PROBLEMATICA DEL ARSÉNICO EN BOLIVIA

Mauricio Ormachea Muñoz

EQUIPO DE TRABAJO:

- **IGME:** José Luis García Aróstegui & Jorge Hornero Díaz
- **UMSA:** Mauricio Ormachea Muñoz, Mª Eugenia García Moreno & Lizangela Huallpara
- **UPB:** Ramiro Escalera Vásquez & Omar Ormachea Muñoz
- **Geólogos del Mundo:** Jesús Suso & Fernando Pérez

Cochabamba, febrero de 2020

Introducción

Antecedentes

Problemática de la presencia de arsénico (As) en el agua.
Elevada toxicidad y alto riesgo de causar diferentes tipos de cáncer (*Centeno, 2000*).

Riesgo de exposición.
Más de 200 millones de personas en todo el mundo (*Bundschuh & Bhattacharya, 2012*).

Origen.

Diferentes procesos geoquímicos naturales y también a diversas actividades humanas (*Smedley & Kinniburgh, 2002*).

Valor guía para el agua potable

10 µg/L de As (*OMS, 2008*)

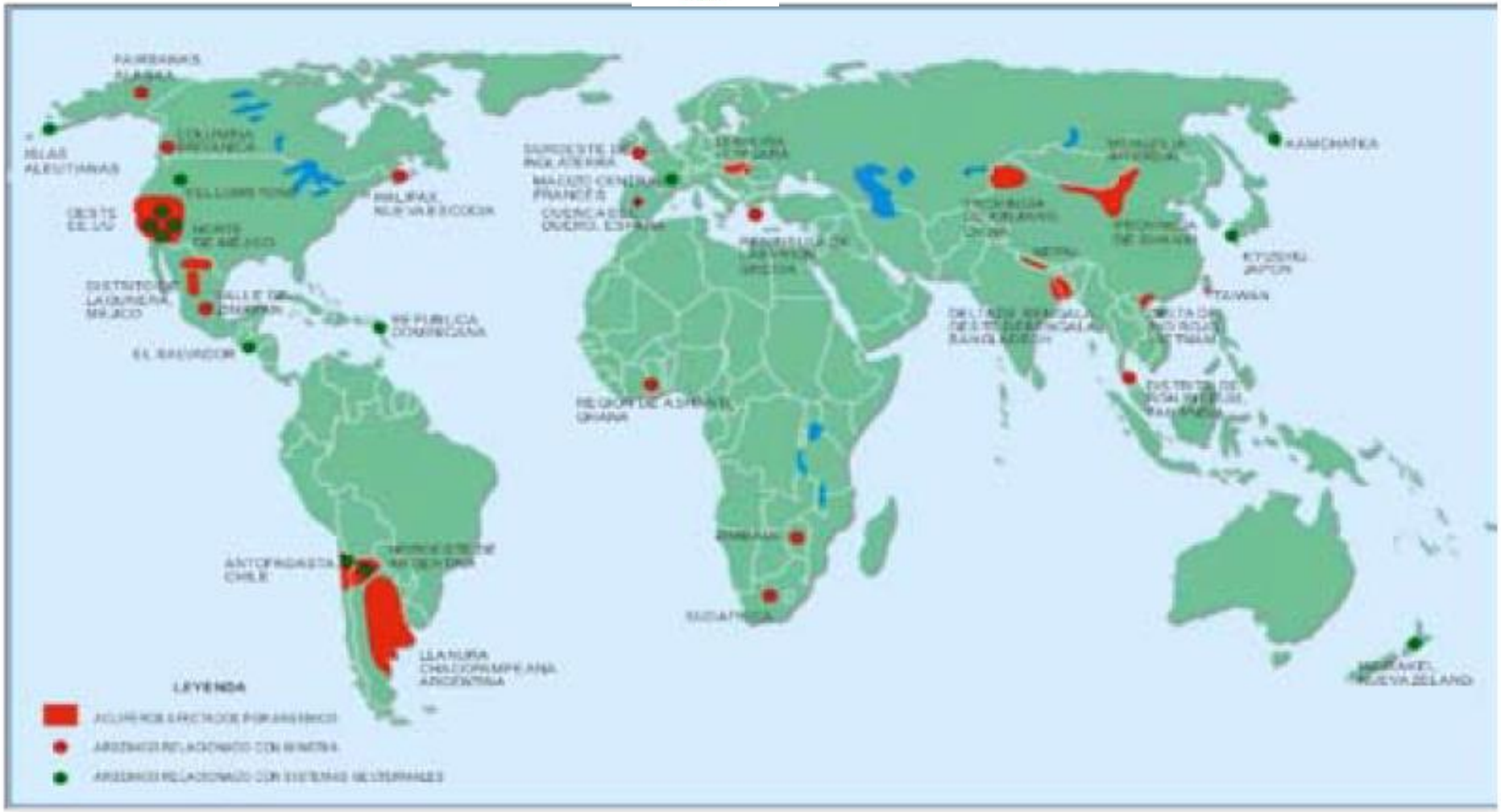
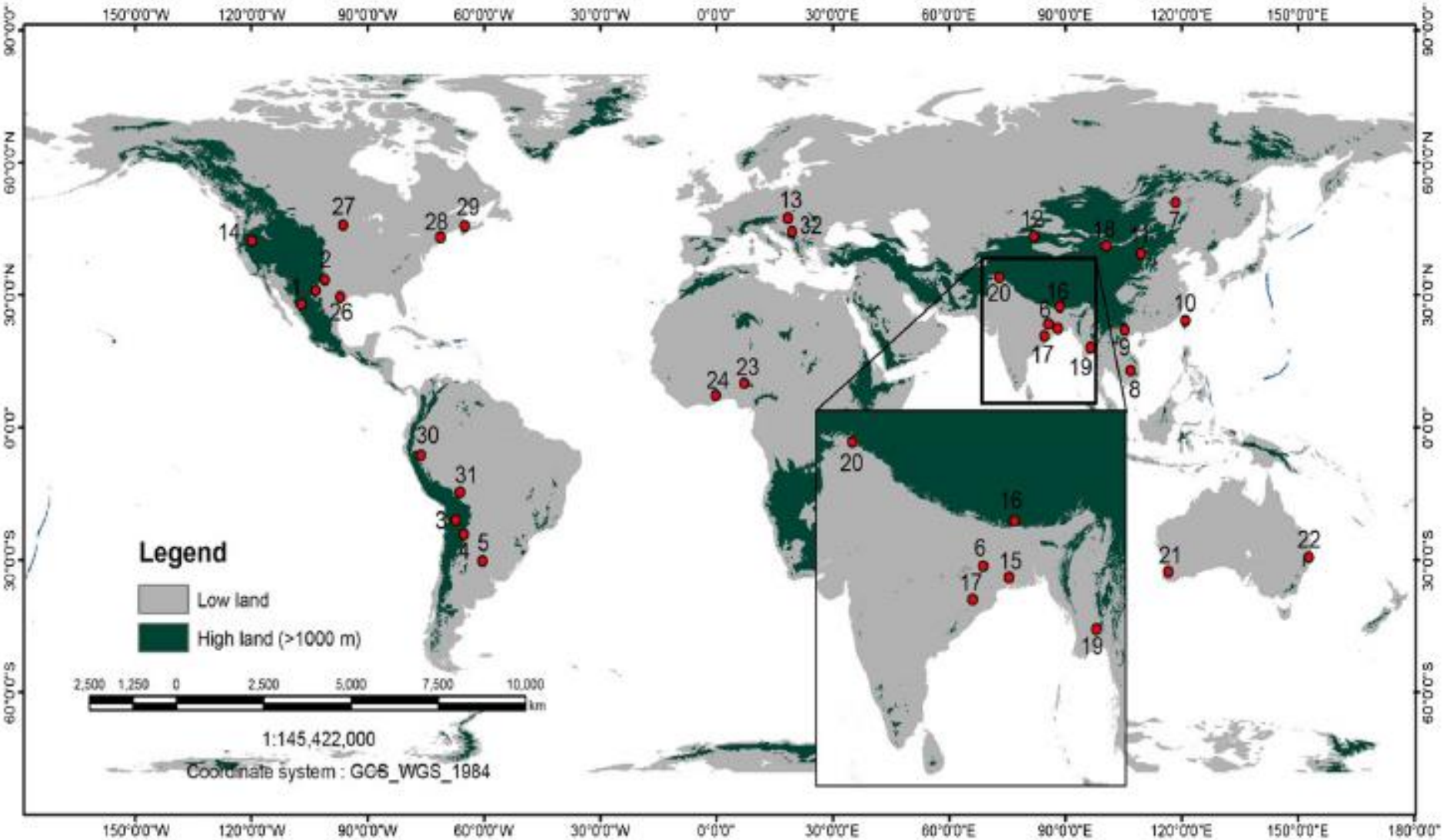


