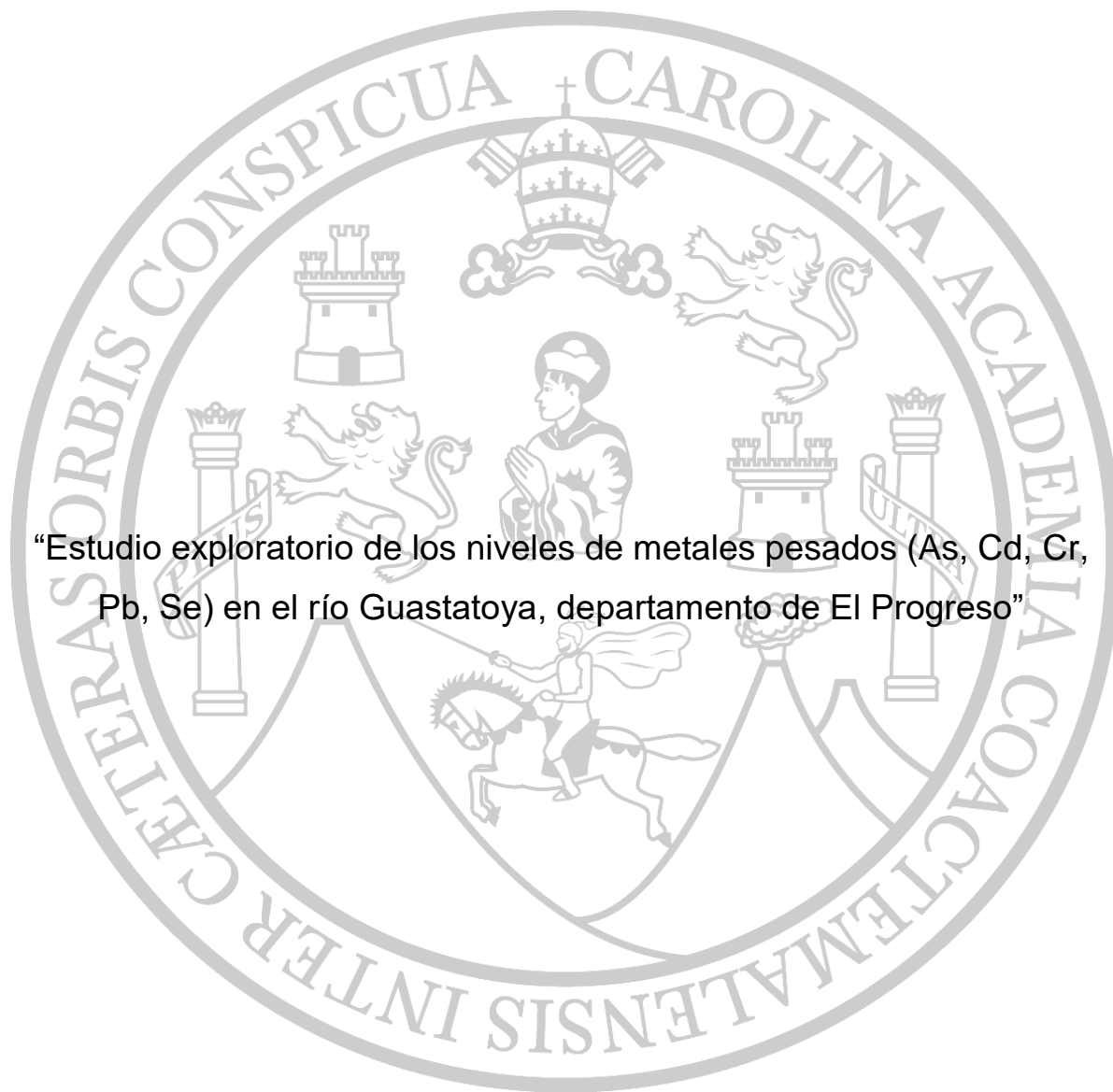


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



“Estudio exploratorio de los niveles de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en el río Guastatoya, departamento de El Progreso”

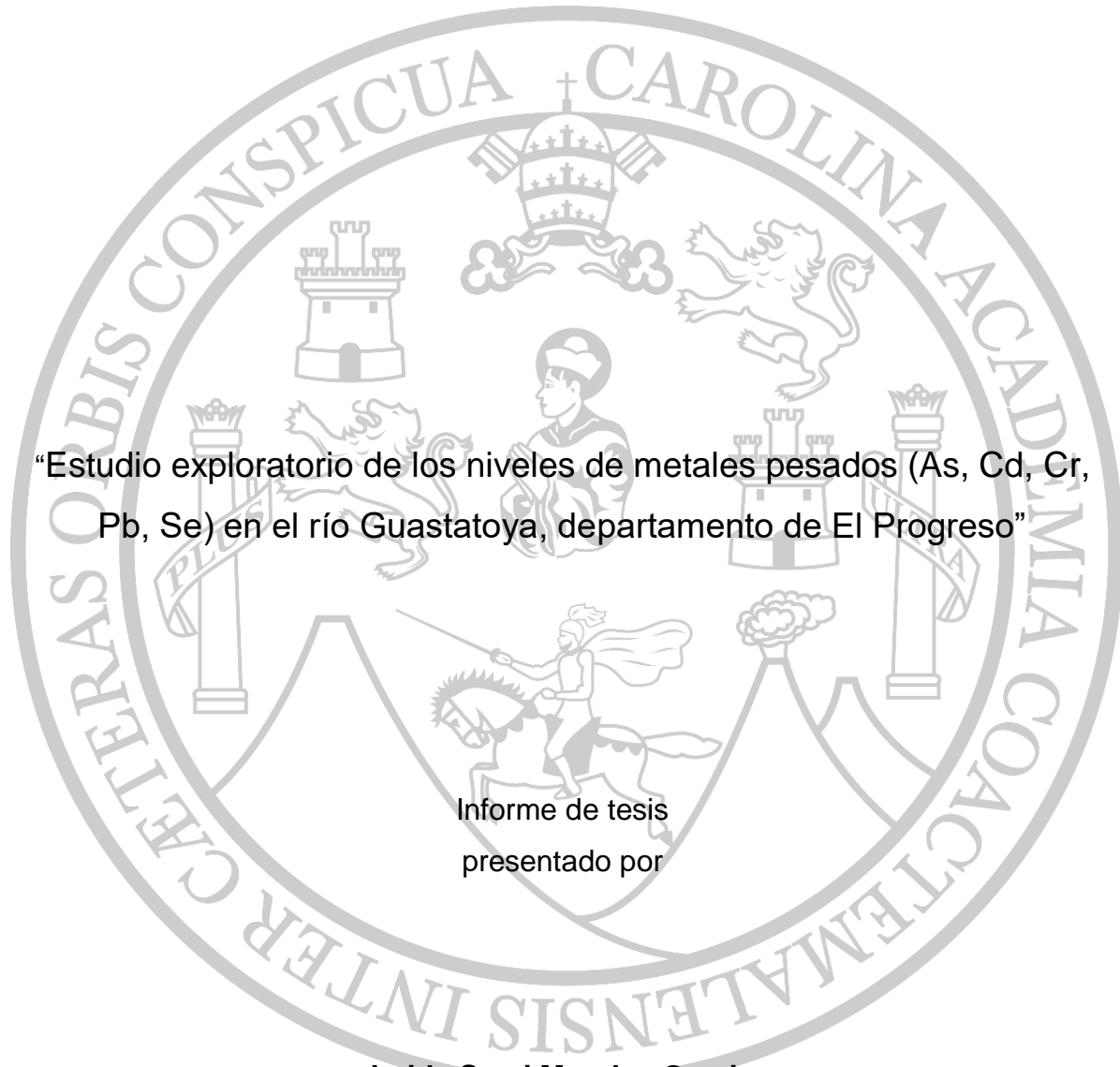
Loida Sarai Morales Garcia

Química

Guatemala, julio de 2018.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



“Estudio exploratorio de los niveles de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en el río Guastatoya, departamento de El Progreso”

Informe de tesis
presentado por

Loida Sarai Morales Garcia

Para optar al título de

Química

Guatemala, julio de 2018.

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreína Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

DEDICATORIA

A todos aquellos que me ayudaron a realizar este proyecto de tesis, por su amor, apoyo y consejos. Gracias porque sin ustedes no hubiera podido realizarlo.

Dios, gracias por no dejarme caer.

Mis dos grandes amores Sanandavid y Juanda por hacer mi mundo mejor, llenarme de amor y acompañarme en el largo proceso de graduación, en especial gracias por ser mis colaboradores preferidos durante el muestreo.

Papá porque me enseñaste, me guiaste y caminaste conmigo a la par del río, sin ti no lo hubiera podido lograr.

Mamá porque te animaste a acompañarnos en esta aventura.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, gracias por ser mi casa de estudios, por formarme como profesional, te llevo siempre en mi corazón y estoy en deuda contigo "Id y enseñad a todos".

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Que me ha permitido llegar a este punto de mi carrera, un camino que se alcanza con perseverancia.

A mi esposo Mario David

Tu apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida ha sido la fuerza que me motiva a seguir adelante.

A mi hijo Juan David

Que cambiaste mi mundo entero y lo llenaste de amor incondicional, gracias porque en cada momento me obligas a sacar lo mejor de mí.

A mis Padres Blanca Ruth y Jorge Leonel

Por sus palabras de aliento en el camino de la vida.

A mis hermanos Paula Betsabé y Jorge David

Por su cariño y ejemplo.

A la familia Navas Nájera

A cada uno de ellos por el cariño que me han brindado.

A mi asesora Rosa Patricia

Gracias por tu cariño, apoyo, paciencia y consejos a lo largo de este recorrido, tanto personal como profesional.

A mis compañeros Jorge, Roy, Alvaro, Hugo, Renato

Por recorrer conmigo este camino de crecimiento profesional, por su apoyo, carisma y consejos. Por los buenos y malos momentos, que con cariño llevamos en nuestros corazones.

A mis catedráticos:

Licda. Diana Pinagel
Licda. Idolly Carranza
Lic. Oswaldo Martinez
Lic. Eduardo Robles
Licda. Patricia Navas
Licda. Bessie Oliva
Licda. Marta del Cid

Gracias por enseñarme la recompensa del estudio siendo catedráticos objetivos y profesionales.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. ANTECEDENTES	8
A. Municipio de Guastatoya	8
1. Descripción general.....	8
2. División territorial	9
3. Clima del municipio.	10
4. Recursos hídricos.....	11
5. Río Guastatoya.....	12
B. Contaminación de los ríos ubicados en el municipio de Guastatoya.	13
C. Presencia de metales nocivos en el agua.....	14
1. Arsénico.....	14
2. Cadmio.....	15
3. Cromo.....	16
4. Plomo.....	17
5. Selenio.....	18
D. Disponibilidad de agua en el municipio de Guastatoya.....	18
E. Análisis de metales pesados por espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)	19
III. JUSTIFICACIÓN	23
IV. OBJETIVOS.....	25
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
A. Universo.....	26
B. Muestra.....	26
C. Recursos.....	27
VI. RESULTADOS	36
VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
VIII. CONCLUSIONES.....	44

IX. RECOMENDACIONES	45
X. REFERENCIAS	46
XI. ANEXOS	50
Anexo 1: Ubicación de los puntos de muestreo en el municipio de Guastatoya	50
Anexo 2: Río Guastatoya	51
Anexo 3: Evaluación de los puntos de muestreo	52
Anexo 4: Río Guastatoya época lluviosa	52
Anexo 5: Usos comunes del agua del río Guastatoya	53
Anexo 6: Muestras obtenidas durante la época seca.....	54
Anexo 7: Muestras obtenidas durante la época lluviosa.....	55
Anexo 8: Preparación de muestras para el horno de microondas.....	55
Anexo 9: Digestión ácida por horno de microondas.....	56
Anexo 10: Muestras digeridas.....	56
Anexo 11: Lectura de muestras en el equipo ICP OES.....	57
Anexo 12: Curvas de calibración obtenidas.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso.	8
Figura 2: Ubicación de los principales ríos del municipio de Guastatoya.	12
Figura 3: Ubicación de los puntos de muestreo en el río Guastatoya.	26
Figura 4: Concentración de Arsénico en el río Guastatoya.....	38
Figura 5: Concentración de Cadmio en el río Guastatoya.	38
Figura 6: Concentración de Cromo en el río Guastatoya.....	39
Figura 7: Concentración de Plomo en el río Guastatoya.....	39
Figura 8: Concentración de Selenio en el río Guastatoya.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: División territorial del municipio de Guastatoya.....	9
Tabla 2: Cuadro comparativo de la disponibilidad del agua municipio de Guastatoya.	19
Tabla 3: Límites de detección de las técnicas de análisis ICP-OES vs AA.	21
Tabla 4: Presencia de metales en el río Guastatoya durante la época seca.....	36
Tabla 5: Presencia de metales en el río Guastatoya durante la época lluviosa.	37

I. RESUMEN

En los últimos años se ha observado un aumento en el grado de contaminación de los ríos de Guatemala debido a la falta de una adecuada legislación para la protección de los recursos hídricos en el país, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el año 2015, indicaba que el 90% de los recursos hídricos del país se encuentran contaminados incluso con heces fecales. (MARN, 2015, p. 15).

