

Riesgo de Exposición a Contaminantes Nefrotóxicos en las Comunidades Las Brisas, El Salvador

Resumen—

El Arsénico es un elemento tóxico común presente en zonas volcánicas como El Salvador y el paraquat es un plaguicida muy tóxico ampliamente utilizado. Ambos tóxicos son solubles en el agua y tienen propiedades nefrotóxicas.

Las comunidades Las Brisas de la ciudad de San Miguel (El Salvador), se localizan junto a una ex fábrica de plaguicidas, donde parte de su población consume agua de pozos artesanales. La población de las comunidades presenta una alta prevalencia de enfermedad renal crónica.

El presente estudio cuantificó el arsénico y paraquat en las aguas superficiales y subterráneas mediante muestras de agua de la comunidad obteniendo un valor máximo de paraquat de 8.89 mg/L superando los límites de la normativa salvadoreña y un valor máximo de Arsénico de 0.01 mg/L igualando el límite normado.

La población de Las Brisas está expuesta a contaminantes nefrotóxicos por lo que deben realizarse nuevos estudios para establecer si hay relación entre la exposición tóxica ambiental y la alta prevalencia de enfermedad renal crónica identificada en anteriores trabajos.

López. A., *INS*¹, Ribó. A., *INS*¹, Quinteros E., *INS*¹, Mejía. R., *INS*¹, Alfaro. D., *INS*¹, Beltetón W., *INS*¹, Orantes C.M., *INS*¹, Hernández C.E., *INS*¹, Pleites E., *INS*¹, López D.L. *UO*². Instituto Nacional de Salud, Ministerio de Salud de El Salvador¹. Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Ohio, Estados Unidos de America².

Índice de términos— nefrotóxico, paraquat, arsénico, toxafeno, agua superficial, agua subterránea, enfermedad renal crónica, San Miguel, El Salvador.

Este trabajo fue financiado parcialmente por la Agencia de Cooperación Española (AECID) y por el Ministerio de Salud (MINSAL).

López. A trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: alejandrolopez.v03@gmail.com)

Ribó. A trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: alexandre4rt@gmail.com)

Quinteros E trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: edgarquinteros.m@gmail.com)

Mejía. R. trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: robertomejia1685@gmail.com)

Alfaro. D trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: alfarodavid.p@gmail.com)

Beltetón W trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: wilitin@yahoo.es)

Orantes C.M trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: doktorantes@gmail.com)

Hernández. C.E trabaja en el Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: dreavila@gmail.com)

Pleites. E director del Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador (email: pleitessan@gmail.com)

López D.L trabaja en la Ohio University, Ohio, Estados Unidos (email: lopezd@ohio.edu)

I. INTRODUCCIÓN

El derecho humano al agua ha sido reconocido por la Asamblea General de las Naciones Unidas, definiéndolo como el derecho de cada persona a disponer de agua suficiente, saludable, aceptable, físicamente accesible y asequible para su uso personal y doméstico[1]. La contaminación del agua es un problema mundial que afecta la calidad del recurso hídrico. La contaminación de sustancias como plaguicidas, metales pesados y metaloides puede convertir el agua en no apta para el consumo humano.

El Arsénico (As) es un metaloide que en concentraciones elevadas dificulta el aprovechamiento de los recursos hídricos y, por lo tanto, el abasteciendo de agua apta para consumo de la población. La presencia de este metaloide puede llegar a representar un serio problema de salud ambiental a nivel nacional tal y como ha ocurrido en Bangladesh [2]. En El Salvador, como en gran parte de Centroamérica, una proporción del As presente en el agua procede de fuentes geogénicas. Éstas están relacionadas con la actividad hidrotermal ligada al activo volcanismo de la región [3]. Sin embargo, parte del As presente en las aguas salvadoreñas procede de fuentes antrópicas, tales como residuos industriales, urbanos y algunos fertilizantes [4].

La contaminación de plaguicidas en el agua, al igual que la presencia de As, representa un problema de salud ambiental cuyo origen está especialmente asociado a la agricultura y la fabricación de plaguicidas [5]. El paraquat es un herbicida no selectivo de amplio espectro cuyo nombre químico es 1,1'-Dimetil-4,4'-bipiridilo. El paraquat es el nombre del ingrediente

activo del herbicida y también es utilizado como nombre comercial por algunos fabricantes. Éste es uno de los plaguicidas más utilizados a nivel mundial [6] y el más vendido en El Salvador [7]. Según datos oficiales del Ministerio de Salud de El Salvador (MINSAL), el paraquat es el plaguicida que causa el mayor número de intoxicaciones agudas en el país [8].

Tanto el As como el paraquat son contaminantes comunes en el agua de El Salvador y suponen una amenaza tanto para la salud humana como para la ambiental, ambos contaminantes tienen propiedades nefrotóxicas [9] [10] y su exposición crónica puede ser causante de graves afecciones como el Parkinson en el caso del paraquat [11] o cáncer en el caso de As [12].

Las Brisas son un conjunto de comunidades situadas en los suburbios orientales de la ciudad de San Miguel (Fig. 1), al lado oriental del Río Grande de San Miguel. Las comunidades están situadas a unos 14 km al NE del volcán Chaparrastique (San Miguel) y a 5.2 km al NO de la Laguna de Aramuaca, un maar o cráter volcánico producido por una erupción freático-magmática [13]. Las comunidades se localizan en una llanura aluvial con una leve pendiente hacia el Río Grande de San Miguel y están rodeadas de cultivos de maíz y potreros. En general, la población de estas comunidades es de bajos recursos económicos y se dedica principalmente a diversas actividades laborales en la ciudad excepto una minoría, que se dedica a la agricultura. Los habitantes tienen un limitado acceso a agua potable. Durante el año 2014 parte de las comunidades se abastecían de agua potable a través de grifos públicos, previo a esto las familias consumían agua sin ningún tipo de tratamiento procedente de pozos artesanales localizados en sus viviendas. Uno de los principales problemas de salud

