



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Gestión de Recursos Hidrogeológicos

**CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE
VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE
LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA,
DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**

Ing. Lizandro Danilo Hernández Girón

Asesorado por la M.sc. Inga. Flor de María Solórzano Mondragón

Guatemala, abril de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE
VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE
LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA,
DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. LIZANDRO DANILO HERNÁNDEZ GIRÓN
ASESORADO POR LA M.SC. INGA. FLOR DE MARÍA SOLÓRZANO
MONDRAGÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN GESTIÓN DE RECURSOS
HIDROGEOLÓGICOS**

GUATEMALA, ABRIL DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Julio Roberto Luna Aroche
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Alan Giovanni Cosillo Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES
TRAPICHE VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE
LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA,
DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería, con fecha 30 de junio de 2020.

Ing. Lizandro Danilo Hernández Girón

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.293.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, DEPARTAMENTO DE JUTIAPA**, presentado por: **Lizandro Danilo Hernández Girón**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Gestión de recursos hidrogeológicos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, abril de 2022

LNG.EEP.OI.293.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, DEPARTAMENTO DE JUTIAPA”

presentado por **Lizandro Danilo Hernández Girón** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Gestión de recursos hidrogeológicos** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 22 de enero de 2022

Mtro. Ing. Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

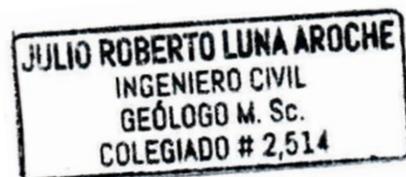
Por este medio me dirijo a usted deseándole éxitos en sus actividades. El motivo de la presente es para hacer de su conocimiento que he revisado el Trabajo de Graduación del estudiante

Carné: 200312489
Alumno: Lizandro Danilo Hernández Girón
Maestría: Gestión de Recursos Hidrogeológicos
Título de la Investigación: CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, DEPARTAMENTO DE JUTIAPA

Después de haberle hecho las observaciones pertinentes se da por aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me despido de usted, cordialmente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Julio Roberto Luna Aroche
COORDINADOR
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS HIDROGEOLÓGICOS

Guatemala, 19 enero de 2022

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Respetable Ingeniero Álvarez:

Por medio de la presente hago constar, que he cumplido con la asesoría del trabajo de graduación titulado “CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL NACIMIENTO AGUAS TERMALES TRAPICHE VARGAS, EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA, A PARTIR DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS AÑOS 2012 A 2018; MUNICIPIO DE ASUNCIÓN MITA, DEPARTAMENTO DE JUTIAPA” al estudiante **Lizandro Danilo Hernández Girón**, del Programa de Maestría en **Gestión de Recursos Hidrogeológicos** identificado con número de carne: **200312489** de forma AD HONOREM.

Sin otro particular me despido, deseándole éxitos en todas sus actividades profesionales.

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”



M.Sc. Ingeniera Civil Flor de María Solórzano Mondragón
Asesor de Trabajo de Graduación

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Lisandro Danilo Hernández y Amalia Girón, a quienes le debo este triunfo profesional por siempre apoyarme.
- Mi hermana** Michelle por su apoyo y cariño a lo largo del tiempo.
- Mi abuelita** Carlota Natareno (q. d. e. p.) y siempre fue como una madre, le dedico esta investigación con todo mi cariño.
- Mis amigos** Por su sincera amistad y apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Gloriosa y tricentenaria, quién me ha formado como profesional, tanto en el nivel de Licenciatura y ahora como Maestro en Ciencias.
Escuela de Estudios de Postgrado	Facultad de Ingeniería que me recibió en sus aulas en este gran paso académico.
Ing. Alan Cosillo Pinto	Al Maestro Cosillo, quien fue un gran tutor y compartió muchos de sus conocimientos para concluir con éxito esta investigación.
Ing. Julio Luna Aroche	Coordinador de la Maestría y un gran profesional que confió en mi para finalizar esta maestría.
Proyecto Agua Futura	Por su confianza y haberme proporcionado la beca de estudios.
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales	Institución de la cual aprendí la importancia de la gestión del recurso hídrico.
Laboratorio Nacional de Salud	Por los conocimientos de química analítica adquiridos dentro de sus instalaciones.

Lic. Renato Torres

Por sus conocimientos aportados en el tema de Química Analítica para calidad del agua.

Inga. Flor Solórzano

Quién fue mi asesora, que con los conocimientos en su asesoría ha hecho posible este trabajo.

Ing. Agr. Pedro Soto

Por su apoyo transmitido en sistemas de información geográfica, indispensables para concluir este trabajo.

Ing. Rodolfo Castro

Por su gran apoyo en los momentos finales en la finalización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Arsénico.....	6
2.2. Arsénico en aguas subterráneas	8
2.3. Fuente y movilidad en las aguas subsuperficiales.....	8
2.4. Efectos en la salud humana por exposición con arsénico	11
2.5. Geoquímica del arsénico	11
2.6. Reacciones redox para el arsénico.....	16
2.7. Toxicidad del arsénico	16
2.8. Farmacocinética	18
2.9. Toxicidad del arsénico	19
2.10. Carcinoma de piel.....	20
2.11. Cáncer pulmonar	21
2.12. Efectos no cancerígenos, neurológicos, memoria y función intelectual	21

2.13.	Diabetes	22
2.14.	Efectos sobre la piel	22
2.15.	Efectos sobre el sistema reproductivo.....	23
2.16.	Exposición directa	24
3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Etapa de gabinete:	29
3.2.	Obtención de análisis de laboratorio:	29
3.3.	Tabulación de los resultados de análisis de arsénico:	29
3.4.	Gráficos y análisis estadístico de los resultados:	30
3.5.	Etapa de campo:	31
3.6.	Medición de parámetros <i>in situ</i> :.....	31
3.7.	Toma de fotografías:	32
3.8.	Rectificación de coordenadas:	32
3.9.	Etapa de laboratorio:	32
3.10.	Toma de muestras por parte del MARN en los años 2012 a 2018.	32
3.11.	Análisis de las muestras en laboratorio:	33
3.12.	Análisis de información	34
3.13.	Datos cuantitativos:	34
3.14.	Reducción de datos.....	35
3.15.	Obtención de resultados y conclusiones	38
3.16.	Verificación de conclusiones	38
4.	ELABORACIÓN DE MAPAS PARA LA CUENCA Y MICROCUENCA.....	41
4.1.	Cuenca del área de estudio.....	41
4.2.	Microcuenca del área de estudio:.....	41

5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
5.1.	Análisis de los datos de monitoreo para calidad de agua	43
5.2.	Delimitación de la microcuenca del río Morán	48
5.3.	Cálculo de la concentración promedio de arsénico (kg/año) aportado al río Morán	50
5.4.	Diagrama de concentración de arsénico en el nacimiento	52
5.5.	Mapa Geoquímico en función del nacimiento Trapiche Vargas	54
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6.1.	Variación de la concentración de arsénico respecto a la época seca y lluviosa y su posible dilución.....	57
6.2.	Afectación del arsénico dentro de su microcuenca como tributario del río Morán.....	58
6.3.	Concentración promedio de arsénico que se descarga al río Morán	60
6.4.	Mapa geoquímico del nacimiento Trapiche Vargas	60
6.5.	Diagrama en función de la concentración de arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas	61
6.6.	Mapa geoquímico propuesto para el nacimiento Trapiche Vargas	62
6.7.	Remoción de arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas.....	63
6.8.	Origen del arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas	64
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	REFERENCIAS	71
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de Pourbaix (Eh-pH) respecto a las especies	14
2.	Diagrama de convección en un sistema hidrotermal sobre rocas ígneas calientes.....	26
3.	Procedimiento de análisis	35
4.	Concentración de arsénico respecto a la fecha de monitoreo	44
5.	Porcentaje de concentración de arsénico por época	45
6.	Comportamiento del arsénico en función de la fecha de monitoreo	46
7.	Proporción de aporte másico de arsénico (g/día) respecto a la época	47
8.	Cuenca Ostúa-Güija y microcuenca río Morán	48
9.	Microcuenca río Morán, nacimiento Aguas Termales Trapiche Vargas.....	49
10.	Aporte promedio anual de arsénico al río Morán	51
11.	Concentración de arsénico en diferentes puntos de monitoreo	53
12.	Mapa geológico y geoquímico del área de influencia	54
13.	Propuesta de mapa geoquímico a partir de los puntos de muestreo	55
14.	Nacimiento Trapiche Vargas y recorrido inicial	59
15.	Posible origen del arsénico de fuentes hidrotermales.....	65

TABLAS

I.	Tabulación de las concentraciones de As en función de la fecha	30
II.	Concentraciones de arsénico y época de muestreo	39
III.	Muestreo por época.....	43
IV.	Aporte de arsénico proveniente del nacimiento Trapiche Vargas (kg/año)	50
V.	Puntos de muestreo en el nacimiento Trapiche Vargas	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
As	Arsénico
As(III)	Arsenito
As(V)	Arseniato
L	Litros
m	Metro
km	Kilómetro
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
g	Gramo
µg	Microgramo
ng	Nanogramo
m³	Metro cúbico
pH	Potencial de Hidrógeno
MeOH	Hidróxido metálico
ppm	Partes por millón
ppb	Partes por billón
R²	Coefficiente de correlación

GLOSARIO

Ácido arsenioso	Ácido de arsénico, con fórmula HAsS_2 .
Adsorción	Proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.
Agua geotermal	Agua cuya temperatura es elevada debido a su paso por zonas profundas del subsuelo.
Agua subterránea	Agua que se encuentra por debajo del subsuelo.
Aguas termales	Agua que brota del suelo por arriba de los 5 grados Celsius a la temperatura superficial.
Alúmina	Óxido de aluminio, de fórmula Al_2O_3 .
Antropogénica	Conjunto de efectos producidos por las actividades humanas en el medio ambiente de la Tierra.
Arcilla	Es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de

aluminio hidratados —procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato (como el granito) —. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el blanco (cuando es pura) hasta el rojo anaranjado.

Arseniato

Arsénico con estado de oxidación +5.

Arsénico

Elemento químico, con número atómico 33, con una masa atómica de 74.922g/mol, extremadamente tóxico.

Arsenito

Arsénico con estado de oxidación +3.

Arsenolita

Compuesto de óxido de arsénico, de fórmula As_2O_3 .

Arsenopirita

Compuesto de arsénico en combinación con hierro y azufre, de fórmula $FeAsS$.

Arsina

Hidruro de arsénico (AsH_3) es un compuesto inorgánico gaseoso a temperatura ambiente, es inflamable y altamente tóxico, constituido de hidrógeno y arsénico.

Asunción Mita

Municipio del departamento de Jutiapa, fronterizo con El Salvador al este.

CEMA	Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
CESEM	Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala
CONCYT	Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Desorción	Fenómeno por el cual un gas abandona un sólido cuando este alcanza cierta temperatura.
DSMA	Arseniato de metilo disódico.
Geofísica	Ciencia que estudia la Tierra desde el punto de vista de la física. Su objeto de estudio abarca todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra.
Geoquímica	Es la ciencia que utiliza las herramientas y los principios de la química y de la geología para explicar los mecanismos detrás de los principales sistemas geológicos como la corteza terrestre y sus océanos.

Hidrogeología

Rama de la geología aplicada, dentro de la geodinámica externa, que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas y humedales (freáticos); su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.

Hidrología

Rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

Hidruro de arsénico

Compuesto de arsénico en combinación con hidrógeno AsH_3 .

INSIVUMEH

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Intoxicación

Reacción de un organismo vivo ocasionada por una sustancia que produce afecciones en su organismo e incluso la muerte.

Jutiapa	Departamento ubicado al sureste de la República de Guatemala, al este fronterizo con El Salvador y al sur con el Océano Pacífico.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.
MSMA	Arseniato de metilo monosódico.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y asistencia Social.
Nacimiento Trapiche Vargas	Nacimiento de aguas termales ubicado en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa en coordenadas geográficas N14°20'25.8", O89°37'59.4"
OMS	Organización Mundial de la Salud
Oropimente	Compuesto de arsénico y azufre, de fórmula As_2S_3 .
Oxihidróxidos	Son un grupo de compuestos químicos formados por un óxido de metal y uno o varios aniones hidroxilos.

Pesticida	Compuesto de origen natural o artificial, generalmente utilizado para control de plagas.
Redox	REDucción-OXidación que se da en el marco de la reacción. Hay un elemento que acepta los electrones que libera el otro y que se reduce al producirse una minimización de su estado de oxidación.
Rejalgar	Compuesto de arsénico y azufre, de fórmula As_4S_4 .
Sedimentos aluviales	Sedimentación de materiales sólidos que son transportados por la lluvia.
Tritio	Isótopo radiactivo del hidrógeno, cuyo núcleo está formado por un protón y dos neutrones.

RESUMEN

A continuación, se presenta el análisis de datos tomando como línea base los monitoreos realizados por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, desde el año 2012 al 2018, tanto para la época de lluvia y seca y a partir del análisis, evaluar los posibles efectos de los fenómenos climatológicos en el nacimiento Aguas Termales Trapiche Vargas, ubicado en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa.

De acuerdo a los datos analizados este nacimiento de tipo termal ha presentado concentraciones significativas de arsénico, el cual es perjudicial tanto para humanos como para animales; derivado de esta problemática, el MARN ha realizado monitoreos de calidad de agua en el mismo, pese a no existir una normativa legal vigente para calidad de cuerpos de agua, que pueda aplicarse, ya que únicamente cuenta con el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006.

Los análisis al agua de este nacimiento se han realizado dentro del convenio de cooperación entre el Laboratorio Nacional de Salud LNS del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social MSPAS y el MARN, mediante absorción atómica aplicando la técnica de horno de grafito según la metodología del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, ediciones 21 y 22, para adquirir límites de concentración en partes por billón (microgramos por litro) que permitirán detecciones de alta sensibilidad en trazas de arsénico y otros parámetros como el cadmio y plomo.

OBJETIVOS

General

Analizar los resultados de las concentraciones de arsénico contenidos en el nacimiento Aguas Termales Trapiche Vargas, municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa, a partir de los datos del MARN de los años 2012 a 2018.

Específicos

1. Demostrar la posible variación de la concentración de arsénico en la época seca y de lluvia y la posible dilución del mismo.
2. Analizar la microcuenca que se ve afectada por el nacimiento tributario Trapiche Vargas mediante sistemas de información geográfica, delimitando el área de afectación.
3. Determinar la concentración promedio de arsénico en kg/año que se descarga al cuerpo receptor del nacimiento Trapiche Vargas.
4. Elaborar un mapa geoquímico en función del arsénico para la microcuenca del nacimiento de aguas termales Trapiche Vargas.
5. Elaborar un diagrama en función de la concentración de arsénico del nacimiento Trapiche Vargas.

HIPÓTESIS

La concentración de arsénico varía estacionalmente de acuerdo al régimen de lluvias por efecto de la dilución y aguas hidrotermales, periodo analizado de 2012 a 2018 en el nacimiento Trapiche Vargas, municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa.

INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para el ser humano y tiene distintos usos, siendo el de mayor relevancia el consumo, además de recreativos y agropecuarios. Sin embargo, en Guatemala la mayoría de las fuentes de agua superficial se encuentran contaminadas debido a las actividades antropogénicas, esta contaminación afecta especialmente los cuerpos hídricos superficiales.

Debido a la alta contaminación de los cuerpos de agua, estos ya no son aprovechables ni recomendables para ningún tipo de uso a menos que se realice un tratamiento previo a su utilización, por lo que se ha optado por el uso de aguas subterráneas, en algunos casos teniendo acceso a las mismas mediante la perforación de pozos artesanales y/o mecánicos para ser extraída mediante bombeo, considerándose que estas aguas son de mejor calidad y por ende muy aptas para su consumo.

Sin embargo no toda agua subterránea es apta para ser consumida por el humano y para los distintos usos; en este trabajo se presentará una caracterización de aguas provenientes del subsuelo, en este caso el nacimiento Termal Trapiche Vargas, ubicado en el municipio de Asunción Mita, departamento de Guatemala, en dicha caracterización, se demuestra que las aguas contienen una contaminación natural por arsénico, convirtiendo sus aguas en no aptas para el consumo humano, recreativo y/o agropecuario.

1. ANTECEDENTES

El estudio se realizará a partir de datos históricos de monitoreos de calidad de agua realizados del año 2012 al 2018 por parte del Departamento de Recursos Hídricos y Cuencas DRHyC del MARN; pese a no existir una normativa legal vigente referente a calidad de agua en cuerpos superficiales y subterráneos se cuenta con estos datos que cuantifican las concentraciones de arsénico contenidas en el nacimiento Trapiche Vargas.

En el área de estudio no existe publicación alguna que muestre las concentraciones de arsénico específicamente para el nacimiento que será objeto de estudio, sin embargo, se ha aplicado el estudio para pozos en otras áreas de Guatemala de los cuales cabe mencionar:

- Reporte sobre la preocupación por agua para consumo humano con arsénico en las colonias Primero de Mayo, Minerva, Lo de Fuentes, del Municipio de Mixco y Tierra Nueva I y II del Municipio de Chiquimula.
- Estudio para la delimitación de la geoquímica del arsénico derivado de sedimento y roca en un área de 304 km² en el Plutón de Chiquimula, al noroeste de la ciudad de Chiquimula.
- Estudio de levantamiento de datos mediante la recolección de muestras de agua en la laguna Güija y la medición de parámetros fisicoquímicos e in situ previos al inicio de un proyecto minero dentro de la Cuenca Ostúa-Güija y estableciendo la calidad de agua en tres diferentes puntos realizado por Bastarrechea en el año 2008.

- Estudio limnológico en 2008, se midieron variables in situ, físicas, químicas y biológicas en 12 estaciones de muestreo, y se registraron datos de superficie, cada dos metros, y la profundidad alcanzó los diez metros, lo que indicó la variable sin altos niveles de contaminación, realizado por López Paredes en el año 2008.
- En el año 2011 se realizó el estudio socioeconómico sobre las dinámicas territoriales, de pobreza e inequidad en la cuenca Ostúa-Güija realizando el seguimiento del Programa Dinámicas Territoriales Rurales RIMISP lleva en las naciones de Latinoamericanas, organizada por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo Canadiense.
- Se crea el boletín No. 14 de Calidad del Agua superficial y subterránea de las cuencas Ostúa-Güija y Olopa, que realizó el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología en el año 2011, contiene información mensual de las características físicas y químicas del agua subterránea y superficial de dichas cuencas.
- En el año 2012, el señor Caballero Alvarado, realizó una investigación para la eliminación del arsénico para agua potable mediante la utilización de cáscaras de banano Musa AAA, y comprobación de efectividad de la misma.
- El señor Luna Aroche y otros, en el año 2013, realizaron un informe para el análisis de datos principalmente química y geoquímica de aguas dentro de la cuenca Ostúa-Güija. La solicitud del Ministerio de Energía y Minas MEM responde a las inquietudes que de comunidades salvadoreñas que se encuentran dentro del área de influencia de la Mina Cerro Blanco respecto a la incidencia del Lago de Güija.

- La señora Méndez Leiva, en el año 2013, llevó a cabo un diagnóstico ambiental, relacionado con las actividades desarrolladas en el Proyecto Minero Cerro Blanco, mismo que se encuentra dentro de la Cuenca Ostúa-Güija, a la cual pertenece la microcuenca del río Morán (microcuenca afectada por el nacimiento Trapiche Vargas), proporcionando datos de geología local, clima e hidrología. En cuanto al clima, el estudio llevado a cabo por Méndez Leiva informa un rango de temperaturas de 20 a 34 °C, índice de evapotranspiración de 32 a 63, una precipitación pluvial máxima de 1330 milímetros al año en los meses de mayo a octubre, humedad relativa mínima de 53 % en el mes de marzo y 74.5 % para septiembre, evapotranspiración promedio al año alcanza los 2064 milímetros. Respecto a la geología es un área que fue afectada con erupciones volcánicas del terciario, dejando estructuras de tipo dacíticos o riolíticos, de aquí el origen del arsénico que aflora en fuentes de aguas geotermales, los suelos en su mayor parte también de origen volcánico del período cuaternario producto de la meteorización de las rocas.
- Para el año 2014, se llevó en el municipio de Chimaltenango se realizó un estudio de arsénico inorgánico con un total de 42 muestras de agua subterránea proveniente de 27 pozos, las muestras fueron tomadas de chorros domiciliarios para agua de consumo humano y enviadas a un laboratorio de Estados Unidos de América para ser analizadas, encontrando únicamente un punto por arriba de los 10 µg/L, el cuál fue Cerro Alto, con una concentración de 47.5 µg/L (Lotter, Steven y López, 2014).

- En 2015, Cerón Elías realizó un estudio en un pozo en el área dentro de la ciudad de Chiquimula para determinar la presencia, concentración y distribución territorial del arsénico en las fuentes hidrogeológicas.
- En 2018, García y Pitán en un reporte de periódico sobre alerta sobre la aparición de arsénico en fuentes de agua en Mixco, informando que la presencia de este mineral no precisa de actividades antropogénicas y que es de origen natural.