Figura 2.4. Distribución mundial de los principales acuíferos con altos contenidos de arsénico [3;

Litter, M. et al., Dist. de As en Iberoamerica (2006)

Bundschuh, J. et al.,
One century of arsenic exposure in Latin America: A review of history and occurrence from 14 countries
Science of the Total Environment (2012)



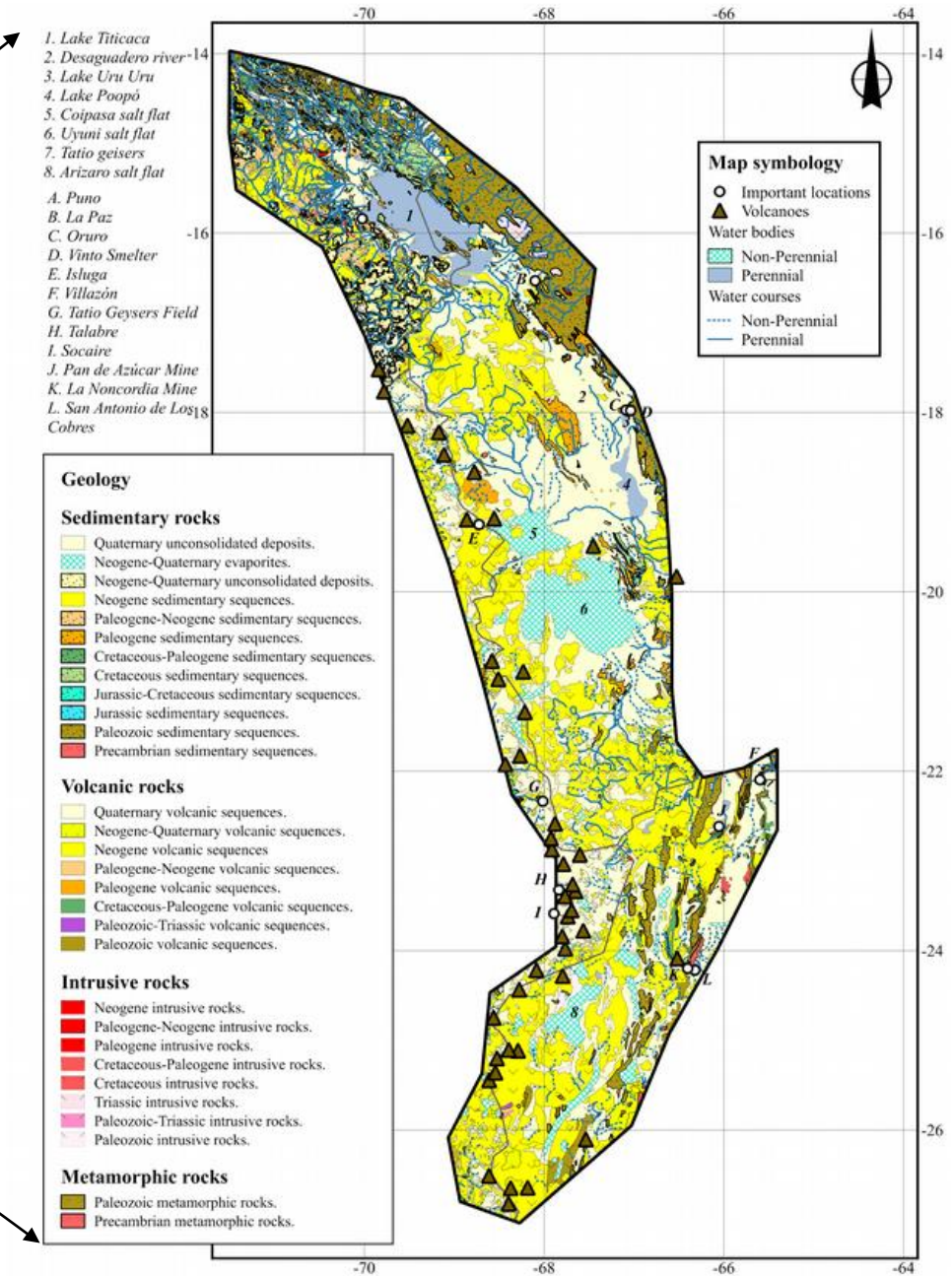
Herath, I. et al., Natural Arsenic in Global Groundwaters, Current Pollution Report (2016)