identificados en las comunidades Las Brisas es la alta prevalencia (21.1% de la población) de enfermedad renal crónica (ERC) [14]. La mayoría de los pacientes presentaron una ERC no explicada por las causas tradicionales. Éste tipo de enfermedad renal crónica, ha sido reconocida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) como Enfermedad Renal Crónica de causas no tradicionales (ERCnt) [15], caracterizada desde el punto de vista histopatológico mediante biopsias renales, como una nefritis intersticial crónica, probablemente relacionada con la toxicidad del medio ambiente y factores de riesgos tóxico ocupacionales asociados a la actividad agrícola y agravados por las inadecuadas condiciones de higiene laboral [16], [17]. La prevalencia de esta ERC duplica la prevalencia mundial de ERC (9 - 11%) [18]. Estas comunidades, han estado expuestas por varios años a sustancias químicas almacenadas de forma inadecuada en la antigua fábrica formuladora de plaguicidas AGROJELL S.A. de C.V, que colinda con áreas habitacionales y está ubicada aguas arriba de la comunidad. Las ruinas de la ex fábrica contenían 92 barriles metálicos con toxafeno [19]. El toxafeno es el nombre del ingrediente activo de un insecticida organoclorado cuya formulación es una mezcla muy compleja de al menos 177 derivados policlorados [20]. El toxafeno es un plaguicida altamente tóxico, muy persistente en el ambiente y considerado obsoleto según la clasificación de la Organización Mundial de Salud (OMS)[21]. El toxafeno es un agente con efectos adversos a la salud humana: es cancerígeno, teratógeno, puede ocasionar daños al sistema nervioso y en órganos como hígado y riñones [22]. El toxafeno está prohibido en El Salvador desde 1988 [23]. En el año 2010 el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) retiró los 92

barriles con toxafeno para su eliminación de forma adecuada [19]., Posteriormente al retiro, el MARN realizó un estudio de agua subterránea, muestreando 10 pozos artesanales en las comunidades Las Brisas en los que identificó la presencia de toxafeno en 9 de los pozos [24].

Teniendo en cuenta la alta prevalencia de ERC, particularmente de ERCnt en las comunidades estudiadas y que tanto el As y paraquat son contaminantes comunes en el agua de El Salvador y tienen propiedades nefrotóxicas, el principal objetivo de la presente investigación fue identificar, en las Comunidades Las Brisas de la ciudad de San Miguel, el riesgo de exposición a As y a paraquat y evaluar si las ruinas y los desperdicios de la ex fábrica de plaguicidas AGROJELL S.A de C.V. son, actualmente, una posible fuente de contaminación para la comunidad.

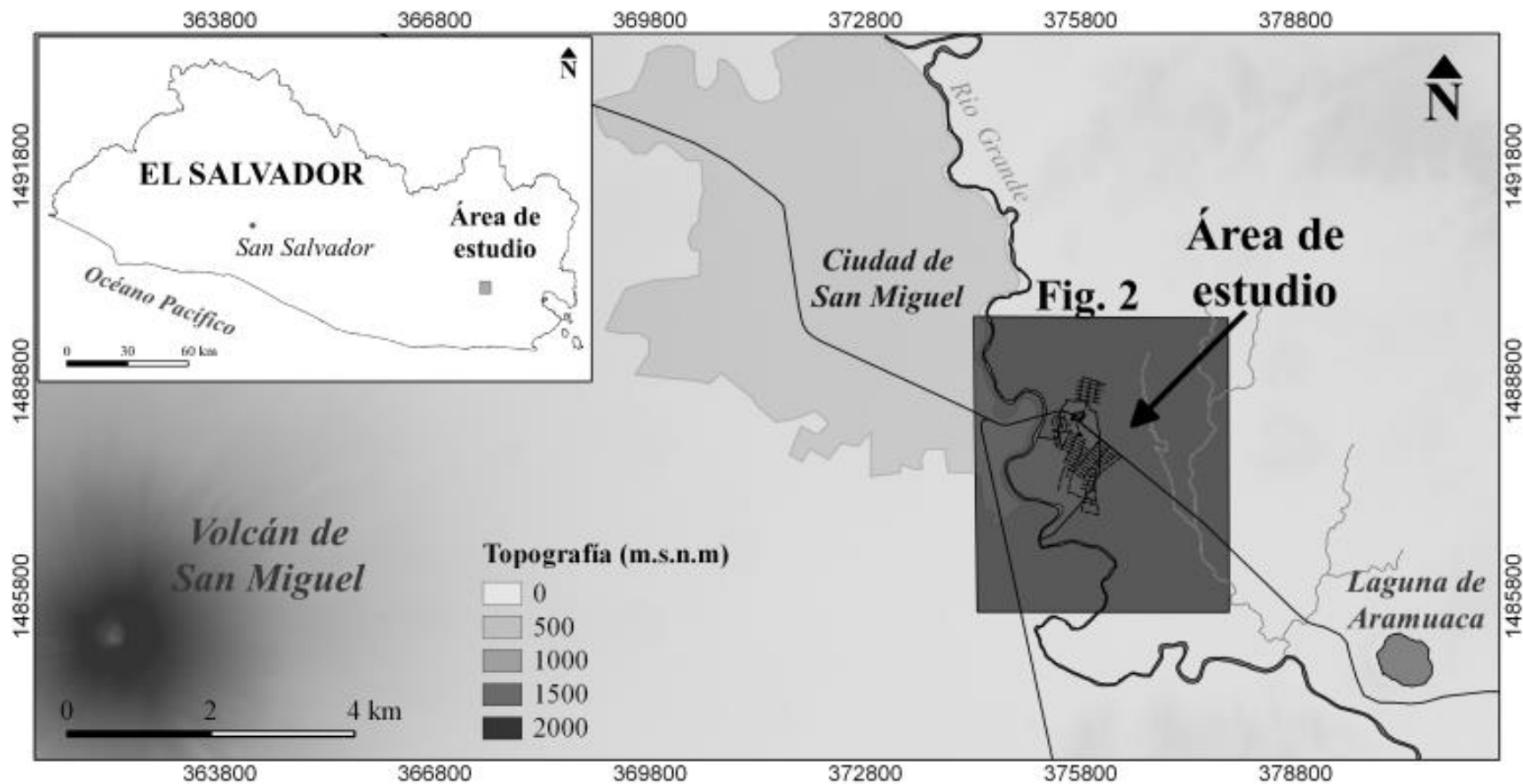


Fig. 1. Ubicación de la comunidad Las Brisas, Departamento de San Miguel. Área geográfica de estudio.