2. MARCO TEÓRICO

La hidrología del agua subterránea (hidrogeología) es la parte de la ciencia de la hidrología que involucra la ocurrencia, movimiento y calidad del agua debajo (subterránea). Tiene un alcance interdisciplinario, ya que implica la aplicación de las ciencias físicas, biológicas y matemáticas. También es una ciencia cuya aplicación exitosa es de importancia crítica para el bienestar de la humanidad. Debido a que la hidrología del agua subterránea se ocupa de la ocurrencia y el movimiento del agua en un entorno subsuperficial casi infinitamente complejo, es, en su estado más avanzado, una de las ciencias más complejas. Por otro lado, muchos de sus principios y métodos básicos pueden ser entendidos fácilmente por los no hidrólogos y utilizados por ellos en la solución de problemas de aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas no se encuentran a vista simple a excepción de las cuevas y minas, y la impresión que obtenemos incluso de estas son, en gran medida, engañosas. A partir de las observaciones sobre la superficie terrestre, se forma una impresión de una tierra sólida, esta impresión no se altera mucho cuando se entra en una cueva de piedra caliza y se observa que el agua fluye en un canal que la naturaleza ha cortado en lo que parece ser roca sólida, de hecho, a partir de nuestras observaciones, tanto en la superficie terrestre como en las cuevas, es probable que concluyamos que el agua subterránea se produce solo en ríos subterráneos y vetas. No se ve la miríada de aberturas que existen entre las arenas y limos también entre la arcilla o incluso dentro las fracturas de granito. En consecuencia, no percibimos la presencia de aberturas que, en volumen total, superan con creces el volumen de todas las cuevas.

El agua subterránea ocurre en dos zonas diferentes. Una zona, que ocurre inmediatamente subterránea en mayor área, contiene agua y aire y se conoce como zona insaturada. “La zona no saturada está invariable casi invariablemente por una zona en la que todas las aberturas interconectadas están llenas de agua. Esta zona se conoce como la zona saturada” (Heath, 2004, p. 4).

2.1. Arsénico

El arsénico es un mineral natural y se encuentra distribuido en todas partes del planeta tierra. El arsénico se clasifica químicamente como un metaloide, que tiene ambas características de metales y no metales; sin embargo, con frecuencia se le conoce como metal. El arsénico como elemento es un mineral sólido con coloración grisácea; éste generalmente en combinación con azufre, cloro y oxígeno, esta combinación resulta en arsénico inorgánico, combinado con otros elementos como el carbono, incluido el hidrógeno, se denominan arsénico orgánico.

Los compuestos que son el resultado de combinarse con el arsénico son polvos incoloros o blancos no evaporables. No tienen sabor, mayoritariamente carecen de olor que permita caracterizarlos. Por lo general, es imposible saber si hay arsénico presente en los alimentos, aire y agua; el arsénico se da de forma natural y en muchas clases de rocas, especialmente minerales con predominación de plomo y cobre. Cuando estos minerales se exponen a altas temperaturas en el horno de fundición, se elevará como polvo fino y entrará en el aire del ambiente.

En la actualidad, alrededor del 90 % de todo el arsénico producido se usa como conservante para la madera para que sea resistente a la picadura y la descomposición; tiempo atrás, muchos de los derivados del arsénico usaban

principalmente como pesticidas, especialmente en huertos. Compuestos inorgánicos derivados de arsénico ya no se usan en la agricultura, pero los orgánicos conocidos, ácido arsenioso, arseniato de metilo disódico y arseniato de metilo monosódico todavía se aplican para pesticidas, principalmente en cultivos algodoneros. Algunos compuestos de arsénico orgánico se usan como aditivos para la alimentación animal. “El arsénico puede combinarse con otros metales para formar aleaciones superiores o mejoradas” (Chou y Harper, 2019, p. 9).

A nivel ambiental, el arsénico está en la Tierra con una concentración promedio de 2.0 mg/kg. Las concentraciones de trazas se encuentran en todos los medios ambientales, incluidos el aire, el agua, los suelos, sedimentos y la biota. Los datos disponibles sobre niveles ambientales típicos se resumen en las siguientes subsecciones.

El contenido ambiental de arsénico en la atmósfera tiende a ser minoritario. Gran parte de las áreas remotas y rurales, las concentraciones promedian entre los 0.02 hasta 4.0 ng/m³. Las concentraciones más altas son evidentes en muchas áreas urbanas, con niveles que varían típicamente de 3 a 200 ng/m³ aproximadamente. Sin embargo, cerca de fuentes industriales, especialmente próximas de fundiciones de metales no ferrosos, se han medido concentraciones superiores a 1000 ng/m³. La predominancia aérea existente de arsénico absorbido en partículas, y generalmente está presente en mezcla de arsenito y arseniato, siendo las especies orgánicas de importancia insignificante, excepto en áreas de aplicación de pesticidas que involucran arsénico o actividad biótica.

“El arsénico en aguas superficiales tiende a bajas concentraciones, aunque pueden tender a aumentar cercano en cúmulos minerales naturales o fuentes antropogénicas” (Morgan, 2001, p. 5).

2.2. Arsénico en aguas subterráneas

El arsénico tiende a contaminar las fuentes hidrogeológicas de diferentes partes del mundo resultando de forma natural y/o antropogénica, lo que lleva a efectos negativos para la salud y ecosistemas. Millones de personas de diferentes países son independientes de fuentes de agua que no es de acceso en la superficie y estas contiene un nivel elevado de arsénico (utilizadas para beber). Como la contaminación de fuentes hidrogeológicas, plantea un grave peligro para la salud; la exposición excesiva y prolongada de inorgánicos al igual que el agua potable causa arsenicosis, una enfermedad deteriorante e incapacitante caracterizada por pigmentaciones en la piel y daños cutáneos, parches en las manos (palma) y planta de los pies. La intoxicación por arsénico culmina en enfermedades potencialmente fatales como la piel y los cánceres internos. Este artículo revisa las fuentes, la especiación y la movilidad de arsénico y una descripción global de la contaminación del agua subterránea como arsénico, el documento también revisa críticamente los riesgos de salud humana liderados por As, su absorción, metabolismo y mecanismos de toxicidad.

2.3. Fuente y movilidad en las aguas subsuperficiales

“Varias fuentes naturales y antropogénicas se consideran responsables de contaminación por arsénico en fuentes subterráneas” (Bissen y Frimmel, 2003, p. 18). Y “la desorción y disolución de los minerales transportadores de arsénico y los sedimentos aluviales que inclusive si la concentración de fase sólida acontece naturalmente, conducirá a altas concentraciones de las fuentes de agua del delta y la llanura de inundación” (Matschullat, 2000, p. 297).

“La presencia de metaloides en exceso de concentración en el agua subterránea puede estar asociada con depósitos de mineral donde el arsénico

está presente predominantemente en minerales sulfúricos como arsenopirita y pirita” (Borba, Figueiredo y Mastchullant, 2003, p. 39).

“La arsenopirita (FeAsS) es el mineral que contiene arsénico más abundante que existe generalmente en ambientes anaeróbicos y en varios otros minerales formadores de rocas como sulfuro, óxido, fosfato, carbonato y silicato” (Smedley y Kinniburgh, 2002, p. 517).

Presente como un sustituto de azufre en la red cristalina de varios minerales de sulfuro, “el rejalgar (As_4S_4) y oropimente (As_2S_3) representan las dos formas reducidas comunes de arsénico mientras están en arsenolita (As_2O_3), el arsénico está presente en forma oxidada” (Nriagu, Bhattacharya, Mukherjee y Bundschuh, 2007, p. 60).

“Dependiendo de la naturaleza y textura de los minerales, como también se puede encontrar en los sedimentos, en el rango de concentración de 3 a 10 mg/kg” (Ravenscroft, Brammer y Richards, 2009, p. 47). El hierro y la alúmina presentes en el sedimento son uno de los principales causantes en la contaminación del agua subterránea.

La reducción y disolución de “los óxidos metálicos de hierro y aluminio y el dinamismo en microorganismos reductores de metales locales ahora se consideran el principal mecanismo de liberación de arsénico, que afecta directamente la movilidad del mismo” (Islam, 2004, p. 22). Las principales fuentes de agua que son contaminadas con arsénico son la minería, “la quema de combustibles fósiles, aplicación de antifúngicos, herbicidas, pesticidas compuestos con arsénico y conservantes de madera en la agricultura” (Nriagu, Bhattacharya, Mukherjee y Bundschuh, 2007, p. 93).

La quema de carbón tiene consecuencias negativas en la contaminación de arsénico para el ambiente; la emisión de arsénico tiene lugar en el medio ambiente mediante la volatilización del óxido de arsénico As_4O_6 debido a la quema de carbón, que se condensa en el sistema de combustión y finalmente se transfiere a los depósitos de agua. El nivel de contaminación con arsénico en fuentes de agua ocasionadas por la acción del hombre mencionados es menor en comparación con las fuentes naturales; sin embargo, su contribución no puede ser descuidada.

El arsénico existente en fuentes de agua se da principalmente como aniones que representan dos estados de oxidativos: arsénico III (arsenito) y arsénico V (arseniato). El arsénico en fuentes hidrogeológicas existe principalmente como aniones que representan dos estados de oxidación: arsénico As (III) y arsénico As (V), tanto As (III) como As (V) existen dentro del rango de pH de 6-9. Las especies predominantes de As (III) son H_3AsO_3 sin carga, mientras que las especies de arseniato primario son $H_2AsO_4^-$ monovalentes y $HAsO_4^{2-}$ divalentes, “la geología y el entorno de las aguas subterráneas forman una forma, ya sea As (III) o As (V) dominante” (Welch, Westjohn, y Wanty, 2000, p. 589).

Aunque el As (V) es favorecido termodinámicamente en aguas oxidativas y As (III) en aguas anóxicas, también “se ha informado que coexisten en ambos tipos de aguas” (Andersen y Bruland, 1991, p. 420), “el As (III) se considera más tóxico y más difícil de eliminar del agua que el As(V)” (U.S. EPA, 2001, p. 141).

Se sabe también que la disminución de la disolución del óxido de hierro se considera la razón principal para liberar arsénico de los depósitos en un acuífero.

2.4. Efectos en la salud humana por exposición con arsénico

No se comprende completamente cómo afecta el arsénico a nuestros cuerpos. Es bien sabido que una exposición prolongada a concentraciones bajas de arsénico inorgánico en agua potable puede causar daños a la salud, que incluyen: cáncer, engrosamiento y decoloración de la piel, problemas con los vasos sanguíneos, presión arterial alta, enfermedad cardíaca, efectos nerviosos que incluyen entumecimiento y/o dolor e interferencia con algunas funciones celulares importantes.

La exposición en un corto período a altas concentraciones de arsénico puede causar dolor de estómago, diarrea, vómito, náusea, cefalea, debilidad y hasta la muerte. Se ha evidenciado que exponerse a niveles bajos de arsénico de hasta 0.005 mg/L de arsénico contenido en agua para consumo puede dar lugar a puntuaciones de coeficiente intelectual más bajas en infantes.

2.5. Geoquímica del arsénico

En la naturaleza, el arsénico ocurre en el aire, el suelo, el agua, las rocas, las plantas y los animales. Actividades naturales como la erupción volcánica, la erosión de las rocas y los incendios forestales, pueden liberar arsénico al medio ambiente como las actividades antropogénicas de agricultura, minería, usos de combustibles derivados del petróleo, producción de pulpa de papel, fabricación de cemento y otros, contribuyendo como fuentes adicionales de arsénico ambiental.

En presencia de sulfuro y en condiciones de potencial de hidrógeno (pH) bajo, se puede formar ácido arsenioso (HAsS_2), pueden producirse derivados de

arsina (hidruro de arsénico, AsH₃) y arsénico metálico en condiciones reductoras extremas.

En diferentes condiciones ambientales, el arsénico cambia fácilmente su estado de valencia y su forma química. Se presentan algunas condiciones que pueden afectar la valencia y la especiación de arsénico: pH: en el rango de potencial de hidrógeno iniciando en 4 hasta las 10 unidades, las especies de arsénico (V) están cargadas negativamente en agua, y la especie de arsénico (III) predominante poseen carga neutra; potencial redox; la presencia de iones complejos, como iones de azufre, hierro y calcio; actividad microbiana, las reacciones de adsorción-desorción también interfieren con la libertad de movilización del arsénico. “Materiales como arcillas, carbonosos y óxidos de hierro, aluminio y manganeso son componentes de sedimentos que pueden participar en reacciones de adsorción con arsénico” (Paniagiotaras y Panagopulos, 2012, p. 29).

La ecuación de Nernst relaciona las concentraciones de especies de arsénico en equilibrio.

$$E = E^0 + k \left(\log \left[\frac{H_3AsO_4}{H_3AsO_3} \right] - 2pH \right)$$

Ecuación 1. Especies de arsénico en equilibrio.

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*.

En la ecuación 1, E⁰ y k son una constante y una colección de constantes, respectivamente. En el rango de pH del acuífero, H₃AsO₄ constituye una pequeña fracción del As (V), que viene dada por la ecuación 2:

$$a^v = \frac{[H_3AsO_4]}{As(V)} = \frac{1}{1 + k_{a1}10^{pH} + k_{a1}k_{a2}10^{2pH} + k_{a1}k_{a2}k_{a3}10^{3pH}}$$

Ecuación 2. Constantes de equilibrio para el arsénico en función del pH.

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*

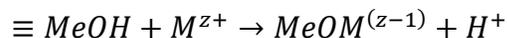
Se puede derivar una ecuación similar para la fracción de As (III) en la forma H_3AsO_3 . Esencialmente, todo el As (III) está en la forma H_3AsO_3 . Sustituyendo la ecuación 2 en la ecuación 1 se obtiene la ecuación 3, que relaciona el potencial redox de equilibrio con el pH y concentraciones de arsénico con valencias III y V.

$$E = E^0 + k \left[\log \left(\frac{As(V)a^V}{As(III)a^{III}} \right) - 2pH \right]$$

Ecuación 3. Potencial redox en función del pH y concentración de arsénico V y III.

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*

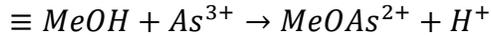
El arsénico, ya sea adsorbido o coprecipitado con $FeO(OH)$, se libera en solución. La adsorción de iones metálicos en la superficie de los óxidos-hidróxidos metálicos se puede describir mediante la ecuación 4.



Ecuación 4. Óxidos e hidróxidos metálicos.

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*

Para explicar las altas cargas positivas que relacionan iones metálicos y el arsénico pueden ser reescritas en la siguiente ecuación:



Ecuación 5. Iones metálicos relacionados con el arsénico.

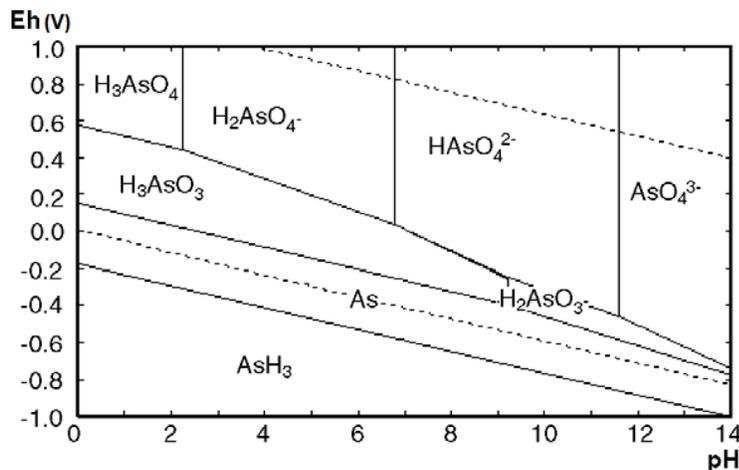
Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*.

- Diagrama de Pourbaix y oxidación del arsénico

El arsénico es móvil en el agua subterránea bajo dos condiciones, en un ambiente reductor como arsenito As (III) y en un ambiente oxidante a pH elevado como arseniato As (V). La movilidad está estrechamente relacionada con la química de los oxihidróxidos de hierro. En condiciones de reducción de hierro, el arsenito adsorbido en los compuestos férricos se libera cuando el adsorbente se moviliza como hierro ferroso soluble. En condiciones oxidantes, el arseniato se moviliza a un pH superior a 8.2.

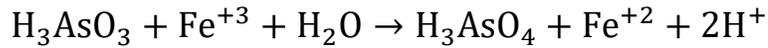
A continuación, la figura 1 muestra la predominación iónica de arsénico(III) y arsénico(V) disueltos respecto al Eh y pH.

Figura 1. **Diagrama de Pourbaix (Eh-pH) respecto a las especies en disolución acuosa**



Fuente: Wiertz, Jacques y Mateo (2006). *Mechanism of pyrite catalysis of As(III) oxidation*.

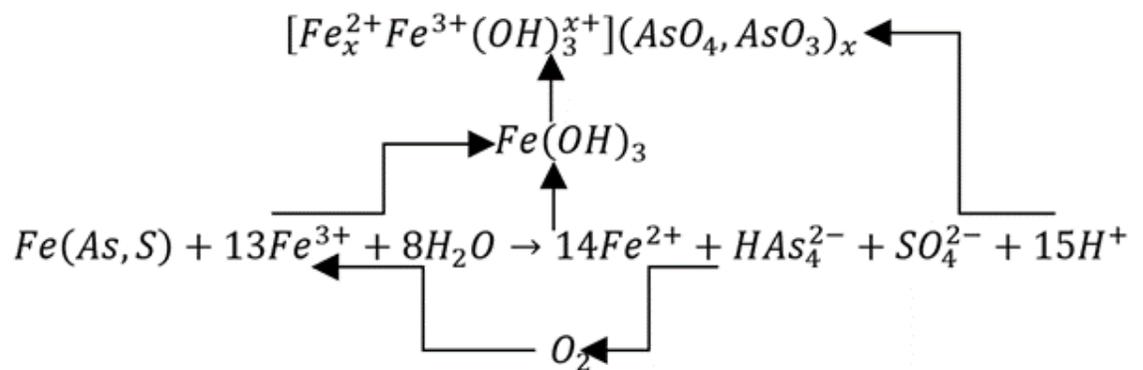
Termodinámicamente, a pH bajo el As (III) presente como H_3AsO_3 debería oxidarse fácilmente a As (V) como H_3AsO_4 por los iones férricos:



Ecuación 6. Reacción de oxidación del arsénico por iones férricos

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*.

En el caso de la intemperie oxidativa y la disolución de minerales que contienen arsénico, son principalmente responsables de los iones inorgánicos As(V) y As(III) disueltos en los acuíferos. Este complejo proceso puede involucrar reacciones biológicas, químicas y electroquímicas y factores hidrodinámicos. La movilidad posterior del arsénico en fuentes hidrogeológicas depende de la adsorción por fases minerales en los suelos y rocas, especialmente los hidróxidos férricos (III) que tienen una alta afinidad por As(V). Los procesos se pueden representar en la siguiente reacción:



Ecuación 7. Envejecimiento oxidativo y disolución de minerales que contienen arsénico en acuíferos que involucran oxidación catalítica bacteriana

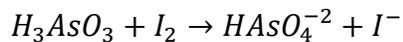
Fuente: Paniagiotaras y Panagopulos (2012). *Arsenic Geochemistry in Groundwater System*

2.6. Reacciones redox para el arsénico

Una fracción redox es aquella que se dará con cambios de electrones entre las moléculas que se ven implicadas, siempre existirá una parte que tendrá a oxidarse, funcionando como el ánodo, esta ganará electrones, la contra parte reducida corresponde al cátodo, está por lo contrario será la donadora de electrones, regularmente estas reacciones pueden darse de forma espontánea y algunas veces será necesaria la intervención de un catalizador para que sea consumada.

La reacción redox consta de dos partes: una se reducirá (catódica) y la otra mitad se oxidará (anódica), siempre son consecutivas. La mitad de la reducción obtendrá ganancia de electrones y el número oxidativo decrece, mientras que la parte de oxidación pierde electrones y su número oxidativo crece. Las formas simples de recordar la reacción electroquímica son las siguientes: oxidación es pérdida y reducción es ganancia, pérdida de electrones e^- = oxidación y e^- ganancia = reducción.

La reacción de oxidación para ácido arsenioso con yodo está dada de la siguiente manera:



Ecuación 8. Reacción de oxidación de arsénico con yodo.

Fuente: Rosenberg, Jerome, Epstein y Lawrence (2009). *Química Schaum*

2.7. Toxicidad del arsénico

Dada su toxicidad bien establecida y los peligros conocidos, el conocimiento sobre el arsénico es de mucha prioridad en la salud ambiental. El arsénico como metaloide posee características de no metal y metal; este distribuye con amplitud

en suelos, agua, aire y las rocas. Entre los tipos de arsénico natural, el arsénico inorgánico es el más frecuente, “si bien el arsénico natural no puede destruirse, puede reaccionar con el oxígeno u otras moléculas en el aire, el agua o el suelo para formar diversos compuestos” (U.S. HHS, 2007, p. 56).