Location No	Location	Location No	Location
1	Lancunaria District, Mexico	17	Central India
2	North Central Mexico	18	Mongolia
3	Antofagasta, Chile	19	Myanmar
4	North West Argentina	20	Pakistan
5	Chaco-Pampean Plain, Argentina	21	Perth
6	Red River Delta	22	New South Wales
7	China	23	Nigeria
8	Mekong River Delta, Lao PDR, Cambodia	24	Ghana
9	Vietnam	25	Southern Texas
10	Taiwan	26	Northern Texas
11	Shanxi, China	27	Minnesota
12	Xinjiang, Tianshan plain	28	New England
13	Great Hungarian Plain, Hungary, Romania	29	Canada
14	Western USA	30	Peru
15	Bengal Basin	31	Bolivia
16	Nepal	32	Serbia

Fig. 4 Global occurrence of arsenic in groundwater and the most vulnerable regions/countries of the world

Herath, I. et al., Curr Pollution Rep (2016)

Meseta altiplano-puna de Argentina, Bolivia, Chile y Perú



Motivo del estudio

- ✓ El Altiplano-Puna posee condiciones climáticas y geográficas extremas.
- ✓ Existen distintas fuentes geogénicas de arsénico (rocas volcánicas, aguas termales, depósitos de sulfuros y otros)
- ✓ El agua es un recurso escaso y el contenido de arsénico en el agua subterránea está por encima del límite para el consumo humano (0,01 mg/L) y los habitantes utilizan esta agua para beber y cocinar.
- ✓ Es necesario comprender la distribución y las concentraciones de arsénico en las fuentes de origen y en las aguas del Altiplano-Puna.

Altiplano-Puna; Clima y geografía

- ✓ Temperatura media durante el día entre 15 a 20ºC. Extremo calor durante el día en el verano hasta 27ºC y frío extremo durante el invierno de hasta los -10ºC.
- ✓ Precipitación entre 700 hasta < 50 mm
- ✓ Región semi-árida.
- ✓ Durante el fenómeno de El Niño el clima tiende a ser seco, mientras que durante el fenómeno de La Niña el clima suele ser más húmedo.

