua con la misma concentración de ácido utilizada para preservación de la muestra (comúnmente 2 a 5 ml conc HNO₃/L). Esto produce soluciones estándar y en blanco de 0, 1, 2, 5, 10, 15 y 20 µg de As / L (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

- Preparación de muestras y estándares para arsénico recuperables

Las aguas pueden contener cantidades variables de compuestos orgánicos e inorgánicos de arsénico. Para medir el arsénico total se hizo la digestión de la muestra para solubilizar las formas de partículas y oxidar las formas reducidas de arsénico y convertir cualquier compuesto orgánico en inorgánico. Se agregaron 50 ml de muestra o estándar de As (III) a un vaso de precipitados Berzelius de 200 ml, 7 ml de H₂SO₄ 18 N y 5 ml de HNO₃ concentrado.

Se mantuvieron las condiciones oxidantes en todo momento agregando pequeñas cantidades de HNO₃ para evitar que la solución se oscureciera; manteniendo un exceso de este hasta que se destruya toda la materia orgánica. La digestión completa suele estar indicada por una solución de color claro. Se enfrió ligeramente, se añadieron 25 ml de agua y 1 ml de HClO₄ concentrado y se evaporaron los vapores de SO₃ para expulsar los óxidos de nitrógeno (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Después de la evaporación final de los vapores de SO_3 , se diluyó a 50 ml para las mediciones de arsénico. Para el análisis del elemento se ajustó el volumen del digestato final a 100 ml, se utilizaron 50 ml para las determinaciones de As (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

- Preparación de muestras y patrones para arsénico total

Se añadieron 50 ml de muestra o patrón no digerido a un vaso de precipitados Berzelius de 200 ml, 1 ml de H_2SO_4 2.5 N y 5 ml de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ al 5%. Se hirvió suavemente en una placa caliente precalentada durante aproximadamente 30 a 40 min o hasta alcanzar un volumen final de 10 ml; sin dejar que la muestra se seque. Después de la digestión manual, se diluyó a 50 ml para las siguientes mediciones de arsénico. Para el análisis se ajustó el volumen de digestato final a 100 ml. Se utilizaron 50 ml para las determinaciones de As, realizando las correcciones de volumen adecuadas al calcular los resultados (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

- Determinación de arsénico con borohidruro de sodio

A 50 ml de estándar digerido o muestra en un vaso de precipitados Berzelius de 200 ml se le agregaron 5 ml de HCl concentrado y se mezcló. Se agregaron 5 ml de solución prerreductora de NaI, se mezcló y esperó al menos 30 min (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Se colocó un vaso de precipitados Berzelius a la vez en el tapón de goma que contiene el tubo de dispersión de gas para el gas de purga, la entrada del reactivo de borohidruro de sodio y la salida del atomizador. Se encendió el registrador de gráficos de tiras y se esperará hasta que el gas de purga establezca la línea base y todo el aire sea expulsado de la celda de reacción. Se añadió 0.5 ml de reactivo de borohidruro de sodio. Una vez que la absorbancia del instrumento haya alcanzado un máximo y haya vuelto a la línea base, se retiró el vaso de precipitados, se enjuagó el tubo de dispersión con agua y se continuó con la siguiente muestra o patrón (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

Cálculos

Se construyó una curva estándar trazando las alturas de los picos o las áreas de los estándares frente a la concentración de los estándares. Se midieron las alturas de los picos o las áreas de las muestras y leyeron las concentraciones de la curva (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995).

4.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

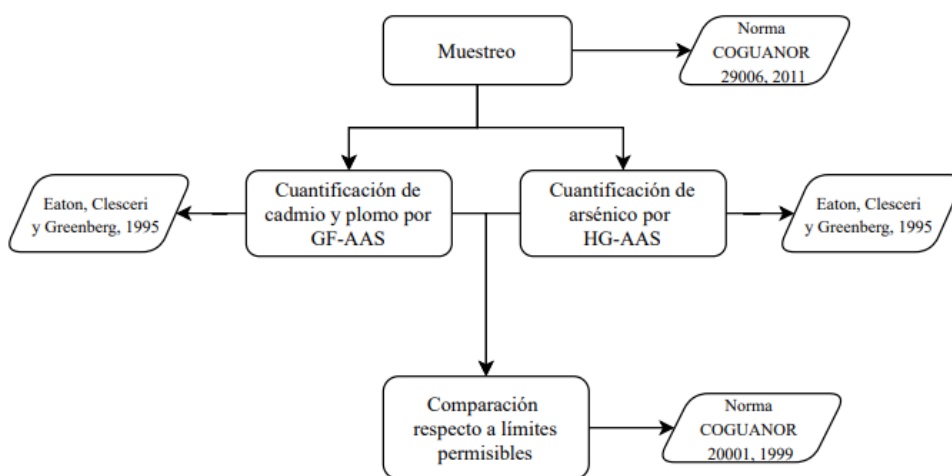


Figura No.2. Diagrama de diseño de investigación.

La metodología fue establecida a partir de: (Eaton, Clesceri y Greenberg, 1995) (NTG COGUANOR 29006, 2011) Y (NTG COGUANO 2001, 1999)

4.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se tabularon y analizaron en el software Jamovi versión 2.3 y SPSS versión 25. La organización y presentación de datos se hizo con tablas y gráficas.

4.7.1. Estadística descriptiva

El análisis descriptivo consistió en el cálculo de media y desviación estándar para las variables cuantitativas (concentración de metales). Se calcularon los porcentajes para variables categóricas (identificación de metales).

4.7.2. Estadística inferencial

Se utilizaron las pruebas binomial y t de Student para una muestra. El nivel de significancia correspondió al 5%.

Para el análisis de la identificación de metales se usó la prueba binomial. Esta prueba busca determinar si la ausencia o presencia de los metales se deben o no al azar.

$$H_0: p = q$$

$$H_1: p \neq q$$

Al rechazarse la hipótesis nula puede concluir que la probabilidad de la ausencia (o presencia de metales en las muestras) no se debe al azar.

La prueba de t de Student de una muestra se utilizó para la comparación de los niveles obtenidos de plomo y arsénico con respecto a los límites establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001.

$$H_0 \mu \geq 10 \text{ mcg / L}$$

$$H_1 \mu < 10 \text{ mcg / L}$$

El rechazo de la hipótesis nula supone que los valores del metal están por debajo de los límites establecidos por la norma.

5. MARCO OPERATIVO

5.1. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Se recolectaron las muestras de agua potable en los municipios definidos con alta tasa de pacientes de enfermedad renal de acuerdo con lineamientos de la norma COGUANOR 29006 y se registró la ubicación del GPS del establecimiento que se visitó. Posteriormente, se realizaron las determinaciones cuantitativas mediante espectrometría de absorción atómica.

Criterios de inclusión

Muestras:

- Muestras de agua de las cuales se tenga certeza consuma la población de los municipios.
- Muestras recolectadas, tratadas, almacenadas y transportadas de acuerdo con la NTG COGUANOR 29006.

5.2 RECURSOS

Recursos humanos

Cinthia María Saravia Donis, Autora

MSc. Carolina Guzmán Quilo, Asesora

Dra. Berta Sam, enlace con el Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social

Personal del Puesto de Salud en La Gomera

Personal del Puesto de Salud en La Democracia

Personal del Puesto de Salud en Sipacate, Sipacate

Personal de la Dirección del Área de Salud de Retalhuleu

Personal del Centro de Salud de San José El Ídolo

Personal del Puesto de Salud de San Lorenzo

Personal del Centro de Salud de Río Bravo

Recursos materiales

REACTIVOS

Ácido clorhídrico

Ácido nítrico

Nitrato de paladio

Ácido cítrico

Nitrato de magnesio

Ácido fosfórico

Estándar de cadmio

Estándar de plomo

Borohidruro de sodio

Yoduro de sodio

Ácido sulfúrico

Ácido nítrico

Ácido perclórico

Argón (o nitrógeno), grado comercial

Hidrógeno grado comercial

Trióxido de arsénico

Pentóxido de arsénico

Ácido dimetilarsínico (ácido cacodílico)

EQUIPO DE LABORATORIO

Balanza analítica

Micropipetas

Espectrómetro de absorción atómica

Horno de grafito

Celda de reacción para producir hidruros

OTROS MATERIALES

Equipo de protección personal: redecillas, guantes, bata, cubre zapatos, cubre bocas.