Los ejemplos de compuestos de arsénico inorgánico incluyen arsenito trivalente y arseniato pentavalente. Los ejemplos de compuestos organoarsénicos, o compuestos organoarsénicos, incluyen ácido monometilarsénico, ácido dimetilarsénico, ácido trimetilarsénico y arsenobetaína. El arsénico se usa en semiconductores, cristalería, aleaciones y conservantes de madera. Además, el arsénico se encontró comúnmente en los pesticidas, pero desde entonces se ha eliminado, “además, el arsénico se ha utilizado en medicina; históricamente, se trataba la disentería amebiana, sífilis, y recientemente, en tratamiento de leucemia” (Rousselot, Labaume, Marolleau y Laghero, 1999, p. 1041).

El ser humano se expone al arsénico mediante las vías oral, respiratoria o dérmica. En las personas comunes sin exponerse al arsénico por medio de su entorno de trabajo, la fuente principal de exposición puede ser causada por la ingesta de agua, contacto con suelo y los productos agrícolas y pesqueros contaminados. El contacto con compuestos de arsénico inorgánico con estados de oxidación III y V por medio del agua, el aire o el suelo contaminado; sin embargo, la exposición a organoarsénicos ocurre a través del consumo de animales y plantas marinos. La toxicidad para el cuerpo humano varía según las diferentes formas de arsénico. “El arsénico inorgánico es de mayor toxicidad que los compuestos de arsénico orgánico, y el arsenito (estado III de oxidación) tiende a aumentar su toxicidad más que el arseniato (estado de oxidación V)” (Mandal, Ogra y Suzuki, 2001, p. 371).

El arsénico urinario se considera el indicador general más útil de la exposición al arsénico, ya que refleja la exposición digestiva y respiratoria. El arsénico absorbido en el cuerpo se metaboliza y se expulsa principalmente a través de la orina. “Se cree que la separación y cuantificación del arsénico inorgánico trivalente y pentavalente, así como el de ácido monometilarsénico MMA y ácido dimetilarsínico DMA, es el indicador más preciso de una exposición reciente al arsénico” (Marchiset-Ferlay, Nathalie, Savanovitch y Chantal, 2012, p. 150).

2.8. Farmacocinética

El arsénico se absorbe principalmente por inhalación o consumo oral y rara vez es absorbido de forma cutánea. Durante el consumo oral, la tasa de absorción de arsénico por medio de los intestinos o visceral es del 90 %, siendo más que otros metales pesados. El arsénico absorbido se bioacumula dentro de los glóbulos rojos y se sitúa visceralmente en hígado, riñones, también en músculos, piel, cabello, huesos y uñas, pero se expulsa vía urinaria. Los compuestos de arsénico inorgánico suprimen las actividades de varias enzimas involucradas en la respiración celular, el metabolismo del glutatión y la síntesis de Ácido Desoxirribonucleico ADN, y pueden atravesar la placenta y afectar el desarrollo del sistema nervioso fetal, el metabolismo del arsénico es un proceso complejo que involucra más de cinco metabolitos y comienza con la metilación de compuestos de arsénico inorgánico. En el cuerpo, el arseniato pentavalente compuesto de arsénico inorgánico se convierte en arsenito trivalente. La mayoría del arsenito trivalente se Metaboliza en Ácido Monometilarsénico MMA y luego en Ácido Dimetilarsínico DMA, antes de excretarse en la orina.

La principal vía metabólica del arsénico es la metilación. El arsenito trivalente se metila a los metabolitos principales MMA y DMA antes de ser

expulsado a través de la orina. Alguna vez se pensó que la metilación desintoxicaba el arsénico; sin embargo, “estudios recientes han reportado una mayor toxicidad debido a la metilación en algunos metabolitos que contienen arsenito trivalente” (Tchounwou, Patlolla y Centeno, 2003, p. 575).

El arsénico ha sido confirmado como cancerígeno; sin embargo, aún no se conocen los mecanismos precisos que realiza la exposición aguda o crónica al arsénico para inducir el cáncer. “El mecanismo tóxico del arsénico es complejo, porque el arsénico debe su toxicidad respecto a su grado de oxidación y solubilidad, además de numerosos otros factores internos y externos” (Centeno, Gray y Mullick, 2005, p.195). Estudios recientes evidenciaron la toxicidad del arsénico respecto a la cantidad, duración y frecuencia del contacto que se tenga con este; la especie biológica años; sexo; sensibilidad individual; genética; y factores nutricionales. Un mecanismo tóxico bien descrito del arsénico es el deterioro de la respiración celular a través de la interferencia con la fosforilación oxidativa causada por la inhibición de varias enzimas mitocondriales. El arsénico inorgánico es el mayor causante de intoxicación en los humanos. El arsenito (estado oxidativo III) es entre dos a diez veces más tóxico que el arseniato (estado oxidativo V). “El arsenito trivalente suprime la actividad de más de 200 enzimas después de unirse con grupos tiol o sulfhidrilo, lo que afecta a numerosos órganos” (Goyer, Casarett y Klaassen, 2001, p. 811) y “el arseniato pentavalente se puede reemplazar con fósforo, después de lo cual afecta a numerosas vías bioquímicas” (Hughes, 2002, p. 16).

2.9. Toxicidad del arsénico

“Al arsénico se le conoce por ser un causante conocido de cáncer por su exposición en vías respiratorias y digestivas” (Centeno, Gray y Mullick, 2005, p. 311). Estudios resultantes informan que en animales y epidemiológicos han

evidenciado al arsénico inorgánico pueden clasificarse como cancerígenos del grupo uno o grupo 2B como DMA y MMA, la arsenobetaína y otros organoarsénicos no se han catalogado como cancerígenos del grupo 3. Se han sugerido varias hipótesis referentes a compuestos inorgánicos de arsénico como potenciales cancerígenos; sin embargo, los mecanismos biomoleculares son poco conocidos. Se han sugerido nueve hipótesis diferentes con respecto al mecanismo tóxico detrás del arsénico, que incluyen anomalías cromosómicas inducidas, estrés oxidativo, reparación alterada del ADN, patrones alterados de metilación del ADN, factores de crecimiento alterados, proliferación celular mejorada, promoción / progresión, supresión de P53 y amplificación génica. Al día de hoy, se asocia el arsénico con cáncer de pulmones, vejiga y piel, pero limitadas las evidencias respecto al cáncer producido en riñones, próstata e hígado. “La evidencia epidemiológica clave con respecto a la carcinogenicidad del arsénico proviene de estudios de Taiwán” (Chen, Kuo y Wu, 1988, p. 414), no obstante, a sabiendas de la toxicidad bien establecida del arsénico, se carecen de estudios por contacto recurrente en concentraciones bajas y aparición de cánceres; se necesitan más estudios para apoyar una gestión eficaz de la salud pública.

2.10. Carcinoma de piel

Varios estudios informan respecto al cáncer provocado y asociado al contacto con arsénico, específicamente, se descubrió que el contacto con arsenito trivalente está asociado con la aparición de carcinomas de piel provocados por los rayos ultravioleta (UV). En múltiples regiones, los carcinomas cutáneos involucrados con arsénico son a menudo carcinomas de células escamosas causados por queratinización. Además, el hecho de un aumento significativo de cáncer aumento proporcionalmente al tiempo de en el que este se acumula dentro del área infectada por “la enfermedad denominada del pie

negro, la duración del uso de agua, la concentración de arsénico en esta y la exposición acumulada al arsénico” (Hsueh, Chiou, Huang y Wu, 1997, p. 589), además, “un estudio reciente ha informado la relación entre cáncer cutáneo y las enfermedades vasculares” (Luster y Simeonova, 2004, p. 419). En un reciente estudio epidemiológico realizado en residentes de Hungría, Rumania y Eslovaquia que evaluó el riesgo carcinogénico de concentraciones bajas de arsénico a largo plazo en el agua potable (Estudio de evaluación de riesgos de salud y epidemiología molecular del arsénico), “bajas concentraciones de arsénico (≤ 100 $\mu\text{g/L}$ de arsénico inorgánico) se asociaron significativamente con el riesgo de desarrollar carcinoma baso celular” (Leonardi, Vahter, Clemens, Goessler y Gurzau, 2012, p. 721).

2.11. Cáncer pulmonar

En un estudio reciente realizado en Taiwán, se observó una alta tasa de mortalidad y una tasa de mortalidad estandarizada de cáncer de pulmón entre los pacientes que consumieron agua potable con alto contenido de arsénico durante los últimos 50 años; además, las reducciones de arsénico del agua del grifo también disminuyeron la mortandad por cáncer de pulmón, mayoritariamente estudios epidemiológicos, han demostrado el riesgo establecido entre 2 y 3 de cáncer pulmonar, no obstante, “el consumo de tabaco acrecienta el riesgo de contraer cáncer, y disminuir el contacto con arsénico también reduce riesgos de cáncer pulmonar para los fumadores” (Chen, Kuo y Wu, 1988, p. 942).

2.12. Efectos no cancerígenos, neurológicos, memoria y función intelectual

“El arsénico acumulado en la infancia puede inducir anormalidades en la adolescencia y cambios en el comportamiento neurológico en la edad adulta”

(Tsai, Chou, The y Chen, 2003, p. 747), además, pueden producirse mayores efectos posterior a exponerse al plomo; se recomienda precaución. La neuritis causada por el arsénico es una complicación reconocida respecto a la toxicidad del arsénico conociéndose que afecta las funciones sensoriales de los nervios periféricos. Estudios realizados a niños mexicanos han demostrado que el contacto con arsénico se asocia con un coeficiente intelectual verbal y déficits de memoria a largo plazo; el efecto fue proporcional a la dosis; por lo tanto, “un niño expuesto a 50 µg/L de arsénico tuvo un rendimiento significativamente más bajo que un niño expuesto a 5.5 µg/L de arsénico” (Wasserman, Liu, Parvez, Ahsan y Factor-Litvak, 2004, p. 1329).

2.13. Diabetes

Recientemente, se ha sugerido que exponerse al arsénico afecte la ocurrencia de diabetes, en particular, se ha informado relación entre la diabetes tipo 2 que ocurre en personas obesas de cuarenta años o mayores y el contacto con arsénico inorgánico. “Los estudios advierten que la una tasa de ocurrencia de diabetes para los residentes en una región con gran acceso de agua potable con arsénico es de 2 a 5 veces mayor que en sujetos no expuestos, lo que sugiere que el arsénico puede influir en ocurrencia de diabetes” (Lai, Hsueh, Chen, Shyu, Chen, 1994, p. 484) y se ha predicho que el arsénico inorgánico puede ser diabetógeno en humanos, pero se necesita investigación adicional para dilucidar el mecanismo potencial.

2.14. Efectos sobre la piel

Muchos estudios examinaron la incidencia de varios trastornos de la piel respecto al contacto de arsénico. “La melanosis y la queratosis ocurrieron en 36 de 167 residentes (13.9 %) expuestos al agua potable con bajas concentraciones de

10 µg/L o menos de arsénico” (Ahsan, Perrin, Rahman, Parvez y Stute, 2000, p. 1195).

El arsénico podría afectar a los trombocitos, importantes en la relación con enfermedades del corazón. En presencia de trombina, el arsenito trivalente aumenta la aglutinación de los trombocitos. Estudios practicados en animales, se observó el arsénico en agua para consumo aumenta la formación de trombos arteriales; “la ingesta a largo plazo de agua conteniendo arsénico puede acrecentar la aglutinación de trombocitos e inducir enfermedades cardiovasculares” (Lee, Bae, Chung y Kang, 2002, p. 83). Sin embargo, se requieren estudios adicionales para determinar la relevancia de estos resultados en humanos.

2.15. Efectos sobre el sistema reproductivo

“Se han informado complicaciones en embarazos por contacto e ingestión de agua con arsénico” (Chakraborti, Mukherjee, Pati, Sengupta y Rahman, 2003, p. 1194). La mortalidad en fetos se vio aumentada por aquellas mujeres que tuvieron contacto e ingesta de agua con arsénico. También se descubrió que el contacto con arsénico durante el embarazo afecta la excreción de orina y la distribución de metabolitos, interfiere al correcto desarrollo fetal. Además, se cree que estos efectos se manifiestan de varias maneras según la etapa del embarazo. “Experimentos en animales sugieren que pueden ser causadas por necrosis, apoptosis y pérdida del óvulo fertilizado debido a exponerse al arsénico” (Chattopadhyay, Bhaumik, Purkayastha y Basu, 2002, p. 65). Mientras que Hopenhayn, 2003, indica que posiblemente ha surgido que exposiciones prolongadas crónicamente a bajas concentraciones de arsénico (<50 µg/L) puede causar un peso bajo en recién nacidos y afectar un crecimiento placentario en el útero, se necesita investigación adicional en esta área.

2.16. Exposición directa

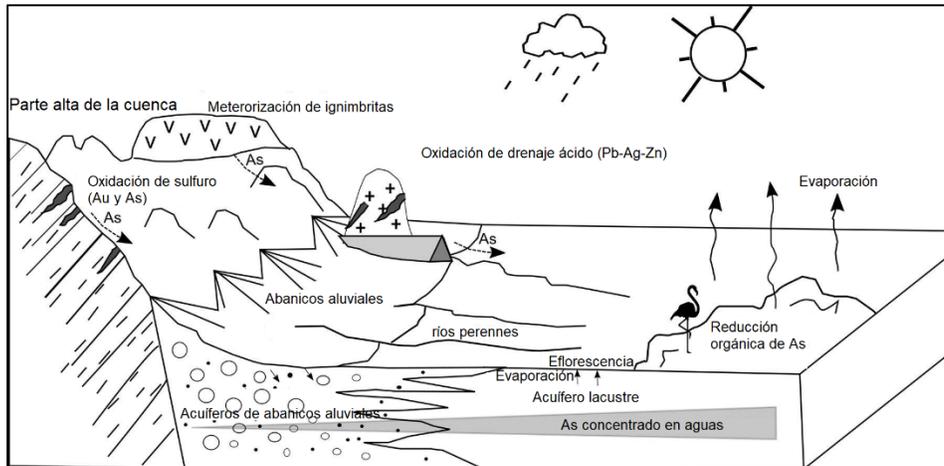
Si bien los datos de evaluación de la exposición ambiental generalmente se necesitan para verificar una exposición, los datos de monitoreo biológico también se valoran altamente como una medición objetiva. El arsénico absorbido a través del sistema respiratorio o el sistema digestivo se convierte en pocas horas en más de cinco metabolitos diferentes, que luego se expulsan a través de la orina. “La sangre, la orina, las uñas y el cabello son indicadores posibles de exposición corporal al arsénico, teniendo ventajas y desventajas en cada uno como indicador” (Marchiset-Ferlay, 2012, p. 155).

El arsénico en la sangre es el reflejo más preciso de la exposición reciente a altas concentraciones, pero debido a la naturaleza de la matriz sanguínea, la medición de sangre es más difícil de analizar que la orina. “La exposición en los primeros días (de dos a tres días) pueden ser detectados para sus estados de oxidación en una muestra excretada, es conocido que los materiales biológicos ideales pueden medir la exposición” (Marchiset-Ferlay, 2012, p. 159), sin embargo, varios factores de confusión como el sexo, la edad, la variación individual, el tabaquismo y los factores dietéticos dificultan el análisis de los valores de arsénico en la orina, el análisis del arsénico en el cabello ha sido sugerido como un nuevo método para medir la exposición al arsénico; sin embargo, existen limitaciones en su aplicación en estudios epidemiológicos debido a dificultades en su análisis, sin embargo, el arsénico medido en una muestra de orina es actualmente el método más apropiado en estudios epidemiológicos.

- Geoquímica en aguas superficiales y subterráneas

Las concentraciones más bajas de arsénico y sólidos disueltos se encuentran generalmente en el inicio de ríos o nacimientos y las concentraciones más altas se encuentran en un cuerpo receptor si este es de poca profundidad, principalmente en forma de lodos al fondo del mismo. En el agua subterránea, las concentraciones de arsénico aumentan desde el acuífero del anillo exterior compuesto por sedimentos de abanico aluvial-aluvial hasta el acuífero lacustre interno que rodea el cuerpo receptor. Además, las altas concentraciones de arsénico durante la estación seca, las relaciones de masa sodio-potasio y la formación de sales eflorescentes ricas en sodio sugieren que las altas tasas de evaporación aumentan la concentración de arsénico, mientras que el agua de lluvia diluye la concentración durante la estación húmeda. El As(V) es la especie dominante en todos los tipos de agua, excepto en el cuerpo receptor, donde el As(III) domina ocasionalmente debido a la acumulación de materia orgánica. Por tratarse de una cuenca cerrada, “el arsénico liberado de fuentes naturales y antropogénicas es transportado en solución y en sedimentos fluviales y finalmente se acumula en el centro de la cuenca donde la concentración en el agua aumenta por evaporación con realce ocasional por la interacción de la materia orgánica en la cuenca” (Murray, 2019).

Figura 2. **Diagrama de convección en un sistema hidrotermal sobre rocas ígneas calientes**



Fuente: Murray (2019). *Science of The Total Environment*

- Caso de Contaminación por arsénico de las aguas subterráneas en Bangladesh

En el año 1993, se examinaron las muestras de agua de algunos pozos entubados ubicados en la zona fronteriza norte de Bangladesh para detectar contaminación por arsénico y se encontró que contenían arsénico en el rango de 0.059 a 0.388 mg/L, que era más alto que el nivel estándar de arsénico de Bangladesh. En el agua potable (0.05 mg/l), dentro de los 12 años posteriores a la primera detección de arsénico, era evidente que la contaminación por este mineral en las aguas subterráneas se encontraba en 62 distritos de Bangladesh, luego de la detección y notificación esporádicas de contaminación de aguas subterráneas con arsénico, en 1996 se inició una evaluación de detección de contaminación por arsénico en agua de pozos entubados en todo el país, que constituyó alrededor del 29 % de los pozos entubados, posteriormente en 2003, el Proyecto de Abastecimiento de Agua para la Mitigación del arsénico de

Bangladesh BAMWSP, por sus siglas en inglés, realizó una encuesta general a nivel nacional que abarcó 57,482 aldeas, donde se informó que de los 4,950,000 pozos se encontraban contaminados. La proporción de contaminación fue del 29.1 %, similar al cribado inicial, y la evaluación a nivel nacional reveló además que el 15 % de las aldeas, más del 80 % de los pozos entubados estaban contaminados, y estas aldeas fueron asignadas como puntos críticos. Los pueblos de puntos calientes fueron más comunes en las partes media y sur del país. Se encontró que la concentración de arsénico para la mayor parte de pozos contaminados estaba en el rango de 0.10–0.30 mg/L. La concentración más alta de arsénico detectada en el agua del pozo fue de 4.7 mg/L. Otra encuesta del año 2009 que tomó muestras de agua a pozos en 13,423 hogares en todo el país reveló que el nivel de arsénico para el 12.6 % de las muestras analizadas excedía el estándar de arsénico de Bangladesh para el agua potable.

3. MARCO METODOLÓGICO

Con los datos obtenidos por parte del MARN, se realizarán distintas etapas en la metodología para el análisis de la siguiente forma:

3.1. Etapa de gabinete:

En esta etapa, se realizarán las gestiones para la obtención de resultados de los análisis de laboratorio que serán utilizados para la investigación, así como elaboración de protocolo de la siguiente manera:

3.2. Obtención de análisis de laboratorio:

Se realizó una solicitud a la Unidad de Información Pública del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para que sean proporcionados los análisis de laboratorio de las muestras tomadas en el nacimiento de aguas termales Trapiche Vargas del municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa a partir del año 2012 al 2018.

3.3. Tabulación de los resultados de análisis de arsénico:

Se realizaron tabulaciones de los resultados de arsénico analizados en laboratorio, ingresándolos en una tabla en función de la fecha en que la muestra fue tomada, quedando la tabulación de la siguiente forma:

Tabla I. **Tabulación de las concentraciones de As en función de la fecha**

No. Muestra	Fecha	[As]mg/L
1	dd ₁ /mm ₁ /aaaa ₁	[As] ₁
2	dd ₂ /mm ₂ /aaaa ₂	[As] ₂
3	dd ₃ /mm ₃ /aaaa ₃	[As] ₃
N _i	dd _N /mm _N /aaaa _N	[As] _N

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

3.4. Gráficos y análisis estadístico de los resultados:

A partir de los datos tabulados, se ordenarán de la fecha más antigua a la más reciente, posterior a esto, se procederá a realizar diferentes tipos de gráficos para analizar cuál será el que mejor cubra la necesidad de plasmar las variaciones de las concentraciones de arsénico en función de las fechas de la toma de muestra en el nacimiento termal.