Derivado de ello en el país aún persisten los problemas de enfermedades por contaminación hídrica, saneamiento inadecuado y malas prácticas higiénicas. En donde el impacto de la falta de servicios de agua potable y saneamiento recae, principalmente, sobre los sectores con mayor pobreza y hace un vínculo entre la falta de dichos servicios y las dimensiones de la pobreza, salud, educación, género e inclusión social (MARN, 2015, p. 15).

Actualmente el Instituto de Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) realiza monitoreos periódicos de la calidad del agua a los ríos del país considerados como los más importantes y representativos tales como el río Motagua, Polochic, Cahabón, Salinas, Negro, Matanzas, Tzelepá, Blanco, la laguna Lemoa y el lago de Izabal (INSIVUMEH, 2016, p 12). Sin embargo, los ríos de menor proporción, quebradas y riachuelos no están contemplados en este monitoreo periódico, poniendo en riesgo la salud de la población que en situación de pobreza utiliza estos recursos hídricos.

Según información proporcionada por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) en el municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso, el río Guastatoya es uno de los más representativos de la región, ya que en su recorrido abarca 22 aldeas y municipios. Adicionalmente, el último censo de población realizado en el año 2002 indica que en este mismo municipio del total de viviendas evaluadas, el 1,24% utiliza el agua del río para actividades varias del hogar, por lo que se procedió a realizar un estudio exploratorio

de la presencia de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se), debido al peligro que supone la exposición a los mismos por su potencial de bioacumulación en los organismos vivos (Barrenextea, Pérez Serrano, & Rodriguez, 2003, p. 88).

Para el desarrollo del estudio exploratorio se realizó un procedimiento de muestreo durante la época seca (noviembre 2016) y época lluviosa (junio 2017), obteniendo un total de 44 muestras, las cuales posteriormente fueron preparadas por una digestión ácida y analizadas por espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo (ICP/ICP-USN), los resultados obtenidos demostraron que hay presencia de metales pesados en el río Guastatoya. En la época seca se determinó que los puntos de muestreo 1, 10 y 11 correspondientes a las aldeas Cromo, Puente Blanco y La Vega (área 1) sobrepasan los límites máximos permisibles (LMP) para cadmio según la norma COGUANOR 29001, los puntos 4 y 12 correspondientes a las aldeas La Libertad y La Vega (área 2) sobrepasaron los LMP para plomo y los puntos 1 y 19 correspondientes a las aldeas Cromo y El Calvario sobrepasaron los LMP para selenio.

Se estableció que la concentración de metales pesados es más alta durante la época seca, por lo que existiría un riesgo mayor de exposición a metales pesados en dicha época; sin embargo, en la época lluviosa se detectó una disminución significativa en la concentración de metales pesados cumpliendo con los lineamientos establecidos por la norma NTG COGUANOR 29001 en todos los puntos muestreados.

I. INTRODUCCIÓN

El municipio de Guastatoya se caracteriza por ser una región árida, con temperaturas que oscilan entre 20 y 35 °C (Segeplan, 2010, p. 34), posee recursos hídricos en abundancia dentro de los que se encuentran 6 ríos y 29 quebradas (Segeplan, 2010, p. 35), éstos son utilizados de manera indistinta para diversas actividades, desde recreación hasta consumo. Dichas acciones han ocasionado que en los últimos años la contaminación aumente drásticamente por la utilización de fosas sépticas rudimentarias, uso de fertilizantes o pesticidas, así como basureros clandestinos que han provocado la contaminación de los mantos acuíferos de dicho municipio (Juárez, 2014, p. 51).

Uno de los mayores peligros en la contaminación de los recursos hídricos se debe a la presencia de metales pesados, elementos tóxicos que tienden a bioacumularse en los organismos vivos (Barrenextea, Pérez Serrano, & Rodriguez, 2003), generando problemas de salud que incluso pueden provocar la muerte. Como consecuencia del alto peligro que los metales pesados representan es importante determinar la presencia de los mismos en el agua que se utiliza para consumo humano y así garantizar el bienestar de las personas.

El INSIVUMEH es la organización encargada de realizar monitoreos periódicos de la calidad del agua a los ríos más importantes del país; sin embargo, no posee información de los ríos y riachuelos más pequeños debido a que no se consideran representativos.

En los últimos años no se han desarrollado estudios que provean información de la presencia de metales pesados en el municipio anteriormente mencionado.

Por lo tanto, el estudio se realizó con el objetivo de determinar la presencia de arsénico, cadmio, cromo, plomo y selenio en el río Guastatoya, siendo éste el río más representativo de la región ya que posee una longitud de 46 km y en su recorrido abarca y abastece a 22 aldeas y caseríos que disponen del agua para uso

personal, según indica el Plan de Desarrollo Municipal de Guastatoya 2010-2025 (Segeplan, 2010, p. 13).

El estudio fue realizado en los meses de noviembre 2016 (época seca) y junio 2017 (época lluviosa), e incluyó dos muestreos, cada uno con 22 puntos. La preparación de las muestras fue desarrollada mediante un procedimiento de digestión ácida y para su posterior análisis se utilizó la técnica de espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).

Los resultados obtenidos brindaron información de carácter exploratorio respecto a la contaminación del agua en el río Guastatoya por metales pesados, se logró determinar que la concentración de metales pesados es más alta durante la época seca y también se determinó que durante la época lluviosa estos valores disminuyen significativamente y no representan un peligro para las comunidades.

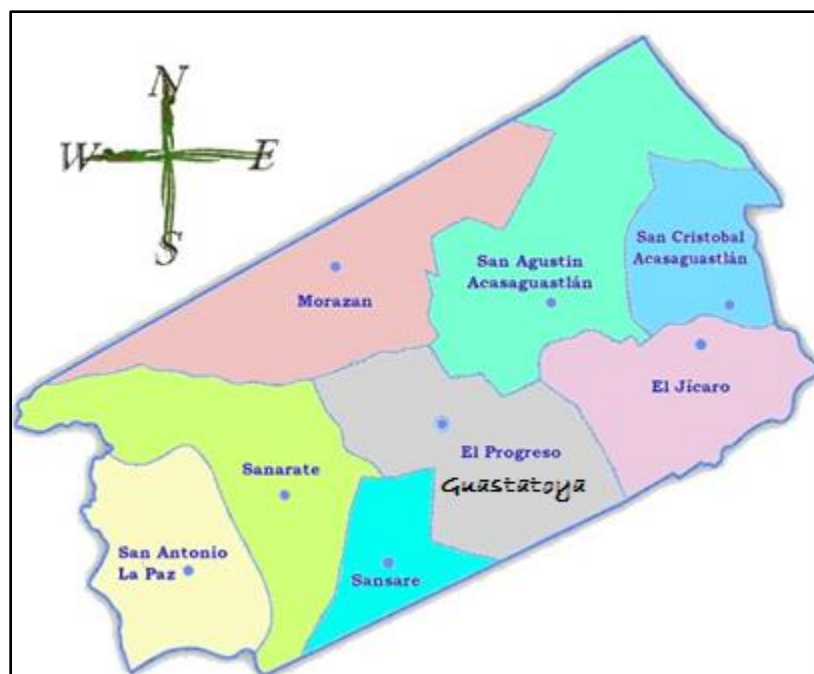
II. ANTECEDENTES

A. Municipio de Guastatoya.

1. Descripción general.

El municipio de Guastatoya, pertenece al departamento de El Progreso y es la cabecera departamental del mismo, posee una extensión territorial de 262 km² y se localiza a una altitud de 515 msnm. Dista de la ciudad capital a 74 km. (Segeplan, 2010, p. 10). Colinda al norte con los municipios de Morazán y San Agustín Acasaguastlán, al sur con el departamento de Jalapa, al este con el municipio de El Jicaro y al oeste con los municipios de Sanarate y Sansare (Segeplan, 2010, p. 10).

Figura 1: Ubicación municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso.



Fuente: Ubicación departamento de El Progreso (2011). Disponible en:
<http://www.oocities.org/baitu.geo/guatemala/elprogreso.html>

2. División territorial

El municipio de Guastatoya se encuentra dividido en cuatro microrregiones, las cuales se han clasificado tomando en consideración aspectos de accesibilidad e infraestructura (Segeplan, 2010, p. 11), esta clasificación se presenta a continuación:

Tabla 1: División territorial del municipio de Guastatoya.

Microrregión No.1	Microrregión No. 2	Microrregión No. 3	Microrregión No. 4
El Conte	El Valle	Anshagua	Quebrada Honda
La Presa	El Paraíso	El Infernillo	Santa Rita
Ojo de Agua	El Llano	El Reteguero	Palo Amontonado
El Coyol	El Chorro	Las Pilas	La Vega del Limón
La Cruz	Tierra Blanca	El Naranja	Piedra Parada
Entedila	El Barrial	Joyas	
Los Encuentros	Cueva del Negro	La Campana	
Conacaste	Casas Viejas	Las Joyas	
Cruz	Jutiapilla	La Laguneta	
Cromo	Agua Blanca	San Rafael	
El Obraje	El Calzoncillo	El Mal Paso	
La libertad o Chilzapote	El Terrerito		
El Canastillo	San Juan El Modelo		
Vista Hermosa	Los Ranchos		
Patache	La Isla		
Chigüela	El Guayabo		
La Vega	Tapaljocote		
Santa Lucia	San Marcos		
Cabecera Municipal	El Rodeo		
La Capelaria	Las Morales		
	El Subinal		
	El Brasil		

Fuente: Segeplan (2010). Plan de Desarrollo municipal Guastatoya 2011-2025. Guatemala.

La microrregión No. 1 se caracteriza por ser la población que se encuentra al centro del territorio, en esta área se encuentra la cabecera municipal y tiene acceso fácil y rápido al área urbana o la cabecera municipal (Segeplan, 2010, p. 13). Es por ello que en esta microrregión se encuentran las colonias y comunidades cercanas a la cabecera municipal.

La microrregión No. 2 se caracteriza por tener comunidades cercanas a un río perenne (río Guastatoya), donde cuenta con carreteras no asfaltadas (Segeplan, 2010, p. 13).

La microrregión No. 3 es el área del municipio que cuenta con área verde y parte de la cobertura boscosa del municipio se encuentra en esta área (Segeplan, 2010, p. 13).

La microrregión No. 4 tiene las características de ser comunidades en un ambiente seco y espinoso donde el cultivo de limón es una fuente importante dentro de la economía campesina. Cuenta con ríos intermitentes a su favor (Segeplan, 2010, p. 13).

3. Clima del municipio.

Es considerado como una de las zonas más secas de Centroamérica debido a que se encuentra en la zona denominada corredor seco (Van der Zee, Proveda, Picado, & Van der Zee Arias, 2012, p. 10). En el municipio se tiene diferenciado dos tipos de climas, a pesar de no estar bien marcadas las diferencias (Segeplan, 2010, p. 34):

- ✓ Templado, ubicándose en la parte alta, donde se localizan las comunidades de Santa Rita, San Rafael, Anshagua, El Infiernillo, El Naranjo y La Campana. Esta zona se caracteriza por ser semiárida con matorrales de vegetación (Segeplan, 2010, p. 34).

- ✓ Cálido, en donde se ubican las comunidades de El Subinal, Las Morales, Tierra Blanca, Casas Viejas, Santa Lucía, Palo Amontonado, Piedra Parada, El Callejón, La Libertad, El Obraje, y la Cabecera municipal (Segeplan, 2010, p. 34).

La temperatura del municipio oscila entre 20°C a 35°C, tiene un promedio de 109 días de lluvia, con una precipitación que varía entre 500 a 700 mm por año (Segeplan, 2010, p. 34). Debido a que presenta uno de los climas más secos y calurosos del país, se marcan claramente dos estaciones usuales: seca de octubre a marzo y lluviosa de mayo a septiembre (Juárez, 2014, p. 28).