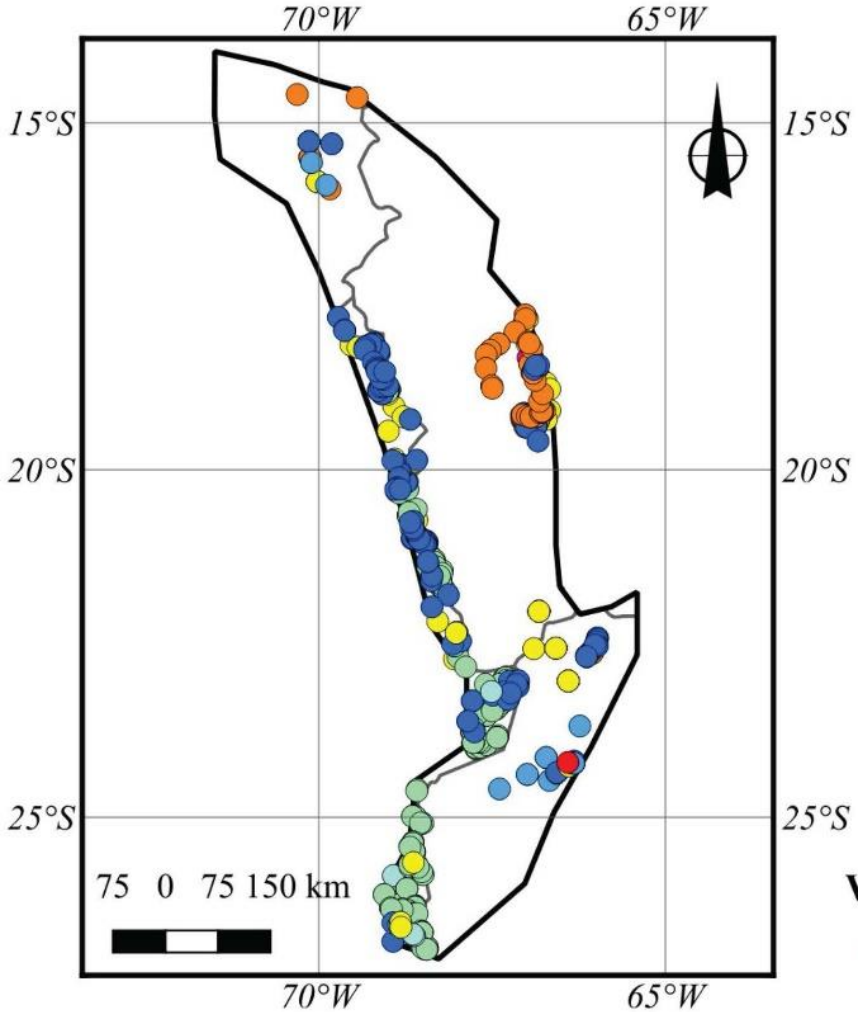
Metodología

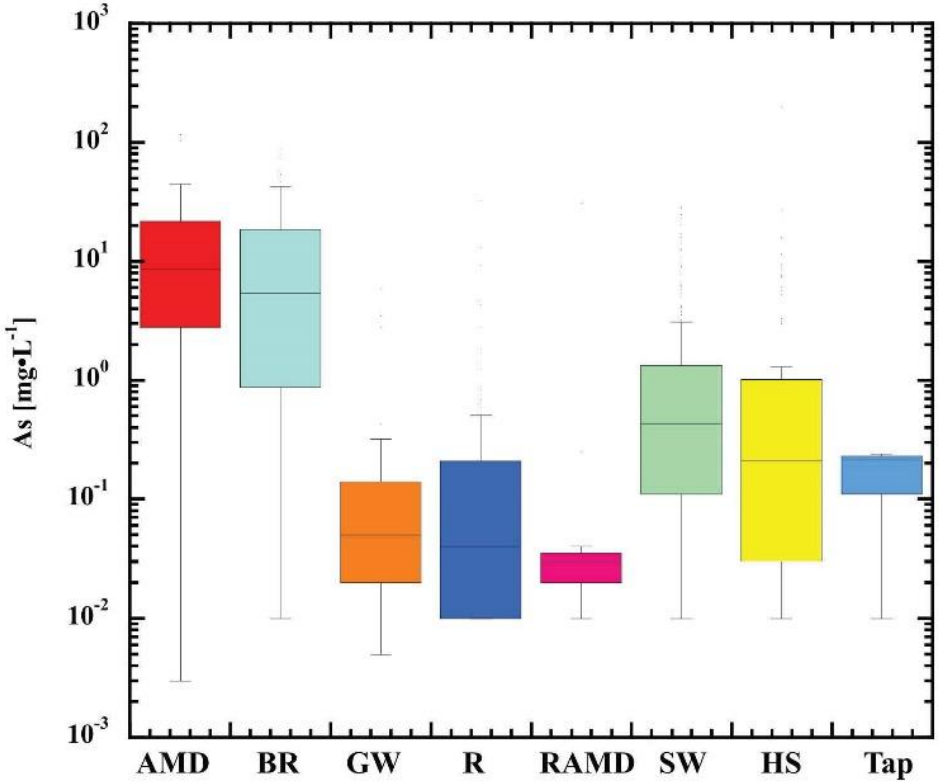
- ✓ Se compilaron datos de publicaciones científicas disponibles en los países que pertenecen a esta región (Argentina, Bolivia, Chile y Perú)
- ✓ Se realizaron análisis estadísticos sobre los valores de As(T) de ~670 muestras de agua
- ✓ Se identificaron las principales fuentes de As tanto geogénicas como antropogénicas

Resultados:
Valores de concentración de arsénico en diferentes tipos de agua

Water type	n	Average	σ	Range	Median
		$mg \cdot L^{-1}$	$mg \cdot L^{-1}$	$mg \cdot L^{-1}$	$mg \cdot L^{-1}$
Total samples	670	3.55	13.41	0.0001 – 200	0.215
Acid Mine Drainage (AMD)	13	25.6	39.63	0.003 – 117	8.7
Brines	63	16.83	23.54	0.01 – 87.6	4.91
Saline water	261	1.95	4.09	0.01 – 29	0.58
Hot springs	85	1.71	3.86	0.01 – 27	0.24
Rivers affected by AMD	11	2.84	9.26	0.01 – 30.75	0.03
Rivers and lakes	104	0.76	3.54	0.0001 – 32.4	0.04
Tap	20	0.17	0.08	0.01 – 0.24	0.22
Groundwater	113	0.19	0.68	0.005 – 5.9	0.05