Se aplicarán métodos estadísticos para evaluar la regresión, varianza, desviación estándar y el error típico para la serie de datos.

Colección de fuentes bibliográficas: Es muy importante la selección de fuentes bibliográficas que aporten la literatura que mejor se acople a la investigación que se está realizando, en este caso los temas más importantes a aplicar son los siguientes:

- Hidrogeología
- Geoquímica

- Geología
- Geofísica
- Estadística

Las fuentes a citar pueden ser informes, artículos científicos, tesis, investigaciones, libros, documentos electrónicos y otras fuentes confiables que reflejen un estudio relacionado al tema de aplicación.

3.5. Etapa de campo:

En esta etapa se realizarán visitas al área piloto, en este caso al nacimiento de aguas termales Trapiche Vargas, ubicado en el municipio de Asunción Mita, departamento de Jutiapa, con las coordenadas geográficas N14°20'25.8"; O89°37'59.4", para realizar la recolección de datos que sean necesarios para el avance de la investigación, los cuales pueden ser una muestra, medición de caudal y parámetros *in situ* de potencial de hidrógeno y temperatura.

3.6. Medición de parámetros *in situ*:

En la medición de estos parámetros contamos con los siguientes:

- Potencial de hidrógeno: Este parámetro nos indicará la acidez o alcalinidad que pueda estar aportando el nacimiento termal Trapiche Vargas hacia su cuerpo receptor.
- Caudal: La medición de caudal tanto en época seca como lluviosa proporcionará la información de la posible concentración aproximada de arsénico que este aporta al cuerpo receptor en dimensionales variadas de

caudal, por ejemplo, mg/día, kg/día, kg/año y otras que mejor se acoplen al estudio.

- La medición de caudal proporcionará el flujo másico de arsénico en función del tiempo y de esta forma concluirse la carga de arsénico aportada al cuerpo receptor.

3.7. Toma de fotografías:

Las fotografías se utilizarán para proporcionarle una idea al lector de la forma del nacimiento y como este fluye a través del área de estudio.

3.8. Rectificación de coordenadas:

En cada una de las visitas se tomarán coordenadas con un GPS para reducir el error, lo cual será de utilidad para su procesamiento en los softwares de Sistemas de Información Geográfica –SIG- y estudiar su interacción con la microcuenca.

3.9. Etapa de laboratorio:

Esta etapa incluye el procedimiento de toma de muestras y traslado al laboratorio para su respectivo análisis, aunque las muestras fueron tomadas en los años 2012 a 2018 se detalla el procedimiento de cada una de las etapas.

3.10. Toma de muestras por parte del MARN en los años 2012 a 2018:

Las muestras fueron tomadas por profesionales del Departamento de Recursos Hídricos y Cuencas DRHyC, en un recipiente de polietileno de alta

densidad, preservando las muestras con ácido nítrico, refrigeradas a 4 grados Celsius y trasladadas al Laboratorio Nacional de Salud LNS para su análisis antes de las 24 horas, se siguió el protocolo de toma de muestras que establece el DRHyC.

3.11. Análisis de las muestras en laboratorio:

Las muestras fueron analizadas en el LNS en un equipo de absorción atómica, mediante la técnica de horno de grafito, el cual es de utilidad para muestras que requieran la cuantificación de trazas de arsénico, en este caso en partes por billón (ppb), lo que corresponden a microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$).

Para la preparación de la muestra previa a su análisis se utiliza una alícuota de 45 mL y se adhiere 5 mL de ácido nítrico al 65 %. El siguiente paso es la digestión en un horno de microondas a 165 °C por 10 minutos; la muestra ya digerida puede ser utilizada para su análisis en absorción atómica siguiendo las instrucciones del método 7010 de la EPA; algunas veces debe de considerarse si se utiliza una solución de paladio como anti interferente.

Los análisis reportados por el LNS son enviados firmados y sellados al Departamento de Recursos Hídricos y Cuencas del MARN y pueden ser solicitados mediante la Unidad de Información Pública de ese Ministerio de forma justificada y escrita, así como análisis en laboratorios privados, como en este caso el Laboratorio Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

El arsénico elemental y muchos de sus compuestos son volátiles; por lo tanto, las muestras pueden estar sujetas a pérdidas de arsénico durante la preparación de la muestra. Asimismo, se debe tener precaución durante la selección de la temperatura y los tiempos para los ciclos de secado y carbón

(cenizas). Se debe agregar un modificador matricial como nitrato de níquel o nitrato de paladio a todos los digeridos antes del análisis para minimizar las pérdidas por volatilización durante el secado y la ceniza.

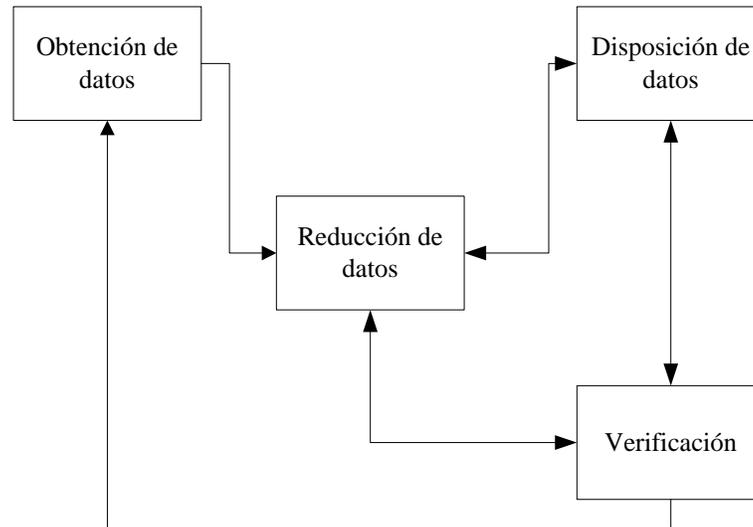
3.12. Análisis de información

Se analizará la información y así evaluar cuál es el mejor tratamiento de los datos a aplicarse dependiendo de su procedencia.

3.13. Datos cuantitativos:

Se cuenta con datos cuantitativos de las concentraciones de arsénico en el nacimiento geotermal, analizado en muestras de agua tomadas en diferentes fechas, con lo que se utilizará una tabulación de los mismos y la aplicación de métodos estadísticos, para un mejor manejo se aplicará el siguiente procedimiento cíclico:

Figura 3. **Procedimiento de análisis**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

3.14. Reducción de datos

Se simplificará, resumirá, para que la selección de la información sea abarcable y manejable.

La reducción de datos supone también descartar o seleccionar para el análisis parte del material informativo recogido, teniendo en cuenta determinados criterios teóricos y prácticos.

Categorización. Se realizará la operación concreta por la que se asigna a cada unidad un indicativo (código). Los códigos, que representan a las categorías, consisten por tanto en marcas que se añadirá a las unidades de datos, para indicar a la categoría a la que pertenecen.

Disposición y transformación de datos: La disposición de la información de una forma gráfica y organizada, tras su obtención, facilitará la comprensión y el análisis de la misma; servirá para ilustrar las relaciones de varios conceptos o el proceso de transición entre etapas o momentos de investigación o del desarrollo del fenómeno de estudio.

Se pueden considerar:

Gráficas descriptivas: Son representaciones que describen el contexto o la evolución de las situaciones, un ejemplo de éstas puede ser: los esquemas contextuales y los diagramas de evolución de una situación.

Gráficas explicativas: Ayudarán a comprender los fenómenos estudiados, pueden ser: diagramas de dispersión, de flujo o causales.

Tablas descriptivas: Consisten en tablas que contienen información cualitativa, construidas con la intención de obtener una visión global de los datos, ayudar a su análisis combinarlos y relacionarlos, etc. Tenemos: la lista de control, matrices ordenadas temporalmente, según la función de la persona.

Tablas explicativas: Son tablas que se utilizan para recomponer la información recogida y para comprender los fenómenos estudiados, es ilustrador incorporar explicaciones, motivaciones e hipótesis tentativas sobre los fenómenos investigados.

El análisis de contenido trata de descubrir los significados de un documento o del material proporcionado en este caso por parte del MARN. El propósito es poner de manifiesto los significados, tanto los manifiestos como los latentes, ya

para eso se deberá clasificar y codificar los diferentes elementos en categorías que representen más claramente el sentido.

Según Gómez Mendoza, 2000, págs. 129-138, se establece el proceso de análisis de contenido de la siguiente forma en cuatro etapas:

- Análisis previo: Se trata de familiarizarse con el contenido y los temas que trata, poco a poco la lectura se hace más precisa, aparecen los primeros temas, algunas hipótesis de trabajo.
- Preparación del material: Los documentos se desglosan en unidades de significación que son clasificadas en categorías. Esta idea se puede subdividir en tres:
 - Constitución del corpus: consiste en concretar el conjunto de textos, documentos que van a ser analizados.
 - Transcripción: La cual puede contener a su vez anotaciones, opiniones, contextualizaciones del autor de las observaciones o entrevistas.
 - Elección del procedimiento de tratamiento: el procedimiento tradicional, el uso de una aplicación informática, etc. El procedimiento consiste en el desglose del contenido, la agrupación en temas y la identificación de categorías y subcategorías.
- Selección de unidades de análisis. - pueden ser las categorías anteriores elaboradas a partir de conceptos ideas y temas.
- Explotación de los resultados. - después de la descomposición el material se reorganiza, se trata de reconstruir el sentido del texto una vez realizado el análisis de contenido.

3.15. Obtención de resultados y conclusiones

Las conclusiones serán la parte más importante de la investigación, proporcionando la respuesta definitiva a las preguntas que fueron planteadas en la investigación científica.

Las conclusiones son, por tanto, afirmaciones, proposiciones en las que se recogen los conocimientos adquiridos en relación al problema planteado.

3.16. Verificación de conclusiones

Una vez alcanzadas las conclusiones del estudio, es necesario verificar esas conclusiones, es decir, confirmar que los resultados corresponden a los significados e interpretaciones que mejor se apliquen a la realidad del estudio que han partido de las hipótesis.

Verificar las conclusiones de un estudio significa, por tanto, comprobar el valor de verdad de los descubrimientos realizados, o lo que es igual, comprobar su validez basándose en juicios sobre la correspondencia entre los hallazgos y la realidad.

A partir de los datos proporcionados por parte del MARN se realizarán distintos tipos de análisis, especialmente gráficos para verificar el comportamiento del arsénico en función de la época del muestreo; para este caso el gráfico de barras será el que mejor represente el comportamiento de cada uno de los datos y utilizándolos para su mejor comprensión para reflejarlos en función de la concentración ya sea en partes por millón o partes por billón, porcentajes, la época de muestreo, fechas de muestreo y caudales

Tabla II. **Concentraciones de arsénico y época de muestreo**

Fecha de muestreo	[As]mg/L	[As]µg/L	Código muestra	Época
8/08/2012	0.267	267	MAR12-94	Lluvia
13/02/2013	0.122	122	MAR13-03D	Seca
8/03/2013	0.747	747	MAR13-09B	Seca
14/08/2013	0.813	813	MAR13-109	Lluvia
21/11/2013	1.157	1157	MAR13-187	Seca
26/03/2014	0.969	969	MAR14-70	Seca
8/10/2014	1.154	1154	MAR14-229	Lluvia
18/02/2015	1.265	1265	MAR15-15	Seca
11/11/2015	1.37	1370	MAR15-180	Seca
20/05/2016	1.188	1188	MAR16-68	Lluvia
24/11/2016	1.151	1151	MAR16-197	Seca
21/04/2017	1.146	1146	MAR17-70	Seca
25/05/2018	0.680	680	MAR18-61	Lluvia

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018). *Informe de análisis de muestras de aguas residuales y lodos*

4. ELABORACIÓN DE MAPAS PARA LA CUENCA Y MICROCUENCA

Se elaborarán mapas utilizando programas computacionales de sistemas de información geográfica –SIG- para mostrar una mejor perspectiva del área de estudio y delimitar los cuerpos de agua afectados por el arsénico del nacimiento Trapiche Vargas.

4.1. Cuenca del área de estudio

El estudio será delimitado dentro de la cuenca Ostúa-Güija la cual se ubica en el departamento de Jutiapa; partiendo de esta delimitación del punto de muestreo se realizará un análisis de la microcuenca del nacimiento Trapiche Vargas que tributa como afluente al río Morán y así obtener una mejor perspectiva de la microcuenca de estudio y los afluentes que se ven afectados por el arsénico producido del nacimiento.

4.2. Microcuenca del área de estudio:

El nacimiento Aguas Termales Trapiche Vargas pertenece a la microcuenca del río Morán, mismo donde desembocan sus aguas.

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los siguientes resultados del análisis realizado:

5.1. Análisis de los datos de monitoreo para calidad de agua

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los muestreos realizados en las fechas indicadas del año hidrológico:

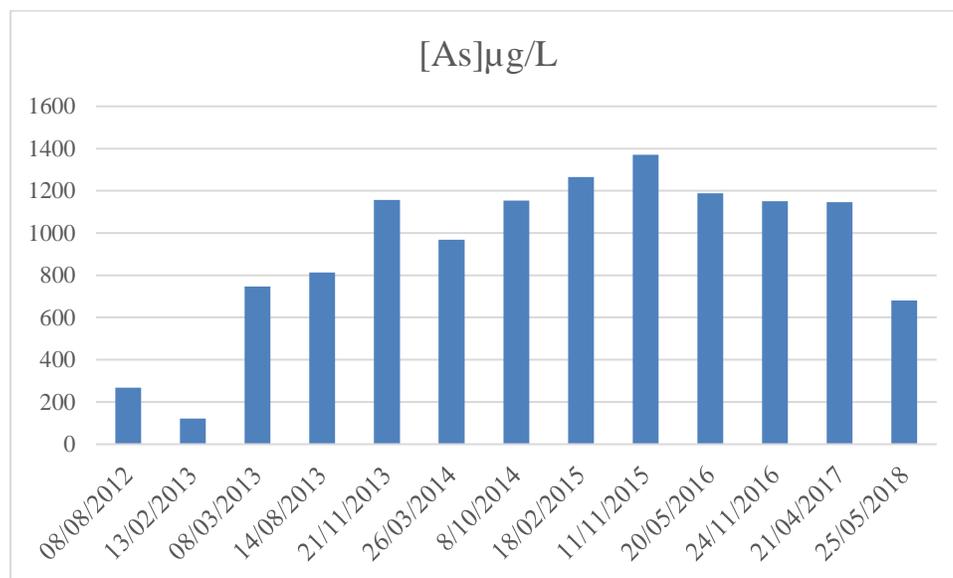
Tabla III. Muestreo por época

Fecha de muestreo	[As] mg/L	[As] µg/L	Código muestra	Época	Caudal L/s	g/día	kg/año
8/08/2012	0.267	267	MAR12-94	Lluvia	0.83333	19.22392	7.0167
14/08/2013	0.813	813	MAR13-109	Lluvia	0.58824	41.31951	15.082
8/10/2014	1.154	1154	MAR14-229	Lluvia	0.41667	41.54403	15.164
20/05/2016	1.188	1188	MAR16-68	Lluvia	0.45455	46.65595	17.029
25/05/2018	0.680	680	MAR18-61	Lluvia	0.50000	29.37600	10.722
13/02/2013	0.122	122	MAR13-03D	Seca	0.35714	3.76457	1.3741
8/03/2013	0.747	747	MAR13-09B	Seca	0.34483	22.25547	8.1232
21/11/2013	1.157	1157	MAR13-187	Seca	0.32258	32.24675	11.770
26/03/2014	0.969	969	MAR14-70	Seca	0.35714	29.90058	10.914
18/02/2015	1.265	1265	MAR15-15	Seca	0.31250	34.15500	12.467
11/11/2015	1.37	1370	MAR15-180	Seca	0.30303	35.86906	13.092
24/11/2016	1.151	1151	MAR16-197	Seca	0.34483	34.29190	12.517
21/04/2017	1.146	1146	MAR17-70	Seca	0.35714	35.36230	12.907

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018). *Informe de análisis de muestras de aguas residuales y lodos.*

La tabla III, muestra un ordenamiento en función de la época que se realizó el monitoreo y toma de muestras en el nacimiento Trapiche Vargas, respecto a esta tabulación, así como cada una de las concentraciones de arsénico contenidas en cada muestra y sus respectivos caudales, en base a esto se determinó el aporte másico de arsénico que es tributado hacia el río Morán en gramos por día y kilogramos por año.

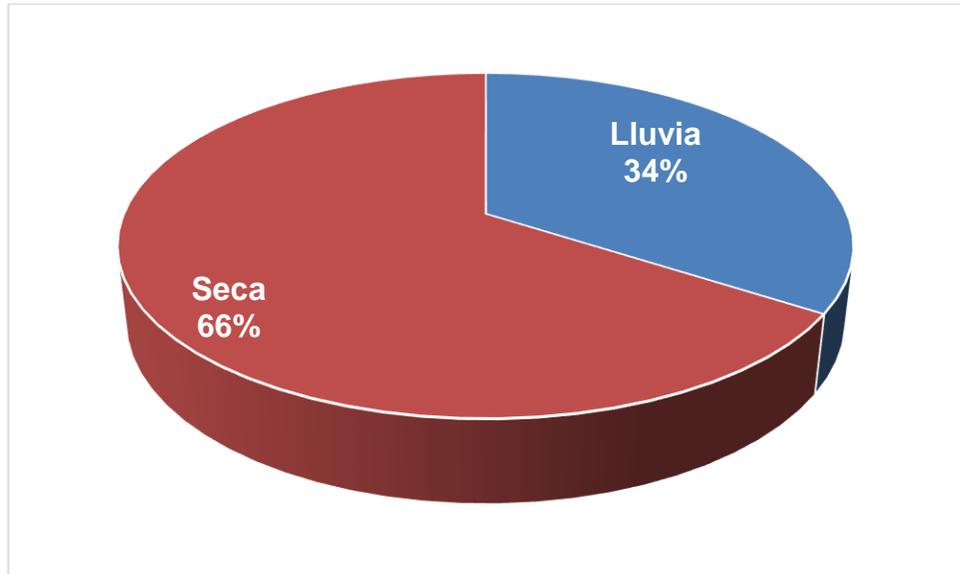
Figura 4. **Concentración de arsénico respecto a la fecha de monitoreo**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

La figura 4, muestra el comportamiento del arsénico respecto a la fecha de toma de muestras, este refleja un comportamiento muy variable respecto a la concentración, misma que dependerá no de una fecha concreta sino de la época, ya sea lluviosa o seca.

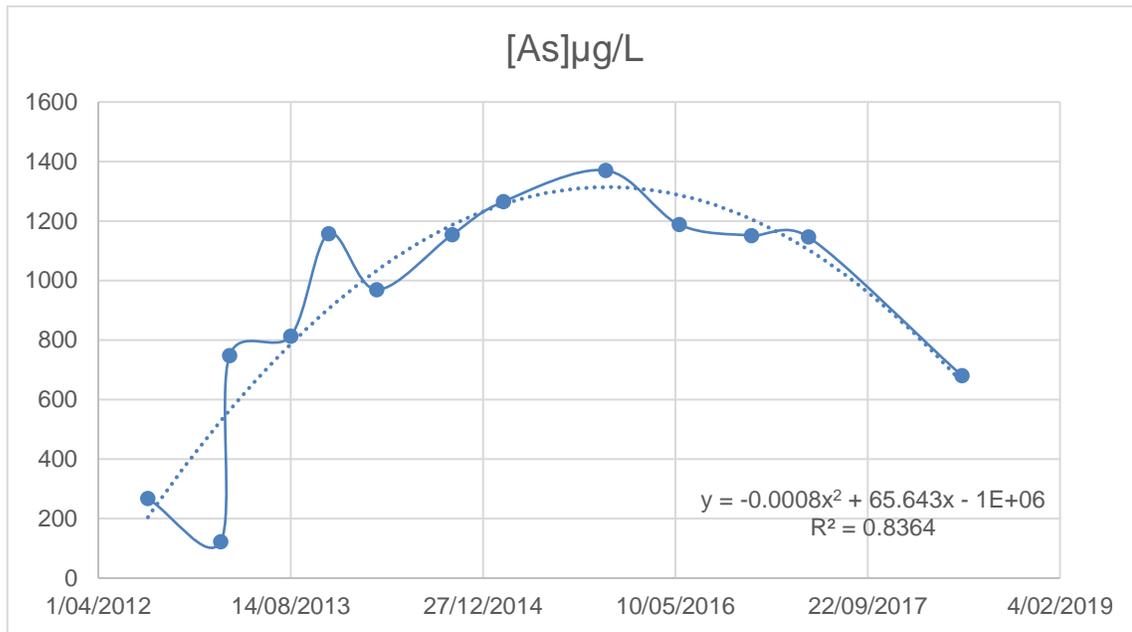
Figura 5. **Porcentaje de concentración de arsénico por época**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

La figura 5, muestra la proporción de la concentración de arsénico respecto a la época, esta concentración tiende a aumentar en la época seca, debido a que el caudal disminuye favoreciendo así un aumento de la concentración.