4. Recursos hídricos.

El agua es esencial para todas las formas de vida (Jiménez, 1994, p. 10) y es el recurso natural más importante para el ser humano ya que se utiliza para consumo, preparación de alimentos, limpieza de hogares, aseo personal y cultivos (Cervantes, 2004, p. 5). El municipio de Guastatoya está irrigado por diferentes ríos, riachuelos y nacimientos pertenecientes a la vertiente del Atlántico, los cuales se mencionan a continuación:

a. Ríos:

- ✓ Anshagua
- ✓ Grande o Motagua
- ✓ Guastatoya

b. Riachuelos:

- ✓ La Libertad
- ✓ Santa Rita
- ✓ El Astillero
- ✓ Patache

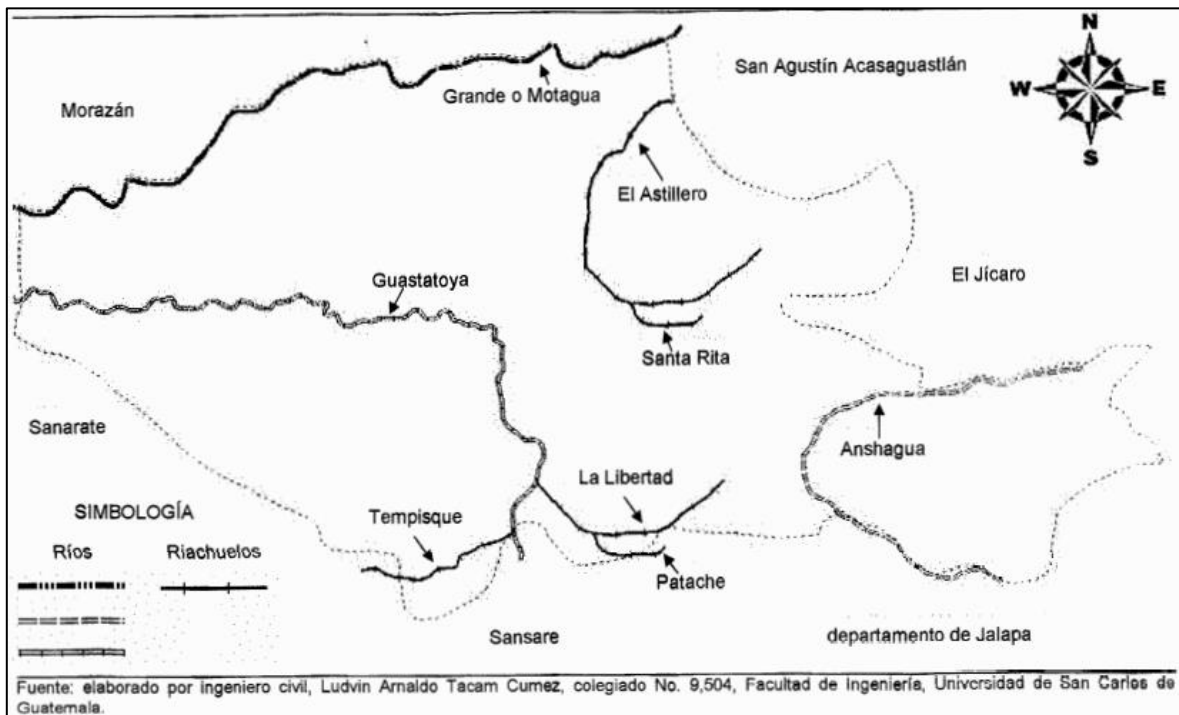
c. Nacimientos:

- ✓ El Naranjo
- ✓ Anshagua
- ✓ Patache Arriba
- ✓ La Laguneta
- ✓ Agua Blanca
- ✓ Los chorros
- ✓ Ojo de Agua

5. Río Guastatoya.

Proviene del departamento de Jalapa, tiene una longitud de 46 km y desemboca en la cuenca del Motagua, es utilizado para lavado de ropa, riego, extracción de piedra o arena. Se encuentra contaminado por el desagüe de aguas residuales de las viviendas del casco urbano y esta se incrementa en invierno por la basura que transportan las quebradas y riachuelos (Juárez, 2014, p. 8).

Figura 2: Ubicación de los principales ríos del municipio de Guastatoya.



Fuente: Juárez, A (2014). Administración de riesgo. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

B. Contaminación de los ríos ubicados en el municipio de Guastatoya.

Los principales contaminantes son: aguas residuales, lubricantes, animales muertos, cloro y basura. Los ríos son explotados para la extracción de arena, riego de cultivos y también son utilizados para lavar ropa, trastos, carros y animales (Juárez, 2014, p. 53).

También se pueden encontrar contaminantes como la sangre de los rastros, desechos sólidos, detergentes, cloro, químicos, entre muchos más que son vertidos a los ríos y representan una amenaza que afecta a los habitantes de los poblados ubicados a las orillas del río Guastatoya y además trae consigo enfermedades en la población, pérdida de oxígeno en el agua y muerte de peces, así como escasez de agua que podría utilizarse para el riego de cultivos y otros (Juárez, 2014, p. 66).

Adicionalmente, los caseríos que se encuentran más cercanos al río no cuentan con drenajes y alcantarillados, únicamente con tuberías que llevan hacia los ríos las aguas residuales.

En el área urbana si existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales para todo el casco urbano, las cuales realizan el tratamiento de aguas residuales mediante un proceso de separación de desechos sólidos, cloración por goteo y una sedimentación final para la eliminación de lodos, éstas luego de ser tratadas son vertidas al río (Juárez, 2014, p. 30). En el área rural las aguas residuales van directamente al río sin tratamiento alguno a través de tuberías de las cuales algunas están expuestas lo cual genera contaminación ambiental, malos olores y posibles enfermedades en la población (Juárez, 2014, p. 66).

Derivado de la falta de educación ambiental de los pobladores, la falta de cuidado de los nacimientos, utilización de sistemas de riego inadecuados, uso de letrinas y basureros se incrementa la contaminación del agua subterránea.

Se cuenta con 4 plantas de potabilización de agua ubicadas en la cabecera municipal para el suministro de agua a las viviendas (Segeplan, 2010, p. 37). La mayoría de los centros poblados la ingieren directamente de los nacimientos que

brotan sin ningún tipo de tratamiento, la no distribución de los recursos y la constante contaminación ocasiona que estos disminuyan en cantidad y calidad (Juárez, 2014, p. 53).

C. Presencia de metales nocivos en el agua.

La presencia en el agua de trazas de metales pesados, también conocidos como contaminantes o elementos tóxicos, se debe en gran parte a los residuos de la actividad industrial, además de las causas naturales, elementos como arsénico, cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo, mercurio, cromo o cinc entre otros, son potencialmente peligrosos para la salud, por lo que se hallan sometidos a control por las organizaciones gubernamentales de cada país (Martí, 2002, p. 97). La contaminación del ambiente por causas naturales se debe generalmente a la erosión natural. La contaminación antropogénica deriva exclusivamente de la actividad humana: la industria, los asentamientos humanos (pueblos, ciudades) y la actividad doméstica (Ruíz & Axpucaca, 2014, p. 11).

Los metales pesados son los contaminantes más peligrosos debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. La toxicidad de los metales depende del grado y la forma de oxidación de un ion metálico y que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna (Barrenextea, Pérez Serrano, & Rodríguez, 2003, p. 88).

1. Arsénico.

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre ampliamente distribuido en todo el medio ambiente (Cisneros, 2001, p. 54). Generalmente, se encuentra en la naturaleza en forma de minerales comunes, los compuestos con arsénico tienen diversas aplicaciones industriales agrícolas, el uso más común es

en insecticidas, fungicidas y herbicidas. También se utiliza en la fabricación de vidrio, fuegos artificiales y pinturas. La contaminación de los mantos acuíferos con arsénico es provocada por la incorporación de contaminantes desde la superficie, relacionado con actividades humanas, así como también, por los procesos naturales de interacción agua-roca ocasionados por ambientes geológicos específicos (Bocanegra, 2002, p. 22).

Los compuestos más tóxicos son el trióxido y el pentóxido de arsénico, comercialmente utilizados como raticidas, insecticidas y herbicidas. Exposiciones crónicas al arsénico provocan daños cardiacos, por ingestión, causa dolor abdominal, vómito, disminución del apetito, debilidad, diarrea y estreñimiento alternados, neuritis, dermatitis y caída de pelo (Cisneros, 2001, p. 54). La NTG COGUANOR 29001 establece un máximo de 0,010 mg/L en aguas utilizadas para consumo humano.

2. Cadmio.

El cadmio procede de vertidos industriales, de tuberías galvanizadas deterioradas (Ruíz & Apxuaca, 2014, p. 13) o de la presencia de alguna fuente de contaminación proveniente de la utilización de fertilizantes fosfatados, derivados de lodo (biosólidos), compost o contaminación por aguas residuales (Ballesta, 2017, p. 45-46). Las liberaciones de cadmio también ocurren por la erosión de minerales de cadmio contenidos en rocas de las aguas de ríos y océanos, de igual manera los incendios forestales y los volcanes realizan descargas naturales al aire. Las actividades mineras, la combustión de combustibles fósiles y residuos domésticos también pueden contribuir a los niveles de cadmio en el ambiente (Busto & Yacila, 2015, p. 30).

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado también puede provenir de los efluentes de refinerías de metales o de líquidos de escorrentía de baterías usadas o pinturas (Busto & Yacila, 2015, p. 31).

La intoxicación por cadmio se manifiesta por una variedad de patologías que incluyen: disfunción y lesión renal, hipertensión, daños pulmonares, lesiones óseas, disfunciones sexuales, carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis. Dependiendo de la dosis y de la ruta de entrada resultan diferentes tanto los efectos agudos como los crónicos (Repetto, 1995, p. 403). La NTG COGUANOR 29001 establece un máximo de 0,003 mg/L en aguas utilizadas para consumo humano.

3. Cromo.

El cromo es un elemento abundante en la corteza terrestre, pudiendo encontrarse en diferentes estados de oxidación, tales como Cr(II), Cr(III) o Cr(VI); sin embargo, son las formas trivalente y hexavalente las que presentan importancia biológica y toxicológica (Camean & Repetto, 2012, p. 338).

Se encuentra naturalmente en rocas, animales, suelos y plantas, donde existe en combinación de otros elementos para formar varios compuestos. Este elemento se puede encontrar en el agua debido a la industria del cromado, el empleo de conexiones en circuitos de enfriamiento de agua y acondicionamiento de aire, el agua de torres de enfriamiento a las que se añade cromo para evitar la corrosión y los catalizadores de síntesis orgánica y fotografía. El cromo (III) rara vez se presenta en el agua potable, desafortunadamente, en el agua clorada o aireada es el cromo (VI) la forma predominante. (Cisneros, 2001, p. 57).

En su estado de oxidación III, el cromo tiende a formar complejos con aniones inorgánicos u orgánicos, en ausencia de estos forman óxidos hidratados coloidales en medio neutro. En las condiciones de pH de aguas naturales es improbable la existencia de grandes concentraciones de Cr (III) ya que precipita como hidróxido de cromo. El cromo (VI) es muy soluble, las condiciones oxidantes y de pH > 5 típicas de las aguas superficiales determinan que predomine el estado de oxidación VI (Matteoda, 2009, p. 621).

Los principales efectos del cromo son ulceraciones, perforación del septum nasal, dermatitis irritativa y alérgica, así como neumoconiosis. Los principales efectos crónicos son necrosis tubular renal, necrosis hepatocelular, ulceración y gastritis, trombocitopenia, asma y shock cardiovascular. Hay suficiente evidencia de su carcinogenicidad en humanos (Repetto, 1995, p. 323). La NTG COGUANOR 29001 establece un máximo de 0,050 mg/L de cromo total en aguas utilizadas para consumo humano.

4. Plomo.

Las principales fuentes de plomo son los gases de escape de automóviles que usan gasolina con plomo y pinturas (Ruíz & Axpucaca, 2014). Se utiliza en la fabricación de tanques de almacenamiento, pipas, tuberías, soldaduras y equipo resistente a la corrosión. En la industria química se emplea en la refinación de petróleo, en la industria automovilística para la elaboración de tetraetilo de plomo y en la de pigmentos, para pinturas y barnices. Forma parte de las pilas eléctricas, vidrio, cristal y cerámica vidriada. También, se usa en la metalurgia en varias aleaciones. Es un desecho en la combustión del carbón y petróleo, de la industria metalmeccánica y de la cementera. Otra fuente de plomo es la minería (Cisneros, 2001, p. 60).

El plomo persiste en el suelo, aire, agua y ambientes laborales. Entre las fuentes naturales de plomo existentes se incluyen las de características geológicas y emisiones volcánicas (Figuroa, 2004, p. 9). El plomo puede entrar en el agua a través de la corrosión de las tuberías que todavía están compuestas de este elemento (Ramos Castillo & Salas Córdova, 2015, p. 17).

El plomo se considera como un veneno fuerte y acumulativo. Afecta los sistemas hematopoyético y nervioso. Fácilmente llega a causar la muerte (Cisneros, 2001, p. 60). La NTG COGUANOR 29001 establece un máximo de 0,010 mg/L en aguas utilizadas para consumo humano.

5. Selenio.

El selenio es una sustancia natural, ampliamente distribuida en la corteza terrestre, se encuentra comúnmente en rocas y en el suelo, por lo que es común encontrar grandes dosis de este compuesto en los pozos cercanos. Las concentraciones de selenio en el agua para beber son muy variables según la zona geográfica. La principal fuente de selenio para la población en general son los alimentos como cereales, carne y pescado (Cisneros, 2001, p. 60).

El selenio se usa en la manufactura de rectificadores para la industria electrónica, la elaboración de pigmentos, vidrio y pintura, como agente vulcanizador de caucho, como insecticida, en fotografías y fotostáticas (Cisneros, 2001, p. 61). Es un componente común en artículos de limpieza como el shampoo anticaspa (Pohanish, R. 2012, p. 2347) y como ingrediente en medicamentos, suplementos nutritivos, aplicaciones de vidrio, plásticos y pesticidas (Molina, R. et al, 2015. p. 30).

El selenio en altas concentraciones en el organismo produce inflamación, irritaciones, degeneración del hígado y problemas gastrointestinales (Fernández, A, 2001, p. 88).

D. Disponibilidad de agua en el municipio de Guastatoya.

La fuente de agua para el abastecimiento del municipio de Guastatoya se obtiene por medio de agua subterránea o pozos (Segeplan, 2010, p. 28).

El servicio de agua potable tiene actualmente una cobertura del 99 % de las viviendas del municipio, aunque posee grandes dificultades, ya que no es constante, pues el mismo es racionado por sectores, debido a la escasez del líquido. Esta situación se da en la cabecera municipal al igual que en las comunidades. El servicio es proporcionado por medio del sistema de pozos, mediante extracción mecánica (Segeplan, 2010, p. 28).

Según datos obtenidos del VI censo de vivienda realizado en el año 2002, se contabilizaban un total de 4 267 viviendas, de las cuales 92,06 % de ellas contaba con conexión domiciliar y chorro de uso exclusivo, 2,34 % de viviendas utilizaban chorro público, 2,37 % utilizan otro tipo de fuente de agua, 1,99 % de las viviendas con chorro para el uso de varios hogares y el 1,24 % restante utilizan pozo comunal, agua de camión o tonel, agua de río, lago o manantial.