II. METODOLOGÍA

A. Trabajo de campo

Se realizó una exploración en las comunidades y las zonas aledañas, realizando un reconocimiento del área de estudio e identificación de pozos artesanales y cuerpos de aguas.

La evaluación de la contaminación de agua superficial se realizó a partir de la toma de 7 muestras de agua superficial repartidas entre el río Grande de San Miguel y las quebradas más cercanas a las comunidades. La evaluación en agua subterránea se hizo a través del muestreo de 13 pozos artesanales situados en las comunidades Las Brisas o circundantes a las mismas. El muestreo ambiental se realizó en época seca en el año 2014. Se realizaron análisis de parámetros físico químicos in situ tales como pH mediante un medidor de campo ExStick EC500 y también se midió el oxígeno disuelto (OD) mediante un dispositivo ExStick DO600.

La localización de las muestras fue georreferenciada mediante GPS Garmin Montana 650, utilizando el sistema elipsoidal de referencia World Geodetic System 84 (WGS 84) y la proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Se tomó la altitud sobre el nivel del mar de cada punto de muestreo a partir de un modelo digital del terreno con una precisión de 10 m2 facilitado por el MARN y, finalmente, en los pozos artesanales se tomó también la profundidad del nivel freático.

En la Tabla I se listan las coordenadas y altura sobre el nivel del mar de cada punto muestreado, así como la fecha del muestreo y la profundidad del nivel freático en los puntos que correspondieron a pozos artesanales. La localización de todas las muestras tomadas está representada en el mapa que incluye la Fig. 2.

TABLA I. DATOS GENERALES DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA SUPERFICIAL Y AGUA SUBTERRÁNEA

Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas		msnm	NAF (m)	Cota topográfica NAF (m)
		X	Y			
R1	18/02/2014	374508	1489359	84	-	-
R2	18/02/2014	375042	1488659	79	-	-
R3	18/02/2014	374992	1487786	80	-	-
R4	25/02/2014	375498	1487057	79	-	-
R5	25/02/2014	377605	1486239	79	-	-
R6	18/02/2014	377689	1488139	92	-	-
R7	18/02/2014	377090	1487029	80	-	-
P1	09/06/2014	375862	1488369	92	11.2	80.8
P2	09/06/2014	375927	1488300	91	11.2	79.8
P3	09/06/2014	375985	1488250	91	11.6	79.4
P4	09/06/2014	376046	1488200	91	11	80
P5	09/06/2014	376090	1488157	91	10.9	80.1
P6	16/06/2014	375296	1489294	93	13.2	79.8
P7	16/06/2014	376643	1489069	91	8.2	82.8
P8	16/06/2014	375831	1488608	92	12.1	79.9
P9	23/06/2014	375708	1487883	90	11.9	78.1
P10	23/06/2014	375771	1488024	90	12.7	77.3
P11	23/06/2014	375750	1488176	91	10.2	80.8
P12	23/06/2014	376082	1487819	88	11.2	76.8
P13	23/06/2014	376065	1487955	90	11.4	78.6

B. Análisis de laboratorio

El análisis de todas las muestras se realizó en el Laboratorio Nacional de Referencia del Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud de El Salvador. Las muestras se transportaron al laboratorio en hieleras a temperatura alrededor de 4°C. Las muestras para determinar As fueron colectadas utilizando frascos de polietileno con capacidad de 1L, con una solución de ácido nítrico de alta pureza para minimizar la absorción de este elemento por las paredes del envase. Las muestras para la determinación de paraquat fueron colectadas en frascos de vidrio color ámbar de 100 mL. Finalmente, las muestras para la determinación de dureza se colectaron en frascos de polietileno de alta densidad con capacidad de 1 gal.

La determinación y cuantificación de As, se realizó mediante un Espectrómetro de Absorción Atómica marca Perkin Elmer con Horno de Grafito, con corrección de fondo Zeeman modelo AAnalyst 800 y con una lámpara de descarga de electrones (EDL) marca Perkin Elmer. Se preparó una curva de calibración en el rango de 2 ug/L a 40 ug/L a partir de estándar certificado de 1000 mg/L, marca Merck CertiPUR. Por cada muestra de agua se filtró 1L mediante papel filtro de poro medio marca Whatman. Las condiciones de análisis para el método fueron las establecidas por el estándar internacional de APHA (American Public Health Association) por sus siglas en ingles[25].

Para la determinación de paraquat se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS Marca Perkin Elmer Lambda 35 a una longitud de onda de 600 nm. Para llevar a cabo el análisis

primero se preparó una curva de calibración en el rango de 0.620 mg/L a 10.019 mg/L, Las condiciones de análisis para el método son las propuestas por Shihhare and Gupta [26].

La dureza del agua se determinó a partir de las concentraciones de calcio y magnesio, mediante la reacción del ácido Etilendiaminotetracético (EDTA) por método titrimétrico establecido por el estándares internacional de APHA [27].

En la tabla II se muestran los límites de detección y cuantificación de los equipos de laboratorio para la determinación de As, paraquat y dureza.