Puntas de Micropipetas (de 0-200 μL)

Beakers

Espátula

5.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

Cuadro No. 11. Aspectos económicos para proyecto de investigación.

Producto	Cantidad	Precio (Q)
Análisis de laboratorio 18 muestras de agua por 1 análisis (Q150 c/u)	18	2,700.00
Gasolina para recolección de muestras	NA	1,500.00
Hielo para cadena de frio	NA	300.00
Plan de internet	NA	300.00
Gastos de papelería y otros materiales	NA	100.00
Costo total		4,900.00

6. RESULTADOS

Cuadro No. 12. Niveles de cadmio, plomo y arsénico en muestras de agua potable en centros de salud ubicados en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez de Guatemala.

Localidad	Plomo (mcg/L)		Arsénico (mcg/L)		Cadmio	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Escuintla						
La Democracia	N. D.	N. D.	2.85	1.34	N. D.	N. D.
La Gomera	N. D.	N. D.	4.35	0.49	N. D.	N. D.
Sipacate	N. D.	N. D.	2.65	1.63	N. D.	N. D.
Retalhuleu						
Santa Cruz Mulúa	0.90	*	4.15	1.77	N. D.	N. D.
Champerico	0.90	*	4.20	1.98	N. D.	N. D.
Retalhuleu cabecera	N. D.	N. D.	1.75	0.21	N. D.	N. D.
Suchitepéquez						
San Lorenzo	0.80	*	5.10	0.28	N. D.	N. D.
San José El Ídolo	N. D.	N. D.	5.15	1.77	N. D.	N. D.
Río Bravo	N. D.	N. D.	1.50	0.14	N. D.	N. D.

N. D. = NO DETECTADO. Parámetros estadísticos calculados con base en resultados de dos muestras recolectadas por municipio.

* No se pudo calcular la desviación estándar debido a que solo se identificó el metal en una muestra

Cuadro No. 13. Identificación de arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.

	n	Prop. observada	Prop. de prueba	Valor p
Plomo				
No se identificó	15	0.83	0.50	0.008
Se identificó	3	0.17		
Cadmio				
No se identificó	18	1	0.50	< 0.001
Se identificó	0	0		
Arsénico				
No se identificó	0	0	0.50	< 0.001
Se identificó	18	1		

$H_0: p = q$

$$H_1: p \neq q$$

Cuadro No. 14. Estadística descriptiva de los niveles de arsénico, plomo y cadmio en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.

	Departamento						Todos los departamentos	
	Escuintla		Retalhuleu		Suchitepéquez			
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Plomo	*	*	0.90	0.00	0.80	*	0.87	0.06
Arsénico	3.28	1.28	3.37	1.73	3.92	2.04	3.52	1.63

DE = Desviación estándar

* El plomo no fue identificado en el Departamento de Escuintla.

** No se pudo calcular la desviación estándar debido a que solo se identificó el metal en una muestra.

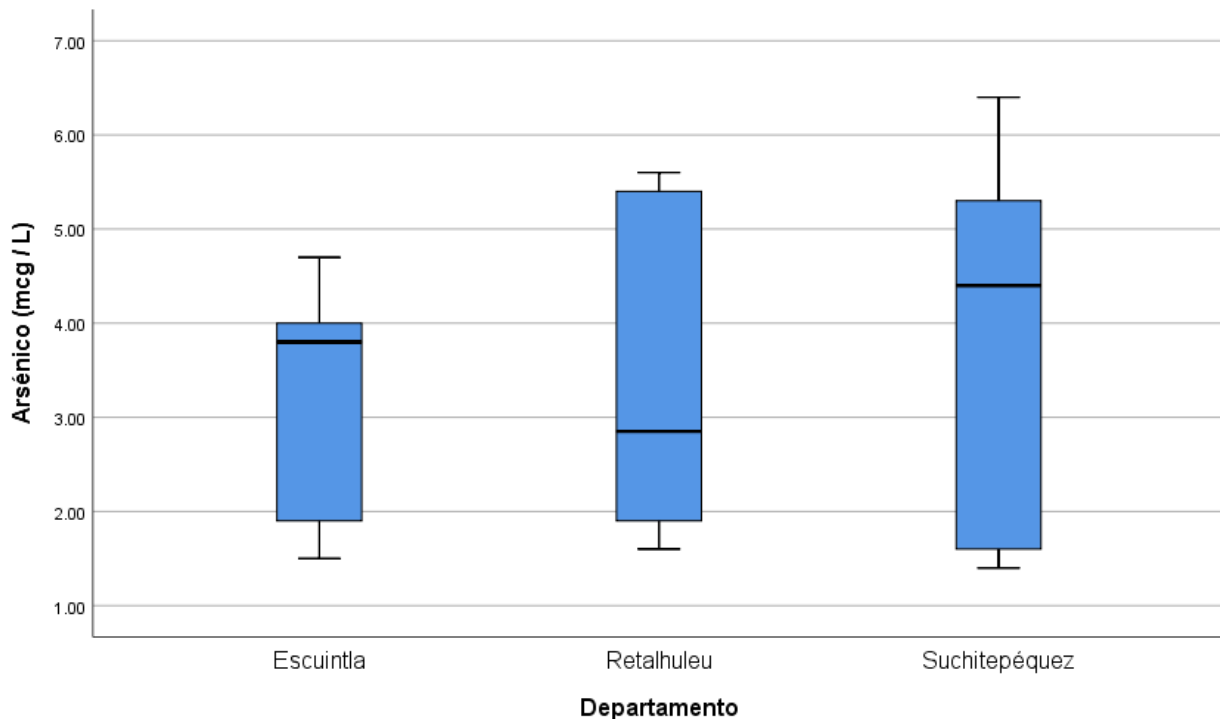
Límite permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Gráfico No. 1. Cuantificación de los niveles de arsénico en muestras de agua en 9 municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez.



Cuadro No. 15. Comparación de los niveles obtenidos de plomo y arsénico con respecto a los límites establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001.

	Estadístico <i>t</i> de Student	gl	Valor <i>p</i>
As	-17.4	17	< 0.001
Pb	-274	2	<0.001

$H_0 \mu \geq 10 \text{ mcg / L}$

$H_1 \mu < 10 \text{ mcg / L}$

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Municipios cuyo crecimiento poblacional ha sido acelerado, sumado a la falta de planeación de infraestructura ha derivado en problemas como incapacidad de las municipalidades de suplir y satisfacer necesidades básicas como el acceso a agua, y en caso si se suministre, verificar que esta sea de calidad y segura para los habitantes. Sin embargo, el monitoreo fisicoquímico y microbiológico es esencial para asegurar la salud pública (Hoponick., et al, 2022). De este modo, este estudio brinda un primer acercamiento sobre la presencia de metales en agua potable urbana y rural en distintos municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez que han sido identificados por su alto número de pacientes en terapia de reemplazo renal.

La etiología de la enfermedad renal crónica de causa no tradicional (ERCnT) sigue sin estar clara, pero se ha llegado al consenso que puede implicar una interacción compleja entre factores de riesgo propuestos; exposiciones ambientales que incluyen metales nefrotóxicos, agroquímicos, higiene ocupacional inadecuada, trabajo en condiciones de alta temperatura, ingesta inadecuada de agua y hábitos nocivos (Ruíz, Orellano y Navarro, 2015). A pesar de los avances de los últimos años y mayor conciencia sobre la ERCnT, aún existe una brecha en el conocimiento sobre la enfermedad en el país en lo que respecta a su comportamiento epidemiológico, historia natural, etiología y factores de riesgo, con lo cual se hace necesario aumentar la investigación analítica sobre el problema a nivel regional (COMISCA, 2013).