Juárez (2014) en su proyecto de tesis realizó una encuesta acerca de la disponibilidad del servicio de agua en los hogares del municipio de Guastatoya donde se expresa lo siguiente: “El 3 % de los hogares encuestados no cuenta con el servicio, lo que equivale a 18 hogares, de los cuales 13 utilizan agua de pozo propio, uno de nacimiento y cuatro agua extraída del río”, haciendo referencia a las comunidades cercanas al río Guastatoya, que es el más representativo de la región.

Tabla 2: Cuadro comparativo de la disponibilidad del agua municipio de Guastatoya.

Servicio	Censo1994 hogares	%	Censo 2002 hogares	%	Muestra 2013	%
Agua Con servicio	2 369	80	4 113	96	566	97
Sin servicio	600	20	154	4	18	3
Total	2 969	100	4 267	100	584	100

Fuente: Juárez, A (2014). Administración de Riesgo. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. Guatemala.

E. Análisis de metales pesados por espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)

El principio de la técnica ICP OES consiste en la introducción de una muestra líquida previamente digerida y filtrada al equipo, la cual es convertida en aerosol en

un proceso llamado nebulización, el aerosol formado es transportado al plasma donde es desolvatado, vaporizado, atomizado, excitado e ionizado por el plasma, los átomos excitados emiten su radiación característica la cual es convertida en la longitud de onda correspondiente (Boss & Freedon, 2004, p. 14). La radiación detectada es convertida en señal electrónica que posteriormente se procesa como la concentración del analito (Boss & Freedon, 2004, p. 2-5). Los análisis que se pueden realizar mediante esta técnica corresponden a prácticamente todos los elementos de la tabla periódica en una amplia variedad de muestras líquidas y sólidas.

La técnica por espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo tiene la ventaja que puede determinar varios elementos de manera simultánea, es decir la muestra solo necesita ser digerida una vez para determinar la cantidad de elementos presentes en ella que se desee analizar (Boss & Freedon, 2004, p. 7).

Así mismo, posee rangos lineales más dinámicos, los cuales se encuentran en el orden de 10^6 unidades, eliminando así la necesidad de realizar diluciones en muestras con altas concentraciones de elementos y ofreciendo la ventaja de disminuir el tiempo de análisis para cada muestra, esto no se puede realizar con la técnica de absorción atómica ya que su rango lineal es de 10^3 unidades (Tyler, p. 7).

El análisis por plasma de acoplamiento inductivo también posee la ventaja de que presenta pocos problemas de interferencias, debido a que la generación del plasma se lleva a cabo a una temperatura de 10 000 K, se garantiza que todas las especies presentes de un mismo elemento sean detectadas e inclusive mediante esta técnica puede detectarse elementos como el boro y no metales (cloro y silicio) que la técnica de absorción atómica no puede (Tyler, p. 8), además la baja temperatura utilizada en absorción atómica (2 000 °C) ocasiona interferencias químicas que no se observan con la técnica ICP.

Los límites de detección del ICP-OES además pueden llegar a ser comparables con los obtenidos con un equipo de absorción atómica de llama (Boss & Freedon, 2004, p. 2-11). En la siguiente tabla se puede observar un análisis comparativo de los límites de detección obtenidos con la técnica de absorción atómica y plasma de acoplamiento inductivo.

Tabla 3: Límites de detección de las técnicas de análisis ICP-OES vs AA.

Elemento	Absorción atómica por llama ($\mu\text{g/L}$)	Absorción atómica por horno de grafito ($\mu\text{g/L}$)	Plasma de acoplamiento inductivo (ICP) ($\mu\text{g/L}$)
Arsénico	<0,50	<1,00	< 5,00
Cadmio	<5,00	<0,03	<0,50
Cromo	<10,0	<0,15	<1,00
Plomo	<20,0	<0,50	<5,00
Selenio	<1000,0	<1.00	<5,00

Fuente: Tyler, G. ICP-OES, ICP-MS and AAS Techniques compared. Longjumeau, Francia. 11 p.

La velocidad de análisis de muestra utilizando la técnica ICP-OES corresponde a 2 min/muestra (esto incluye todos los analitos de interés), mientras que en la técnica de AA la velocidad corresponde a 4 min/elemento (Tyler, p. 9). Esto significa que, si una muestra será analizada para cinco elementos, la técnica de AA tardará 10 veces más en realizar el análisis que la técnica por ICP.

Desde el punto de vista económico la técnica de plasma de acoplamiento inductivo tiene un valor 2 veces superior respecto a la técnica de absorción atómica; sin embargo, las ventajas que ofrece la técnica ICP generan una mejor rentabilidad en laboratorios donde la necesidad de análisis de grandes volúmenes de muestras supera el costo del equipo. Geoff Tyler en su análisis comparativo de ICP vs AA indica: “Los bajos costos de la técnica de absorción atómica tienen un futuro en laboratorios pequeños con necesidades simples”

El equipo ICP-OES posee diferentes opciones para la introducción de la muestra, uno de ellos es el nebulizador ultrasónico, que tiene la ventaja de mejorar la eficiencia de introducción de la muestra, la mejor sensibilidad obtenida se puede utilizar para mejorar los límites de detección en un factor de 10 aproximadamente (Nolte, 2000).

El principio de funcionamiento del nebulizador ultrasónico corresponde a utilizar fuerzas mecánicas de un transductor oscilante, el cual rompe la muestra líquida en gotas extremadamente finas y con un tamaño relativamente uniforme. Debido a que la formación de este fino aerosol es tan eficiente, se coloca un sistema de desolvatación que consiste en un tubo calentado y un condensador que se encuentra después de la cámara de nebulización para eliminar la mayor parte del agua (Perkin Elmer, 2017).

III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país con un alto número de personas de escasos recursos que tienen acceso limitado a la mayoría de servicios básicos como agua potable, energía eléctrica y otros (Torres, 2008, p. 3), a pesar de que el país posee un recurso natural hidrológico abundante que permite abastecer a la población en general, la falta de cumplimiento de las normas existentes para la protección del agua ha provocado que el 90% de las aguas superficiales estén contaminadas con heces fecales y otros desechos perjudiciales para la salud. La ingesta de agua contaminada tiene una alta incidencia en los casos de enfermedades diarreicas, lo que, a la vez, tiene una gran influencia en la aparición de problemas de nutrición, especialmente en niños menores de cinco años (MARN, 2015, p. 15).

En el municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso se ha descubierto que los recursos hidrológicos disponibles se encuentran contaminadas por desechos provenientes de diversas fuentes tales como fosas sépticas, fertilizantes, pesticidas y basureros clandestinos (Juárez, 2014, p. 51), además, el censo de población y habitación realizado en el año 2002 por el Instituto Nacional de Estadística (INE) indica que en el municipio de Guastatoya el 1,24% de la población utiliza agua del río para abastecer sus necesidades diarias.

Otro estudio realizado por Abner Juárez (2014) indica que el 3% de los hogares del municipio no cuentan con el servicio de agua, lo que equivale a que 1 de cada 4.5 hogares deban utilizar el agua para consumo humano proveniente directamente de los ríos que se ubican en dicho municipio. Adicionalmente, el Plan de Desarrollo Municipal de Guastatoya El Progreso 2010-2025 indica que el río Guastatoya es el más grande del municipio y en su trayectoria se ubican 22 aldeas y caseríos que utilizan el agua del río para diversas actividades.

Debido a que el agua es un producto esencial para todas las formas de vida y es el recurso natural más importante para el ser humano, ya que se utiliza para su

consumo, preparación de alimentos, limpieza de hogares, aseo personal y cultivos (Juárez, 2014, p. 27), es indispensable, que cumpla con los parámetros mínimos aceptables que indica la norma NTG COGUANOR 29001 para considerarla como agua apta para consumo humano y así evitar la posible propagación de enfermedades gastrointestinales y enfermedades derivadas de la exposición crónica a ciertos elementos.

Silvia Cervantes (2004) en su proyecto de tesis sobre el estudio de la calidad del agua en el municipio de Guastatoya determinó las principales características fisicoquímicas y microbiológicas del agua potable de dicho municipio; sin embargo, no posee información sobre la presencia de metales pesados en el agua. La importancia de determinar la presencia de los mismos en fuentes de agua radica en el alto nivel de contaminación que producen debido a la elevada tendencia que poseen de bioacumularse y biomagnificarse a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas ocasionando graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Barrenextea, Pérez Serrano, & Rodríguez, 2003, p. 88).

Los datos obtenidos de esta investigación proporcionan información de carácter exploratorio acerca de los niveles de metales pesados en el río Guastatoya, así mismo, la información obtenida será de utilidad para el desarrollo de estudios posteriores que amplíen la información existente respecto a la calidad del agua del río Guastatoya y será de beneficio para las poblaciones cercanas ubicadas en las cercanías del río Guastatoya.

IV. OBJETIVOS

a. Objetivo general

- ✓ Determinar la presencia de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en los puntos de muestreo del río Guastatoya, ubicado en el municipio de Guastatoya El Progreso.

b. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la presencia de cadmio, cromo y plomo en el río Guastatoya utilizando espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES).
- ✓ Determinar la presencia de arsénico y selenio en el río Guastatoya utilizando espectroscopía de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo asistido con nebulización ultrasónica (USN-ICP-OES).
- ✓ Comparar los valores de arsénico, cadmio, cromo, plomo y selenio encontrados en el río Guastatoya con los límites máximos permisibles establecidos por la NTG COGUANOR 29001 para metales pesados.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

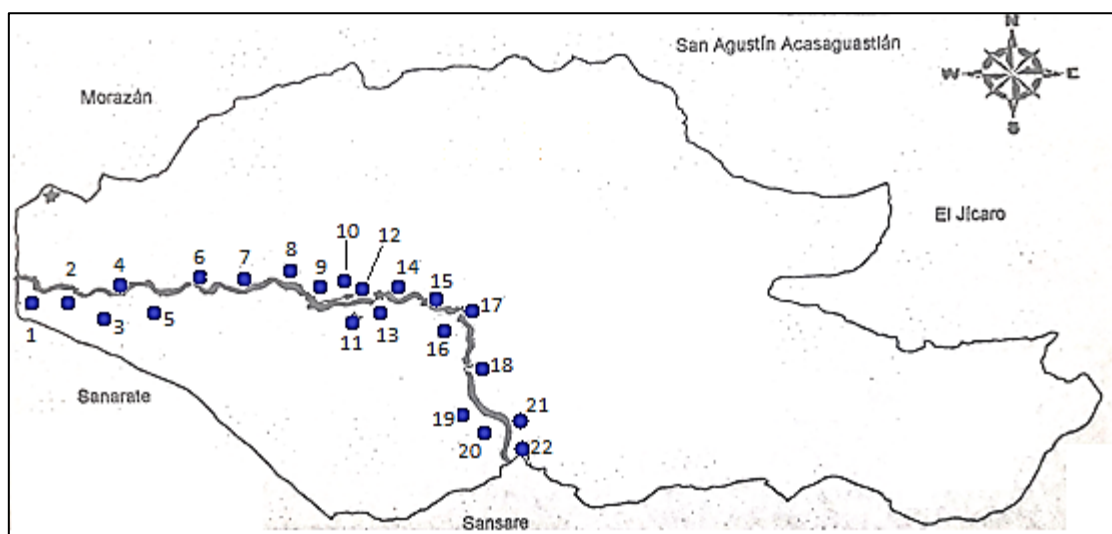
A. Universo.

Agua proveniente del río Guastatoya ubicado en el municipio de Guastatoya departamento de El Progreso.

B. Muestra.

1. Se tomaron un total de 44 muestras obtenidas de las comunidades y caseríos del municipio de Guastatoya.
2. Se realizaron dos muestreos, en los meses de noviembre 2016 y junio 2017. En cada muestreo se recolectaron 22 muestras.
3. Todas las determinaciones se efectuaron por triplicado.

Figura 3: Ubicación de los puntos de muestreo en el río Guastatoya.



Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de muestreo fueron establecidos por conveniencia, tomando en consideración la facilidad de acceso al río en los caseríos establecidos.

C. Recursos.

1. Humanos.

Autor: Br. Loida Sarai Morales Garcia

Asesora: Licda. Rosa Patricia Navas Nájera.

2. Institucionales.

Empresa Soluciones Analíticas S.A.

3. Materiales.

3.1. Equipo de laboratorio.

- ✓ Horno de microondas, con potencia 1 500 W CEM Mars 6.
- ✓ Vasos de digestión TFM con capacidad 100 mL.
- ✓ Balanza analítica con capacidad de 0,001 g.
- ✓ Nebulizador ultrasónico Cetac U5000AT+.
- ✓ Espectrofotómetro de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) Optima 8300 DV.
- ✓ Pipeta automática de 10 a 50 μ L.
- ✓ Pipeta automática de 100 a 1 000 μ L.
- ✓ Pipeta automática de 1 a 10 mL.

3.2. Cristalería de laboratorio.

- ✓ Probeta de vidrio de 50 mL.

- ✓ Balones de aforo de vidrio con capacidad 100 mL.
- ✓ Balones de aforo de vidrio con capacidad de 50 mL.

3.3. Misceláneos.

- ✓ Pissetas plásticas con capacidad 100 mL.
- ✓ Recipientes de plástico herméticos, con capacidad 500 mL.
- ✓ Embudos Plásticos.
- ✓ Papel filtro Whatman No. 2.