TABLA II. LÍMITES DE DETECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACION DE ARSENICO, PARAQUAT Y DUREZA

Análisis	Límite de Detección	Límite de Cuantificación
Paraquat	0.19 mg/L	0.62 mg/L
Arsénico	0.00067 mg/L	0.002 mg/L
Dureza	2.90 mg/L	9.66 mg/L

C. Límites máximos permisibles

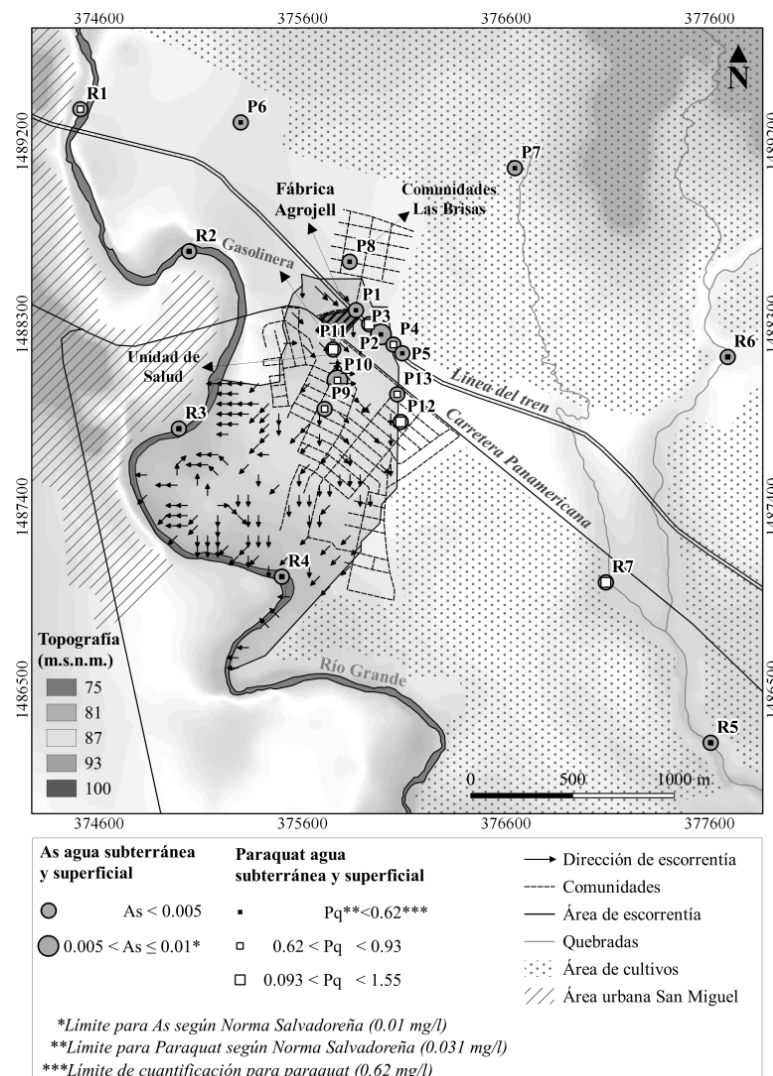
Considerando que El Salvador no cuenta con una normativa ambiental que establezca un estándar máximo para As en agua superficial y agua subterránea, y teniendo en cuenta que parte de la población utiliza agua de pozos artesanales para el consumo o para realizar otras actividades en el hogar, los resultados de As se compararon con la NSO 13.07.01:08 (Norma Salvadoreña Obligatoria Agua Potable) [28], que

establece un límite máximo de 0.01 mg/L para el agua de consumo. Los resultados de paraquat en agua se compararon con la NSO 13.07.02:08 (Norma Salvadoreña Obligatoria para el Agua Envasada) [29], a pesar que el límite de cuantificación del equipo de laboratorio (Tabla II) es mayor que el estándar establecido, los resultados se compararon con esta norma, debido a que es la única en el país que contempla un estándar para paraquat en agua, estableciendo como límite máximo 0.031 mg/L. En relación a los parámetros físico químicos, los resultados de dureza del agua y pH son comparados con la NSO para agua potable [28], mientras que los resultados de Oxígeno Disuelto (OD) se compararon con la guía canadiense de calidad ambiental [30].

D. Generación de mapas

La información ambiental se ha digitalizado, armonizado y organizado en una base de datos digital, mediante el software libre PostgreSQL (Licencia Pública General de GNU) con el módulo PostGIS que añade soporte de objetos geográficos convirtiéndola en una base de datos espacial. Los mapas del presente documento han sido generados mediante el software Quantum GIS (Versión Essen 2.14), un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto.

Figura 2. Cartografía de las comunidades Las Brisas de San Miguel que representa los puntos de muestreo en agua superficial (ríos y quebradas) y agua subterránea (pozos) con las concentraciones encontradas de paraquat y As. El mapa delinea la cuenca en donde está localizada la antigua fábrica de plaguicidas AGROJELL S.A de C.V. y la dirección de la escorrentía procedente de la antigua fábrica.



III. RESULTADOS

Los análisis realizados muestran la presencia de As en agua subterránea y agua superficial, aunque las concentraciones no superaron el límite máximo de 0.01 mg/L establecido en la NSO de agua potable [28], el agua subterránea mostró los valores más altos, igualando el límite máximo, en el punto de muestreo P10, situado en área habitada aguas debajo de la fábrica, el resultado es igual a 0.01 mg/L que es el límite de la norma, tal y como se muestra en el mapa (Fig. 2). En agua superficial el valor más alto de As se identificó en el punto de muestreo R5 al sureste de la comunidad, obteniendo 0.007 mg/L por debajo de 0.01 mg/L establecido por la NSO de agua potable [28].