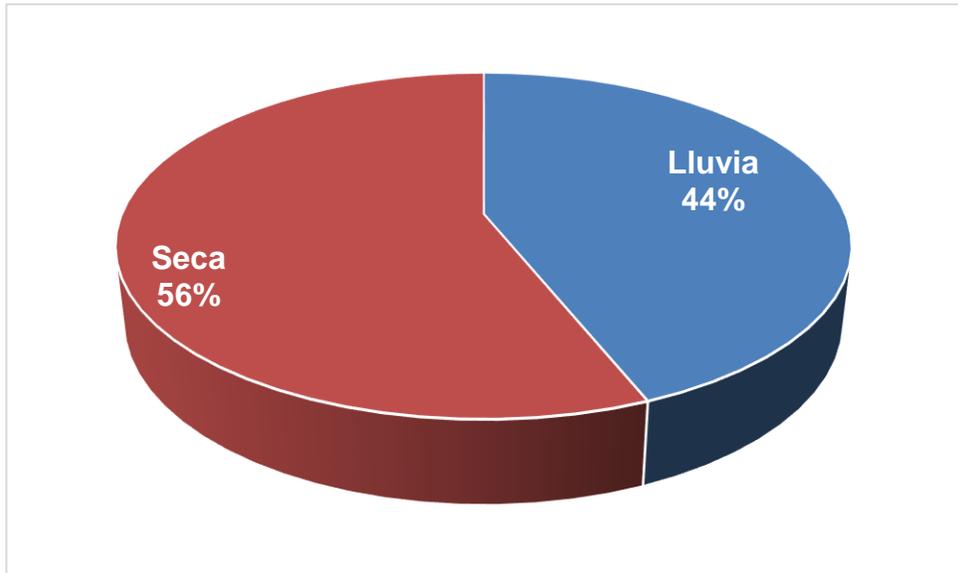
Figura 6. Comportamiento del arsénico en función de la fecha de monitoreo



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

La figura 6 muestra un comportamiento sin tendencia en función de la fecha de monitoreo y toma de muestras, no es posible establecer un modelo matemático con los datos obtenidos para predicciones de las concentraciones de arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas, aunque un monitoreo más constante proporcionaría una mejor calidad de datos con un posible modelo predictivo, en este caso para una ecuación de segundo grado muestra mucha dispersión entre cada punto.

Figura 7. **Proporción de aporte másico de arsénico (g/día) respecto a la época**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

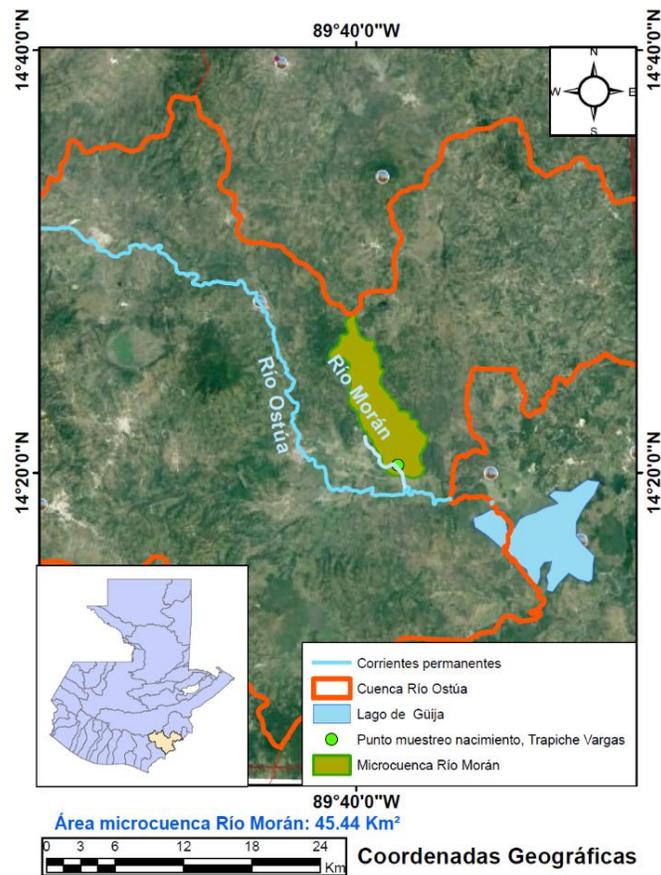
La figura 7 muestra la proporción de aporte másico de arsénico hacia el río Morán en función de la época, teniendo un 56 % para la seca contra un 44 % en la lluviosa, según lo observado en la tabla III, la disminución de caudal durante cada una de las épocas influye en el aporte de arsénico, aunque el acumulado de la época seca es mayor, los valores máximos como tributario al río Morán se encuentran durante la época de lluvia, siendo este 17.029 kg de arsénico por año, contra un máximo de 13.092 kg de arsénico por año para la seca, tomando en cuenta que los caudales se ven afectados por la misma razón.

Los promedios de aporte másico de arsénico son de 13kg/año en la época de lluvia y 10.4 kg/año para le época seca, por lo tanto, no se demuestra la dilución por aporte pluvial.

5.2. Delimitación de la microcuenca del río Morán

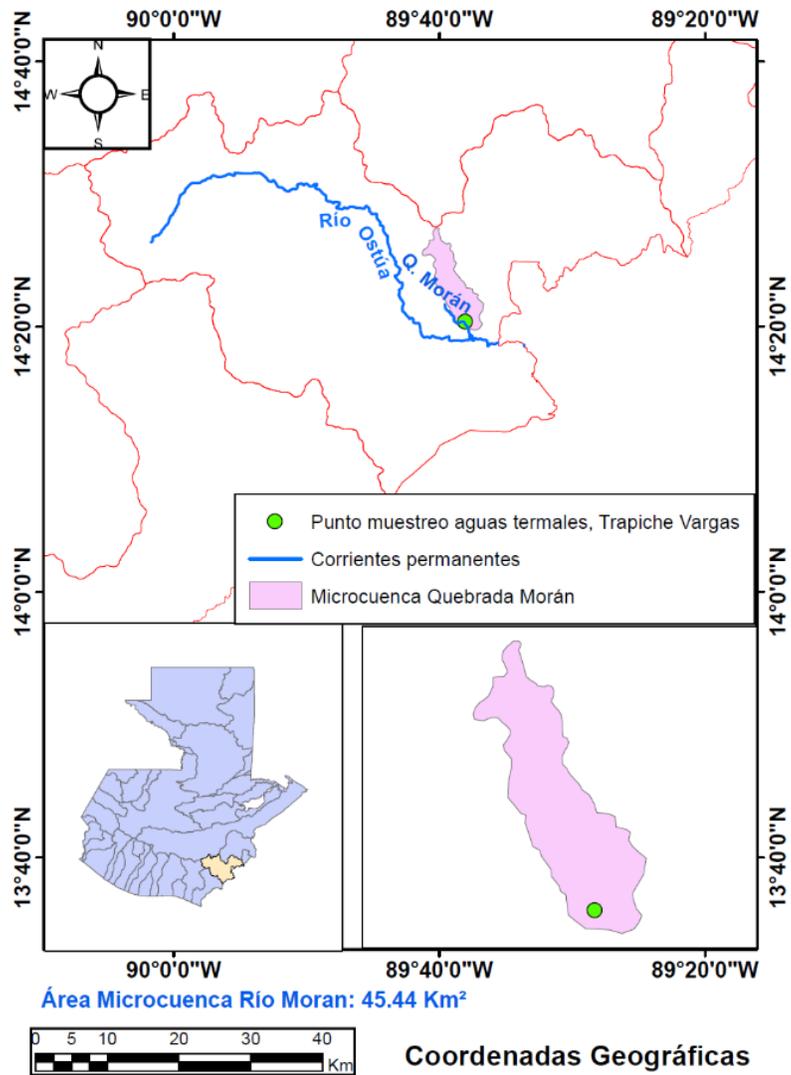
En la siguiente figura, se observa un panorama general de la ubicación del nacimiento Trapiche Vargas, ubicado en las coordenadas geográficas 14°20'25.80"N 89°37'59.40"O, respecto a la cuenca del río Ostúa y microcuenca del río Morán, dicha microcuenca comprende un área aproximada de 45.44 km².

Figura 8. Cuenca Ostúa-Güija y microcuenca río Morán



Fuente: elaboración propia, realizado en sistema de información geográfica.

Figura 9. **Microcuenca río Morán, nacimiento Aguas Termales Trapiche Vargas**



Fuente: elaboración propia, realizado en sistema de información geográfico.

En la figura 9 se delimita el área la microcuenca del río Morán, en cuyo interior se encuentra el nacimiento Trapiche Vargas, observándose que el río Morán desemboca finalmente hacia el río Ostúa.

5.3. Cálculo de la concentración promedio de arsénico (kg/año) aportado al río Morán

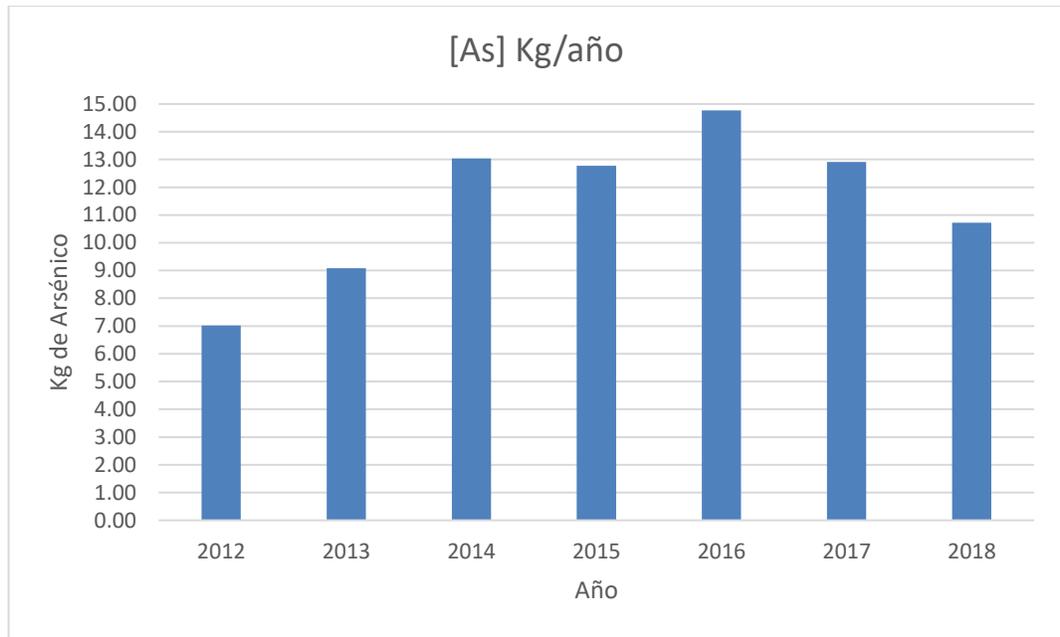
A continuación, se presentan los valores de caudales y concentraciones para cada año del monitoreo realizado por parte del MARN en el nacimiento Trapiche Vargas, respecto a los aportes de arsénico medidos.

Tabla IV. **Aporte de arsénico proveniente del nacimiento Trapiche Vargas (kg/año)**

Año de muestreos	Caudal (L/s)	[As] kg/año
2012	0.833	7.02
2013	0.490	9.09
2014	0.350	13.04
2015	0.340	12.78
2016	0.330	14.77
2017	0.357	12.91
2018	0.303	10.72
<i>PROMEDIO</i>	<i>0.429</i>	<i>11.47</i>

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Figura 10. **Aporte promedio anual de arsénico al río Morán**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

En la tabla IV se tabulan los aportes anuales de arsénico los cuales suman en promedio 11.47 kg/año durante el período de monitoreo de los años 2012 a 2018, en función de los caudales anuales siendo estos en promedio 0.429 L/s durante dicho período de tiempo. Asimismo, en la figura 10 se muestra el histograma de aporte de arsénico por cada año, siendo el de mayor aporte en el año 2016, estando este a un 30 % aproximadamente por encima del promedio antes mencionado, y el de menor aporte en el año 2012 que corresponde a un 40 % aproximadamente por debajo del promedio calculado.

5.4. Diagrama de concentración de arsénico en el nacimiento

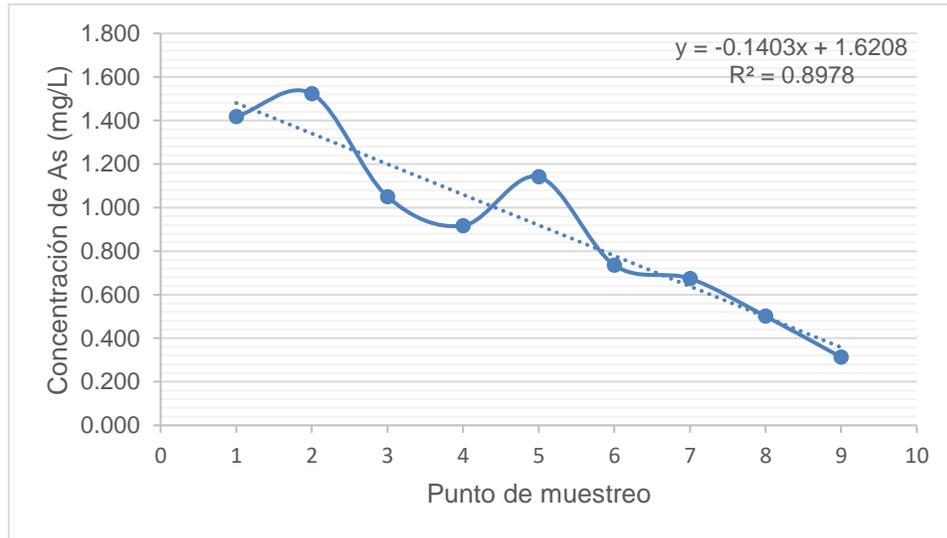
A partir de los resultados de laboratorio, se han georreferenciado los diferentes puntos de muestreo como se muestran en la tabla V, en donde se realizó nueve tomas de muestras para el análisis de la posible dilución del arsénico, esto derivado de su recorrido y en mayor parte la retención del mismo por la vida vegetal que se encuentra a orillas del cauce del nacimiento y algunas veces dentro del mismo, dichas plantas tienden a absorber el agua y a su vez incorporar el arsénico dentro de sus tejidos, que eventualmente vuelven a reincorporarse en el recorrido del nacimiento cuando algunas hojas y tallo vuelven al suelo.

Tabla V. **Puntos de muestreo en el nacimiento Trapiche Vargas**

Punto de muestreo	Coordenadas geográficas		As (mg/L)	Caudal (L/s)
1	14°20'25.80"N	89°37'59.40"O	1.418	0.309
2	14°20'18.74"N	89°38'00.49"O	1.523	0.309
3	14°20'12.53"N	89°37'59.42"O	1.050	0.309
4	14°20'06.58"N	89°37'52.66"O	0.917	0.309
5	14°19'56.43"N	89°37'48.14"O	1.141	0.309
6	14°19'47.91"N	89°37'44.26"O	0.736	0.309
7	14°19'39.12"N	89°37'40.57"O	0.674	0.309
8	14°19'29.13"N	89°37'43.76"O	0.501	0.309
9	14°19'24.07"N	89°37'37.97"O	0.313	0.309
PROMEDIO			0.919	0.309
[As] (kg/año)			28.404	

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Figura 11. **Concentración de arsénico en diferentes puntos de monitoreo**



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

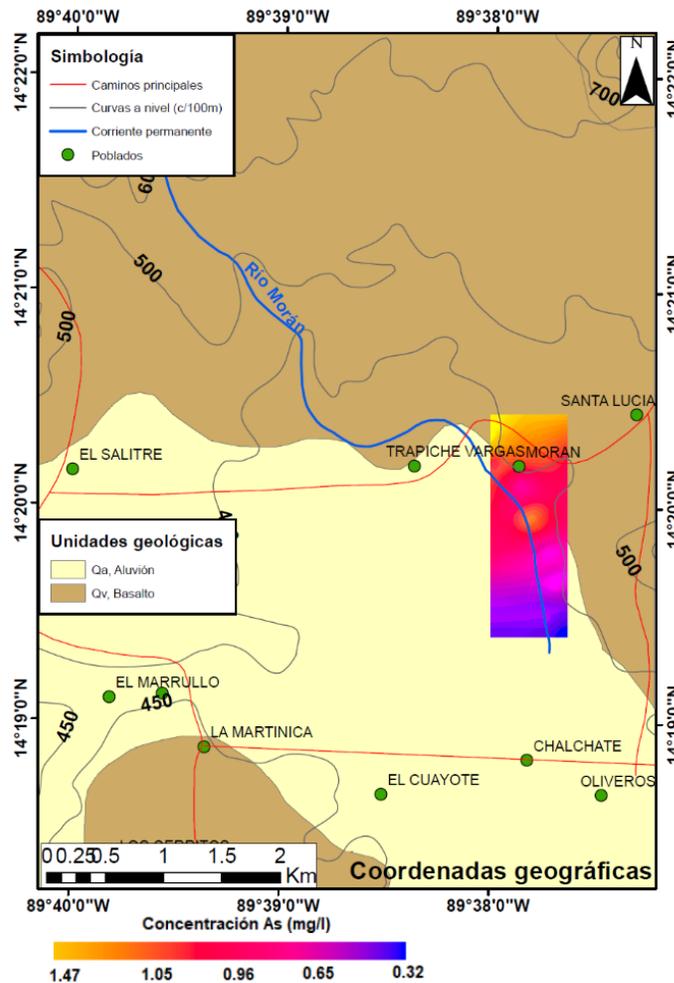
Se observa en la figura 11 que la concentración de arsénico tiende a la baja respecto a su desembocadura en el río Morán, con una carga promedio de 28.404 kg/año disminuyendo en 78 % respecto a la concentración inicial.

El punto 2 y punto 5 de monitoreo, se observa un comportamiento atípico en las concentraciones para el arsénico que tienden a la baja conforme se aproximan a la desembocadura del río Morán, el momento de la toma de muestra en estos puntos se observó la ausencia total de vegetación, mismo que posiblemente contribuyó a un aumento de arsénico derivado a la inexistencia de plantas que lo absorbieran de las aguas.

5.5. Mapa Geoquímico en función del nacimiento Trapiche Vargas

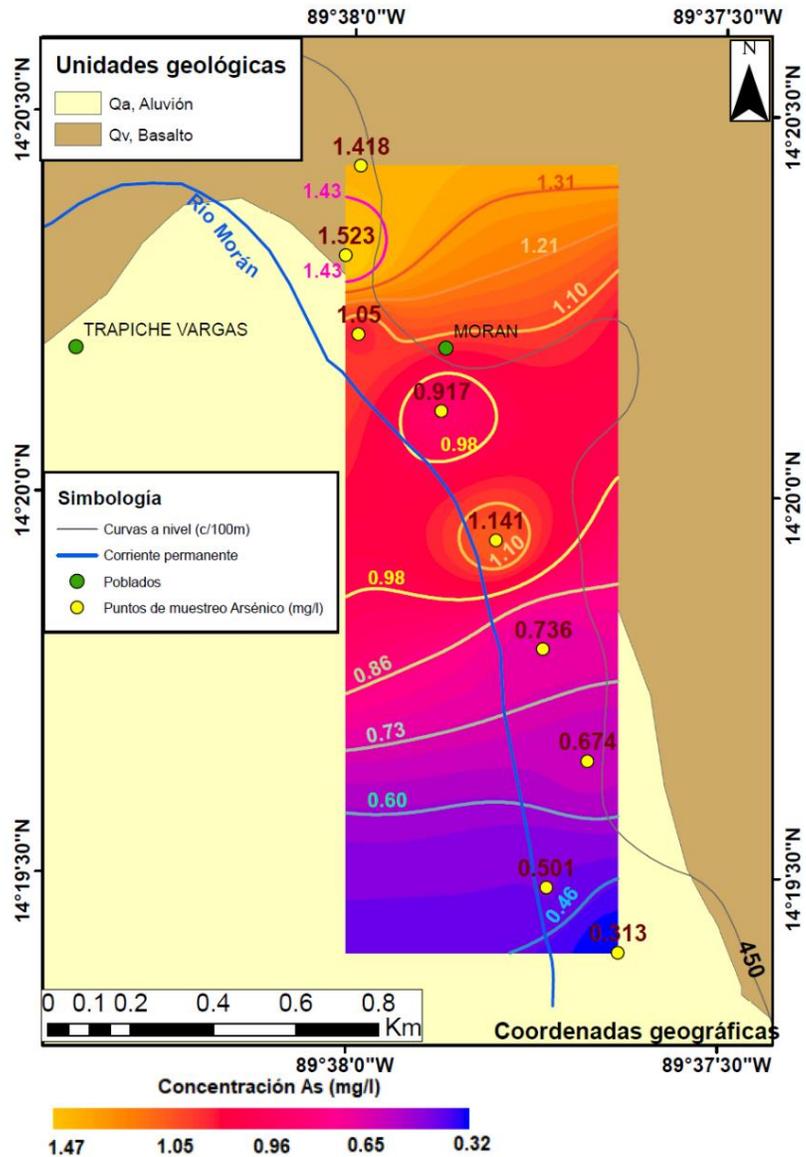
En la siguiente figura, se muestra el área de influencia geoquímicamente por el nacimiento Trapiche Vargas, mayoritariamente dentro de una geología de basalto cuaternario, conformado por rocas volcánicas y sedimentarias, favoreciendo así la oxidación del arsénico.