Si se considera la necesidad mencionada, esta investigación tuvo como fin generar información científica que contribuya al conocimiento de los niveles de los metales cadmio, plomo y arsénico en agua potable de los municipios mencionados, ya que el monitoreo y la obtención de evidencia objetiva es el primer paso para comprender la situación de la calidad de agua y que las entidades gubernamentales correspondientes puedan tomar decisiones al respecto y asegurar la salud pública mediante el acceso a agua segura. De igual manera, se buscó que los resultados, contribuyeran a la Vigilancia Centinela de Enfermedad Renal

Crónica realizada en los municipios de La Gomera y Sipacate, en Escuintla por parte del MSPAS.

Se evaluaron en triplicado, dos muestras de agua colectadas el mismo día, con un lapso de 15 minutos, en los municipios de La Democracia, La Gomera y Sipacate del departamento de Escuintla; los municipios de Santa Cruz Mulúa, Champerico y Retalhuleu cabecera del departamento de Retalhuleu; y los municipios de San Lorenzo, San José el Ídolo y Río Bravo del departamento de Suchitepéquez. Las muestras fueron colectadas con el apoyo del Departamento de Epidemiología del MSPAS, quien facilitó los enlaces con las personas responsables de los centros y puestos de salud de los nueve municipios (ver las ubicaciones en el Anexo III de la sección 11).

En el Cuadro No. 13 puede observarse que se identificó arsénico en cada una de las muestras analizadas y que no se encontró cadmio en ninguna de ellas. El plomo, sin embargo, estaba presente únicamente en las muestras de los municipios Santa Cruz Mulúa, Champerico y San Lorenzo (17% de las muestras), aunque en niveles aceptables según la Norma.

En el Cuadro No. 15 se muestra que el promedio de los niveles de plomo correspondió a 0.87 ± 0.06 mcg/L, siendo mayor la concentración en las muestras de Retalhuleu; los niveles promedio de arsénico fueron de 3.52 ± 1.63 mcg /L, observándose una concentración mayor en las muestras de Suchitepéquez, seguido de Retalhuleu y por último Escuintla. Como se muestra en el Gráfico No. 1, la línea en negrilla corresponde a la mediana; estadístico de tendencia central y la amplitud de la caja y los bigotes; ilustran la variación de los datos. En ninguno de los casos los valores de los metales estaban por arriba o cercanos a los límites establecidos por la norma correspondiente, sin embargo, se observa que en general los valores de arsénico son más altos que los de plomo.

Al aplicar las pruebas estadísticas binomiales, se determinó, por un lado, que la ausencia de cadmio en todas las muestras, la presencia de arsénico en todas las muestras no se atribuye al azar ($p < 0.001$ en ambos casos); y que la presencia de plomo en algunas muestras no se atribuye al azar ($p = 0.008$). También como parte del análisis, se realizó una

comparación de los niveles obtenidos de arsénico y plomo en muestras de agua con los valores de referencia de la normativa correspondiente. Con la prueba t de Student de una muestra se determinó que estos niveles estaban significativamente por debajo de límites máximos permisibles establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001 ($p < 0.001$ en ambos casos). Se usó una prueba de hipótesis de una cola dado que la hipótesis alternativa debía corresponder a que los niveles de los metales estaban por debajo (una vía) del valor de referencia (valor límite).

La evidencia anteriormente expuesta aporta suficiente información para rechazar la hipótesis nula, en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa que indica que los niveles de los metales cuantificados de arsénico, plomo y cadmio en las muestras de agua potable no superan los límites permisibles establecidos por la NTG COGUANOR 29001.

Sin embargo, la presencia general de los metales establece un precedente y respalda identificaciones anteriores de arsénico y plomo en agua en Guatemala; principalmente de origen geogénico (Bundschuh., *et al*, 2020). También de origen antropogénico, relacionado con el desarrollo urbano, se ha encontrado en el Lago Petén Itzá (Pb ~23 mcg/g) (Pérez., *et al*, 2010) y el Lago de Atitlán (As 20 mcg/L) (Pérez, *et al*, 2014). En publicación reciente, en la ciudad de Guatemala en muestras de agua potable, se encontró que el arsénico superó el límite máximo permisible en el 33.6% de las muestras y estuvo fuertemente asociado con agua subterráneas, mientras que el plomo lo superó en un 8.9% (Hoponick., *et al*, 2022).

Pese a que los niveles de metales analizados no superan los límites establecidos en la NTG COGUANOR 29001, se está lejos de concluir sobre la calidad y aptitud del agua para ser consumida con relación a este parámetro, especialmente cuando en cada uno de los últimos Planes de Desarrollo Municipales revisados de los municipios muestreados, se menciona el pobre o nulo tratamiento de agua y prácticas de conservación del recurso.

Las fuentes hídricas de estos municipios se ven amenazados, no solo por la contaminación externa, sino porque no hay un marco legal en Guatemala que garantice la calidad del consumo. Problema que solo puede seguir aumentando, considerando el incremento de la parte agrícola y habitacional de todos los municipios; tanto de áreas urbanas como rurales. Es por esto, que una ley de agua que incluya planeación en su manejo, un monitoreo constante y evaluación del agua debe ser una investigación de máxima prioridad (Pol., *et al*, 2019), principalmente cuando hay otros factores ambientales de riesgo propuestos para el desarrollo de la ERCnT, como los productos agroquímicos, que tienen el potencial de contaminar y persistir en el agua (Nangia., *et al*, 2020), se hace vital un análisis periódico de la calidad química de las fuentes de agua.

En el caso de los municipios evaluados, no se encontraron registros previos respecto a resultados de calidad del agua en el aspecto de los metales y agroquímicos. Según refirieron algunos colaboradores de las áreas muestreadas, los análisis se restringen principalmente a la calidad microbiológica para la prevención de enfermedades gastrointestinales en las poblaciones, sin embargo, las pruebas específicas de metales, agroquímicos, además de las pruebas fisicoquímicas, pueden reflejar de mejor manera las características de toxicidad del agua, por lo que se han considerado como un complemento necesario para los métodos convencionales (Jian., *et al*, 2014).

Las entidades gubernamentales deben priorizar la evaluación del agua, considerando los antecedentes sobre la presencia general de metales en la región y la conocida deficiencia en cuanto a la evaluación fisicoquímica y microbiológica, debido a que, la seguridad de la calidad de agua tiene impacto importante en la salud, supervivencia y desarrollo de los seres humanos (Zhang., *et al*, 2020). Mientras continúe la falta de información sobre la calidad del agua, se hace más difícil evaluar el impacto que tiene o pueda tener a largo plazo en la población que la consume.

8. CONCLUSIONES

1. Se identificó arsénico en la totalidad de las muestras de agua colectadas de los municipios en los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez; valores que estaban por debajo de los límites establecidos por la NTG COGUANOR 29001 y cuyo promedio corresponde a 3.52 ± 1.63 mcg/L, observándose una concentración mayor en las muestras de Suchitepéquez.
2. Se identificó plomo en las muestras de los municipios Santa Cruz Mulúa y Champerico en Retalhuleu y el municipio de San Lorenzo en Suchitepéquez, correspondientes al 17% del total de muestras recolectadas. Sus valores estaban por debajo de los límites establecidos por la NTG COGUANOR 29001 y su promedio corresponde a 0.87 ± 0.06 mcg/L.
3. No se identificó cadmio en las muestras colectadas en los municipios de los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez, por lo que este parámetro también cumple con la normativa NTG COGUANOR 29001.
4. De acuerdo con la evidencia estadística se puede aseverar que la ausencia de cadmio y la presencia de arsénico en todas las muestras no se atribuye al azar ($p < 0.001$ en ambos casos); además, la presencia plomo en algunas muestras no se atribuye al azar ($p = 0.008$).
5. Los niveles obtenidos de arsénico y plomo en muestras de agua los valores están por debajo de los límites establecidos por la norma técnica guatemalteca COGUANOR 29001 ($p < 0.001$ en ambos casos). Cabe resaltar que el arsénico presenta concentraciones superiores a las de plomo en partes por millón.
6. Se generó información científica que inicialmente contribuye a la Vigilancia Centinela de Enfermedad Renal Crónica en los municipios de La Gomera y Sipacate, en Escuintla por parte del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

9. RECOMENDACIONES

1. Desarrollo de investigaciones en las que se puedan considerar las limitaciones del estudio, como el contraste de niveles de metales en áreas de alta y baja tasa de pacientes con ERC, la interacción de distintos factores de riesgo ambientales y nefro toxinas propuestos involucrados en el origen de la ERCnT y biomarcadores para saber más sobre la presencia o ausencia de una relación causal con la enfermedad.
2. Establecimiento de normas que incluyan pruebas de toxicidad en el análisis de agua, pues los métodos convencionales basados en los límites de concentración no son indicadores fiables sobre la toxicidad general de la muestra, deberían considerarse como un complemento necesario.
3. Evaluación y vigilancia frecuente y completa del agua; priorizando parámetros fisicoquímicos, y no solo el análisis microbiológico, considerando los antecedentes respecto a la presencia general de metales en la región y la conocida contaminación de los recursos hídricos en el país. Con el fin de asegurar la calidad y seguridad del agua; especialmente en lugares abastecidos por pozos
4. Establecimiento de las pruebas de toxicidad dentro de las normas de calidad de agua, pues incluirlas será un complemento a los métodos convencionales de análisis.
5. Elaboración y divulgación políticas y estrategias específicas, por parte de las autoridades sanitarias, dirigidas a la educación y concientización sobre la detección, el manejo y el tratamiento de la ERC tradicional y no tradicional; especialmente en poblaciones vulnerables, considerando el número creciente de casos en el país que son detectados hasta etapas muy avanzadas.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alcazár, Roberto, *et al.* 2008. *Documento de consenso SEN-semFYC sobre la enfermedad renal crónica*. Nefrología. 28 (3): 273–282.
2. Al-Naimi, M. S., Rasheed, H. A., Hussien, N. R., Al-Kuraishy, H. M., & Al-Gareeb, A. I. (2019). *Nephrotoxicity: Role and significance of renal biomarkers in the early detection of acute renal injury*. Journal of advanced pharmaceutical technology & research, 10(3), 95–99. https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_336_18
3. Alvarado, W. 2018. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Municipio de Santa Cruz Mulua, Departamento de Retalhuleu. Tesis de Pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Alvarado, W. 2018. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Municipio de Santa Cruz Mulua, Departamento de Retalhuleu. Tesis de Pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J y Cochran, J. 2016. *Estadística para negocios y economía*. (12a. Edición). México D.F, México: Cengage Learning.
6. Ayala, H., Solorzano, V., Ramos, A., Lara, B., Garcia, C., Lappop, R., Ochoa, F., Herrera, M., Cap, O y Lapop, R. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez 2018-2032*. Concejo Municipal de San Lorenzo, Suchitepéquez. Guatemala.
7. Ayala, H., Solorzano, V., Ramos, A., Lara, B., Garcia, C., Lappop, R., Ochoa, F., Herrera, M., Cap, O y Lapop, R. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez 2018-2032*. Concejo Municipal de San Lorenzo, Suchitepéquez. Guatemala.
8. Benítez, S., Vallejo, J., Calderón, C., James, M., Cardillo, R., De León, W., Castaneda, G., Haj, S., García, E y Calderón, A. 2019. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Municipio de Champerico, Retalhuleu 2019-2032*. Guatemala. Concejo Municipal de Champerico, Retalhuleu.
9. Benítez, S., Vallejo, J., Calderón, C., James, M., Cardillo, R., De León, W., Castaneda, G., Haj, S., García, E y Calderón, A. 2019. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Municipio de Champerico, Retalhuleu 2019-2032*. Guatemala. Concejo Municipal de Champerico, Retalhuleu.

10. Biga, L., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., Matern, P., Morrison, K., Quick, D y Runyeon, J. 2019. *Anatomy and Physiology. Internal and External Anatomy of the Kidney*. U.S.A: Oregon State University. 320 pp.
11. Boy, A. 2015. *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hydrilla verticillata del lago de Izabal*. Tesis de pregrado. Uiversidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
12. Bundschuh, J., Armienta, M., Morales, N., Alam, M., López, D., Delgado, V y Ahmad, A. 2020. *Arsenic in Latin America: New findings on source, mobilization and mobility in human environments in 20 countries based on decadal research 2010-2020. Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 1–139.
13. Butler-Dawson, J., James, K.A., Krishner, L. et al. *Environmental metal exposures and kidney function of Guatemalan sugarcane workers*. J Expo Sci Environ Epidemiol (2021). <https://doi.org/10.1038/s41370-021-00292-x>
14. Cano, J., García, E., Zapón, O., Soto, A., Mazariegos, C., Velásquez, S., Guzmán, A., Chocó, A., Sánchez, V., Lange, K y Arroyo, G. 2020. *Sobrevivencia de pacientes con Enfermedad Renal Crónica Tradicional y no Tradicional en clínicas de hemodiálisis del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, Guatemala*.
15. Castillo, M., Chajón, A., Cota, H., Portillo, M., Santillano, V., Milian, B., Murales, N y Esquivel, C. 2019. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipio de La Gomera Escuintla 2019-2032*. Concejo Municipal de la Gomera Escuintla.
16. CDC (2001) *Managing elevated blood lead levels among young children: recommendations from the advisory committee on childhood lead poisoning prevention*. Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA
17. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). (1999). *Agua para consumo humano. Especificaciones NTG COGUANOR 29001*. Guatemala. Extraído de: <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludabmiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf>
18. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). (2011). *Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. Generalidades*. Extraído de: <https://labind.com/wp-content/uploads/2019/02/COGUANOR-NTG-29-006.pdf>

19. Crowe, J., Brooks, D., Correa, R., Gonzáles, M., Jakobsson, K., Kimmel, P., Mendley, S., Trottier, B y Joubert, N. 2018. *Third International Workshop on Chronic Kidney Diseases of Uncertain/Non-Traditional Etiology in Mesoamerica and Other Regions*. Central American Program for Health Work and Environment Program (SALTRA).
20. Cruz, M y Totoli, C. 2020. *Peritoneal Dialysis*. Revista da Associação Médica Brasileira. 6(11): 37-44.
21. Dasgupta, A., & Wahed, A. (2014). *Renal Function Tests*. Clinical Chemistry, Immunology and Laboratory Quality Control, 197–212.
22. Diaz, A. 2018. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Municipio de Champerico, Departamento de Retalhuleu. Tesis de Pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
23. Eaton, A., Clesceri, L y Greenberg, A. 1995. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (19a. Edición). Washington, DC, E.E.U.U: American Public Health Association.
24. Elandt, R. 1975. *Definition of rates: Some remarks on their use and mouse*. Am J Epidemiol, 102(4): 267-271.
25. Escalante, C, Zeledón, F y Ulate, G. 2007. *Proteinuria, fisiología y fisiopatología aplicada*. Acta Médica Costarricense, 49(2), 83-89.
26. Esparza, N y García, N. 2011. *Hipouricemia y manejo renal del ácido úrico*. Rev Nefrología, 31(1), pp: 1-128.
27. Filella, X., Molina, R y Ballesta, A. (2002). *Estructura y función de las citocinas*. Elsevier, 39(2), pp: 63-71.
28. Fleming G. M. (2011). *Renal replacement therapy review: past, present and future*. Organogenesis, 7(1), 2–12. <https://doi.org/10.4161/org.7.1.13997>
29. Flores, A. 2012. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión*. Comercialización (producción de maíz) y proyecto: producción de pepino. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
30. Fong, C. 2018. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Organización empresarial (panadería) y proyecto: producción de frituras de yuca. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