Se identificó la presencia de paraquat tanto en agua subterránea como en agua superficial y en algunas muestras se pudo cuantificar su presencia, como se observa en la (Fig. 2). Muchas de las muestras con concentraciones elevadas en aguas subterráneas se sitúan principalmente en el área habitacional. En agua subterránea se ha registrado un valor máximo de 8.89 mg/L en el punto P9. En el caso de las aguas superficiales, el valor máximo obtenido es de 1.7 mg/L y se sitúa en el punto de muestreo R7 localizado en una quebrada al este de la comunidad. Tanto los valores máximos de agua subterránea como de agua superficial rebasan más de 30 veces el límite de 0.31 mg/L propuesto por la NSO de agua potable [28].

Los resultados de dureza en el agua registran valores por debajo al límite de 500 mg/L establecido en la NSO de agua potable, aunque estos valores se encuentren dentro de norma, algunos se acercan al límite establecido. De acuerdo a la clasificación del departamento de Estudios Geológicos de

Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés) [31], los valores de dureza encontrados en el agua superficial y subterránea identificados se clasifican como duras (121-180 mg/L) y muy duras (>181 mg/L). El valor más alto de dureza identificado en agua superficial se encuentra en el punto de muestreo R7 con 419 mg/L (agua muy dura), mientras que en agua subterránea el valor más alto se encuentra en el punto P12 con 391 mg/L (agua muy dura). Los resultados de OD, están por debajo del límite mínimo de 5.5 mg/L establecido en la norma canadiense [30], en agua superficial el OD varía entre 0.007 mg/L a 2.36 mg/L, mientras que en agua subterránea oscilan entre 0.04 mg/L a 2.89 mg/L.

En relación al pH, los valores se encuentran dentro de norma y no rebasan el límite de 8.5 establecido en la NSO de agua potable [28], en aguas superficiales los valores oscilan entre un mínimo de 7.2 y un máximo de 8.2, mientras que en aguas subterráneas entre un mínimo de 6.8 y un máximo de 7.4. La Tabla III muestra los resultados de los parámetros físicos químicos por punto de muestreo. La fig. 2 muestra la distribución de los resultados obtenidos clasificándolos según las concentraciones de As y paraquat teniendo en cuenta tanto el límite de cuantificación instrumental, así como los límites establecidos para el agua de consumo según las normativas salvadoreñas.

TABLA III. RESULTADO DE ARSÉNICO, PARAQUAT Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS POR PUNTO D MUESTREO

Punto de Muestreo	Arsénico mg/L	Paraquat mg/L	OD mg/L	pH	Dureza mg/L
R1	0.002	0.828	0.45	7.7	273
R2	0.002	<0.62	0.12	7.7	184
R3	0.001	<0.62	1.55	7.2	157
R4	0.003	<0.62	0.04	7.4	167
R5	0.007	<0.62	2.22	7.5	251
R6	0.002	<0.62	2.89	8.2	200
R7	0.005	1.7	1.71	8.2	419
P1	0.005	<0.62	0.86	7.4	214
P2	0.009	1.46	0.07	6.8	380
P3	0.008	<0.62	0.98	7.1	257
P4	0.002	7.52	2.36	7.5	279
P5	0.002	<0.62	0.33	7.1	270
P6	0.002	<0.62	2.2	7.1	162
P7	0.006	<0.62	0.66	7.1	136
P8	0.002	<0.62	1.12	6.9	214
P9	0.002	8.89	2.09	7.0	294
P10	0.01	6.91	0.36	7.3	268
P11	0.004	1.22	0.64	6.9	169
P12	0.002	1.38	1.18	6.9	391
P13	0.004	6.27	0.58	6.8	257

En la inspección a la antigua fábrica se identificaron, entre las ruinas, residuos químicos y de material de laboratorio potencialmente tóxicos. Los residuos identificados eran de color oscuro con un fuerte olor a químicos, posiblemente eran residuos de toxafeno, localizándolos en el área donde permanecieron los barriles y ocurrieron derrames de toxafeno.

En la fig. 3 se observa parte de los residuos tóxicos identificados en la inspección a las ruinas.



Fig. 3. Residuo de la contaminación en las ruinas de la ex Fábrica AGROJELL S.A. de C.V. tomadas en comunidad las Brisas, San Miguel.

Finalmente se realizó un análisis de escorrentía del área de estudio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), limitando la microcuenca que contiene la antigua fábrica y evaluando la dirección del flujo de la escorrentía. La fig. 2 muestra la localización de la antigua fábrica de plaguicidas en la cima de una pequeña zona de drenaje que comprende gran parte de las comunidades de Las Brisas. En general, esta área de drenaje tiene una pendiente suave (1-3%).

En la tabla IV, se ha resumido algunas de las características físicas de los tóxicos encontrados en el presente estudio (As y paraquat) y de los encontrados en anteriores estudios (toxafeno). En general todos los productos son solubles al agua,

en el caso del As es soluble en los estados de oxidación III y V, y de los tres el que tendría una menor solubilidad sería el toxafeno. La degradabilidad de ambos tóxicos va de moderada a baja por lo tanto puede concluirse que en general son persistentes.

TABLA IV. PROPIEDADES DE ARSENICO, PARAQUAT Y TOXAFENO

Nombre	Solubilidad en agua a temperatura ambiente	Persistencia en el suelo
Arsénico (Presente estudio)	-As puro Insoluble - As oxidado As+3 y As+5 solubles	Altamente Persistente
Paraquat (Presente estudio)	Soluble	Altamente Persistente
Toxafeno (MARN 2010)	Moderadamente Soluble	Altamente Persistente

IV. DISCUSIÓN

Las altas concentraciones de paraquat en el agua de los ríos como en algunos pozos localizados en las comunidades (Figura 2) en algunos casos exceden más de tres veces el estándar propuesto por la normativa salvadoreña (0.31 mg/L), lo que supone un grave riesgo a la salud de la población y al medioambiente. Estas concentraciones de paraquat en agua podrían estar asociadas a la aplicación en cultivos y potreros cercanos a los pozos artesanales y los ríos de la zona, debido a que los puntos más elevados se encuentran en zonas de actividad agrícola. Los efectos de intoxicaciones agudas de

paraquat están descritas ampliamente en la literatura como insuficiencia renal aguda, insuficiencia hepática, fibrosis pulmonar y dermatitis [32]. Por otra parte, los efectos en intoxicaciones crónicas están escasamente identificados, solamente ha descrito la fibrosis pulmonar como efecto crónico. Posiblemente la intoxicación crónica de paraquat también puede producir daños al riñón y al hígado.