3.4. Reactivos.

- ✓ Ácido nítrico concentrado, grado analítico.
- ✓ Ácido nítrico, grado ultrapuro.
- ✓ Agua desmineralizada.
- ✓ Solución estándar para ICP Arsénico 1 000 ppm.
- ✓ Solución estándar para ICP Cadmio 1 000 ppm.
- ✓ Solución estándar para ICP Cromo 1 000 ppm.
- ✓ Solución estándar para ICP Plomo 1 000 ppm.
- ✓ Solución estándar para ICP Selenio 1 000 ppm.
- ✓ Solución multielemental de 100 ppm Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo y Selenio.

4. Métodos.

4.1. Muestreo y preservación de la muestra¹.

4.1.1. Las muestras fueron recolectadas en recipientes de plástico de 500 mL provenientes de cada uno de los puntos de muestreo establecidos, se tomó en consideración que el muestreo debía

¹ Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales y de uso agrícola. Soluciones Analíticas 2011.

realizarse lejos de las costas y a una profundidad de 20 centímetros.

4.1.2. A cada una de las muestras se le adicionó ácido nítrico concentrado hasta obtener $\text{pH} < 2,0$. Las muestras preservadas pueden almacenarse hasta un máximo de 6 meses.

4.2. Digestión de la muestra².

4.2.1. Se tomó una alícuota de 45 mL de muestra debidamente homogenizada y se trasvasó a un vaso de digestión.

4.2.2. Se adicionaron $5 \pm 0,1$ mL de ácido nítrico concentrado grado ultrapuro.

4.2.3. Los vasos de digestión fueron cerrados asegurándose de haber sellado correctamente todos los vasos. Se limpiaron posibles residuos que pudieron haber quedado en el exterior del recipiente, se colocaron los vasos de digestión dentro del microondas y se cerró la puerta del mismo.

4.2.4. Las muestras fueron digeridas por un período de 20 minutos a una temperatura constante de $170 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.2.5. Finalizado el proceso, se dejaron enfriar los vasos de digestión a temperatura ambiente.

² Agencia de Protección Ambiental (EPA) método 3015A.

4.2.6. Los vasos de digestión fueron abiertos dentro de una campana de extracción. Las muestras que contenían partículas fueron filtradas utilizando papel filtro Whatman No. 2.

4.2.7. Las muestras ya filtradas fueron transferidas a balones aforados de 100 mL y se llevaron a volumen con agua desmineralizada.

4.3. Determinación de Cd, Cr y Pb³.

4.3.1. Preparación de reactivos.

4.3.1.1. Control de calidad: En un balón aforado de 100 mL se adicionaron 10 mL de agua desmineralizada, 5 mL de ácido nítrico grado ultrapuro y 10 µL de la solución multiestándar de 100 µg/mL de Cd, Cr y Pb. El balón se aforó con agua desmineralizada. La solución obtenida tuvo una concentración de 0,010 mg/L Cd, Cr y Pb.

4.3.2. Calibración del equipo.

4.3.2.1. Ajuste del equipo. Se establecieron las condiciones del equipo ICP de la siguiente manera:

Plasma (L/min)	Flujo auxiliar (L/min)	Flujo de nebulización (L/min)	Posición cassette	Potencia (watts)	Tiempo de lavado
15	0,2	0,5	-4,5	1 300	45

³ Agencia de Protección Ambiental (EPA) método 6010 D.

4.3.2.2. Preparación de la curva de calibración.

4.3.2.2.1. Solución madre (5 mg/L): en un balón aforado de 25 mL se adicionaron 5 mL de agua desmineralizada y 125 μ L de las soluciones estándar de 1 000 mg/L de Cd, Cr y Pb. El balón se aforó con agua desmineralizada.

4.3.2.2.2. La curva de calibración se preparó a partir de la solución madre de la siguiente forma:

Alícuota (μ L)	HNO ₃ ultrapuro (mL)	Aforo (mL)	Concentración Final (mg/L)
0	1,25	25	0,000
5	1,25	25	0,001
25	1,25	25	0,005
50	1,25	25	0,010
100	1,25	25	0,020

4.3.2.3. Lectura de las muestras.

4.3.2.3.1. Ya ajustadas las condiciones del equipo, se procedió a leer la curva de calibración, colocando cada uno de los puntos en la posición del automuestreador previamente establecidas.

4.3.2.3.2. Se leyó el control de calidad para asegurar la lectura correcta de las muestras.

4.3.2.3.3. Las muestras fueron ingresadas al sistema y se procedió a analizar.

4.3.2.3.4. El nebulizador fue lavado entre cada lectura de las muestras.

4.3.2.3.5. Las mismas fueron analizadas en triplicado y reportadas en mg/L.

4.4. Determinación de As y Se⁴.

4.4.1. Preparación de reactivos.

4.4.1.1. Control de calidad. En un balón aforado de 100 mL se adicionaron 10 mL de agua desmineralizada y 10 µL de la solución multiestándar de 100 µg/mL de As y Se. El balón fue aforado con agua desmineralizada. La solución realizada tuvo una concentración de 0,010 mg/L As y Se.

4.4.2. Calibración del equipo.

4.4.2.1. Ajuste del equipo. Se establecieron las condiciones del equipo ICP de la siguiente manera:

Plasma (L/min)	Flujo auxiliar (L/min)	Flujo de nebulización (L/min)	Posición cassette	Potencia (watts)	Tiempo de lavado
12	0,3	0,45	-4,5	1 300	1,30 min

⁴ Agencia de protección ambiental (EPA). Método 200.15

4.4.2.2. Preparación de la curva de calibración.

4.4.2.2.1. Solución madre (10 mg/L): en un balón aforado de 50 mL se adicionaron 5 mL de agua desmineralizada y 500 μ L de las soluciones estándar de 1 000 mg/L de As y Se. El balón se aforó con agua desmineralizada.

4.4.2.2.2. La curva de calibración se preparó a partir de la solución madre de la siguiente forma:

Alícuota (μ L)	Aforo (mL)	Concentración Final (mg/L)
0	50	0,000
5	50	0,001
25	50	0,005
50	50	0,010
100	50	0,020

4.4.3. Lectura de las muestras.

4.4.3.1. Ya ajustadas las condiciones del equipo, se procedió a leer la curva de calibración, colocando cada uno de los puntos en la posición del automuestreador previamente establecidas.

4.4.3.2. Se leyó el control de calidad para asegurar la lectura correcta de las muestras.

4.4.3.3. Las muestras fueron ingresadas al sistema y se procedió a analizar.

4.4.3.4. Se lavó el nebulizador del equipo entre cada lectura de las muestras.

4.4.3.5. Las mismas fueron analizadas por triplicado y reportadas en mg/L.

4.5. Diseño estadístico.

4.5.1. Diseño de muestreo:

Se obtuvieron un total de 44 muestras, las cuales corresponden a los caseríos y aldeas que se encuentran en el recorrido del río Guastatoya que fueron de fácil acceso. Las aldeas muestreadas se nombran a continuación:

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 1. Cromo | 12. La Vega área 2 |
| 2. El Obraje | 13. La Vega área 3 |
| 3. La libertad área 1 | 14. La Vega (Puente) |
| 4. La libertad área 2 | 15. Las Joyas (Ferrocaril) |
| 5. La libertad área 3 | 16. Las Joyas (Puente) |
| 6. Chigüela área 1 | 17. Las Joyas (Poza loca) |
| 7. Chigüela área 2 | 18. Las Joyas |
| 8. Chigüela (Presa) | 19. El Calvario |
| 9. El Chorro | 20. Santa Lucia |
| 10. Puente Blanco | 21. Casas Viejas |
| 11. La Vega área 1 | 22. Jacobo Arbenz |

4.5.2. Forma de muestreo.

El muestreo se realizó en cada punto establecido en el numeral anterior, en donde se recolectaron las muestras provenientes de cada caserío y aldea en donde se consideró que existía mayor concentración urbana.

4.5.3. Técnica de recolección.

La recolección de las muestras se realizó basándose en el instructivo para la recolección de muestras de aguas residuales y de uso agrícola de Soluciones Analíticas S.A. previamente descrito en el numeral 4.1.

4.5.4. Análisis de resultados.

Cada una de las muestras recolectadas fue analizada por triplicado y posteriormente se determinó el promedio y la desviación estándar del total de muestras para cada uno de los elementos previamente establecidos.

$$\bar{X} = \sum \frac{Xi}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

VI. RESULTADOS

Tabla 4: Concentración de metales en el río Guastatoya durante la época seca (noviembre 2016)⁵.

Punto	Coordenadas	Elementos (mg/L)									
		As	σ	Cd	σ	Cr	σ	Pb	σ	Se	σ
1	14,824189, -90,062986	0,004	(0,0002)	0,003	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,006	(0,0003)	0,015	(0,0002)
2	14,825363, -90,062354	0,004	(0,0003)	0,002	(0,0002)	0,002	(0,0002)	0,004	(0,0003)	0,003	(0,0004)
3	14,827595, -90,063479	0,005	(0,0004)	0,002	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,008	(0,0008)	0,003	(0,0002)
4	14,827960, -90,066208	0,004	(0,0003)	<0,0003	ND	0,001	(0,0001)	0,011	(0,0011)	0,003	(0,0002)
5	14,827897, -90,068487	0,004	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,003	(0,0004)	0,006	(0,0007)	0,002	(0,0002)
6	14,830591, -90,068639	0,004	(0,0003)	<0,0003	ND	0,002	(0,0003)	0,004	(0,0006)	0,001	(<0,0001*)
7	14,831173, -90,072590	0,005	(0,0004)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,008	(0,0007)	0,001	(<0,0001*)
8	14,833759, -90,072173	0,004	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0002)	0,001	(0,0002)
9	14,835438, -90,072436	0,004	(0,0003)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0002)	0,003	(0,0004)	0,003	(<0,0001*)
10	14,837248, -90,072333	0,003	(0,0002)	0,003	(0,0004)	0,002	(0,0002)	0,008	(0,0006)	0,004	(<0,0001*)
11	14,839578, -90,071845	0,003	(0,0003)	0,003	(0,0002)	0,002	(0,0002)	0,00	(0,0001)	0,005	(0,0001)
12	14,840481, -90,073484	0,003	(0,0002)	0,002	(0,0003)	0,002	(0,0003)	0,012	(0,0013)	0,003	(0,0002)
13	14,840961, -90,073826	0,003	(0,0003)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	<0,0007	ND	0,005	(<0,0001*)
14	14,841477, -90,072910	0,005	(0,0005)	0,002	(0,0003)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0003)	0,005	(0,0002)
15	14,842457, -90,071431	0,002	(0,0002)	0,002	(0,0002)	<0,0005	ND	0,003	(0,0001)	0,006	(0,0002)
16	14,846359, -90,072572	0,002	(0,0001)	0,002	(0,0001)	0,001	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	0,003	(0,0001)
17	14,848846, -90,072304	0,003	(0,0003)	0,002	(0,0001)	0,002	(0,0003)	0,003	(0,0003)	0,004	(0,0002)
18	14,850150, -90,072884	0,004	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	<0,0007	ND	0,001	(0,0002)
19	14,852423, -90,073508	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0002)	0,004	(0,0007)	0,011	(0,0013)
20	14,857549, -90,084341	0,003	(0,0003)	0,002	(0,0001)	0,002	(0,0002)	0,007	(0,0006)	0,006	(0,0004)
21	14,857644, -90,085477	0,003	(0,0002)	0,002	(0,0002)	0,003	(0,0001)	0,002	(0,0002)	0,004	(0,0002)
22	14,856899, -90,089990	0,003	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0003)	0,006	(0,0006)	0,005	(0,0003)
	\bar{x}	0,004	(0,0003)	0,002	(0,0002)	0,002	(0,0002)	0,005	(0,0005)	0,004	(0,0002)

*Las cifras significativas corresponden a la sensibilidad del equipo utilizado. ND: No determinado.

Fuente: Elaboración Propia.

⁵ La ubicación de los puntos de muestreo puede observarse en el Anexo 1.

Tabla 5: Concentración de metales en el río Guastatoya durante la época lluviosa (junio 2017)⁶.

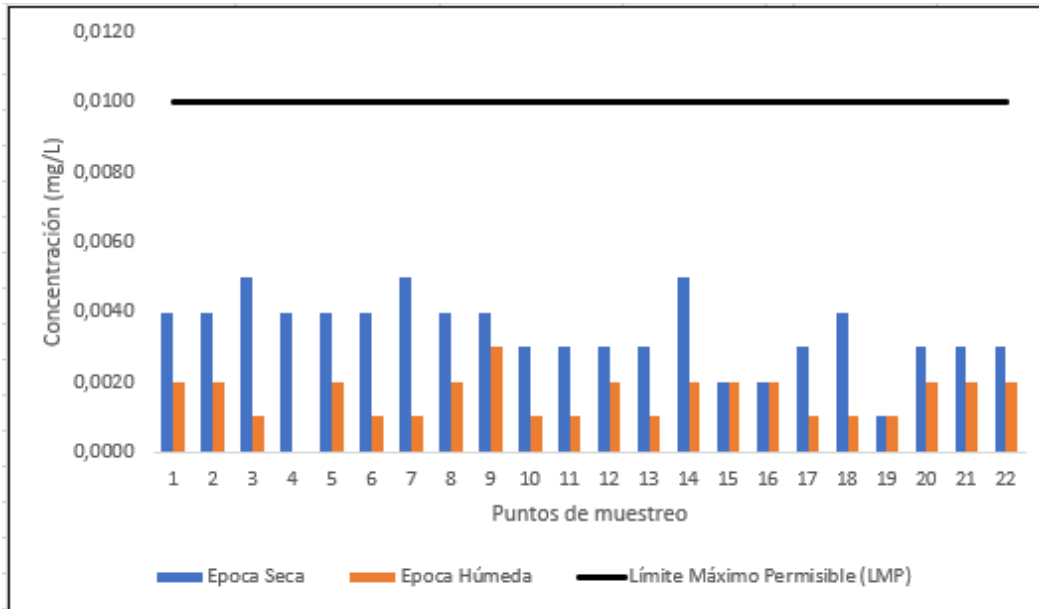
Punto	Coordenadas	Elementos (mg/L)									
		As	σ	Cd	σ	Cr	σ	Pb	σ	Se	σ
1	14,824189, -90,062986	0,002	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)
2	14,825363, -90,062354	0,002	(0,0002)	<0,0003	ND	0,001	(0,0001)	<0,0007	ND	0,001	(<0,0001*)
3	14,827595, -90,063479	0,001	(0,0001)	0,002	(<0,0001*)	<0,0005	ND	<0,0007	ND	0,001	(0,0001)
4	14,827960, -90,066208	<0,0004	ND	0,001	(0,0002)	<0,0005	ND	<0,0007	ND	0,002	(<0,0001*)
5	14,827897, -90,068487	0,002	(0,0002)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	<0,0007	ND	0,001	(0,0001)
6	14,830591, -90,068639	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,001	(0,0001)	<0,0004	ND
7	14,831173, -90,072590	0,001	(<0,0001*)	<0,0003	ND	<0,0005	ND	<0,0007	ND	<0,0004	ND
8	14,833759, -90,072173	0,002	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0002)	<0,0007	ND	0,001	(0,0001)
9	14,835438, -90,072436	0,003	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	<0,0007	ND	0,001	(0,0001)
10	14,837248, -90,072333	0,001	(0,0001)	<0,0003	ND	<0,0005	ND	<0,0007	ND	0,001	(0,0001)
11	14,839578, -90,071845	0,001	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,002	(0,0002)	0,002	(0,0001)
12	14,840481, -90,073484	0,002	(0,0001)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	<0,0007	ND	<0,0004	ND
13	14,840961, -90,073826	0,001	(0,0001)	<0,0003	ND	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0002)	0,001	(0,0001)
14	14,841477, -90,072910	0,002	(0,0001)	<0,0003	ND	<0,0005	ND	<0,0007	ND	<0,0004	ND
15	14,842457, -90,071431	0,002	(<0,0001*)	0,001	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)
16	14,846359, -90,072572	0,002	(0,0002)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,002	(0,0001)	0,002	(0,0002)
17	14,848846, -90,072304	0,001	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	<0,0005	ND	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0001)
18	14,850150, -90,072884	0,001	(0,0001)	<0,0003	ND	<0,0005	ND	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)
19	14,852423, -90,073508	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0002)	0,001	(0,0001)	0,003	(0,0002)	0,003	(<0,0001*)
20	14,857549, -90,084341	0,002	(0,0002)	0,002	(0,0001)	<0,0005	ND	0,004	(0,0002)	0,002	(0,0002)
21	14,857644, -90,085477	0,002	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)
22	14,856899, -90,089990	0,002	(<0,0001*)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0001)	0,002	(<0,0001*)
	\bar{x}	0,002	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,001	(0,0001)	0,002	(0,0001)	0,001	(0,0001)

*Las cifras significativas corresponden a la sensibilidad del equipo utilizado. ND: No determinado.

Fuente: *Elaboración Propia.*

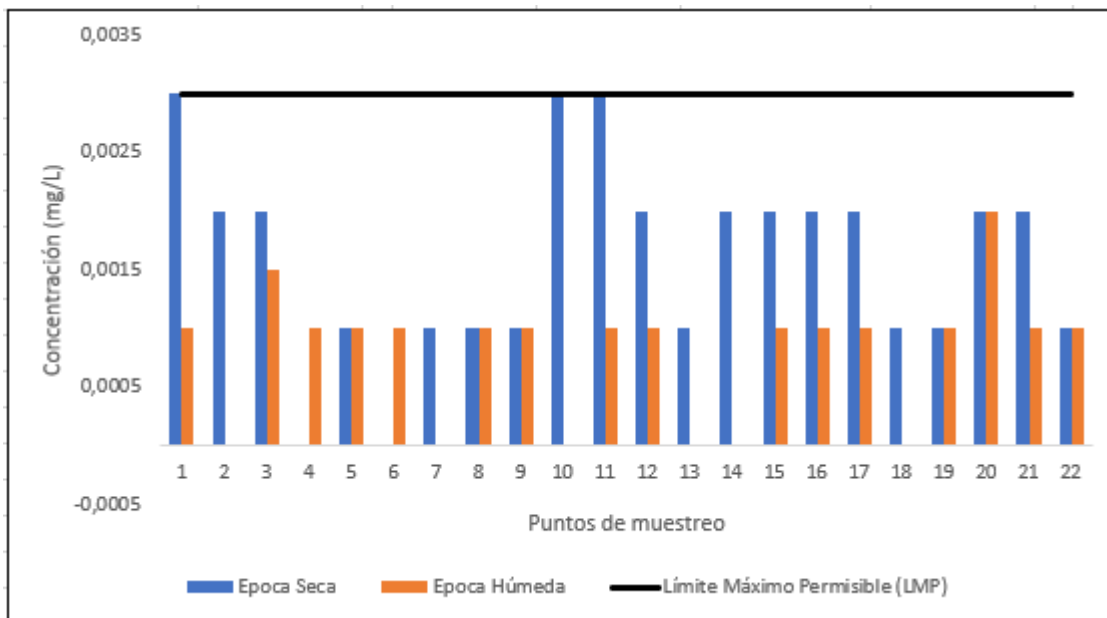
⁶ La ubicación de los puntos de muestreo puede observarse en el Anexo 1.

Figura 4: Concentración de Arsénico en el río Guastatoya.



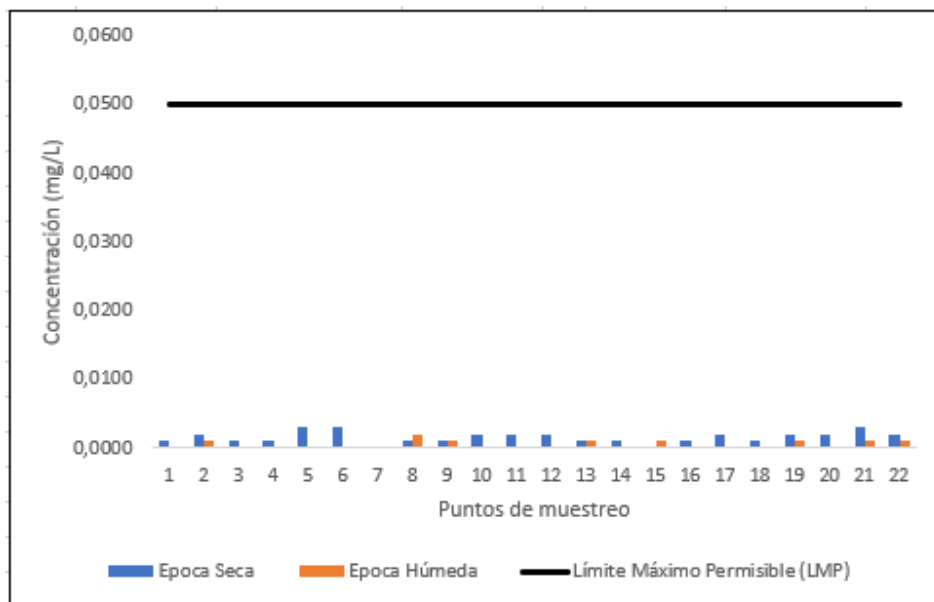
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 5: Concentración de Cadmio en el río Guastatoya.



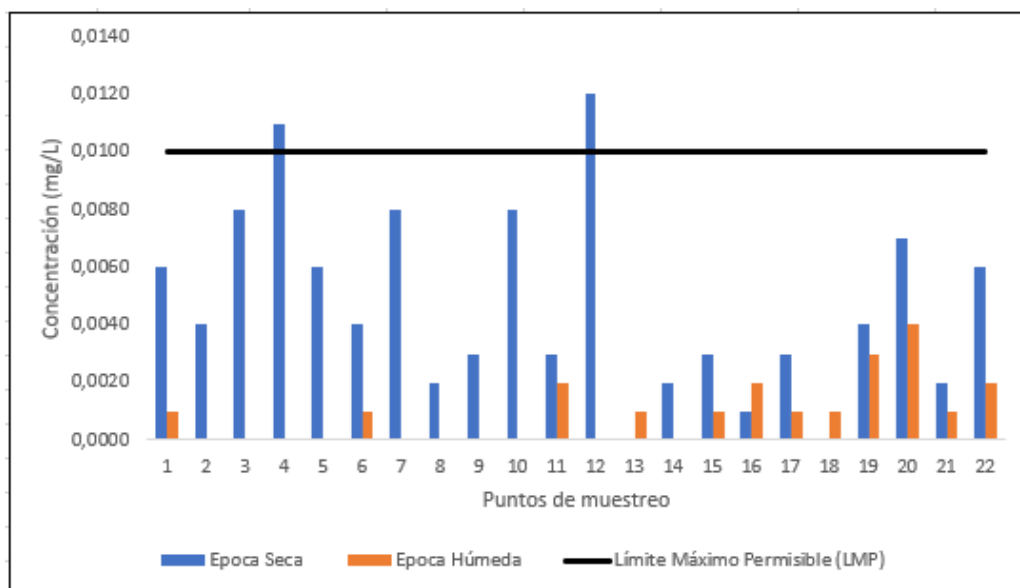
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 6: Concentración de Cromo en el río Guastatoya.



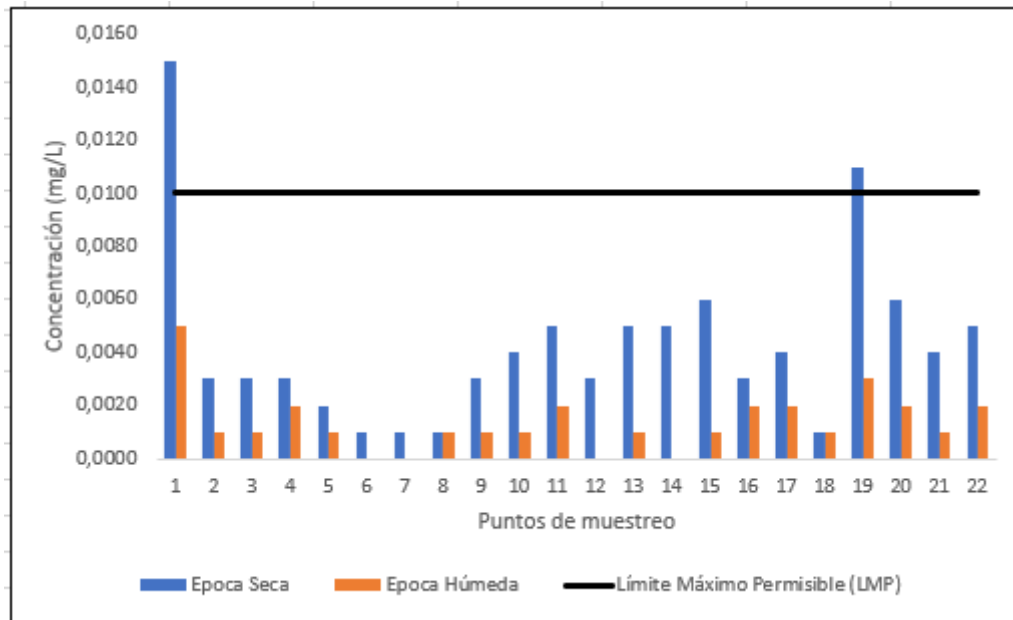
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 7: Concentración de Plomo en el río Guastatoya.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8: Concentración de Selenio en el río Guastatoya.



Fuente: Elaboración Propia.

VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la evaluación de los niveles de metales pesados en el río Guastatoya se realizó un proceso de muestreo en los meses de noviembre 2016 (época seca) y junio 2017 (época lluviosa) obteniendo un total de 44 muestras. Los puntos de muestreo pueden observarse en el anexo 1.

El primer muestreo fue realizado durante la época seca (Anexo 2, Fotografía 1), el análisis realizado en las muestras obtenidas dio evidencia de que hay presencia de metales pesados en el río Guastatoya (Tabla 4); sin embargo, los valores encontrados en la mayoría de los puntos analizados están por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) impuestos por la norma NTG COGUANOR 29001 “Agua para consumo”, los cuales corresponden a 0,010 mg/L para arsénico, selenio y plomo, 0,003 mg/L para cadmio y 0,050 mg/L para cromo.