31. Galindo, J., Slowing, K., Monge, A., Mendoza, N y Chonay, F. 2011. *Plan de Desarrollo de Retalhuleu, Retalhuleu. Guatemala: SEGEPLAN*. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Retalhuleu. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
32. Galindo, J., Slowing, K., Monge, A., Mendoza, N y Chonay, F. 2011. *Plan de Desarrollo de Retalhuleu, Retalhuleu. Guatemala: SEGEPLAN*. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Retalhuleu. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
33. García, P y Sánchez-Polo, V. 2020. *Global Dialysis Perspective: Guatemala*. Kidney 360, 1(11), pp: 1300-1305.
34. García, V., Yanes, M., Tejera, P., Perez, G y Moraleda, T. 2019. *La hipercalciuria idiopática revisada. ¿Anomalía metabólica o enfermedad?* Rev Nefrología, 39(6), pp: 563-682.
35. Guzmán, J., Serrano, M., Baten, J., Aceituno, J., López, L., Calderón, A., Córdova, M., Monterroso, A y Ralda, G. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Retalhuleu, Retalhuleu 2018-2032*. Concejo Municipal de Retalhuleu, Retalhuleu.
36. Guzmán, J., Serrano, M., Baten, J., Aceituno, J., López, L., Calderón, A., Córdova, M., Monterroso, A y Ralda, G. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Retalhuleu, Retalhuleu 2018-2032*. Concejo Municipal de Retalhuleu, Retalhuleu.
37. Hardin, J. 1990, Arthralgia. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors. *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. 3rd edition. Boston: Butterworths. Chapter 160. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK303/>
38. Hernández, C., Risto, J., Estivill, E., Batista, J y López, M. 2007. *Importancia de la nocturia y su impacto en la calidad del sueño y en la calidad de vida en el paciente con hiperplasia benigna de próstata*. Actas Urol Esp, 31(3), pp: 262-269.
39. Hernández, G., Mérida, L., Coyoy, L., Gómez, B., Gonzales, M., García, W., Alonzo, A y Segura, C. 2017. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

40. Hernández, G., Mérida, L., Coyoy, L., Gómez, B., Gonzales, M., García, W., Alonzo, A y Segura, C. 2017. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
41. HHS/ATSDR; *Toxicological Profile for Arsenic*. PB2008-100007 (2010). Available from, as of March 30, 2021: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
42. Hoponick, J., Mulhern, R., Castellanos, E., Wood, E., McWilliams, A., Herrera, I., Liyanapattirana, C., Weber, F., Levine, K., Thorp, E., Bynum, N., Amato, K., Najera, M., Baker, J., Van Houtven, G., Henry, C., Wade, C y Kondash, A. 2022. *A Participatory Science Approach to Evaluating Factors Associated with the Occurrence of Metals and PFAS in Guatemala City Tap Water*. Int. J. Environ. Res. Public Health, 19, 6004.
43. IUPAC. 2002. “Heavy metals”- A meaningless term. Pure Appl. Chem., 74(5), pp: 793-807.
44. Jayasumana, C., Orantes, C., Herrera, R., Almaguer, M., Lopez, L., Silva, L., Ordunez, P., Siribaddana, S., Gunatilake, S y Broe. 2016. *Chronic interstitial nephritis in agricultural communities: a worldwide epidemic with social, occupational and environmental determinants*. Nephrol Dial Transplant, 32: 234-241.
45. Jayasumana, C., Orantes, c., Herrera, R., Almaguer, M., Lopez, L., Silva, L., Ordunez, P., Siribaddana, S., Gunatilake, S y De Broe, M. 2017. *Chronic interstitial nephritis in agricultural communities: a worldwide epidemic with social, occupational and environmental determinants*. Nephrol Dial Transplant, 32: 234-241.
46. Jian, X., Chun, Z y Dong, W. 2014. *Toxicity tests and their application in safety assessment of water quality*. Oct; 35(10): 3991’3997.
47. King, Susan y M. Di Lorenzo. 2008. *Análisis de orina y de los líquidos corporales*. 5ª.ed. Madrid: Médica Panamericana. 301 págs
48. Lapoyeu, E., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Cárcamo, J. 2010. *Plan de Desarrollo San Lorenzo, Guatemala*. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Lorenzo y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial.
49. Li, J y Rossman, T. (1989) *Inhibition of DNA ligase activity by arsenite: a possible mechanism of its comutagenesis*. Mol Toxicol 2:1–9

50. Makanjuola, D., & Lapsley, M. (2014). *The kidneys, renal function and kidney disease*. Clinical Biochemistry: Metabolic and Clinical Aspects, 124–151.
51. Mehta P, Leslie SW, Reddivari AKR. *Dysuria*. [Updated 2021 Aug 12]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549918/>
52. Mohammed Abdul, K. S., Jayasinghe, S. S., Chandana, E. P. S., Jayasumana, C., & De Silva, P. M. C. S. 2015. *Arsenic and human health effects: A review*. Environmental Toxicology and Pharmacology, 40(3), 828–846.
53. Morales, A., Martínez, D., Rosendo, M., Valenzuela, A., López, M y Somoza, N. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu 2018-2032*. Concejo Municipal de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu.
54. Morales, A., Martínez, D., Rosendo, M., Valenzuela, A., López, M y Somoza, N. 2018. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu 2018-2032*. Concejo Municipal de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu.
55. Morales, L. 2018. *Estudio exploratorio de los niveles de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en el río Guastatoya, departamento de El Progreso*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
56. MSPAS/Departamento de epidemiología. 2020. *Boletín de la Semana Epidemiológica DEMEPI No. 11*. Gobierno de Guatemala.
57. Nájera, W., Velásquez, E., Linares, L., Tambito, D., Murales, L., Luz, C., Marroquín, I y Hernández, M. 2018. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipio de Sipacate Escuintla 2018-2032*. Concejo Municipal de Sipacate, Escuintla.
58. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Asthenia*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=asthenia>. [1 de septiembre de 2020]
59. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Autophagy*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=autophagy>. [2 de septiembre del 2021]
60. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Comorbidity*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=comorbidity>. [1 de septiembre del 2021].

61. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Creatinine*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=creatinine>. [1 de septiembre del 2021].
62. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Etiology*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/etiology>. [1 de septiembre del 2021].
63. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Histology*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=histology>. [1 de septiembre del 2021].
64. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Protooncogén*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/search/results?swKeyword=autophagy>. [2 de septiembre del 2021].
65. National Cancer Institute (NCI). 2020. *Homeostasis*. NCI Dictionaries. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/homeostasis> [1 de septiembre del 2021].
66. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases (NIDDK). 2016. *Albuminuria: albúmina en la orina*. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/informacion-general/diagnostico/albuminuria-albumina-orina>. [1 de septiembre del 2021].
67. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. 2020. *Hemodiálisis*. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/insuficiencia-renal/hemodialisis>. [1 de septiembre del 2021].
68. Nature Publishing Group (NPG). 2006. *Pathogenesis: Of host and pathogen*. Nat Immunol 7, pp: 217.
69. Nordberg, G., Fowler, B y Nordberg, M. 2015. *Handbook on the Toxicology of Metals*. (4a. Edición). Volumen I: Consideraciones generales. San Diego, USA: Elsevier, pp: 45.
70. Oliva, A., Gómez, J., Minas, E., Ortiz, A., Flores, J., Rosario, R., Ramírez, Z., Castaneda, A y Palencia, E. 2019. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial San José El Ídolo, Suchitepéquez, Guatemala*: SEGEPLAN/DPT-DOT. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San José El Ídolo, Suchitepéquez y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial y Dirección de Ordenamiento Territorial.