Figura 12. Mapa geológico y geoquímico del área de influencia



Fuente: elaboración propia, realizado con sistema de información geográfico.

Figura 13. Propuesta de mapa geoquímico a partir de los puntos de muestreo



Fuente: elaboración propia, realizado en sistema de información geográfico.

En la figura 13, se observa el cambio de la concentración de arsénico, conforme avanza el nacimiento Trapiche Vargas aguas abajo en paralelo al río

Morán, las concentraciones más altas se encuentran en la parte más próxima al dicho nacimiento y una alta concentración en la parte central, siendo estas de 1.4 mg/L y 1.14 mg/L respectivamente y aproximadamente 0.3 mg/L previo a desembocar.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se presenta a continuación la interpretación para cada uno de los puntos reportados en los resultados basados en los objetivos específicos del estudio.

6.1. Variación de la concentración de arsénico respecto a la época seca y lluviosa y su posible dilución

Mediante el análisis de los resultados, en donde se presentó un muestreo tanto para la época seca como época lluviosa para el nacimiento Trapiche Vargas, los resultados de laboratorio demuestran una gran presencia de arsénico total contenidos dentro de sus aguas, observándose en la figura 2 que se obtuvo la mayor concentración del mismo para el mes de noviembre del año 2015, correspondiente a la época seca.

La figura 5, muestra el porcentaje de arsénico que se encuentra contenido dentro de las aguas del nacimiento, teniendo una acumulación mayor durante la época seca del 66 % contra un 34 % de la lluviosa, considerándose así que el efecto de la lluvia contribuye a la dilución, de lo anterior indicado no existe una tendencia lineal del comportamiento respecto a las épocas como se observa en la figura 6, derivado de las posibles precipitaciones pluviales que pudieron darse fuera de época y otros factores externos que contribuyen a la dilución o concentración.

En cuanto a la proporción de aporte másico de arsénico hacia el río Morán, este sigue tendiendo a ser mayor durante la época seca con un 56 % respecto a un 44 % durante la época lluviosa, lo cual sugiere el efecto diluyente que existe

sobre las aguas de dicho nacimiento, en este caso anualmente el aporte durante los monitoreos comprendidos del año 2012 al 2018, fueron en promedio de 13 kg/año en la época de lluvia y 10.4 kg/año durante la época seca, de esto el aporte másico de arsénico fue mayor para las épocas de lluvia.

6.2. Afectación del arsénico dentro de su microcuenca como tributario del río Morán.

En la figura 8, se tiene un mapa, mismo que señala la ubicación del nacimiento Trapiche Vargas, este se encuentra dentro de la microcuenca del río Morán, dicha microcuenca abarca aproximadamente los 45.44 km², este nacimiento ubicado en las coordenadas geográficas 14°20'25.8" N; 89°37'59.4" O, corre de norte a sur y afecta principalmente como tributario al río Morán que se une posteriormente al río Ostúa.

El recorrido que realiza el nacimiento Trapiche Vargas previo a desembocar casi en forma paralela como tributario al río Morán es de aproximadamente 2.3 km, pasando este por áreas de uso agropecuario y plantaciones silvestres de tul y otras plantas.

Figura 14. **Nacimiento Trapiche Vargas y recorrido inicial**



Fuente: [Fotografía de Nacimiento Trapiche Vargas]. (Asunción Mita. 2018). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala, Guatemala.

En la figura 14, se observa el nacimiento Trapiche Vargas, que es de tipo termal, con temperaturas que alcanzan los 80 °C aproximadamente, el mismo hace un recorrido aproximado de 2.3 km, antes de desembocar el río Morán, para el día 25 de abril de 2021, este presentó un caudal inicial de 0.309 L/s aproximadamente, este caudal se mantuvo muy constante durante su recorrido.

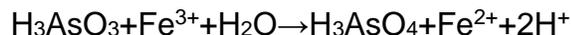
6.3. Concentración promedio de arsénico que se descarga al río Morán

El río Morán que actúa como cuerpo receptor del nacimiento Trapiche Vargas, de los años 2012 al 2018, recibió un aporte anual de 11.47 kg de arsénico total, promediando caudales de 0.429 L/s, durante los siete años que se obtuvieron muestras por parte del MARN, se obtuvo un aporte de hasta 80 kg de arsénico en total, siendo el año 2016 el de mayor aportación con hasta casi 15 kg aproximadamente, estando un 30 % por arriba del aporte anual respecto a los otros años, así como el de menos aporte en el año 2012 un 40 % por debajo del promedio.

La concentración de arsénico puede hacer variaciones respecto a la época, con posibles diluciones durante las precipitaciones pluviales y concentrándose durante las épocas secas, sin embargo, este no demuestra una disminución significativa para que sus aguas sean aprovechadas.

6.4. Mapa geoquímico del nacimiento Trapiche Vargas

Para la obtención de datos y la elaboración del mapa geoquímico en función del nacimiento Trapiche Vargas, se realizó un monitoreo del mismo, iniciando con una muestra para el primer punto proveniente del mismo nacimiento, para obtener en total nueve puntos hasta la desembocadura del río Morán, la geología del área corresponde a un aluvión cuaternario en la parte norte, mientras que al sur, donde está la mayor parte del recorrido del nacimiento es un basalto cuaternario, dentro del mismo con rocas volcánicas y sedimentarias, cuyo contenido de hierro, calcio y magnesio, favorecen a la oxidación del arsénico, evitando la expansión del mismo; la interacción del hierro presente en el suelo, en donde se infiltra el arsénico de forma diluida, la reacción se presenta mediante la siguiente fórmula:



Ecuación 9. Reacción de oxidación del arsénico por iones férricos

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*.

De lo anterior indicado y como se demuestra en la ecuación 9, el arsénico en presencia de cationes metálicos, en este caso el hierro que se encuentra presente, existe una tendencia oxidarse a As(V), el cual es de menor peligrosidad que el As(III), reflejando un efecto positivo para los organismos vivos que se alimentan de las plantas, tales como algunos insectos y herbívoros que son parte de la cadena alimenticia que afectan al ser humano.

6.5. Diagrama en función de la concentración de arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas

Respecto a los monitoreos realizados en abril de 2021, se obtuvo un diagrama en el cual se observa la tendencia a disminuir las concentraciones de arsénico durante el recorrido previo a desembocar al río Morán, la figura 9, muestra dicho comportamiento con una pendiente negativa, siendo la concentración más alta en cercanías del nacimiento con 1.523 mg/L y 0.313 mg/L previo a desembocar, en base a estos datos y una hipotética continuación de la tendencia, en un año podrían proyectarse una carga de hasta 28 kg de arsénico total de aporte al río Morán, considerar que estos datos deben tomarse con mucha precaución ya que reflejan el monitoreo realizado en un solo día para época seca (abril 2021), lo que no es significativo pero expone una idea del comportamiento de forma puntual.

Para un recorrido en un tramo de aproximadamente 2.3 km, la reducción del arsénico presenta un comportamiento casi lineal, dado por la siguiente ecuación obtenida de la figura 11:

$$[\text{As}] = -0.1403X + 1.6208, \text{ con un } R^2 = 0.8978$$

Ecuación 10. Concentración de arsénico respecto al punto de muestreo.

Fuente: Rice University (2015). *Chemistry*.

Donde:

[As]=Concentración de arsénico expresada en mg/L.

X=El punto de muestreo, considerado para 9 puntos en un recorrido de 2.3 km.

R^2 =Coeficiente de correlación.

El comportamiento atípico se presentó en 2 puntos de muestreo, siendo estos el punto 2 y el punto 5, durante el muestreo se observó que en el área existía una carencia de plantas a orillas del nacimiento, así como la formación de pozas que pudieron favorecer a elevar las concentraciones del arsénico, por esto ha resultado un coeficiente de correlación distanciado de la unidad para un comportamiento lineal idealizado.

6.6. Mapa geoquímico propuesto para el nacimiento Trapiche Vargas

En la figura 12 se observa que la geología del área está influenciada por un aluvión del cuaternario, así como basalto cuaternario, cuyas características de roca volcánica conteniendo hierro se ven favorecidas para la disminución del arsénico durante su recorrido aguas abajo, dicha disminución no indica una eliminación completa del arsénico, pero puede favorecer a gran medida su retención, sin embargo, estas aguas siguen sin ser aptas para cualquier tipo de consumo.

La figura 13 muestra un panorama de las variaciones del arsénico a medida que las aguas del nacimiento recorren en forma paralela al río Morán previo a desembocar, aunque dichas concentraciones presentan un decrecimiento casi lineal, se observan algunas anomalías en el mapa geoquímico propuesto, ya que el punto de muestreo 2 hace un aumento en su concentración respecto al inicial en 0.105 mg/L, de la misma forma la tendencia continua a la baja en los puntos 3 y 4, pero en el punto 5 se vuelve a dar un aumento de concentración respecto al punto anterior, siendo este con una diferencia de 0.224 mg/L, respecto a los puntos indicados como anomalías, la vegetación de los alrededores era escasa y existía una baja significativa en el caudal, considerando que la evaporación del agua podría haber influido a que se presentaran dichas anomalías. El mapa geoquímico es una propuesta aproximada del comportamiento que podría tener el arsénico en el suelo aledaño que recorre en paralelo al río Morán, siempre viéndose favorecida su oxidación debido al mineral de hierro que se encuentra contenido dentro de las rocas volcánicas por la geología mayormente de basalto cuaternario, agregando que las concentraciones más bajas de arsénico se encontraban influenciadas por la vegetación que puede tener una retención del mismo, sugiriendo que estas plantas presentes, y mayoritariamente el tul es un excelente retenedor de este elemento.

6.7. Remoción de arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas

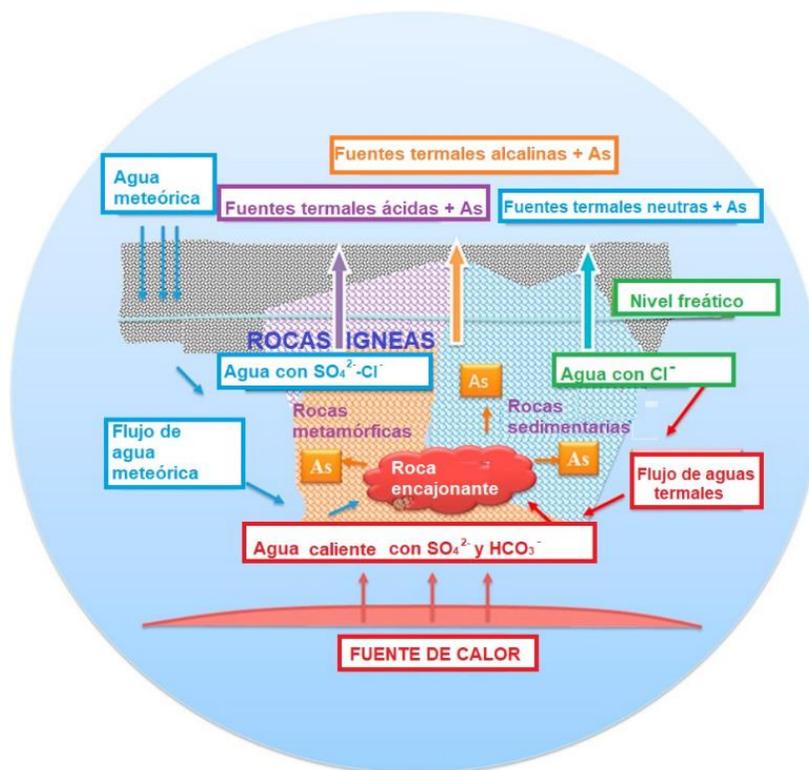
Según la Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 29001 el límite máximo permisible (LMP) para arsénico cuya presencia en el agua es significativa para la salud es de 0.01 mg/L, en este caso los valores que superen esta concentración serán aguas no aptas para el consumo humano, en el caso del nacimiento Trapiche Vargas se contiene arsénico con concentraciones de hasta 1.5 mg/L, superando así hasta en 150 veces la recomendación emitida en aguas para la interacción con el ser humano. Como una solución el arsénico

disuelto en las aguas del nacimiento puede ser removido mediante tratamientos químicos con sales como cloruros metálicos, en este caso el cloruro férrico (FeCl_3) es una opción considerable, mismo que provocará la precipitación en forma de lodos que posteriormente pueden extraerse y ser confinados, debe considerarse que el costo de este procedimiento repercute significativamente, siendo lo más recomendable no interactuar con estas aguas y buscar otras fuentes de abastecimiento.

6.8. Origen del arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas

El origen del arsénico en el nacimiento Trapiche Vargas probablemente proviene de una alteración hidrotermal provocada por fuentes volcánicas e intrusivas del área y acidificación del magma que permiten la presencia de sulfuros por fluidos hidrotermales, dicha área se enriquece con sulfuros de hierro, cobre, plomo y zinc, cabe mencionar que la Mina Cerro Blanco se encuentra al noroeste a una distancia aproximada de 3.8 kilómetros de dicho nacimiento, la mineralización de dicha mina es un yacimiento de tipo hidrotermal conteniendo oro, plata, arsénico y hierro. El arsénico es un indicador de exploración para oro y es una paragénesis que se puede asociar en mercurio, hierro, cobre, oro, plomo y arsénico, a profundidad la paragénesis va cambiando a metales bases como zinc, cobre y plomo.

Figura 15. **Posible origen del arsénico de fuentes hidrotermales**



Fuente: Masuda (2018). *Progress in Earth and Planetary Science*.

La figura 15, muestra el comportamiento del posible origen del arsénico, originado a profundidad debido a una alteración hidrotermal, el agua meteórica se infiltra hacia el subsuelo, dicha agua meteórica es calentada por una fuente de calor y a su vez disuelve sulfuros, carbonatos y bicarbonatos entrando en contacto con la roca encajonante, posteriormente el arsénico mineralizado, se transporta a través de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas dando origen así a fuentes hidrotermales con altos contenidos de arsénico que alcanzan el nivel freático, dichas fuentes pueden ser ácidas, alcalinas o neutras, siempre conteniendo cloruros y sulfatos.

CONCLUSIONES

1. El arsénico tiende a concentrarse en la época seca y a diluirse en la época de lluvia, demostrando así el efecto de dilución.
2. El río Morán se ve afectado directamente por el nacimiento Trapiche Vargas, el cual desemboca directamente al mismo, aportando arsénico.
3. El nacimiento Trapiche Vargas, aporta aproximadamente 11.47 kg de arsénico total, según los resultados de monitoreos de los años 2012 a 2018.
4. De acuerdo al mapa geoquímico el arsénico tiende a disminuir su concentración conforme avanza a su desembocadura final hacia el río Morán, debido a la geología del área, mayoritariamente compuesta de basalto cuaternario, rica en hierro e influencia de la vegetación.
5. El agua proveniente del nacimiento Trapiche Vargas no es apta para el consumo humano, recreativo y/o agropecuario por su alto contenido de arsénico perjudicial para la salud, así mismo dicho elemento no presenta disminuciones significativas en la época de lluvia.

RECOMENDACIONES

1. Continuar realizando monitoreos periódicos en el nacimiento Trapiche Vargas, para obtener una mejor línea base respecto a la concentración de arsénico.
2. Analizar a nivel laboratorio las aguas provenientes del nacimiento Trapiche Vargas, para la determinación de otros posibles elementos presentes en dicho nacimiento.
3. La instalación de un medidor de caudal de forma permanente previo a la desembocadura del río Morán proporcionará lecturas constantes y de esta forma obtener un cálculo más preciso del aporte anual de arsénico
4. Evaluar el costo beneficio que supondría tratar las aguas provenientes del nacimiento Trapiche Vargas para su posible uso en el riego de cultivos, tomando en cuenta que el resultado de arsénico contenido en sus aguas no deberá sobrepasar el límite máximo permisible recomendado en las normativas para agua potable vigentes.
5. Evitar cualquier tipo de contacto con las aguas del nacimiento Trapiche Vargas y únicamente el personal con los conocimientos adecuados sea el encargado de la toma de muestras en el mismo.

REFERENCIAS

1. Abernathy, C. O., Liu, Y. P., Longfellow, D., Aposhian, H. V., Beck, B., y Flower, B. (marzo, 1999). Arsenic: health effects, mechanisms of actions, and research issues. *Environmental Health Perspectives*, 5(16), 593-597.
2. Agilent Technologies (2012). *Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers*. Australia: Autor. (informe)
3. Ahsan, H., Perrin, M., Rahman, A., Parvez, F., Stute, M., y Zheng, Y. (enero, 2000). Differences in urinary arsenic metabolites between diabetic and non-diabetic subjects. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2(4), 1195–1201.
4. Appelo, C. A., y Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Edition*. Amsterdam, Países Bajos: Balkema Publishers.
5. Centeno, J. A., Gray, M. A., Mullick, F. G., Tchounwou, P. B., y Tseng, C. (noviembre, 2005). Arsenic in drinking water and health issues. *Resolutionz Press*, 6(9), 195-219.
6. Centeno, J. A., Tchounwou, P. B., Patlolla, A. K., Mullick, F. G., Murakata, L., y Meza, E. (julio, 2006). Environmental pathology and health effects of arsenic poisoning. *CSIRO Publishing*, 3(11), 311-327.
7. Chakraborti, D., Mukherjee, S. C., Pati, S., Sengupta, M. K., Rahman, M. M., y Chowdhury, U. K. (febrero, 2003). Arsenic groundwater contamination in Middle Ganga Plain, Bihar, India. *Environmental Health Perspectives*, 3(2), 1194–1201.

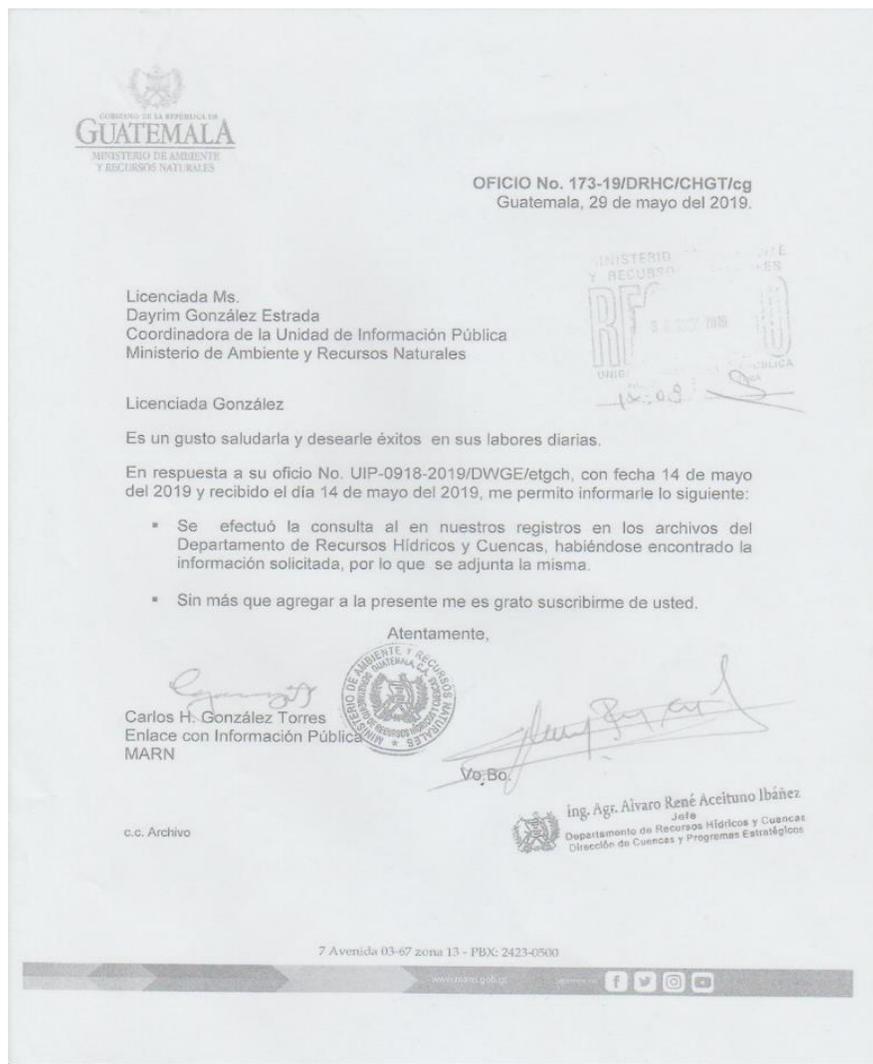
8. Chattopadhyay, S., Bhaumik, S., Purkayastha, M., Basu, S., Nag Chaudhuri, A., y Das Gupta, S. (febrero, 2002). Apoptosis and necrosis in developing brain cells due to arsenic toxicity and protection with antioxidants. *Toxicology Letters*, 9(16), 65-76.
9. Chen, C. L., Hsu, L. I., Chiou, H. Y., Hsueh, Y. M., Chen, S. Y., y Wu, M. M. (marzo, 2004). Ingested arsenic, cigarette smoking, and lung cancer risk: a follow-up study in arseniasis-endemic areas in Taiwan. *JAMA*, 6(22), 2984-2990.
10. Chou, S., Harper, C., Ingerman, L., Lladós, F., Colman, J. (2007). *Toxicological Profile for Arsenic*. Estados Unidos: Public Health Service. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf>
11. Heath, R. C. (2004). *Basic Ground-Water Hydrology*. Virginia, Estados Unidos: Geological Survey.
12. Hsueh, Y. M., Chiou, H. Y., Huang, Y. L., Wu, W. L., Huang, C. C., y Yang, M. H. (febrero, 1997). Serum beta-carotene level, arsenic methylation capability, and incidence of skin cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers y Prevention*, 11(7), 589-596.
13. Hughes, M. F. (septiembre, 2002). Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, 22(6), 1-16.
14. Islam, A. M. (2004). *Membrane distillation process for pure water and removal of arsenic*. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology.
15. Lai, M. S., Hsueh, Y. M., Chen, C. J., Shyu, M. P., Chen, S. Y., y Kuo, T. L. (octubre, 1994). Ingested inorganic arsenic and prevalence of diabetes mellitus. *American Journal of Epidemiology*, 8(21), 484-492.