En general, los estudios para evaluar la toxicidad crónica de los plaguicidas son relativamente escasos y, además, normalmente cuando se realizan se utilizan solamente los principios activos, en lugar de la formulación completa. Los adyuvantes, que presentan las fórmulas finales de los plaguicidas, pueden facilitar su absorción [33].

Las concentraciones identificadas de As, aunque no superan el estándar de 0.01 mg/L propuesto por la normativa salvadoreña, son, en algunos casos, muy cercanos al límite máximo permisible, llegando incluso a igualarlo. Las familias que utilizan el agua procedente de los pozos para el consumo serían la parte de la población más vulnerable a esta exposición. Las concentraciones más elevadas de As en agua superficial se han identificado al sureste de la comunidad con un valor máximo de 0.007 mg/L, probablemente está relacionado con la movilidad de la contaminación hacia el sur. Posiblemente el origen del As procede de las contribuciones geogénicas, urbanas y, sobretodo de los campos de cultivos. La presencia de As en fertilizantes utilizados en la agricultura es algo relativamente común [4]. Las bajas concentraciones de oxígeno identificadas implicarían unas condiciones anóxicas que propician la solubilidad del As [34]. El As es un metaloide con propiedades nefrotóxicas [35], y aunque las concentraciones encontradas en agua son más bajas

que el estándar establecido por la legislación salvadoreña, la presencia de este elemento implica una exposición crónica que a largo plazo puede tener efectos adversos a la salud. Los bajos valores de oxígeno disuelto en el agua superficial y subterránea implican una baja calidad ambiental de las aguas analizadas. Estos bajos valores de oxígeno disuelto pueden estar relacionados por la eutrofización de las aguas producida por el masivo aporte de nutrientes que derivan de la erosión de los fertilizantes aplicados en los campos de cultivo aledaños [5]. El haber realizado el muestreo en la estación seca, cuando tanto los flujos de agua subterránea como los superficiales son menores, el agua va mucho más cargada de nutrientes y los concentra, lo que puede contribuir en la eutrofización de las aguas y por lo tanto presentar niveles bajos de oxígeno disuelto. Los plaguicidas aplicados a los cultivos colindantes posiblemente contribuyen a la carga de sustancias disueltas, especialmente el paraquat que es muy soluble al agua y por lo tanto se facilita su dispersión por la escorrentía producida por precipitaciones. El contexto volcánico de la región y especialmente la cercanía del maar conocido como la Laguna de Aramuaca y del volcán de San Miguel posiblemente implica la mezcla de aguas de origen hidrotermal con el manto freático. Por lo tanto, como sucede en otras partes del país [3], hay que considerar la contribución hidrotermal como probable origen de la alta dureza del agua, así como de los niveles de As.

Los contaminantes orgánicos como los plaguicidas y los metaloides como el As se pueden combinar fácilmente con los elementos que generan la dureza del agua (Ca y Mg) y formar otros compuestos que han sido descritos con propiedades nefrotóxicas, ocasionando daño a nivel túbulo intersticial [36].

La ingesta de agua dura, contaminada con estos compuestos, representa un riesgo a la salud humana.

A este hecho se suma la contaminación de la zona, producida por los barriles con toxafeno que estuvieron abandonados por varios años en la antigua fábrica AGROJELL S.A. de C.V. El toxafeno tiene efectos adversos a la salud humana, como daño al sistema reproductivo, alteraciones endócrinas [37] propiedades carcinogénicas [38] y nefrotóxicas [22]; es muy poco degradable, siendo así una sustancia altamente persistente en el ambiente. Considerando su persistencia en el suelo y que la fábrica se encuentra aguas arriba en un área de drenaje con una pendiente suave de 1-3% hacia las comunidades. En caso de fuertes lluvias, los contaminantes que pudieran estar presentes en el suelo de la fábrica, se movilizarían con mayor facilidad hacia las áreas habitacionales y también hacia las zonas de cultivos, representando un riesgo a la salud de la población debido a la pendiente identificada. Teniendo en cuenta la alta persistencia de los tóxicos, esta escorrentía podría ser muy contaminante. Los promotores de salud informaron a los autores que han ocurrido periódicamente inundaciones en las comunidades Las Brisas siendo las más importantes las ocurridas en 1998 durante el huracán Mitch. En el año 2010 el MARN encontró toxafeno en agua de pozos artesanales [13][12], lo que alerta de la presencia de éste tóxico en el ambiente actual. Por lo tanto, es necesario identificar si hay presencia de toxafeno en los suelos y aguas superficiales y subterráneas, que circundan la fábrica y determinar la extensión superficial de la contaminación.

Los próximos pasos incluyen complementar la caracterización de las fases ambientales analizando la presencia de As,

paraquat y toxafeno en suelo de la comunidad. Estos resultados permitirán conocer el nivel de contaminación ambiental en el área de la comunidad. También sería importante evaluar los contenidos en As en las aguas de la Laguna de Aramuaca para identificar si realmente hay una contaminación de fluidos hidrotermales en las aguas freáticas. Es importante evaluar si hay presencia de Boro en las aguas subterráneas, debido a que en El Salvador se ha identificado altos niveles de contaminación de este elemento en lagunas de origen volcánico[3]. La exposición al Boro también puede producir perjuicios a la salud humana, incluyendo efectos nefrotóxicos.

Teniendo en cuenta la exposición identificada, es necesario evaluar si la población presenta intoxicaciones crónicas a los compuestos químicos encontrados, realizando estudios clínicos que determinen la presencia de contaminantes en humanos, por ejemplo, realizando análisis de fluidos biológicos (sangre, orina, pelo, uñas etc.) para determinar la presencia de As, paraquat y toxafeno o sus metabolitos. Finalmente es necesario evaluar mediante estudios de mayor complejidad, cuales son los efectos a mediano y a largo plazo de la exposición crónica a los tóxicos identificados, especialmente en el caso de paraquat y toxafeno.

V. CONCLUSIONES

La mala calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la comunidad Las Brisas y sus alrededores representan una amenaza para la salud humana y ambiental, limita el desarrollo de vida acuática. Esta mala calidad viene determinada principalmente por los altos niveles de paraquat, As disueltos y toxafeno y por la baja proporción de oxígeno disuelto. La

utilización del agua subterránea para el consumo y fines domésticos por parte de los habitantes de las comunidades representa un grave riesgo a la salud de la población, especialmente en el caso del paraquat, debido a que sus concentraciones en algunos pozos superan los límites propuestos por la legislación salvadoreña. También se han identificado visualmente residuos químicos diseminados por las ruinas de antigua fábrica de plaguicidas que también representan un riesgo debido las inundaciones que afectan periódicamente la región pueden movilizar con facilidad los residuos de la fábrica y depositarlos en el área habitacional. La elevada dureza del agua junto con la exposición a sustancias nefrotóxicas forma, en las Comunidades Las Brisas, un escenario similar al descrito en Sri Lanka para el desarrollo de una Enfermedad Renal Crónica de Causas desconocidas [36] similar al comportamiento epidemiológico y clínico de la ERC que afecta a la comunidad. Es necesario dar continuidad a esta investigación evaluando los posibles efectos en la salud de la población expuesta a la contaminación, a través de estudios epidemiológicos, clínicos y toxicológicos, de igual forma continuar los estudios a nivel ambiental, analizando el grado de contaminación por As, toxafeno y otros contaminantes en la comunidad.

VI. NOMENCLATURA

As: Arsénico

ERCnt: Enfermedad Renal Crónica de causas no tradicionales

INS: Instituto Nacional de Salud

mg/L: Miligramo por litro

MINSAL: Ministerio de Salud de El Salvador

MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador

NSO: Norma Salvadoreña Obligatoria

OMS: Organización Mundial de la Salud

UO: Universidad de Ohio

VII. REFERENCIAS

- [1] “Decenio Internacional para la Acción ‘El agua, fuente de vida’ 2005-2015. Áreas temáticas: Derecho humano al agua y al saneamiento”. [En línea]. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml. [Consultado: 12-ene-2016].
- [2] A. H. Smith, E. O. Lingas, y M. Rahman, “Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency”, *Bull. World Health Organ.*, vol. 78, núm. 9, pp. 1093–1103, 2000.
- [3] D. L. López, J. Bundschuh, P. Birkle, M. A. Armienta, L. Cumbal, O. Sracek, L. Cornejo, y M. Ormachea, “Arsenic in volcanic geothermal fluids of Latin America”, *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 57–75, jul. 2012.
- [4] J. J. Mortvedt, “Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers”, *Fertil. Res.*, vol. 43, núm. 1–3, pp. 55–61, 1996.
- [5] E. Ongley, *Lucha contra la Contaminación agrícola de los recursos hídricos*, vol. 55. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997.
- [6] C. Wesseling, B. V. W. De Joode, C. Ruepert, C. León, P. Monge, H. Hermosillo, y L. J. Partanen, “Paraquat in Developing Countries”, *Int. J. Occup. Environ. Health*, vol. 7, núm. 4, pp. 275–286, oct. 2001.
- [7] R. Mejía, E. Quinteros, A. López, A. Ribó, H. Cedillos, C. M. Orantes, E. Valladares, y D. L. López, “Pesticide-Handling Practices in Agriculture in El Salvador: An Example from 42 Patient Farmers with Chronic Kidney Disease in the Bajo Lempa Region”, *Occup. Dis. Environ. Med.*, vol. 2, núm. 3, pp. 56–70, 2014.
- [8] Ministerio de Salud de El Salvador, “Sistema Nacional de Salud MorbiMortalidad + Estadísticas Vitales (SIMMOW)”, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://simmow.salud.gob.sv/>.
- [9] N. D. Vaziri, R. L. Ness, R. D. Fairshter, W. R. Smith, y S. M. Rosen, “Nephrotoxicity of Paraquat in Man”, *Arch. Intern. Med.*, vol. 139, núm. 2, p. 172, feb. 1979.
- [10] K. Gehle, “Estudios de Caso en Medicina Ambiental (CSEM). La toxicidad del arsénico.”, Departamento de Salud Y Servicios Humanos de EE. UU. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades ASTDR. División de Toxicología y Medicina Ambiental, Estudio de Casos de Medicina Ambiental, oct. 2013.
- [11] S. M. Goldman, F. Kamel, G. W. Ross, G. S. Bhudhikanok, J. A. Hoppin, M. Korell, C. Marras, C. Meng, D. M. Umbach, M. Kasten, A. R. Chade, K. Comyns, M. B. Richards, D. P. Sandler, A. Blair, J. W. Langston, y C. M. Tanner, “Genetic modification of the association of paraquat and Parkinson’s disease”, *Mov. Disord.*, vol. 27, núm. 13, pp. 1652–1658, 2012.
- [12] T. R. McClintock, Y. Chen, J. Bundschuh, J. T. Oliver, J. Navoni, V. Olmos, E. V. Lepori, H. Ahsan, y F. Parvez, “Arsenic exposure in Latin America: Biomarkers, risk assessments and related health effects”, *Sci. Total Environ.*, vol. 429, pp. 76–91, jul. 2012.
- [13] Volcano Discovery, “Laguna Aramuaca Volcano, El Salvador - facts & information / VolcanoDiscovery”: [En línea].