71. Oliva, A., Gómez, J., Minas, E., Ortiz, A., Flores, J., Rosario, R., Ramírez, Z., Castaneda, A y Palencia, E. 2019. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial San José El Ídolo, Suchitepéquez, Guatemala*: SEGEPLAN/DPT-DOT. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San José El Ídolo, Suchitepéquez y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial y Dirección de Ordenamiento Territorial.
72. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2017. *Epidemia de enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica*. Definición de casos, base metodológica y enfoques para la vigilancia de salud pública. Washington, DC. 64 págs.
73. Organización Panamericana de la Salud. 2017. *Epidemia de enfermedad renal crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica*. Definición de casos, base metodológica y enfoques para la vigilancia de salud pública. Washington, D.C: OPS.
74. Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2013. *La Enfermedad Renal Crónica en comunidades agrícolas de Centroamérica*. Documento Conceptual. Washington, D.C., EUA.
75. Orr, S y Bridges, C. 2017. (2017). *Chronic Kidney Disease and Exposure to Nephrotoxic Metals*. International Journal of Molecular Sciences, 18(5), 1039. doi:10.3390/ijms18051039
76. Ovando, V., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Chonay, F. 2010. *Plan de Desarrollo Champerico, Retalhuleu. Guatemala*. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Champerico. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. SEGEPLAN/DPT.
77. Ovando, V., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Chonay, F. 2010. *Plan de Desarrollo Champerico, Retalhuleu. Guatemala*. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Champerico. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. SEGEPLAN/DPT.
78. Pérez, L., Bugja, R., Masafarro, J., Steeb, P., Van Geldern, R., Frenzel, P., *et al.* 2010. *Post-Columbian environmental history of Lago Peten Itza, Guatemala*. Rev. Mex. Cienc. Geol. 27, 490-507.
79. Pérez, F., Hernandez, E., Valladares, B. 2014. *Evaluación de contaminantes emergentes y radioactivos en el lago de Atitlán*, p. 54 Final report. USAC-DIGI.

80. Pezzarossi, G., Arana, S., Hernández, R., Solares, B y Quintanilla, C. (2017). *Caracterización de la enfermedad renal crónica en el adulto*. [Tesis de pregrado]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Pp: 84.
81. Pineda, J., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J., Cárcamo, J., Cash, J., Canizales, F y Mendoza, N. 2010. *Plan de Desarrollo San José El Ídolo, Suchitepéquez, Guatemala*: SEGEPLAN/DPT. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San José El Ídolo, Suchitepéquez y Secretaría de Planificación de la Presidencia Territorial. Dirección de Planificación Territorial.
82. Pineda, J., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J., Cárcamo, J., Cash, J., Canizales, F y Mendoza, N. 2010. *Plan de Desarrollo San José El Ídolo, Suchitepéquez, Guatemala*: SEGEPLAN/DPT. Concejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San José El Ídolo, Suchitepéquez y Secretaría de Planificación de la Presidencia Territorial. Dirección de Planificación Territorial.
83. Pol, J., Guerra, L., Hernández, H., Corillo, E., Mendoza, M., Pérez, O., Mizo, O., Maeda, J y García, B. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Río Bravo, Suchitepéquez 2019-2032*. Guatemala.
84. Pol, J., Guerra, L., Hernández, H., Corillo, E., Mendoza, M., Pérez, O., Mizo, O., Maeda, J y García, B. *Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial, Municipio de Río Bravo, Suchitepéquez 2019-2032*. Guatemala.
85. Renkin, Eugene y Robinson, Roscoe. 1974. *Glomerular Filtration*. The New England Journal of Medicine. 290(14): 785-792.
86. Repetto, M y Repetto, G. 2009. *Toxicología Fundamental*. (4ª. Edición). Sevilla, España: Ediciones Díaz de Santos, pp: 22-42.
87. Rivera, M., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Chonay, F. 2010. *Plan de Desarrollo Santa Cruz Mulúa, Retalhuleu*. Concejo Municipal de Desarrollo de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu y Secretaría de Planificación de la Presidencia Territorial. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.
88. Rivera, M., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Chonay, F. 2010. *Plan de Desarrollo Santa Cruz Mulúa, Retalhuleu*. Concejo Municipal de Desarrollo de Santa Cruz Mulua, Retalhuleu y Secretaría de Planificación de la Presidencia Territorial. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.

89. Rojas, S. 2013. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión*. Municipio La Democracia, Departamento de Escuintla. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
90. Ruíz, P., Orellano, A y Navarro, A. 2015. *Chronic Kidney Disease of non-traditional etiology (CKDnT) in Central America: an initial efforts to standardized the mortality coding*. VII Reunion RELAC SIS.
91. Sam, B. 2020. *Prevalencia y mortalidad de Enfermedad Renal Crónica en Guatemala (2008-2018)*. Ciencia, Tecnología y Salud. 7(1): 00-00.
92. Sam, B., Betancourt, C., Boj, J., Mazariegos, C., Dávila, P., Lou, R., Sánchez, V., Cipriano, E., Figueroa, G., Luz y Guzmán, C. 2019. *Registro Guatemalteco de Diálisis y Trasplante Renal. Indicadores básicos Guatemala 2019*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS).
93. Sebastian, A., Nangia, A., y Prasad, M. N. V. 2020. *Advances in agrochemical remediation using nanoparticles*. Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation, 465–485.
94. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB). 2010. *Agua potable, diversidad biológica y desarrollo: guía de prácticas recomendadas- Montreal*, 41 + iii páginas.
95. Silva, L., Almeda, M., Dávila, M., Guevara, J., Zaso, A., Marín, M y Mendoza, O. 2019. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipio de La Democracia, Escuintla 2019-2032*. Concejo Municipal de La Democracia, Escuintla.
96. Silva, L., Almeda, M., Dávila, M., Guevara, J., Zaso, A., Marín, M y Mendoza, O. 2019. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipio de La Democracia, Escuintla 2019-2032*. Concejo Municipal de La Democracia, Escuintla.
97. Skoog, D., West, D., James, F y Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica*. USA: Cengage learning.
98. Soto, R., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Pineda, M. 2010. *Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de la Democracia y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial. Plan de Desarrollo de La Democracia*. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.
99. Soto, R., Slowing, K., Monge, A., Dardón, J y Pineda, M. 2010. *Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de la Democracia y Secretaría de Planificación y*

- Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial. Plan de Desarrollo de La Democracia. Guatemala: SEGEPLAN/DPT.*
100. Strimbu, K., & Tavel, J. A. (2010). *What are biomarkers?. Current opinion in HIV and AIDS*, 5(6), 463–466. <https://doi.org/10.1097/COH.0b013e32833ed177>
 101. Tchounwou, P., Yedjou, C., Patlolla, K y Sutton, J. 2012. *Heavy Metal Toxicity and the Environment*. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 133–164.
 102. United States Environmental Protection Agency (EPA). 2007. *Framework for Metals Risk Assessment*. Washington, DC. Extraído de: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/metals-risk-assessment-final.pdf>
 103. Wesseling, C. 2019. *Evidence for CKDnt being primarily an occupation driven disease in Mesoamerica*. Washington, D.C.: PAHO.
 104. Zhang, L., Gao, Y., Wu, S., Zhang, S., Smith, K. R., Yao, X., y Gao, H. 2020. *Global impact of atmospheric arsenic on health risk: 2005 to 2015*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
 105. Zhao, C., Young, M., Diwan, B., Coogan, T y Waalkes, M. 1997. *Association of arsenic induced malignant transformation with DNA hypomethylation and aberrant gene expression*. *Proc Natl Acad Sci USA* 94:10907–10912.

11. ANEXOS

ANEXO NO. 1

GLOSARIO

1. **Agua potable:** agua apta para el consumo de los humanos (SCBD, 2010).
2. **Albuminuria:** signo de enfermedad renal y significa que el paciente tiene exceso de albúmina en la orina. La albúmina es una proteína que se encuentra en la sangre. Un riñón sano no permite que este pase de la sangre a la orina, mientras que un riñón dañado sí deja pasar algo a la orina (NIDDK, 2016).
3. **Apoptosis:** proceso fisiológico previsto de muerte y desintegración de tejidos dentro del desarrollo normal de los seres vivos (Repetto y Repetto, 2009).
4. **Artralgia:** dolor en una articulación (Hardin, 1990).
5. **Astenia:** debilidad; falta de energía y fuerza (NCI, 2020).
6. **Autofagia:** proceso por el cual una célula se descompone y destruye proteínas y otras sustancias viejas, dañadas o anormales en su citoplasma (el líquido dentro de una célula) (NCI, 2020).
7. **Bioacumulación:** incremento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de un organismo, que ocurre porque la velocidad de captación excede la de eliminación (Repetto y Repetto, 2009).
8. **Biomarcador:** una característica que se mide y evalúa objetivamente como un indicador de procesos biológicos normales, procesos patógenos o respuestas farmacológicas a una intervención terapéutica (Strimbu y Tavel, J, 2010).
9. **Citocinas:** grupo de proteínas y glucoproteínas producidas por diversos tipos celulares que actúan fundamentalmente como reguladores de las respuestas inmunitaria e inflamatoria. También intervienen como factores de crecimiento de distintas células como las hematopoyéticas (Filella, Molina y Ballesta, 2002).
10. **Comorbilidad:** la condición de tener dos o más enfermedades al mismo tiempo (NCI, 2020).
11. **Creatinina:** producto de desecho que proviene del desgaste normal de los músculos del cuerpo; es excretada del cuerpo en la orina (NCI, 2020).

12. **Diálisis peritoneal:** técnica que implica a el intercambio de solutos y agua entre la sangre de los capilares peritoneales y la solución instilada en la cavidad peritoneal (dializado) a través de un catéter, utilizando la membrana peritoneal como superficie de diálisis (Cruz y Totoli, 2020)
13. **Diana (biológica):** población, organismo, órgano, tejido, célula o constituyente celular sobre el que ejerce su acción un agente físico, químico o biológico (Repetto y Repetto, 2009).
14. **Disuria:** sensación de dolor y/o ardor, escozor o picazón de la uretra o del meato uretral asociado con la micción (Metha y Reddivari, 2021).
15. **Epidemiología:** estudio de la distribución de estados de salud y sus determinantes en las poblaciones, y la aplicación de este estudio al control de problemas sanitarios (Repetto y Repetto, 2009)
16. **Etiología:** la causa u origen de una enfermedad (NCI, 2020).
17. **Exposición:** concentración, cantidad o intensidad de un determinado agente físico, químico o biológico, que incide sobre una población, organismo, individuo, órgano o célula diana; usualmente se expresa en términos cuantitativos de concentración, duración y frecuencia o de intensidad (Repetto y Repetto, 2009).
18. **Hemodiálisis:** técnica que consiste en bombear la sangre a través de un filtro, fuera del organismo y que luego la devuelve al mismo. Busca restaurar el entorno del líquido intracelular y extracelular característico de la función renal normal, se filtran toxinas y agua de la sangre (NIDDK, 2020).
19. **Hipercalcemia:** situación clínica en la que se comprueba un incremento en la eliminación urinaria de calcio (García., et al. 2019).
20. **Hipouricemia:** se refiere a cuando los niveles plasmáticos de ácido úrico son menores o iguales a 2.0 mg/dl (Esparza y García, 2011).
21. **Histología:** estudio de tejidos y células debajo de un microscopio (NCI,2020).
22. **Homeostasis:** estado de equilibrio entre todos los sistemas del cuerpo que el cuerpo necesita para sobrevivir y funcionar correctamente. En la homeostasis, las concentraciones de ácido en el cuerpo, la presión arterial, el azúcar en la sangre, los electrolitos, la energía, las hormonas, el oxígeno, las proteínas y la temperatura se ajustan constantemente para responder a los cambios en el interior y el exterior

del cuerpo. De esa manera, todos los sistemas se mantienen en un nivel normal (NCI, 2020)

23. **Incidencia:** el número de casos nuevos de una enfermedad que se registra durante un año en una determinada comunidad (Elandt, 1975).
24. **Intoxicación:** proceso patológico, con signos y síntomas clínicos, causado por una sustancia de origen exógeno o endógeno (Repetto y Repetto, 2009).
25. **Nefrotoxicidad:** rápido deterioro de la función renal debido al efecto tóxico de medicamentos y productos químicos (Al-Naimi., *et al*, 2019).
26. **Nocturia:** trastorno que precisa que una persona se despierte durante la noche una o más veces por la noche para orinar; de las principales causas de interrupción del sueño (Hernández., *et al*, 2007).
27. **Patogénesis:** se refiere a cómo una enfermedad comienza o se desarrolla (NPG, 2006).
28. **Prevalencia:** razón del número de casos que se registran en un periodo determinado entre el tamaño de la población (Elandt, 1975).
29. **Proteinuria:** presencia de proteínas en la orina, en adultos se refiere a una excreción urinaria de estas superior a 150 mg en 24 horas; se ha utilizado como un marcador de lesión renal (Escalante, Zeledón y Ulate, 2007).
30. **Protooncogén:** gen en que participa en el crecimiento normal de las células. Las mutaciones (cambios) en un protooncogén pueden hacer que este se convierta en un oncogén, que puede hacer que se formen células cancerosas (NIC, 2020).
31. **Tasa:** medida del cambio que expresa una cantidad (y) por cada unidad de otra cantidad x, de la cual es dependiente; usualmente a cierta unidad de tiempo. Suele asociarse con la rapidez necesaria para observar un cambio (Elandt, 1975).
32. **Terapia de reemplazo renal:** métodos empleados para el soporte de la función renal de manera segura y rutinaria, se puede aplicar de manera intermitente o continúa usando métodos extracorpóreos (hemodiálisis) o paracorpóreos (diálisis peritoneal) (Fleming, 2011).
33. **Toxicidad:** capacidad para producir daño a un organismo vivo, en relación con la cantidad o dosis de sustancia administrada o absorbida, la vía de administración y su distribución en el tiempo (dosis única o repetidas), tipo y gravedad del daño,

tiempo necesario para producir éste, la naturaleza del organismo afectado y otras condiciones intervinientes (Repetto y Repetto, 2009).

ANEXO NO. 2

FORMATO DE REGISTRO DE ETIQUETA AUTOADHESIVA

Código de muestra:
Nombre del recolector:
Fecha de recolección:
Hora de recolección:
Localización exacta de recolección:

Tipo de muestra:
Preservante utilizado:
Fecha de la preservación:
Hora de la preservación:

ANEXO NO. 3

HOJA DE REGISTRO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

CARACTERIZACIÓN DE METALES NEFROTÓXICOS EN AGUA POTABLE EN MUNICIPIOS DE GUATEMALA CON LA TASA MÁS ALTA DE PACIENTES CON ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA EN TERAPIA DE REEMPLAZO RENAL **BITÁCORA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA**