Se puede observar que durante la época seca los puntos de muestreo 1, 10 y 11 correspondientes a las aldeas Cromo, Puente Blanco y La Vega (área 1) presentaron una concentración de 0,003 mg/L de cadmio, valor que se encuentra en el límite máximo permisible (Figura 5), y que podría indicar presencia de alguna fuente de contaminación proveniente de la utilización de fertilizantes fosfatados, derivados de lodo (biosólidos), compost o contaminación por aguas residuales (Ballesta, 2017, p. 45-46), debido a que en el área se ubican diversas propiedades con terrenos amplios que son utilizados para agricultura. También puede observarse que en los puntos de muestreo Puente Blanco (10) y La Vega (11) existen centros de recreación que tienen drenajes que desembocan directamente en el río. La presencia de cadmio en concentraciones altas implica un riesgo de toxicidad para el ser humano y se manifiesta por una variedad de patologías como lesión renal, hipertensión, daños pulmonares y otros (Repetto, 1995, p. 403).

Los puntos de muestreo 4 y 12 correspondientes a la aldea la Libertad y La Vega (área 2), presentaron una concentración de 0,011 y 0,012 mg/L de plomo

respectivamente. Estos valores se encuentran arriba del LMP (Figura 7) y como consecuencia pueden ocasionar problemas de salud a las poblaciones que se encuentran a la orilla del río. Los principales problemas de salud asociados a la exposición de plomo incluyen problemas renales, efectos neurotóxicos y efectos del sistema nervioso central (Repetto, M. 1995, p. 309).

Los puntos de muestreo 1 y 19 correspondientes a la aldea Cromo y barrio El Calvario presentaron concentraciones altas de selenio, siendo éstas 0,015 y 0,011 mg/L respectivamente (Figura 8). La presencia del mismo puede ser debido a que es un componente común en artículos de limpieza como el shampoo anticaspa (Pohanish, R. 2012, p. 2347) y como ingrediente en medicamentos, suplementos nutritivos, aplicaciones de vidrio, plásticos y pesticidas (Molina, R. et al, 2015. p. 30). En la aldea Cromo se pudo observar que el área muestreada presenta actividad humana y es utilizada como centro de recreación, pastoreo de animales y pesca. Así mismo, el área muestreada del barrio El Calvario se encuentra a escasos metros del centro del poblado por lo que es un área ampliamente utilizada como centro de recreación y lavado de ropa por la población que se encuentra a la orilla del río. El selenio en altas concentraciones en el organismo produce inflamación, irritaciones, degeneración del hígado y problemas gastrointestinales (Fernández, A, 2001, p. 88).

Los valores de arsénico y cromo se encontraron por debajo de los LMP establecidos por la norma COGUANOR 29001 tal y como se muestra en las figuras 4 y 6.

En el muestreo realizado en la época lluviosa (Anexo 2, Fotografía 2), se pudo observar que las concentraciones de As, Cd, Cr, Pb y Se, disminuyeron respecto a los valores obtenidos durante la época seca, esto debido a un efecto de dilución (Guarnizo Franco, Martínez Yepes, & Villamizar Vargas, 2008, p. 109), en

el que se observó una reducción de las concentraciones de los metales evaluados debido al aumento del volumen de agua en el río.

En los datos presentados en la tabla 5, fácilmente puede observarse que la concentración de metales pesados disminuyó en la mayoría de casos respecto a los valores obtenidos durante la época seca, por lo que ningún punto de muestreo evaluado en la época lluviosa sobrepasó los LMP indicados anteriormente (Gráficas 04 - 08).

VIII. CONCLUSIONES

1. Los puntos de muestreo No. 1, 10 y 11 presentaron concentraciones iguales a los LMP según la norma NTG COGUANOR 29001 para Cadmio durante la época seca.
2. Los puntos de muestreo No. 4 y 12 presentaron concentraciones mayores a los LMP según la norma NTG COGUANOR 29001 para Plomo durante la época seca.
3. Los puntos de muestreo No. 1 y 19 presentaron concentraciones mayores a los LMP según la norma NTG COGUANOR 29001 para Selenio durante la época seca.
4. Durante la época seca la concentración de metales pesados es mayor debido al menor volumen de agua que se encuentra disponible en el río.
5. Durante la época seca el agua del río Guastatoya no es apta para consumo humano según la norma NTG COGUANOR 29001 debido a la presencia de altas concentraciones de Cd, Pb y Se, poniendo en riesgo la salud de la población.
6. Durante la época lluviosa la concentración de metales disminuye significativamente por lo que todos los puntos muestreados están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la norma NTG COGUANOR 29001 para As, Cd, Cr, Pb y Se.

IX. RECOMENDACIONES

1. Realizar monitoreos periódicos de la calidad del agua para el control de metales pesados en el río Guastatoya con especial atención a Cadmio, Plomo y Selenio, los cuales presentaron concentraciones en el LMP para Cadmio y arriba del LMP para Selenio y Plomo.
2. Extender el estudio exploratorio del río Guastatoya para otros compuestos que sean tóxicos para el ser humano y animales tales como la presencia de plaguicidas y surfactantes.
3. Realizar una evaluación microbiológica del agua del río Guastatoya y su posible relación con las enfermedades comunes de la región.
4. Realizar una evaluación acerca de las enfermedades más comunes de la región y su posible relación con la exposición crónica a metales pesados.

X. REFERENCIAS

1. Ballesta, R. J. (2017). *Introducción a la contaminación de los suelos*. España: Mundi Prensa.
2. Barrenextea, C., Pérez Serrano, A., & Rodríguez, F. (2003). *Contaminación ambiental, una visión desde la química*. España: Paraninfo ediciones.
3. Bocanegra, O. (2002). Arsénico en aguas subterráneas: su impacto en la salud. *Groundwater and Human Development*, 21-27.
4. Boss, C., & Freedon, K. (2004). *Concepts, instrumentation and techniques in inductively coupled plasma optical emission spectrometry*. Perkin Elmer. Estados Unidos: Tercera edición.
5. Busto, G., & Yacila, J. (2015). *Determinación de Arsénico y Cadmio en aguas del río Rímac y Habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima*. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional mayor de San Marcos: Perú.
6. Camean, A. M., & Repetto, M. (2012). *Toxicología Alimentaria*. Madrid: Diaz de Santos.
7. Cervantes, S. M. (2004). *Evaluación de la calidad del agua potable de Guastatoya, cabecera municipal, del departamento de El Progreso*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
8. Cisneros, B. J. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: Limusa Noriega.
9. Comisión Guatemalteca de Normas. COGUANOR. (1999). *Agua para consumo humano. Especificaciones NTG COGUANOR 29001*. Guatemala.

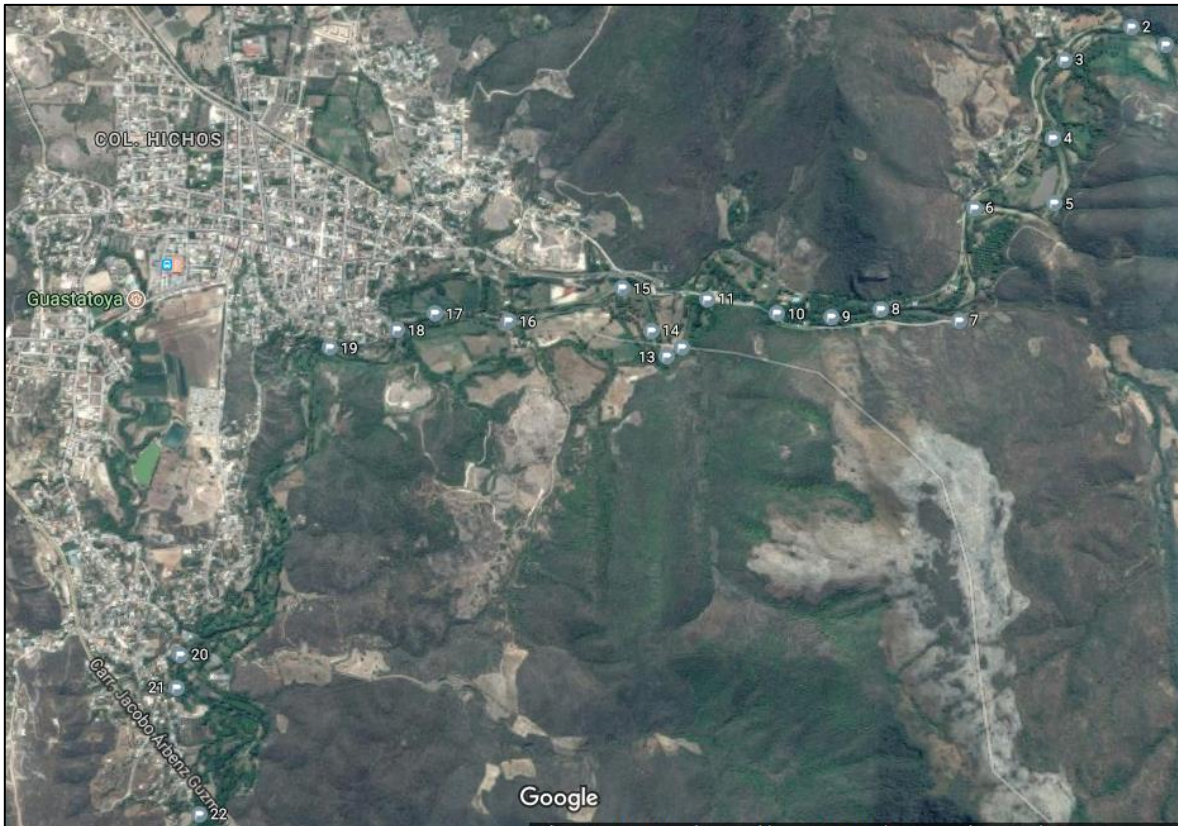
10. EPA, U. S. (1994). *Method 200.15. Determination of metals and trace elements in water by ultrasonic nebulization inductively coupled plasma atomic emission spectrometry*. Estados Unidos.
11. EPA, U. S. (1994). *Method 200.7 Determination of metals a trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-atomic Emission Spectrometry*. Estados Unidos.
12. EPA, U. S. (2007). *Method 3015A Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts*. Estados Unidos.
13. EPA, U. S. (2014). *Method 6010 D Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*. Estados Unidos.
14. Figueroa, M. (2004). *Determinación de metales trazas (Ni, Pb, Cr, Cu y As) en Scirpus Californicus*. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile: Chile.
15. Guarnizo Franco, A., Martínez Yepes, P. N., & Villamizar Vargas, R. H. (2008). *Química General Práctica*. Armenia Quindío: Ediciones Elizcom.
16. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. INSIVUMEH. (2016). *Calidad del agua superficial de varias cuencas de la República de Guatemala*. Guatemala.
17. Jiménez, F. (1994). *El ciclo hidrológico y el hombre: hacia un uso sostenible del agua*. Costa Rica.
18. Juárez, A. (2014). Administración de riesgo. En e. a. Juarez, *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión* (págs. 1-46). Guatemala.
19. Martí, M. A. (2002). *Principios de Ecotoxicología*. España: McGraw Hill Interamericana de España.

20. Matteoda, E. (2009). Cromo en aguas subterráneas y superficiales en el entorno de una curtiembre, relación con valores de fondo natu. *Boletín Geológico Minero*, 617-630.
21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. MARN. (2015). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático Guatemala*. Guatemala.
22. Morales, E. M. (2007). *Evaluación de la contaminación del pez blanco en tejido muscular y su relación con los niveles de de agua del lago Petén Itzá*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
23. Nolte, J. (2000). Analysis of low levels of metals in drinking water with a scanning array ICP emission spectrometer and ultrasonic nebulization. Estados Unidos : Perkin Elmer Instruments.
24. *Perkin Elmer*. (27 de octubre de 2017). Obtenido de Perkin Elmer, Ultrasonic Nebulizers : <http://www.perkinelmer.com/category/ultrasonic-nebulizers>
25. Ramos Castilo, Y., & Salas Córdova, K. (2015). *Evaluación de metales pesados en aguas superficiales en el área de influencia al emisario submarino en el corregimiento de Punta Canoas departamento de Bolívar*. Facultad de Ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena: Colombia.
26. Repetto, M. (1995). *Toxicología Avanzada*. Madrid, España: Dias de Santos.
27. Ruiz, A., & Axpucá, E. (2014). *Determinación de metabolitos secundarios y cianotoxinas producidos por la cianobacteria Lyngya sp. y su relación con la calidad del agua del lago de Atitlán*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala: Guatemala.
28. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. SEGEPLAN. (2010). *Plan de desarrollo municipal Guastatoya El Progreso*. Guatemala.

29. Soluciones Analíticas. (2011). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales y uso agrícola*. Guatemala.
30. Torres, J. (2008). *Análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación DIGI: Guatemala.
31. Tyler, G. (s.f.). *ICP-OES, ICP-MS and AAS techniques compared*. Francia: Technical Note.
32. Van der Zee, J., Proveda, C., Picado, L., & Van der Zee Arias, A. (2012). *Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano*. Honduras.

XI. ANEXOS.

Anexo 1: Ubicación de los puntos de muestreo en el municipio de Guastatoya.



Fuente: Mapa obtenido de Google Earth.

Anexo 2: Río Guastatoya.

Fotografía 1: Punto de muestreo 1, Época seca.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 2: Punto de muestreo 1, Época lluviosa.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3: Evaluación de los puntos de muestreo.

Fotografía 3: Punto de muestreo 1 en el río Guastatoya.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 4: Río Guastatoya época lluviosa.

Fotografía 4: Aumento del nivel del río punto de muestreo 7.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 5. Aumento del nivel del río punto de muestreo 13.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5: Usos comunes del agua del río Guastatoya.

Fotografía 6: Lavado de ropa en el río Guastatoya.



Fuente: Elaboración Propia.

Fotografía 7: Uso del río Guastatoya para higiene personal y recreación.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 6: Muestras obtenidas durante la época seca.