Resultados:
Distribución de arsénico en diferentes tipos de agua

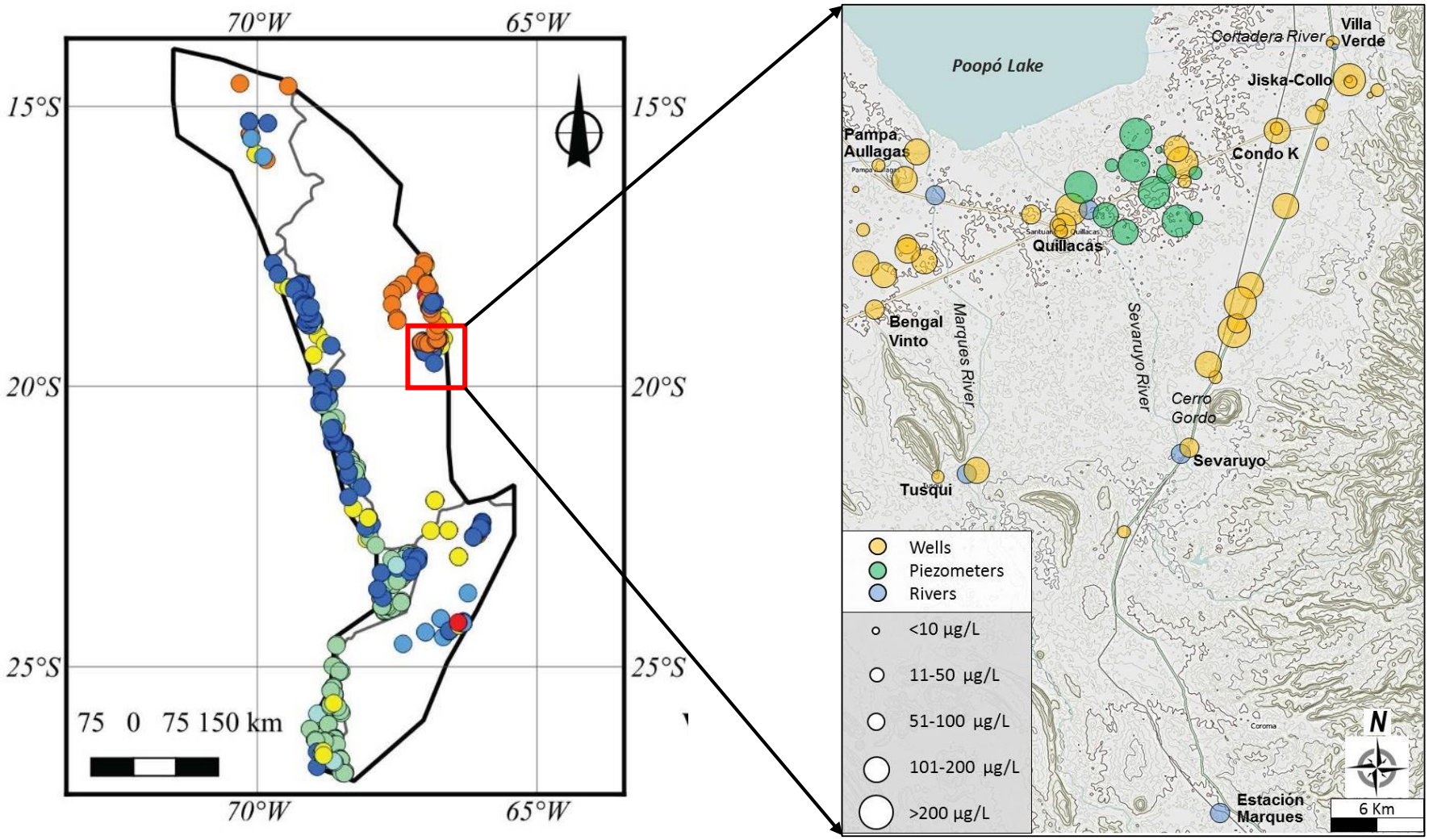




Water type

- *AMD: acid mine drainage*
- *BR: brine*
- *GW: groundwater*
- *R: river and lake water*
- *RAMD: river affected by AMD*
- *SW: saline water*
- *HS: hot springs*
- *Tap: tap water*

Resultados:
Distribución de arsénico en diferentes tipos de agua



Arsénico: 5.2-433.4 µg/L

Ormachea, M. et al., JGSD (2016)

Resultados:

Fuentes geogénicas y antropogénicas

- ✓ Entre las principales fuentes geogénicas se pueden citar a las rocas volcánicas, evaporitas y sedimentos, además de los depósitos de arsenopirita y minerales sulfurosos presentes en las rocas sedimentarias. Las aguas geotermales también son consideradas como principales fuentes geogénicas.

- ✓ Entre las principales fuentes antropogénicas están la oxidación de sulfuros presentes en los desechos mineros y el drenaje ácido de mina.

Resultados:

Fuentes geogénicas y antropogénicas

(A)	As [mg·kg^{-1}]					
	n	Mean	σ	Min	Max	Median
Sediment	1053	107	750	1	12,300	20
Soil	212	106	119	9	463	34
Saline precipitates	4	594	573	110	1420	422
Tailing impoundments	8	1341	1315	10	3150	1177

Conclusiones:

- ✓ Se ha detectado arsénico en la mayoría de los tipos de agua del Altiplano-Puna

- ✓ Las concentraciones más altas de As se encuentran (en orden decreciente) en: i)- drenaje ácido de minas, ii)- salmueras, iii)- aguas termales y manantiales iv)- ríos afectados por DAM, v)- salinas, vi)- ríos y lagos, vii)- aguas subterráneas.

- ✓ Las concentraciones de As varían en un amplio rango entre <0,01 mg/L y > 10 mg/L

Conclusiones:

- ✓ Cuando se compara con la escala regional, los datos existentes son muy locales y la mayoría se encuentran en Chile, seguidos de Bolivia, Argentina y Perú

- ✓ Las principales fuentes geogénicas de arsénico están relacionadas a las características geológicas de la región , mientras que las fuentes antropogénicas son debido principalmente a la actividad minera

- ✓ Muchos datos no poseen coordenadas y no se pueden mapear (Puna de Argentina)

- ✓ Es necesario ampliar las áreas de estudio en esta región de Latinoamérica

Science of the Total Environment 678 (2019) 309–325

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Origin, distribution, and geochemistry of arsenic in the Altiplano-Puna plateau of Argentina, Bolivia, Chile, and Perú

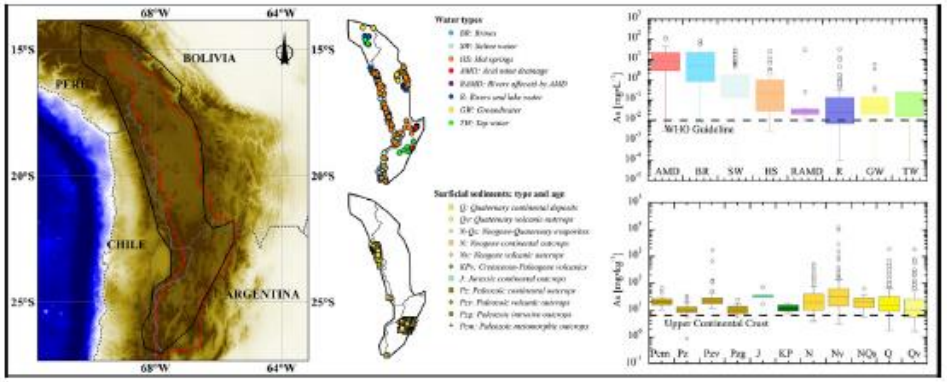
J. Tapia [a,*], J. Murray [b,c], M. Ormachea [d], N. Tirado [e], D.K. Nordstrom [f]

[a] Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Santo Tomás, Santiago, Chile
[b] Instituto de Bio y Geo Ciencias del NOA (IBIGEO), Universidad Nacional de Salta - CONICET, Av. 9 de Julio 14, Rosario de Lerma, Salta, Argentina
[c] Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg, Université de Strasbourg/EOST-CNRS UMR 7517, 1 Rue Blessig, 67084 Strasbourg, France
[d] Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, Campus Universitario, Calle 27 Cota Cota, Casilla 303, La Paz, Bolivia
[e] Instituto de Genética-Facultad de Medicina, Universidad Mayor de San Andrés, Av. Saavedra No 2246, La Paz, Bolivia
[f] United States Geological Survey, Boulder, CO, USA

HIGHLIGHTS

- In South America, arsenic levels in the Altiplano-Puna were compiled and analyzed.
- The Altiplano-Puna plateau was characterized geologically and hydrologically.
- High natural background levels of As exist due to the geological features present.
- Arsenic levels are affected by the season and certain anthropogenic activities.
- An efficient metabolism of As has been detected in certain indigenous communities.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

ABSTRACT

MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España

GEÓLOGOS DEL MUNDO — WORLD GEOLOGISTS

UMSA Universidad Mayor de San Andrés

UPB 25 años — UNIVERSIDAD PRIVADA BOLIVIANA

Groundwater for Sustainable Development 2-3 (2016) 104–116

Contents lists available at ScienceDirect

Groundwater for Sustainable Development

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gsd

Research paper

Geochemistry of naturally occurring arsenic in groundwater and surface-water in the southern part of the Poopó Lake basin, Bolivian Altiplano