16. Lee, M. Y., Bae, O. N., Chung, S. M., Kang, K. T., Lee, J. Y., y Chung, J. H. (mayo, 2002). Enhancement of platelet aggregation and thrombus formation by arsenic in drinking water: a contributing factor to cardiovascular disease. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 11(21), 83-88.
17. Leonardi, G., Vahter, M., Clemens, F., Goessler, W., Gurzau, E., y Hemminki, K. (abril, 2012). Inorganic arsenic and basal cell carcinoma in areas of Hungary, Romania, and Slovakia: a case-control study. *Environmental Health Perspectives*, 9(19), 721-726.
18. Lotter, J. T., Lacey, S. E., López, R., Socoy Set, G., Amid, P., Khodadoust, y Edal, S. (abril, 2014). Groundwater arsenic in Chimaltenango, Guatemala. *Journal of Water and Health*, 4(32), 533-542.
19. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018). *Informe de Análisis de Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos para el MARN*. Guatemala: "Autor".
20. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Guía para el Manual General del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*. Guatemala: "Autor".
21. Masuda, H. (julio, 2018). Arsenic cycling in the Earth's crust and hydrosphere: interaction between naturally occurring arsenic and human activities. *Progress in Earth and Planetary Science*, 3(3), 11-16.
22. Matschullat, J. (diciembre, 2000). Arsenic in the geosphere—a review. *The Science of Total Environment*, 11(6), 297-312.
23. Murray, J., Nordstrom, D. K., Dold, B., Romero Orué, M., y Kirschbaum, A. (junio, 2019). Origin and geochemistry of arsenic in surface and

- groundwaters of Los Pozuelos basin, Puna region, Central Andes, Argentina. *Science of The Total Environment*. 4(17), 9-22.
24. Nriagu, J., Bhattacharya, P., Mukherjee, A., Bundschuh, J., Zevenhoven, R., y Loeppert, R. (2007). *Arsenic in soil and groundwater: an overview*. Amsterdam: Elsevier.
25. Paniagiotaras, D., Panagopoulos, G. P., Papoulis, D., y Avramidis, P. (junio, 2012). Arsenic Geochemistry in Groundwater System. *ResearchGate*, 6(2), 29-32.
26. Rice University. (2015). *Chemistry*. Houston, Estados Unidos: OpenStax College.
27. Rousselot, P., Labaume, S., Marolleau, J., Laghero, J., Noguera, M., y Brouet, J. C. (diciembre, 1999). Arsenic trioxide and melarsoprol induce apoptosis in plasma cell lines and in plasma cells from myeloma patients. *Cancer Res*, 7(44), 1041-1048.
28. U.S. EPA. (2001). *Arsenic and Clarifications to Compliance and New Source Contaminants Monitoring*. Atlanta: Autor.
29. U.S. HHS. (2007). *Toxicological Profile for Arsenic*. Atlanta: Autor.
30. Wasserman, G. A., Liu, X., Parvez, F., Ahsan, H., Factor-Litvak, P., y van Green, A. (noviembre, 2004). Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh. *Environmental Health Perspectives*, 22(48), 1329–1333.
31. Wiertz, J. V., Mateo, M., y Escobar, B. (agosto, 2006). Mechanism of pyrite catalysis of As(III) oxidation in bioleaching solutions at 30 °C and 70 °C. *ResearchGate*, 5(16), 112-125.

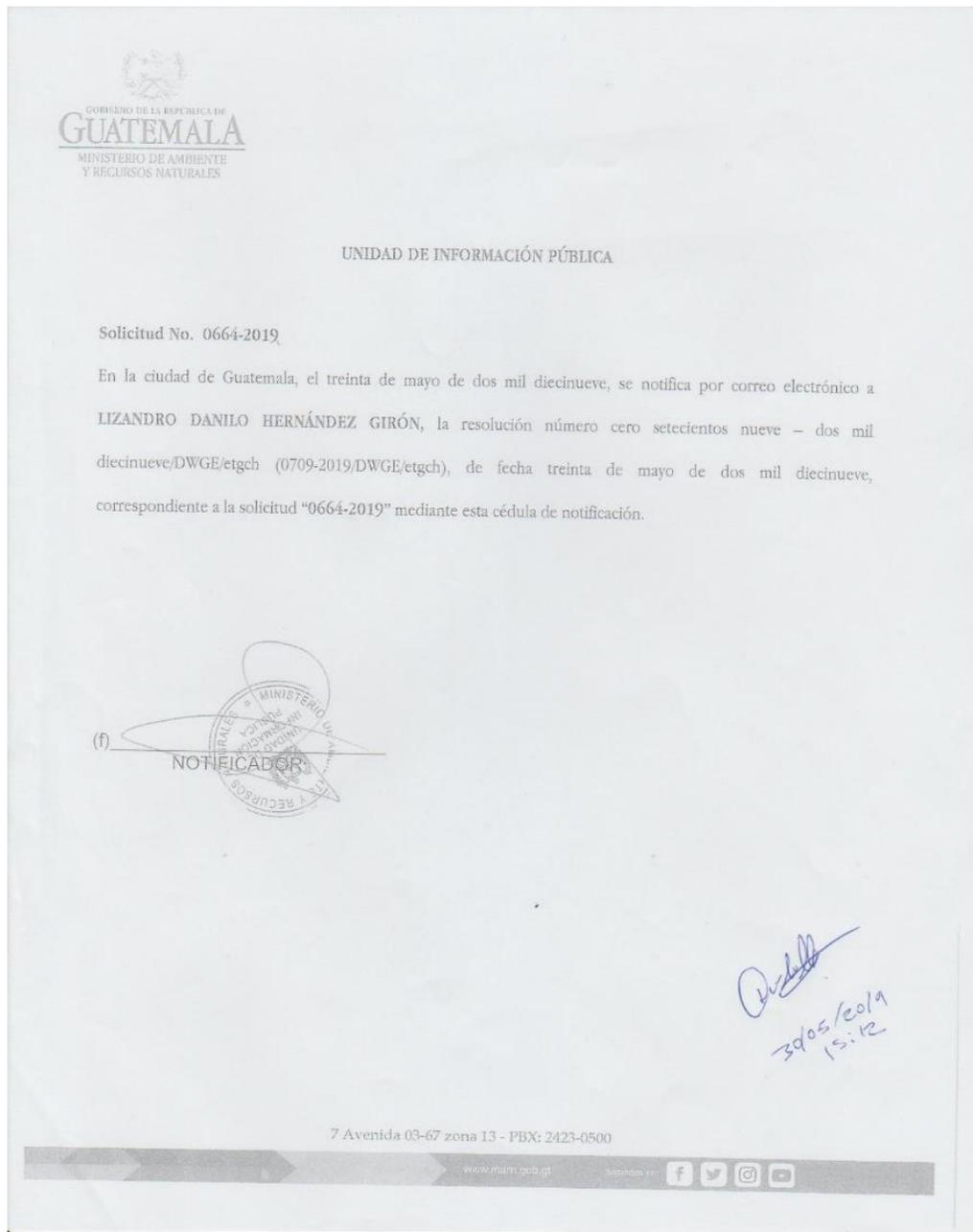
ANEXOS

Anexo 1. Oficio de consulta ante el MARN



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2019). *Solicitud de información al Departamento de Recursos Hídrico y Cuencas.*

Anexo 2. Solicitud a la Unidad de Información Pública MARN



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2019). *Oficio de Información Pública.*

Anexo 3. Resolución de la Unidad de Información Pública MARN



SOLICITUD No. 0664-2019.
RESOLUCIÓN No. 0709-2019/DWGE/etgch

UNIDAD DE INFORMACIÓN PÚBLICA DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.
Guatemala, treinta de mayo de dos mil diecinueve. -----

Se tiene a la vista para resolver la solicitud presentada por LIZANDRO DANILO HERNÁNDEZ GIRÓN; identificada como UIP-CO-RF-cero cero uno, número cero seiscientos sesenta y cuatro - dos mil diecinueve (UIP-CO-RF-001; No. 0664-2019); del catorce de mayo de dos mil diecinueve. -----

CONSIDERANDO: Que la Ley de Acceso a la Información Pública contenida en el Decreto número 57-2008 del Congreso de la República; expresa que corresponde a la Unidad de Información Pública, recibir y tramitar las solicitudes de acceso a la información pública, debiéndola expedir en copia simple o certificada salvo los límites establecidos en la Constitución Política de la República de Guatemala, dentro de los plazos establecidos en la Ley de Acceso a la Información Pública. -----

CONSIDERANDO: Que el artículo 42 de la Ley de Acceso a la Información Pública contenida en el Decreto número 57-2008 del Congreso de la República, establece que: "Presentada y admitida la solicitud, la Unidad de Información donde se presentó, debe emitir resolución dentro de los diez días siguientes en alguno de los sentidos que a continuación se expresan: 1. Entregando la información solicitada; 2. Notificando la negativa de la información cuando el interesado, dentro del plazo concedido, no haya hecho las aclaraciones solicitadas o subsanado las omisiones a que se refiere el artículo anterior; 3. Notificando la negativa de la información total o parcialmente, cuando se tratará de la considerada como reservada o confidencial; o, 4. Expresando la inexistencia." El artículo 44 establece en su parte conducente: "...Cuando el sujeto obligado no diere respuesta alguna en el plazo y forma que está obligado, éste quedará obligado a otorgarla al interesado en un período no mayor de diez días posteriores al vencimiento del plazo para la respuesta, sin costo alguno y sin que medie solicitud de parte interesada."-----

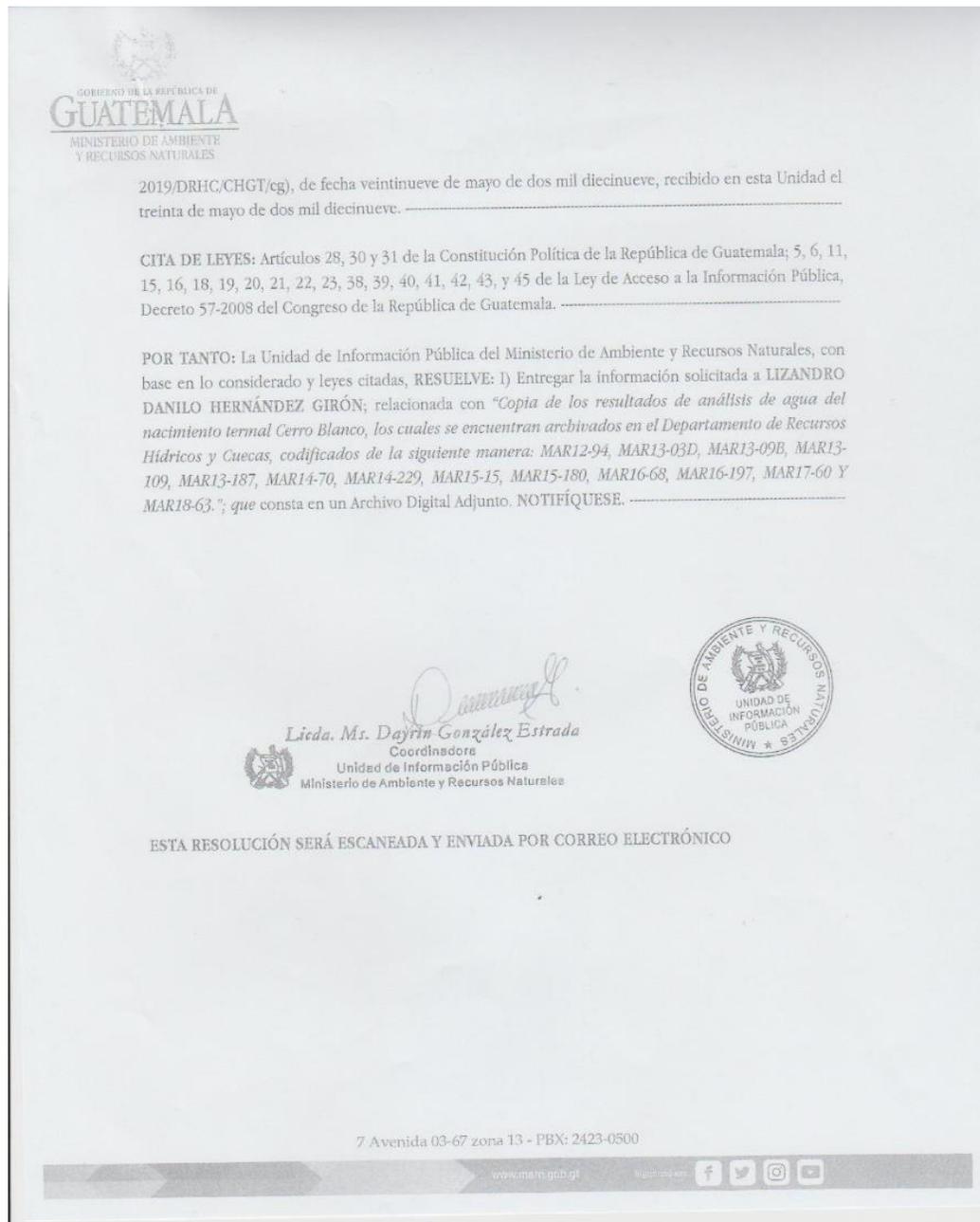
CONSIDERANDO: Que se admitió para su trámite la solicitud escrita realizada por LIZANDRO DANILO HERNÁNDEZ GIRÓN; relacionada con "Copia de los resultados de análisis de agua del nacimiento termal Cerro Blanco, los cuales se encuentran archivados en el Departamento de Recursos Hídricos y Cuecas, codificados de la siguiente manera: MAR12-94, MAR13-03D, MAR13-09B, MAR13-109, MAR13-187, MAR14-70, MAR14-229, MAR15-15, MAR15-180, MAR16-68, MAR16-197, MAR17-60 Y MAR18-63."; información solicitada al Departamento de Recursos Hídricos y Cuecas, quien informó mediante Oficio número ciento setenta y tres - dos mil diecinueve/DRHC/CHGT.



7 Avenida 03-67 zona 13 - PBX: 2423-0500

www.marn.gov.gt @marn_gov f t i y

Continuación del anexo 3.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2019). *Oficio de Información Pública.*

Anexo 4. Informe de Análisis de Muestras para el MARN



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.2 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR18-63

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: CUERPO DE AGUA

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remite: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/Ing. Adolfo Mascario.

No. del MARN: _____

Procedencia: NACIMIENTO CERRO BLANCO.

Tipo de Recipiente: PLÁSTICO Y VIDRIO

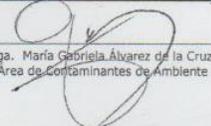
Fecha de Ingreso: 25/05/2018

Fecha de Egreso: 10/08/2018

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	26.9 °C	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	6.72
Aceltes y Grasas ^(*) :	<10 mg/L	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ^(*) :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾ :	<10 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBOs ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	46 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	1.3 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.0085
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	<0.5 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	0.005	Color ⁽⁴⁾ :	<5.0 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.0003	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	<18 NMP/100mL


Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales


Vo.Bo. Inga. María Gabriela Álvarez de la Cruz
Supervisora del Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 22nd. Edition 2012

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 22nd. Edition 2012

⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor

RT_MS/GA_WP

Código Laboratorio

CT0105-CAS/32, MIALR-MAR01-18/36

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario".

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241,
E-mail: informacion@lms.gov.gt

Continuación del anexo 4.



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.2 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR17-60

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: AGUA TERMAL.

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remitente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/Ing. Adolfo Macario.

No. del MARN: _____

Procedencia: AGUAS TERMALES.

Tipo de Recipiente: PLÁSTICO

Fecha de Ingreso: 21/04/2017

Fecha de Egreso: 24/05/2017

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	ND	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	ND
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽⁷⁾ :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾ :	<10 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBOs ⁽³⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	113 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	1.3 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.70 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	1.146 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	140.13 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽³⁾ :	NR

[Signature]
Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

[Signature]
Vo.Bo. Inga. Mónica Méndez de Maldonado
Coordinadora a.i. Unidad de Alimentos

Método:
⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 22nd. Edition 2012
⁽²⁾ DBO, 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 22nd. Edition 2012
⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.
⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001 ND: No Determinado.
⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001 NR: No Requerido.
⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001
⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001
⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.
⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:
^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN
 Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor
RT_CCh/MdeM

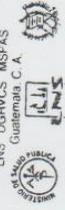
Código Laboratorio
CT084-CAS/130

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario".

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
 PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241,
 E-mail: informacion@lms.gob.gt

RESULTADO DE ANALISIS
 LNS DGRVCS MSP-FAS
 Guatemala, C. A.



Continuación del anexo 4.



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UOCF102
Rev.2 (1 de 1)

Página 1 de 1

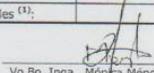
No. del LNS:	MAR16-197	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUAS TERMALES.	Procedencia:	AGUAS TERMALES.
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO.
Remitente:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/Ing. Carlos Mazariegos.	Fecha de Ingreso:	24/11/2016
		Fecha de Egreso:	06/02/2017

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	NA	Potencial de Hidrógeno ⁽¹⁾ :	NA
Aceites y Grasas ⁽²⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽²⁾ :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽³⁾ :	13.2 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	36.7 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	169 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	0.8 mg/L	Plomo ^(1,8,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	2.75 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,8,10) :	1.151 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	129 U Pt-Co
Cadmio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR



Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales



Vo.Bo. Inga. Mónica Méndez de Maldonado
Supervisora del Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005
⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21st. Edition 2005
⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.
⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001
⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001
⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001
⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001
⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.
⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor

RT,CCh/MdeM

Código Laboratorio

CT084-CAS/53

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario".

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
 PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241,
 E-mail: informacion@lns.gob.gt

Continuación del anexo 4.



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.2 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR16-68

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: AGUA TERMAL

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remite: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM.

No. del MARN: _____

Procedencia: AGUAS TERMALES, ALDEA TRAPICHE VARGAS.

Tipo de Recipiente: PLÁSTICO

Fecha de Ingreso: 20/05/2016

Fecha de Egreso: 07/06/2016

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	ND	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	ND
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	NR
Materia Flotante ^(*) :	ND	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾ :	NR	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	NR
DBOs ⁽²⁾ :	NR	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	NR	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	NR	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	NR	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	1.188 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	139.87 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR


Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales


Vo.Bo. Inga. Mónica Méndez
Supervisora Area de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21st. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

ND: No Determinado.
NR: No Requerido.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s)

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor	Código Laboratorio
RT,ERM,CCh/MdeM	CT056-CAS/424

ÚLTIMA LÍNEA

"El LNS avala únicamente el contenido del documento original, el manejo de la reproducción es responsabilidad del propietario".

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241.
E-mail: informacion@lns.gob.gt

Continuación del anexo 4.



LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION GENERAL DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-

UGCF102
Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR15-180

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: AGUAS TERMALES.

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remite: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM.

No. del MARN:

Procedencia: AGUAS TERMALES, TRAPICHE VARGAS.