Fotografía 8: Muestras de los 22 puntos de muestreo realizadas en época seca.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7: Muestras obtenidas durante la época lluviosa.

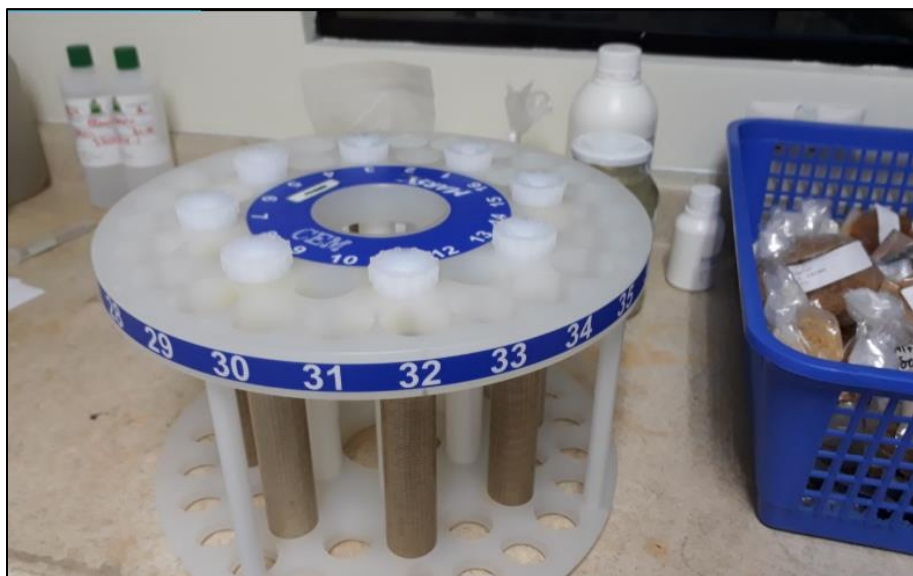
Fotografía 9: Muestras obtenidas de los 22 puntos de muestreo en época lluviosa.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 8: Preparación de muestras para el horno de microondas.

Fotografía 10: Colocación de muestras en el rotor del horno de microondas



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 9: Digestión ácida por horno de microondas.

Fotografía 11: Horno de microondas Mars 6.



Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 10: Muestras digeridas.

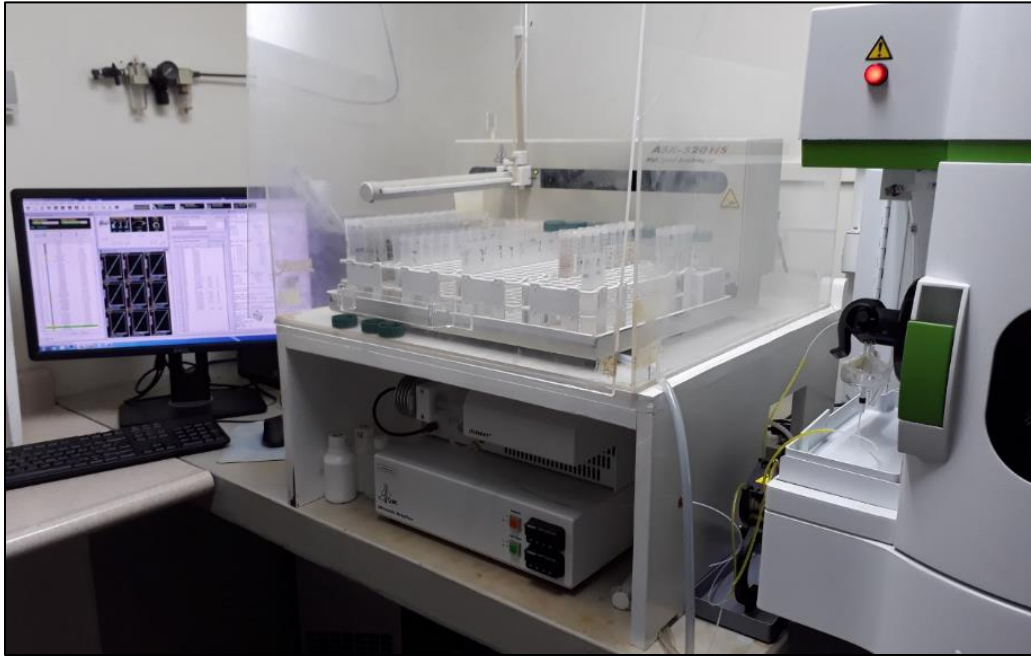
Fotografía 12: Balones aforados de 100 mL con muestras digeridas.



Fuente: Elaboración Propia.

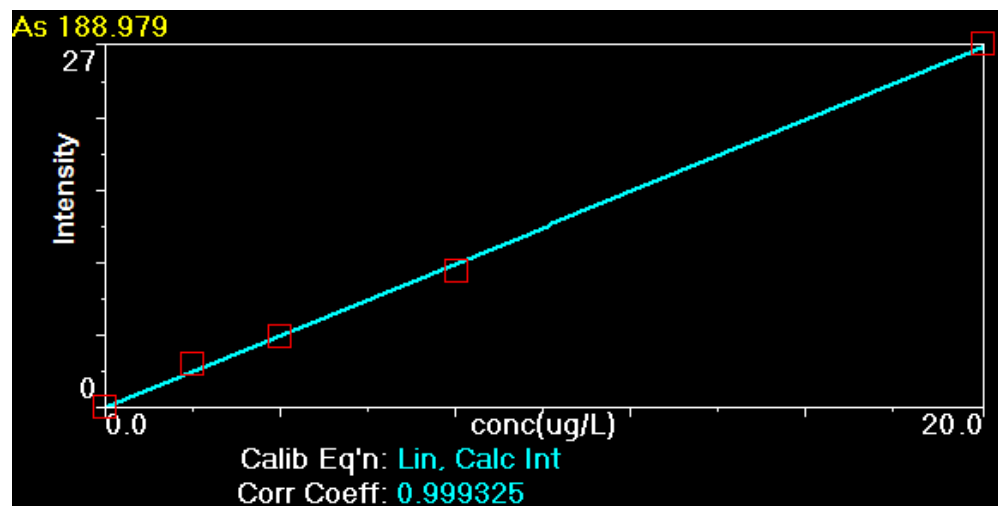
Anexo 11: Lectura de muestras en el equipo ICP OES.

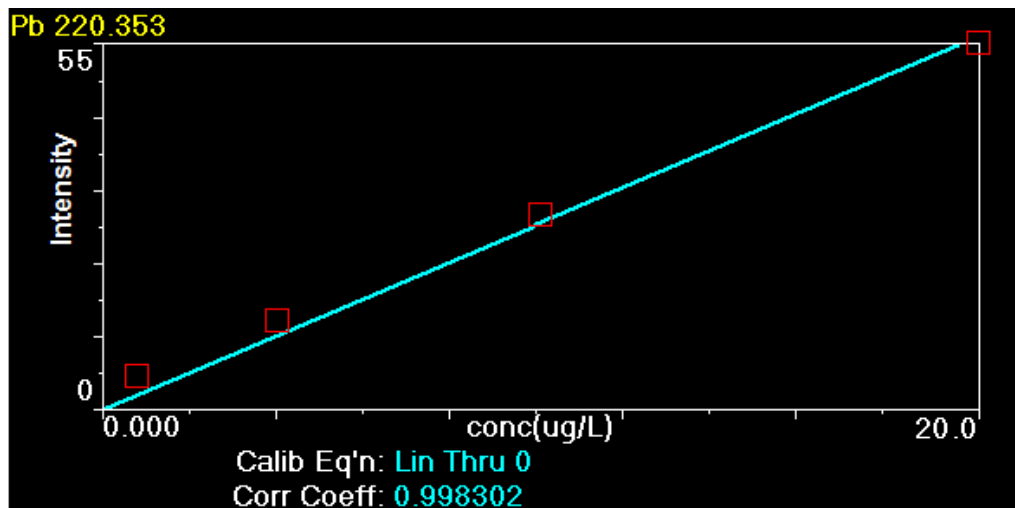
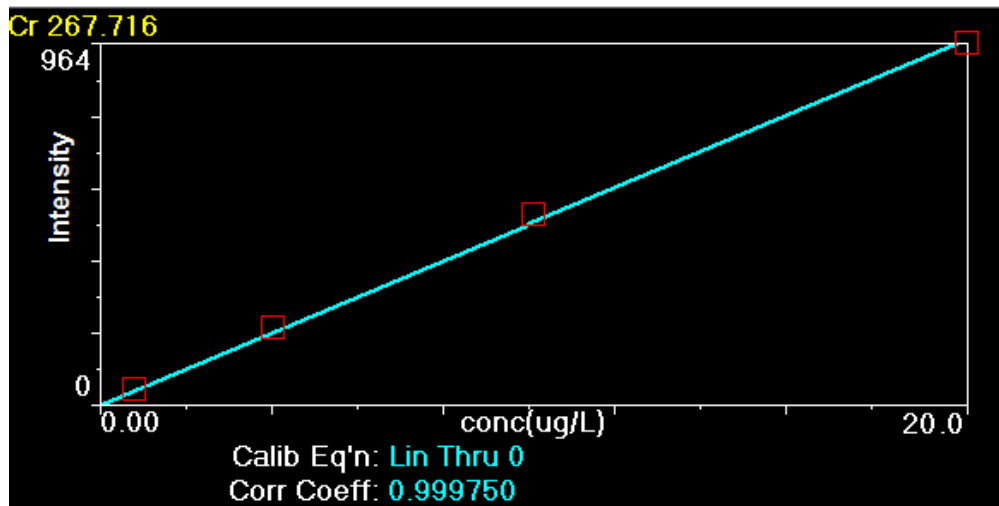
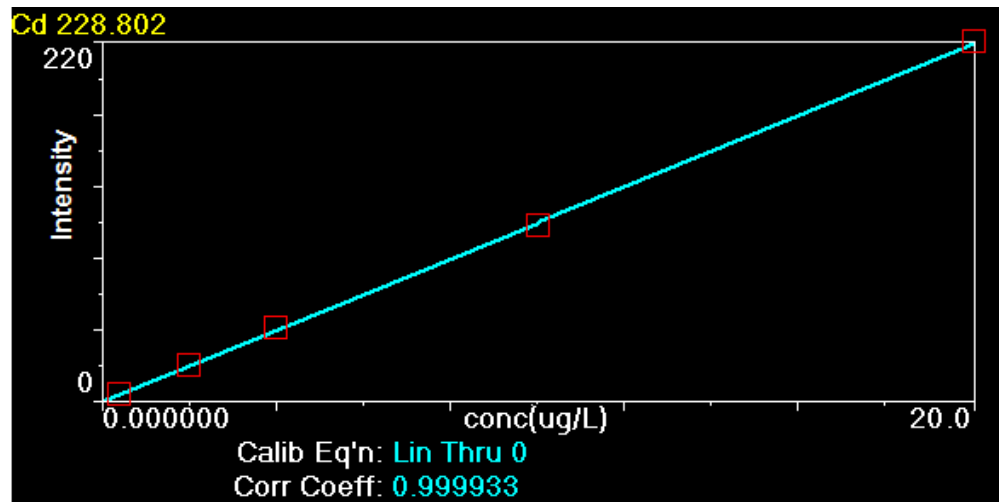
Fotografía 13: Equipo ICP-OES 8300 DV.

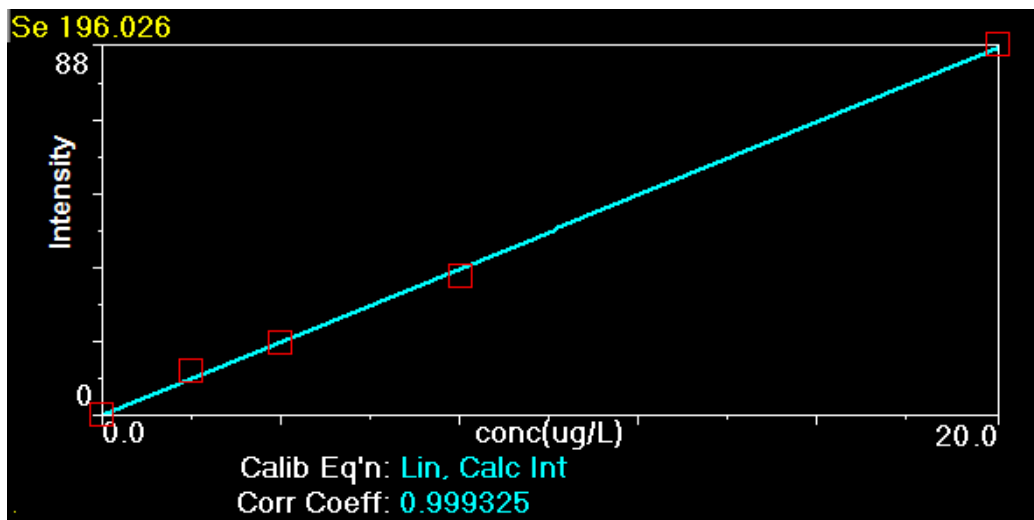


Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 12: Curvas de Calibración obtenidas.







Fuente: Elaboración Propia.



Br. Loida Sarai Morales Garcia.

Autora.



Licda. Rosa Patricia Navas Nájera

Asesora.



Licda. M.A. Irma Nohemi Orozco Godínez.

Directora Escuela de Química.



Dr. Ruben Dariel Velasquez Miranda.

Decano.