Mauricio Ormachea Muñoz [a,b,*], José L. Garcia Aróstegui [c], Prosun Bhattacharya [a,*], Ondra Sracek [d], Maria E. Garcia Moreno [b], Claus Kohfahl [c], Jorge Quintanilla Aguirre [b], Jorge Hornero Diaz [c], Jochen Bundschuh [a,e]

[a] KTH-International Arsenic Research Group, Department of Sustainable Development, Environmental Sciences and Engineering, KTH Royal Institute of Technology, Teknikringen 76, SE-100 44 Stockholm, Sweden
[b] Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, Campus Universitario, Cota Cota, calle # 27, PO. Box 303, La Paz, Bolivia
[c] Instituto Geológico y Minero de España, C/ Rios Rosas 23, 28003 Madrid, Spain
[d] Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc, Czech Republic
[e] Deputy Vice-Chancellor's Office (Research and Innovation), University of Southern Queensland, West Street, Toowoomba, 4350 QLD, Australia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 17 April 2015
Received in revised form
12 April 2016
Accepted 13 April 2016
Available online 14 April 2016

Keywords:
Altiplano
Arsenic
Bolivia
Drinking water quality
Geochemistry

ABSTRACT

Groundwaters from shallow aquifers and surface water from rivers of the southern p basin within the Bolivian Altiplano have significant quality problems such as high concentrations of arsenic (As). The extent of As contamination is observed in the stu over large parts of the study area. Surface-waters are generally alkaline (pH 8.2–8.7) a dissolved oxygen (DO) concentrations in a range of 2.5–6.6 mg/L The water chemistry is Na–Cl–HCO_3–type, with concentrations of dissolved As in the range of 8.6–117 μg/L main aqueous species. The concentration of Li varies in the range of 1.1–4.4 mg/L, elements occur in low concentrations.

Groundwaters have a very large range of chemical compositions and the spatia concentrations is considerable over distances of a few km; dissolved As in ground 4 orders of magnitude (3–3497 μg/L), while concentrations of Li have a range of 0.05– the investigated drinking-water wells, 90% exceed the WHO guideline value of 10 conductivity ranges between 295 and 20,900 μS/cm; high salinity is resulting from e ambient semi-arid climatic conditions. The pH values of the groundwaters are generall (5.5–8.7) and universally oxidizing, under these conditions As(V) is the prevalent specie correlates positively with pH, electrical conductivity, Cl^-, Na^+, HCO_3^-, Ca^{2+} and SO_4^{2-} solution of carbonates, evaporites, halite and plagioclase minerals incorporate Na^+ and with consequent pH and alkalinity increase; these are favorable conditions for hig species. Stable isotopic signatures indicate recharge at the Altiplano with seasonal e water and some groundwater samples are enriched due to evaporation, which p concentration of dissolved As.

© 2016 Publishe

it is likely that therma aquifer as they are ver geothermal reservoir. high risk for arsenic ex

Journal of Hazardous Materials 262 (2013) 924–940

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhazmat

Geogenic arsenic and other trace elements in the shallow hydrogeologic system of Southern Poopó Basin, Bolivian Altiplano

Mauricio Ormachea Muñoz [a,b,*], Hannes Wern [a], Fredrick Johnsson [a], Prosun Bhattacharya [a], Ondra Sracek [c], Roger Thunvik [a], Jorge Quintanilla [b], Jochen Bundschuh [a,d]

[a] KTH – International Groundwater Arsenic Research Group, Division of Land and Water Resources Engineering, Department of Sustainable Development, Environmental Sciences and Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Teknikringen 76, SE-100 44 Stockholm, Sweden
[b] Laboratorio de Hidroquímica, Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, 303, La Paz, Bolivia
[c] Department of Geology, Faculty of Science, Palacký University, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc, Czech Republic
[d] Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, Queensland 4350, Australia

HIGHLIGHTS

- Groundwater used as drinking water has elevated concentrations of arsenic and boron.
- Sediments are potential sources of arsenic and boron in shallow groundwater.
- Fe-oxides and hydroxides are important absorbents of arsenic.
- Multiple geochemical processes drive mobilisation of arsenic in groundwater.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 20 December 2012
Received in revised form 12 June 2013
Accepted 29 June 2013
Available online 24 July 2013

Keywords:
Adsorption
Alluvial sediments
Arsenic
Bolivian Altiplano
Groundwater
Volcanic rocks

ABSTRACT

Environmental settings in the southern area of Lake Poopó in the Bolivian highlands, the Altiplano, have generated elevated amounts of arsenic (As) in the water. The area is characterised by a semiarid climate, slow hydrological flow and geologic formations of predominantly volcanic origin. The present study aimed at mapping the extent of the water contamination in the area and to investigate the geogenic sources and processes involved in the release of As to the groundwater.

Ground- and surface-water samples were collected from 24 different sites, including drinking water wells and rivers, in the southern Poopó basin in two different field campaigns during the dry and rainy seasons. The results revealed variable levels of As in shallow drinking water wells and average concentration exceeding the WHO guidelines value. Arsenic concentrations range from below 5.2 μg/L (the detection level) to 207 μg/L and averages 72 μg/L. Additionally, high boron (B) concentrations (average 1902 μg/L), and high salinity are further serious concerns for deteriorating the groundwater quality and rendering it unsuitable for drinking. Groundwater is predominantly of the Na–Cl–HCO_3 type or the Ca–Na–HCO_3 type with neutral or slightly alkaline pH and oxidising character. While farmers are seriously concerned about the water scarcity, and on a few occasions about salinity, there are no concerns about As and B present at levels exceeding the WHO guidelines, and causing negative long term effects on human health.

Sediment samples from two soil profiles and a river bed along with fourteen rock samples were also

Detección y remoción de arsénico natural en áreas desfavorecidas con abastecimientos de aguas subterráneas (Bolivia). 2017-2019

(2016/ACDE/1442)

OBJETIVOS:

- Mejora de las condiciones de vida de la población mediante sistemas de remoción del arsénico presente en aguas subterráneas empleadas para consumo humano.
- Construcción de infraestructuras (fotoreactores en Quillacas y Cochabamba), que permitan disponer de agua de buena calidad.
- Verificación de la extensión del problema, mediante muestreos en zonas del Altiplano, Cochabamba y llanura Chaco-Beniana.
- Transferencia a las autoridades y la población de los resultados obtenidos
- Estrategia para la replicabilidad de los fotoreactores en las áreas con problemas de arsénico,
- Identificación de problemas sociales, económicos, ambientales y sanitarios que inciden colateralmente en las condiciones de vida de las personas.
- Impulsar el desarrollo de tecnologías innovadoras desarrollados sobre la base de investigación previa realizada en Bolivia.