Fecha	No. mx	Código de muestra	Lugar de muestreo			Ubicación geográfica	Características de la muestra		Resultados		
			Departamento	Munic.	Lugar		Color	Olor	As mcg/L	Pb mcg/L	Cd
09/08/22	1	ES-LD-CO	Escuintla	La Democracia	Centro de salud	N 14°13'58.07676" W 90°56'58.7742"	Incolora	Inodoro	1.9	N.D	N.D
09/08/22	2	ES-LD-MU	Escuintla	La Democracia	Centro de salud		Incolora	Inodoro	3.8	N.D	N.D
09/08/22	3	ES-LG-CO	Escuintla	La Gomera	Centro de salud	N 14°17'54.97653" W 90°60'38.0874"	Incolora	Inodoro	4.7	N.D	N.D
09/08/22	4	ES-LG-MU	Escuintla	La Gomera	Centro de salud		Incolora	Inodoro	4.0	N.D	N.D
09/08/22	5	ES-SI-CO	Escuintla	Sipacate	Centro de salud	N 14°23'18.95739" W 90°65'26.9785"	Incolora	Inodoro	3.8	N.D	N.D
09/08/22	6	ES-SI-MU	Escuintla	Sipacate	Centro de salud		Incolora	Inodoro	1.5	N.D	N.D
11/08/22	7	RE-SA-CO	Retalhuleu	Santa Cruz Mulúa	Vivienda	N 14°32'54.15036" W 91°37'23.48216"	Incolora	Inodoro	5.4	N.D	N.D
11/08/22	8	RE-SA-MU	Retalhuleu	Santa Cruz Mulúa	Vivienda		Incolora	Inodoro	2.9	0.9	N.D
11/08/22	9	RE-CH-CO	Retalhuleu	Champerico	Puesto de salud	N 14°15'55.368721" W 91°46'55.72344"	Incolora	Inodoro	5.6	N.D	N.D
11/08/22	10	RE-CH-MU	Retalhuleu	Champerico	Puesto de salud		Incolora	Inodoro	2.8	0.9	N.D
11/08/22	11	RE-RE-CO	Retalhuleu	Retalhuleu cabecera	Vivienda	N 14°23'14.22096" W 91°44'26.8746"	Incolora	Mal olor	1.6	N.D	N.D
11/08/22	12	RE-RE-MU	Retalhuleu	Retalhuleu cabecera	Vivienda		Incolora	Mal olor	1.9	N.D	N.D
12/08/22	13	SU-SL-CO	Suchitepéquez	San Lorenzo	Puesto de salud	N 14°29'11.37156" W 91°30'43.6878"	Incolora	Inodoro	5.3	N.D	N.D
12/08/22	14	SU-SL-MU	Suchitepéquez	San Lorenzo	Puesto de salud		Incolora	Inodoro	4.9	0.8	N.D

12//08/22	15	SU-SJ-CO	Suchitepéquez	San José El Ídolo	Centro de salud	N 14°26'50.8274" W 91°25'23.61828"	Incolora	Inodoro	6.4	N.D	N.D
12//08/22	16	SU-SI-MU	Suchitepéquez	San José El Ídolo	Centro de salud		Incolora	Inodoro	3.9	N.D	N.D
12//08/22	17	SU-RI-CO	Suchitepéquez	Río Bravo	Centro de salud	N 14°23'47.03244" W 91°19'10.2544	Incolora	Inodoro	1.4	N.D	N.D
12//08/22	18	SU-RI-MU	Suchitepéquez	Río Bravo	Centro de salud		Incolora	Inodoro	1.6	N.D	N.D

Observaciones:

Los recipientes empleados para las muestras de la 1 a la 9 fueron recogidos en el CIAT día 09 de agosto del 2022. Fueron previamente lavados con ácido nítrico y entregados a las 10:00 am. Tras la recolección fueron entregados en la misma ubicación para su análisis en el Departamento de Toxicología el día 10 de agosto de 2022.

Los recipientes empleados para las muestras de la 7 a la 12 fueron recogidos en el CIAT día 09 de agosto del 2022. Fueron previamente lavados con ácido nítrico y entregados a las 10:00 am. Tras la recolección fueron entregados en la misma ubicación para su análisis en el Departamento de Toxicología el día 16 de agosto de 2022.

Los recipientes empleados para las muestras de la 13 a la 18 fueron recogidos en el CIAT día 10 de agosto del 2022. Fueron previamente lavados con ácido nítrico y entregados a las 10:00 am. Tras la recolección fueron entregados en la misma ubicación para su análisis en el Departamento de Toxicología el día 16 de agosto de 2022.

ANEXO NO. 4
INFORMES DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.861.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022
FECHA DE INFORME: 30/08/2022

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

TIPO DE MUESTRA: Agua
CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 1. Lugar: La Democracia,
Escuintla, Centro de Salud de La Democracia.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.9 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L
Arsénico: 10 mcg/L
Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.



PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

INFORME No.
L.862.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 2. Lugar: La Democracia,
Escuintla, Centro de Salud de La Democracia.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 3.8 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.


PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.863.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022
FECHA DE INFORME: 30/08/2022
TIPO DE MUESTRA: Agua
CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 3. Lugar: La Gomera, Centro
de Salud de La Gomera, Escuintla.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 4.7 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.



PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.864.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 4. Lugar: La Gomera, Centro
de Salud de La Gomera, Escuintla.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 4 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

[Redacted Signature]
PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.865.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 5. Lugar: Sipacate, Escuintla,
Centro de Salud de Sipacate.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 3.8 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.866.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 10/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 6. Lugar: Sipacate, Escuintla,
Centro de Salud de Sipacate.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.5 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

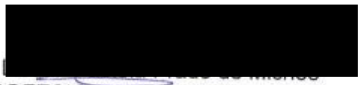
Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemala.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.


PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.871.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 7. Lugar: Vivienda cercana al
puesto de Salud Santa Cruz Mulúa, Retalhuleu.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 5.4 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

[Redacted Signature]
PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.872.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 8. Lugar: Vivienda cercana al
puesto de Salud Santa Cruz Mulúa, Retalhuleu.

RESULTADO:

PLOMO: 0.9 mcg/L

ARSÉNICO: 2.9 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.


PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.873.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 9. Lugar: Puesto de Salud en
Olga. Champerico, Retalhuleu.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 5.6 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

[Redacted Signature]
PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.874.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 10. Lugar: Puesto de Salud
en Olga. Champerico, Retalhuleu.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: 0.9 mcg/L

ARSÉNICO: 2.8 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.875.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 11. Lugar: Vivienda cercana
a puesto de salud, Retalhuleu.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.6 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

[Redacted Signature]
PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



INFORME No.
L.876.08.2022

Pagina. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGIA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 12. Lugar: Vivienda cercana
a puesto de salud, Retalhuleu cabecera, Retalhuleu.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.9 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalizacion en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemala.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACEÚTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.877.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 13. Lugar: Puesto de Salud,
San Lorenzo, Suchitepéquez, Retalhuleu.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 5.3 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



INFORME No.
L.878.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022
FECHA DE INFORME: 30/08/2022
TIPO DE MUESTRA: Agua
CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 14. Lugar: Puesto de Salud,
San Lorenzo, Suchitepéquez, Retalhuleu.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: 0.8 mcg/L

ARSÉNICO: 4.9 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



INFORME No.
L.879.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 15. Lugar: Centro de Salud
de San José El Ídolo, Suchitepéquez.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 6.4 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



INFORME No.
L.880.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 16. Lugar: Centro de Salud
de San José El Ídolo, Suchitepéquez.

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 3.9 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg /L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.


PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL



INFORME No.
L.881.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO
DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 17. Lugar: Centro de Salud
Río Bravo, Suchitepéquez.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.4 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía .

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala:
Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

Lic. [Redacted]
PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA
FACULTAD DE CC.QQ. Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA FARMACÉUTICA
DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA
"Julio Valladares Márquez"



CENTRO DE INFORMACIÓN Y ASESORIA
TOXICOLÓGICA -CIAT-
LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA



INFORME No.
L.882.08.2022

Página. 1/1

INFORME DE LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA

SOLICITANTE: Cinthia Saravia Donis
ENTIDAD: -----

FECHA DE INGRESO: 16/08/2022

FECHA DE INFORME: 30/08/2022

TIPO DE MUESTRA: Agua

CONDICIONES DE LA MUESTRA: Contenida en frasco tipo
Pet, identificado como Muestra 18. Lugar: Centro de Salud
Río Bravo, Suchitepéquez.

ANÁLISIS SOLICITADO: NIVELES DE
PLOMO, ARSÉNICO Y CADMIO

RESULTADO:

PLOMO: NO DETECTADO

ARSÉNICO: 1.6 mcg/L

CADMIO: NO DETECTADO

Límite máximo permisible para agua potable:

Plomo: 10 mcg/L

Arsénico: 10 mcg/L

Cadmio: 3 mcg/L

Bibliografía

COGUANOR. (2017). *La Normalización en Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Economía.

COGUANOR. (2013). *NGO 29 00 Agua para consumo humano. Especificaciones*. Guatemala: Norma Técnica Guatemalteca.

Estos resultados corresponden únicamente a la muestra tal y como se recibió.

PROFESIONAL DE LABORATORIO I



ESTE DOCUMENTO ES VÁLIDO ÚNICAMENTE EN ORIGINAL