- Disponible en: http://www.volcanodiscovery.com/es/laguna_aramuaca.html. [Consultado: 07-ene-2016].
- [14] C. M. Orantes, R. Herrera, M. Almaguer, E. G. Brizuela, L. Núñez, N. P. Alvarado, E. J. Fuentes, H. D. Bayarre, J. C. Amaya, D. J. Calero, X. F. Vela, S. M. Zelaya, D. V. Granados, y P. Orellana, "Epidemiology of chronic kidney disease in adults of Salvadoran agricultural communities", *MEDICC Rev.*, vol. 16, núm. 2, pp. 23–30, abr. 2014.
- [15] Pan American Health Organization - OPS. y World Health Organization - OMS., "152nd Session of the Executive Committee. CE152/25 - Chronic Kidney Disease in Agricultural Communities in Central America." jun-2013.
- [16] R. Herrera, C. M. Orantes, M. Almaguer, P. Alfonso, H. D. Bayarre, I. M. Leiva, M. J. Smith, R. A. Cubias, W. O. Almendárez, F. R. Cubias, y others, "Clinical characteristics of chronic kidney disease of nontraditional causes in Salvadoran farming communities", *MEDICC Rev.*, vol. 16, núm. 2, pp. 39–48, 2014.
- [17] L. López-Marín, Y. Chávez, X. A. García, W. M. Flores, Y. M. García, R. Herrera, M. Almaguer, C. M. Orantes, D. Calero, H. D. Bayarre, J. C. Amaya, S. Magaña, P. A. Espinoza, y L. Serpas, "Histopathology of chronic kidney disease of unknown etiology in Salvadoran agricultural communities", *MEDICC Rev.*, vol. 16, núm. 2, pp. 49–54, abr. 2014.
- [18] M. Almaguer, R. Herrera, y C. M. Orantes, "Chronic kidney disease of unknown etiology in agricultural communities", *MEDICC Rev.*, vol. 16, núm. 2, pp. 9–15, 2014.
- [19] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, "MARN retira barriles con toxafeno de San Miguel e inicia monitero de agua en la zona", feb. 2010.
- [20] Centro Latinoamericano y del Caribe de Información en Ciencias de la Salud. OPS -OMS, "Biblioteca Virtual en Salud - Descriptores en Ciencias de la Salud - Toxafeno", Biblioteca Virtual en Salud. Descriptores en Ciencias de la Salud. [En línea]. Disponible en: http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decsserver/?IsisScript=../cgi-bin/decsserver/decsserver.xis&task=exact_term&previous_page=homepage&interface_language=e&search_language=e&search_exp=toxafeno. [Consultado: 08-ene-2016].
- [21] (World Health Organization) WHO, The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard. 2009.
- [22] "Reseña Toxicológica del Toxafeno", Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Servicio de Salud Pública, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., EE.UU Atlanta, GA., 2014.
- [23] O. Nieto, S. Henao, W. H. Organization, y others, Fichas técnicas de plaguicidas a prohibir o restringir incluidos en el acuerdo no 9 de la xvi Reunion del Sector Salud de Centroamérica y República Dominicana (RESSCAD). OPS, OMS, 2001.
- [24] Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, "Las Huellas del Toxafeno", dic. 2010.
- [25] A. D. Eaton, L. S. Clesceri, A. E. Greenberg, M. A. H. Franson, American Public Health Association, American Water Works Association, y Water Environment Federation, Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association, 1995.
- [26] P. Shivhare y V. K. Gupta, "Spectrophotometric method for the determination of paraquat in water, grain and plant materials", *The Analyst*, vol. 116, núm. 4, p. 391, 1991.

- [27] (American Public Health Association) APHA, "Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2340 C. 20 Edition". 1999.
- [28] Norma Salvadoreña Obligatoria - Agua, Agua Potable. (Segunda actualización). 2009, pp. 1–20.
- [29] Norma Salvadoreña Obligatoria - Agua, Agua Envasada. (Primera Actualización). 2008.
- [30] Canadian Council of Ministers of the Environment, "Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Dissolved Oxygen (Freshwater).", Canada, 1999.
- [31] "USGS Water-Quality Information: Water Hardness and Alkalinity". [En línea]. Disponible en: <http://water.usgs.gov/owq/hardness-alkalinity.html>. [Consultado: 08-ene-2016].
- [32] MedlinePlus (U.S National Library of Medicine), "Paraquat poisoning", 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/001085.htm>. [Consultado: 14-may-2015].
- [33] G.-E. Séralini, E. Clair, R. Mesnage, S. Gress, N. Defarge, M. Malatesta, D. Hennequin, y J. S. de Vendômois, "Republished study: long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize", *Environ. Sci. Eur.*, vol. 26, núm. 1, dic. 2014.
- [34] World Health Organization, "Hardness in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality." 2011.
- [35] "Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados", *Nefrología*, núm. 32, feb. 2012.
- [36] C. Jayasumana, S. Gunatilake, y P. Senanayake, "Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka?.", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, núm. 2, pp. 2125–2147, 2014.
- [37] E. B. Jørgensen, H. Autrup, y J. C. Hansen, "Effect of toxaphene on estrogen receptor functions in human breast cancer cells.", *Carcinogenesis*, vol. 18, núm. 8, pp. 1651–1654, 1997.
- [38] J. I. Goodman, D. J. Brusick, W. M. Busey, S. M. Cohen, & James C. Lamb, y T. B. Starr, "Reevaluation of the Cancer Potency Factor of Toxaphene: Recommendations from a Peer Review Panel", *Toxicol. Sci.*, vol. 55, pp. 3–16, 2000.