EQUIPO DE TRABAJO:

- **IGME:** José Luis García Aróstegui (Responsable y coord.), Jorge Hornero Díaz, José Manuel Murillo Díaz
- **UMSA:** Mauricio Rodolfo Ormachea Muñoz (coord.), Mª Eugenia García Moreno, Lizangela Huallpara
- **UPB:** Ramiro Escalera Vásquez, Omar Ormachea Muñoz
- **Geólogos del Mundo:** Jesús Suso, Fernando Pérez

Financiado por AECID en el marco de la Convocatoria de Acciones de Cooperación para el Desarrollo correspondientes al año 2016 para la realización de proyectos de innovación para el desarrollo (BOE nº123/2016 de 21 de mayo)
Nº Ref. 2016/ACDE/1442
Entidad solicitante: IGME
Coste total: 103.868 euros.
Subvención AECID: 71.968 euros.
Duración prevista: 18 meses (1-Agosto-2017 a 31-Enero-2019)

MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD

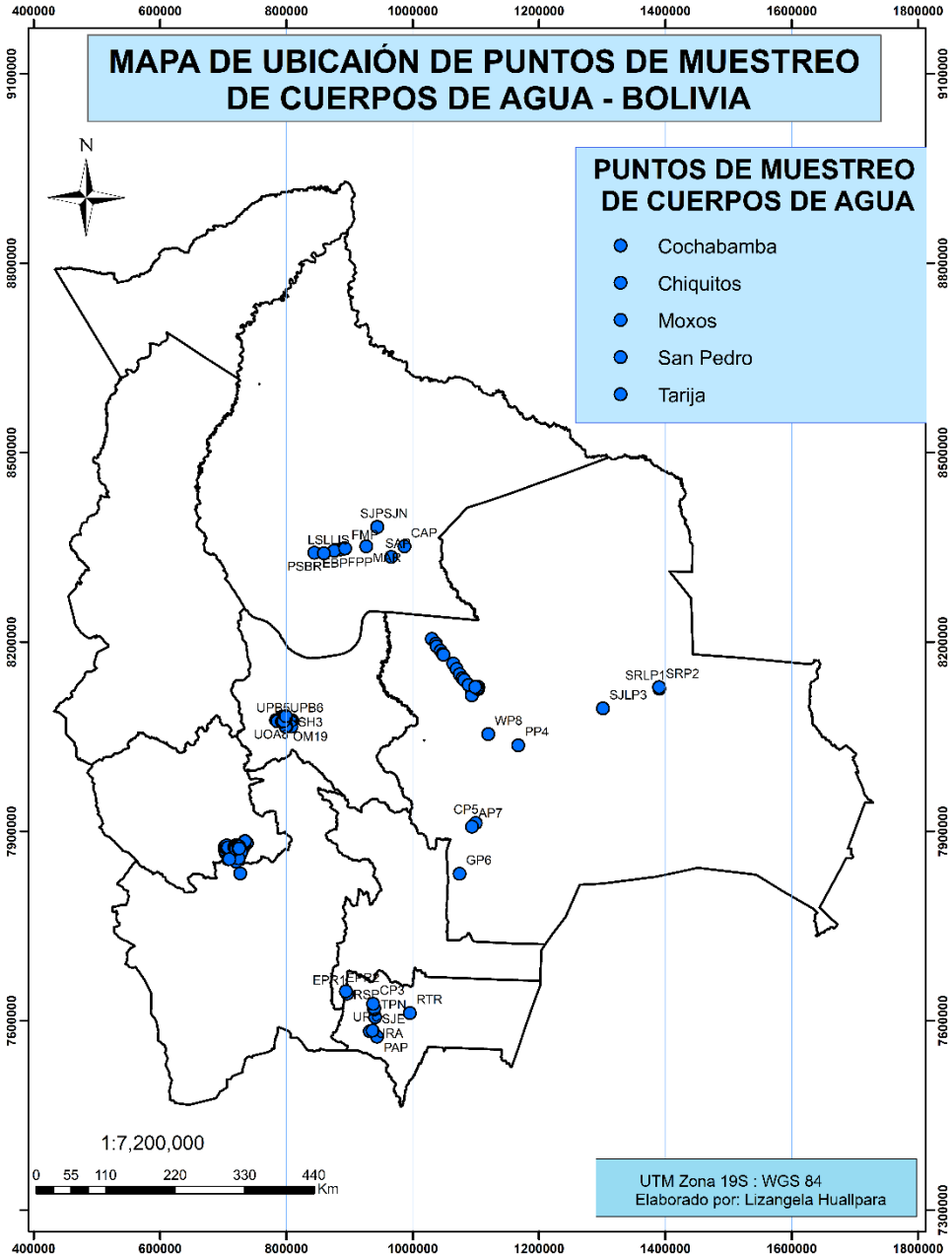
Instituto Geológico y Minero de España

GEÓLOGOS DEL MUNDO — WORLD GEOLOGISTS

UMSA Universidad Mayor de San Andrés