Tipo de Recipiente: PLÁSTICO

Fecha de Ingreso: 11/11/2015

Fecha de Egreso: 10/12/2015

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ ;	ND	Potencial de Hidrógeno ⁽¹⁾ ;	ND
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ ;	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ ;	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽¹⁾ ;	ND	Cobre ^(1,10) ;	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾ ;	23.7 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ ;	<0.05 mg/L
DBOs ⁽²⁾ ;	NR	Mercurio ^(1,8,10) ;	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ ;	87 mg/L	Níquel ^(1,10) ;	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ ;	1.7 mg/L	Piomo ^(1,8,10) ;	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ ;	0.63 mg/L	Zinc ^(1,10) ;	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) ;	1.37 mg/L	Color ⁽¹⁾ ;	143 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) ;	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ ;	NR

Renato Torres

Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Mónica Méndez

Vo.Bo. Inga. Mónica Méndez
Supervisora Area de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21st. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

ND: No Determinado.
NR: No Requerido.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



OBSERVACIONES:

⁽¹⁾ Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor
RT,ERM,CCh/MCC

Código Laboratorio
CT056-CAS/340

ÚLTIMA LÍNEA
Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

Km. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6644-0599 ext. 241,
E-mail: informacion@lns.gob.gt

Continuación del anexo 4.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

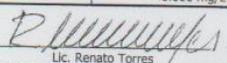
**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.1 (1 de 1) Página 1 de 1

No. del LNS:	MAR15-15	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUAS TERMALES	Procedencia:	AGUAS TERMALES, TRAPICHE VARGAS.
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO
Remitente:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES -MARN- /CM	Fecha de Ingreso:	18/02/2015
		Fecha de Egreso:	23/03/2015

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	ND	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	ND
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ^(*) :	ND	Cobre ⁽¹⁾ :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾ :	30.8 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8) :	NA
DQO ⁽³⁾ :	53 mg/L	Níquel ⁽¹⁾ :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	1.2 mg/L	Plomo ^(1,9) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.70 mg/L	Zinc ⁽¹⁾ :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9) :	1.265 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	131.78 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9) :	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR



Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales



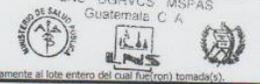
Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st, Edition 2005
⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005
⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.
⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001
⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001
⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001
⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001
⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.
⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

ND: No Determinado.
NA: No Analizado.
NR: No Requiriendo.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala C.A.



Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:
^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN
 Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor RT,ERM,VC/MCC	Código Laboratorio CT056-CAS/175
--------------------------------------	-------------------------------------

ÚLTIMA LÍNEA
 Prohíbida la reproducción total o parcial de este documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
 PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
 E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPÚBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMÉRICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCIÓN DE REGULACIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.1 (1 de 1) Página 1 de 1

No. del LNS:	MAR14-70	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUAS TERMALES	Procedencia:	AGUAS TERMALES.
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO
Remitente:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM	Fecha de Ingreso:	26/03/2014
		Fecha de Egreso:	30/04/2014

Resultado de Análisis

ANÁLISIS	RESULTADO	ANÁLISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	NR	Potencial de Hidrógeno ⁽¹⁾ :	NR
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽¹⁾ :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾ :	27.8 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	0.06 mg/L
DBOs ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	37 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	0.8 mg/L	Ploomo ^(1,8,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.59 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,8,10) :	0.969 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	105.8 U Pt-Co
Cadmio ^(1,8,10) :	<0.0008 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR

Renato Torres

Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

Maria del Carmen Castillo

Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico HACH, Digestion Solution for COD 0-1500 ppm Range, Cat. 21259-25

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor	Código Laboratorio
RT,ERM,CCh/MCC	CT046-CAS/349

ÚLTIMA LÍNEA

Prohíbe la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM.22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C.A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

NH-48

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS:	MAR13-187	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUA TERMAL	Procedencia:	TRAPICHE VARGAS, ASUNCION MITA
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO Y VIDRIO
Remitente:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM	Fecha de Ingreso:	21/11/2013
		Fecha de Egreso:	24/01/2014

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	ND	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	ND
Aceites y Grasas ^(*) :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ^(*) :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales ⁽¹⁾ :	10mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	60 mg/L	Níquel ^(4,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	1.6 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.62 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	1.157 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	157.15 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.001 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR


Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales


Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th. Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregado(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor	Código Laboratorio
RT,ERM,NH,VC/MCC	CT046-CAS/262

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPÚBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMÉRICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCIÓN DE REGULACIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UICF102
Rev.1 (1 de 1) Página 1 de 1

No. del LNS:	MAR14-229	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUA TERMAL	Procedencia:	TERMALES. AGUAS
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO Y VIDRIO
Remite:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM	Fecha de Ingreso:	08/10/2014
		Fecha de Egreso:	26/11/2014

Resultado de Análisis

ANÁLISIS	RESULTADO	ANÁLISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	NR	Potencial de Hidrógeno ⁽²⁾ :	NR
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	<10 mg/L	Clanuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽⁷⁾ :	Ausente	Cobre ^(4,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽⁴⁾ :	<10 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	0.66 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(4,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	62 mg/L	Níquel ^(4,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	2.6 mg/L	Plomo ^(4,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	66 mg/L	Zinc ^(4,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(4,9,10) :	1.154 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	137.4 U Pt-Co
Cadmio ^(4,9,10) :	<0.0008 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR

[Signature]
Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

[Signature]
Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st, Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck. Digestion Solution for COD 25-1500 ppm Range.

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

NR: No Requerido.

RESULTADO DE ANALISIS
LNS DGRVCS MSPAS
Guatemala, C. A.



OBSERVACIONES:

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor RT,ERM,VC/MCC	Código Laboratorio CT056-CAS/108
--------------------------------------	-------------------------------------

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@unbsa.com

Continuación del anexo 4.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-

UGCF102
Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR13-109

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: AGUA TERMAL

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remitente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM

No. del MARN:

Procedencia: CERRO BLANCO, AGUAS TERMALES

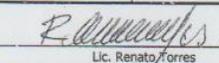
Tipo de Recipiente: PLÁSTICO Y VIDRIO

Fecha de Ingreso: 14/08/2013

Fecha de Egreso: 29/08/2013

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	NR	Potencial de Hidrogeno ⁽¹⁾ :	NR
Aceltes y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽²⁾ :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾ :	33.8 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBOs ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	45 mg/L	Niquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	1.4 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁸⁾ :	0.55 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	0.813 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	112.2 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.002 mg/L	Cultivos Fecales ⁽¹⁾ :	NR


Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales


Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminación de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D, Respirometric Method, Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21th Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico HACH, Digestion Solution for COD 0-1500 ppm Range, C.t. 2:259-25

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AA.G.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

NR: No Requerido.



Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor
RT,ERM,VC/MCC

Código Laboratorio
CT046-CAS/185

ÚLTIMA LÍNEA

Prohíbe la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

UAC 88

Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-

UGCF102
Rev.1 (1 de 1)

Página 1 de 1

No. del LNS: MAR13-09B

Nombre del Producto/Tipo de Muestra: AGUAS TERMALES

Condición de la Muestra: ADECUADA

Remitente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM

No. del MARN: _____

Procedencia: _____

Tipo de Recipiente: PLÁSTICO

Fecha de Ingreso: 08/03/2013

Fecha de Egreso: 16/04/2013

TERMALES

AGUAS

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ^(*) :	NR	Potencial de Hidrógeno ^(*) :	NR
Aceites y Grasas ⁽¹⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	0.015 mg/L
Materia Flotante ^(*) :	Ausente	Cobre ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽¹⁾ :	24.9 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,8,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	<25 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	0.8 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.56 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	0.747 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	161.2 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.002 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR

Renato Torres

Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

María del Carmen Casiano

Vo.Bo. Licda. María del Carmen Casiano
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico HACH, Digestion Solution for COD 0-1500 ppm Range, Cat. 21259-25

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

NR: No Requerido

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor
RT,ERM,VC/MCC

Código Laboratorio
CT046-CAS/53

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPUBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMERICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCION DE REGULACION, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.1 (1 de 1) Página 1 de 1

No. del LNS:	MAR13-03D	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUA TERMAL	Procedencia:	AGUAS
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	TERMALES
Remitente:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM	Fecha de Ingreso:	13/02/2013
		Fecha de Egreso:	11/03/2013

Resultado de Análisis

ANALISIS	RESULTADO	ANALISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	NR	Potencial de Hidrógeno ⁽²⁾ :	NR
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	NR	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	<0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽⁴⁾ :	Ausente	Cobre ^(1,9) :	<0.35 mg/L
Sólidos Suspendidos Totales ⁽⁵⁾ :	19.2 mg/L	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	<0.05 mg/L
DBOs ⁽²⁾ :	<20 mg/L	Mercurio ^(1,9,10) :	<0.001 mg/L
DQO ⁽³⁾ :	38 mg/L	Níquel ^(1,10) :	<0.50 mg/L
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾ :	<0.5 mg/L	Plomo ^(1,9,10) :	<0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁵⁾ :	0.57 mg/L	Zinc ^(1,10) :	<0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	0.122 mg/L	Color ⁽¹⁾ :	165.4 U Pt-Co
Cadmio ^(1,9,10) :	<0.002 mg/L	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	NR

R. Torres
Lic. Renato Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

M. del Carmen Castillo
Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud



Método:

⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st Edition 2005

⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005

⁽³⁾ Método Colorimétrico HACH, Digestion Solution for COD 0-1500 ppm Range, Cat. 21259-25

⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14537.0001

⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001

⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001

⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001

⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.

⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.

⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

NR: No Requerido

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote entero del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor	Código Laboratorio
RT,ERM,VC/MCC	CT046-CAS/36

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de éste documento sin previa autorización del Laboratorio Nacional de Salud.

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Continuación del anexo 4.



REPÚBLICA DE GUATEMALA
CENTRO AMÉRICA

LABORATORIO NACIONAL DE SALUD "LNS"
DIRECCIÓN DE REGULACIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DE LA SALUD



Ministerio de Salud Pública
y Asistencia Social

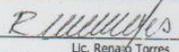
**Informe de Análisis Muestra(s) de Aguas Residuales y Lodos
Para el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-**

UGCF102
Rev.1 (1 de 1) Página 1 de 1

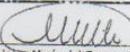
No. del LNS:	MAR12-94	No. del MARN:	
Nombre del Producto/Tipo de Muestra:	AGUA DE RÍO	Procedencia:	(NACIMIENTO DE AGUAS TERMALES)
Condición de la Muestra:	ADECUADA	Tipo de Recipiente:	PLÁSTICO
Remite:	MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (MARN)/CM	Fecha de Ingreso:	08/08/2012
		Fecha de Egreso:	29/09/2012

Resultado de Análisis

ANÁLISIS	RESULTADO	ANÁLISIS	RESULTADO
Temperatura ⁽¹⁾ :	61.8 °C /	Potencial de Hidrógeno ⁽²⁾ :	✓ 6.53
Aceites y Grasas ⁽³⁾ :	NR /	Cianuro Total ⁽⁶⁾ :	✓ <0.010 mg/L
Materia Flotante ⁽⁷⁾ :	Ausente /	Cobre ^(1,10) :	✓ <0.35 mg/L
Sólidos Suspendedos Totales ⁽⁴⁾ :	24.1 mg/L /	Cromo hexavalente ⁽⁷⁾ :	✓ <0.05 mg/L
DBO ₅ ⁽²⁾ :	<20 mg/L /	Mercurio ^(1,8,10) :	✓ <0.001 mg/L
DQO ⁽²⁾ :	<25 mg/L /	Níquel ^(1,10) :	✓ <0.50 mg/L
Nitrogeno Total ⁽⁴⁾ :	<0.5 g/L /	Plomo ^(5,9,10) :	✓ <0.005 mg/L
Fósforo Total ⁽⁸⁾ :	0.27 mg/L /	Zinc ^(7,10) :	✓ <0.35 mg/L
Arsénico ^(1,9,10) :	0.267 mg/L /	Color ⁽¹⁾ :	✓ 124 U Pt-Co
Calcio ^(1,9,10) :	<0.002 mg/L /	Coliformes Fecales ⁽¹⁾ :	✓ NR



Lic. Renajo Torres
Asesor Profesional Especializado del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales



Vo.Bo. Licda. María del Carmen Castillo
Supervisora Área de Contaminantes de Ambiente y Salud

Método:

- ⁽¹⁾ Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater 21st. Edition 2005
- ⁽²⁾ DBO₅ 5210 D. Respirometric Method. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 21th. Edition 2005
- ⁽³⁾ Método Colorimétrico HACH, Digestion Solution for COD 0-1500 ppm Range, Cat. 21259 25
- ⁽⁴⁾ Método Colorimétrico Spectroquant, Merck 1.14537.0001
- ⁽⁵⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14543.0001
- ⁽⁶⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14561.0001
- ⁽⁷⁾ Método Colorimétrico Spectroquant Merck 1.14552.0001
- ⁽⁸⁾ Perkin Elmer Instruments, Flow Injection Mercury/Hydride Analyses.
- ⁽⁹⁾ Perkin Elmer Instruments, Analytical Techniques for Graphite Furnace AAS.
- ⁽¹⁰⁾ Mars Xpress/CEM, Water-Microwave Sample Preparation.

Los resultados encontrados se refieren a la(s) muestra(s) tal como fue(ron) entregada(s) y no necesariamente al lote o lote(s) del cual fue(ron) tomada(s).

OBSERVACIONES:

^(*) Datos tomados *in situ* por personal del MARN

Impresión 1 de 5

Analista/Supervisor	Código Laboratorio
RT.ERM.VC/MCC	C139-C/5/315

ÚLTIMA LÍNEA

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización del Laboratorio Nacional de Salud

KM. 22 CARRETERA AL PACÍFICO, BÁRCENA, VILLA NUEVA, GUATEMALA, C. A.
PBX: 6644-0599 FAX: 6630-6011
E-mail: laboratorio_nacional_desalud@yahoo.com

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2019). *Informe de análisis de muestras de aguas residuales y lodos.*

Anexo 5. Informe de análisis para arsénico en el nacimiento
Trapiche Vargas



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

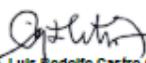
Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 01/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 1
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 6:35 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Limite de detección	Resultado	LIMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	1321 ANEXO adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	1.418	---	0.010

mg/L = miligramos por litro = ppm = partes por millón. R/N = rechazable / no rechazable. UNI = unidades reológicas de turbiedad. UFC = unidades formadoras de colonias. UFGc = unidades pléctro cobalto. mV = milivolts. SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 22th. Edition. 1991. WWS = water and waste water. USEPA = United States Environmental Protection Agency. * = Norma COGUAJOR 2001. ---Indefinido. Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M. Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1581

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 02/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 2
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 7:10 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Límite de detección	Resultado	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	T20 ANSIS adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	1.523	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón (SNI) = detectable / no detectable UFT = unidades nefelométricas de turbiedad UFC = unidades formadoras de colonias U/Co = unidades platinocobalto mV = milivolt SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 23th Edition. WWT = water and waste water USEPA = United States Environmental Protection Agency * = Norma COGUAVICOR 2001 ---=Indefinido
Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

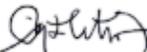
Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 03/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 3
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 7:45 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D/2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Límite de detección	Resultado	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	130 ARS03 adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	1.050	---	0.010

mg/L = miligramos por litro = ppm = partes por millón. (NFI) = rechazable / no rechazable. UNT = unidades nebulométricas de turbiedad. UFC = unidades formadoras de colonias. uPVC = unidades platino cobalto. mV = milivolt. SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 23th Edition. WW = water and waste water. USEPA = United States Environmental Protection Agency. * = Norma COGUARCOR 28001. ---=Indefinido. Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M. Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1581

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

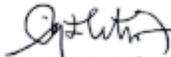
Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 04/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 4 14°20'06.58"N 89°37'52.66"O
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 8:31 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Fisicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Limite de detección	Resultado	LIMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	T20 AP003 adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	0.917	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón / RMR = rechazable / no rechazable / UNF = unidades nefelométricas de turbiedad / UFC = unidades formadoras de colonias • PFCo = unidades plato caballo / mV = milivoltios
SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 20th Edition. / WW = water and waste water / USEPA = United States Environmental Protection Agency / * = Norma COGUAWOR 20001 / ---=Indefinido
Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Roldolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1581

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 05/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 5 14°19'56.43"N 89°37'48.14"O
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 9:02 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organoépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Límite de detección	Resultado	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	130 AP603 adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	1.141	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón • RWI = rechazable / no rechazable • UNT = unidades neblionóticas de turbiedad • UFC = unidades formadoras de colonias • PVCu = unidades platino cobalto • nV = nivalit
 SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 22th. Edition. • WWT = water and waste water • USEPA = United States Environmental Protection Agency • * = Norma COOLANOR 2001 -- Indefinido
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Rodolfo Castro Garza
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 06/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 6 14°19'47.91"N 89°37'44.26"O
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 9:46 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Límite de detección	Resultado	LÍMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	123) ANISO adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	0.736	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón RNR = reusable / no reusable UNT = unidades neblométricas de turbiedad UFC = unidades formadoras de colonias u PFC = unidades platino cobalto n/l = nivel
 SMWW = standard method for the examination of water and waste water 20th Edition. WW = water and waste water USEPA = United States Environmental Protection Agency * = Norma COGUAROR 2001 ---=Indefinido
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

Continuación del anexo 5.



LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

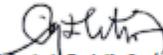
Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS	Pág. 07/09
-------------------	--	------------

Datos del Cliente		Identificación de Muestra	
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 7 14°19'39.12"N 89°37'40.57"O
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 10:30 hrs
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas

Datos Ingreso al Laboratorio			
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico

Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Limite de detección	Resultado	LIMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	123 ARS20 adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	0.674	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón RMM = rechazable / no rechazable UNT = unidades nefelométricas de turbiedad UFC = unidades formadoras de colonias o PFC = unidades platino cobalto nV = nivol
 SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 20th Edition. WW = water and waste water USEPA = United States Environmental Protection Agency * = Norma COGUANOR 28001 ---=Indefinido
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

Continuación del anexo 5.

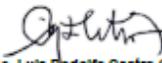


LABORATORIO INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

La calidad y confiabilidad nos acreditan

Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS			Pág. 08/09		
Datos del Cliente		Identificación de Muestra				
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua			
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 8 14°19'29.13"N 89°37'43.76"O			
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 11:05 hrs			
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas			
Datos Ingreso al Laboratorio						
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente			
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C			
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico			
Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Limite de detección	Resultado	LIMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE*
Arsénico	mg/L As	130 ANEXO adaptado SMWW 3130 A	0.005 a 3.0	0.50f	---	0.010

mg/L = miligramos por litro • ppm = partes por millón RNI = retencible / no retencible UNT = unidades neblométricas de turbiedad UFC = unidades formadoras de colonias u/FCo = unidades platio coliforme mV = milivolt
 SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 23th. Edition. WW = water and waste water USEPA = United States Environmental Protection Agency * = Norma COGUANOR/2001 ---Indefinido
 Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

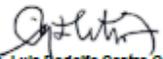

M. Sc. Luis Rodolfo Castro Garza
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

Continuación del anexo 5.



Fecha: 25/04/2021	INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS			Pág. 09/09		
Datos del Cliente		Identificación de Muestra				
Empresa	Lizandro Danilo Hernández Girón	Tipo de muestra	Agua			
Dirección	10 calle 11-49 zona 3 Mixco	Lugar de captación	PUNTO 9			
Remitido por	Lizandro Danilo Hernández Girón	Fecha y hora de captación	17/04/2021 11:43 hrs			
Teléfono:	41945188	Identificación de Muestra	Nacimiento Trapiche Vargas			
Datos Ingreso al Laboratorio						
Código	AP007D2021	Captada por	El cliente			
Fecha y hora de ingreso	18/04/2021 10:00 hrs	Temperatura de Ingreso	6°C			
Fecha y hora de análisis	18/04/2021 10:00 hrs	Tipo de recipiente	Plástico			
Resultados Análisis Organolépticos y Físicoquímicos						
Parámetro	Dimensional	Método	Limite de detección	Resultado	LIMITE MÁXIMO ADMISIBLE*	LIMITE MÁXIMO POSIBLE*
Arsénico	mg/L As	123 ANEXO adaptado SMWW 3131 A	0.005 a 3.0	0.313	---	0.010

mg/L = miligramos por litro = ppm = partes por millón. INRI = indecible / no reducible. UNT = unidades neklonómicas de turbiedad. UFC = unidades formadoras de colonias. u/No = unidades plásmo cobalto. mV = milivolt. SMWW = standard methods for the examination of water and waste water 23h. Edition. WW = water and waste water. USEPA = United States Environmental Protection Agency. * = Norma COGUANOR 2001. --- = Indefinido. Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio. Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.


M.Sc. Luis Rodolfo Castro Garola
 Ingeniero Químico, Colegiado 1681

30 calle 9-71, zona 11, San Antonio Las Charcas, Guatemala, Guatemala • PBX. (502) 22211664
isalaboratorioambiental@gmail.com

Fuente: Laboratorio Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2021). *Informe de Resultados de Análisis.*