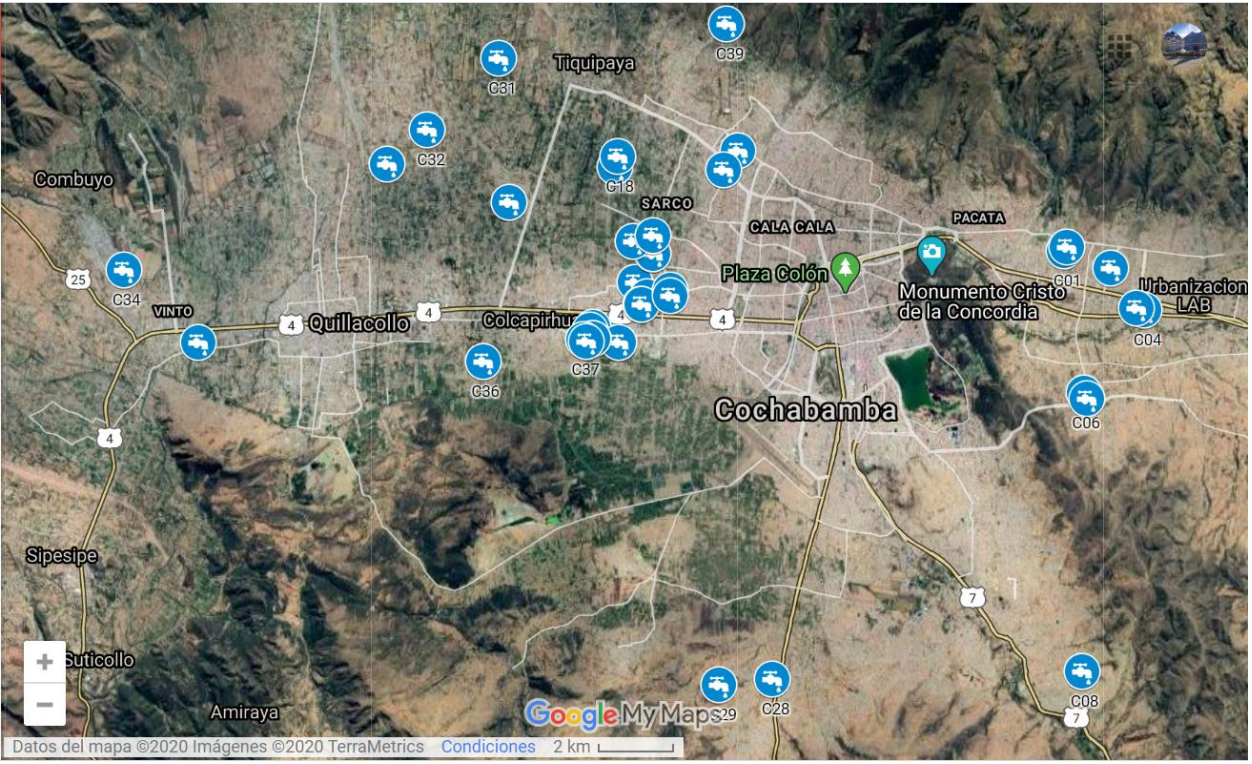
UPB 25 años — UNIVERSIDAD PRIVADA BOLIVIANA

MAPA DE UBICAIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE CUERPOS DE AGUA - BOLIVIA



Resultados VALLE DE COCHABAMBA
Campaña 2018

Presencia de arsénico
Distribución espacial



Arsénico:

Valor mínimo: < Ldd (0,06 µg/L)

Promedio: 13,3 µg/L

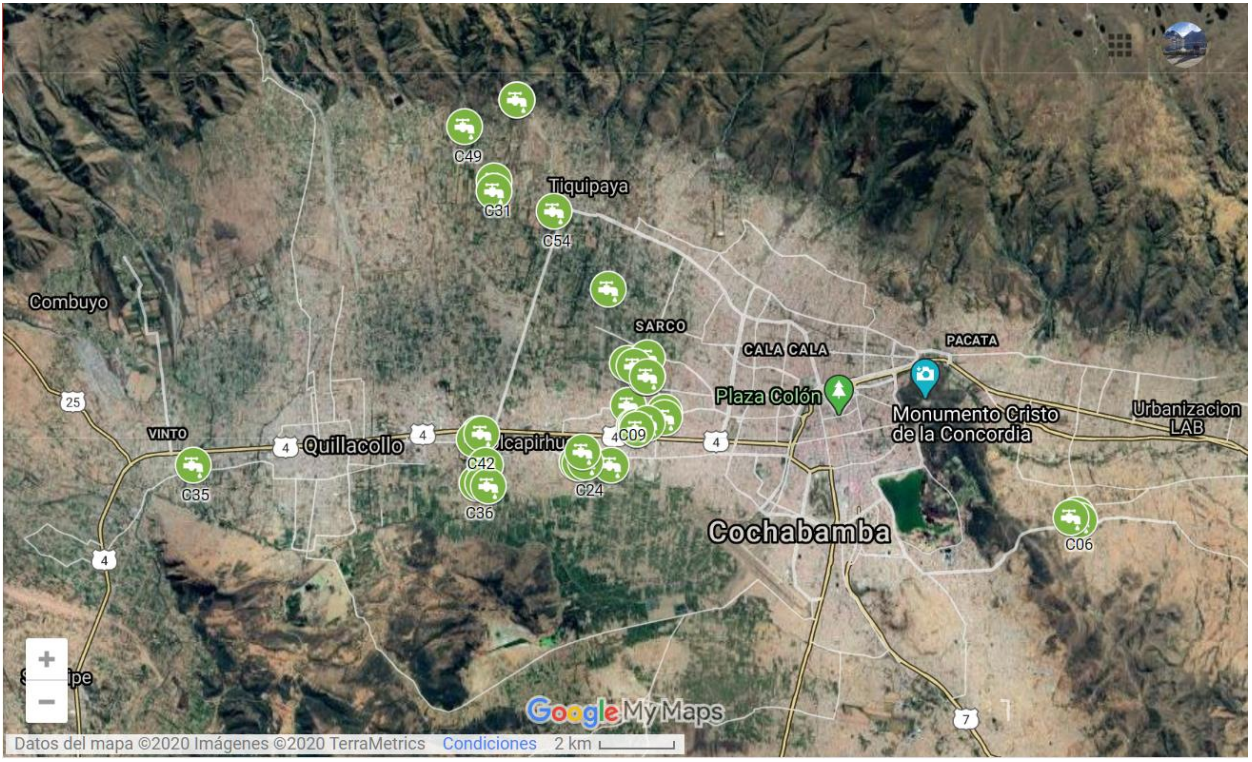
Valor máximo: **79,6 µg/L**

11 de un total de 39 pozos presentan concentraciones por sobre el límite max. permitido. OMS (10 µg As/L)

El 28% de los pozos están contaminados con As.

Resultados VALLE DE COCHABAMBA
Campaña 2019

Presencia de arsénico
Distribución espacial



<u>Arsénico:</u>

Valor mínimo: < Ldd (0,06 µg/L)

Promedio: 15,5 µg/L

Valor máximo: **113 µg/L**

12 de un total de 38 pozos presentan concentraciones por sobre el límite max. permitido. OMS (10 µg As/L)

El 22% de los pozos están contaminados con As.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN