

Sistema de tratamiento de Arsénico basado en fotocoletores solares y filtros IOCS

Escalera R.¹, Ormachea O.¹, Ormachea M.²; García M. E.², Suso J.³
Pérez F.³, García J.⁴ y Hornero J.⁴

¹Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), La Paz, Bolivia

² Universidad Privada Boliviana, Centro de Investigaciones en Procesos Industriales (CIPI), Cochabamba, Bolivia

³ Geólogos del Mundo, Madrid, España

⁴ Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid, España

Cochabamba, 27 de Febrero de 2020

Sistema de tratamiento de Arsénico basado en foto colectores solares y filtros IOCS

Introducción

Proceso RAOS

RAOS: Remoción de Arsénico Asistida por Oxidación Solar (Wegelin *et al.*, 2000)

Usa radiación UVA solar integral (290-390 nm), fuente de Fe, gotas de limón, botellas PET

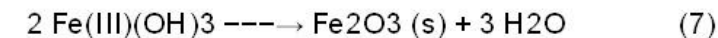
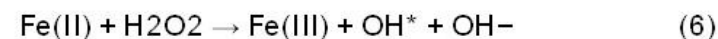
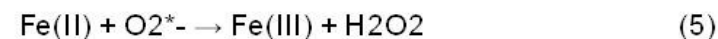
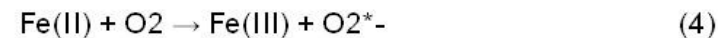
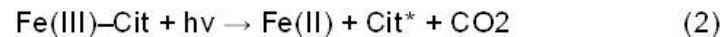


Figura 2. Cadena de reacciones en el proceso RAOS [9]

Proceso RAOS sin concentración solar



Tecnología casera barata de baja capacidad en modo discontinuo (batch), 20 L/m²-d

Experiencias en Bangladesh

Aguas subterráneas, 5 ppm Fe, 100 - 150 ppb As (III)

- Botellas PET, 4-8 gotas de jugo de limón, 4-5 h irradiación UVA ($80 \pm 20 \text{ Wm}^{-2}$)
- 45-78% remoción, < 50 ppb As

Proceso RAOS modificado (Cornejo *et al.*, 2008)

- Aguas saladas de río sin Fe, > 1000 ppb As (III,V)
- Botellas PET, 1-2 g virutas de acero, 1 gota de limón,
- 6h irradiación UVA (2.1 Wm^{-2})
- > 99% remoción, < 10 ppb As

Justificación

Se necesitaba desarrollar tecnología económica de mayor capacidad para atender necesidades de escuelas, postas sanitarias y otros

Efectividad demostrada para aguas saladas

En zonas rurales afectadas del Altiplano boliviano existe alta salinidad en las aguas, pero también alta intensidad de radiación UVA, mayor que al nivel del mar a la misma latitud

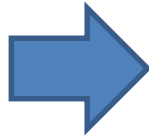
Periodo seco dura 9 meses/año

Radiación máxima por 5 h al día

Condiciones favorables para aplicar proceso RAOS

Objetivo

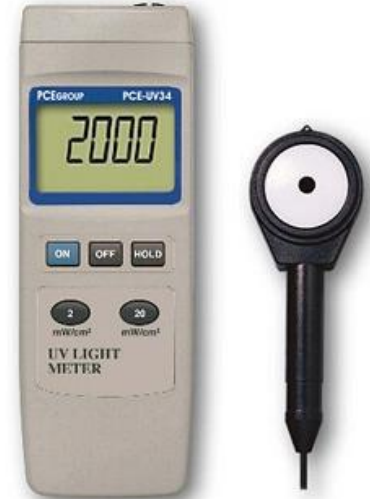
Desarrollar tecnología de remoción de As basada en colectores solares de bajo costo



DESARROLLO DEL SISTEMA (2010 2014)

Colector solar semi-circunferencial

Cinética de formación de flóculos



Dosis molar (Lara *et al.* 2006) As:Citrato:Fe(II) = 1:5:19

Aguas de pozo con adición de As: 1000 $\mu\text{g/L}$

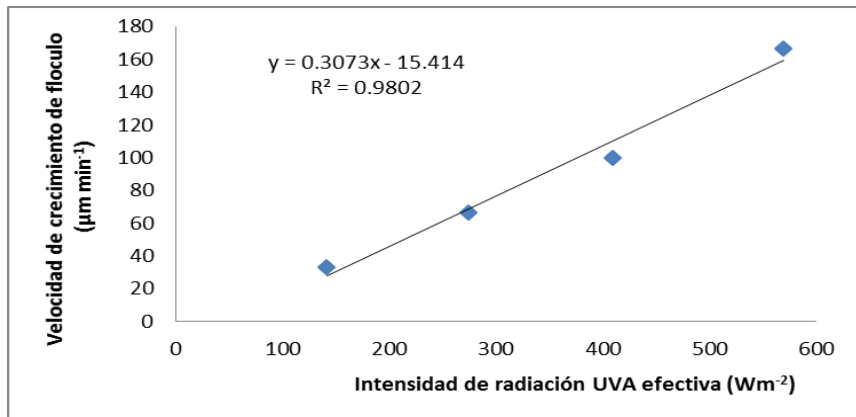
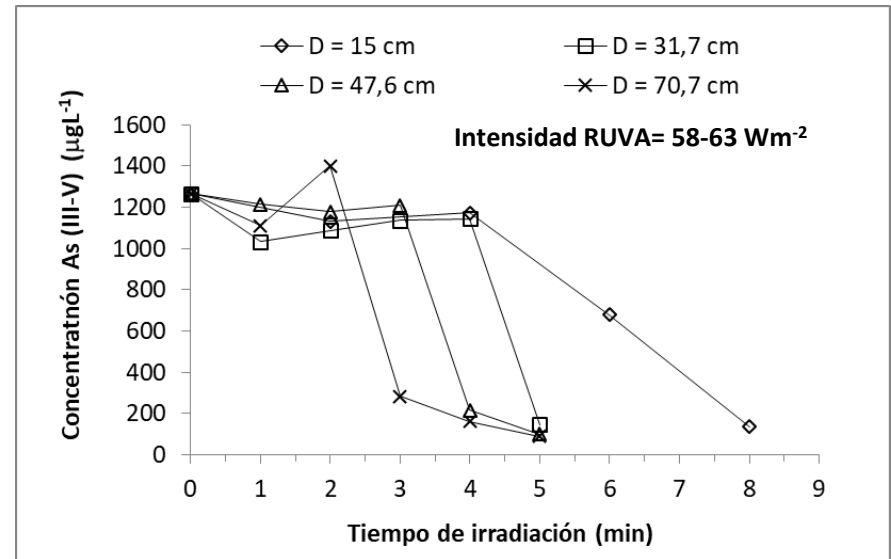
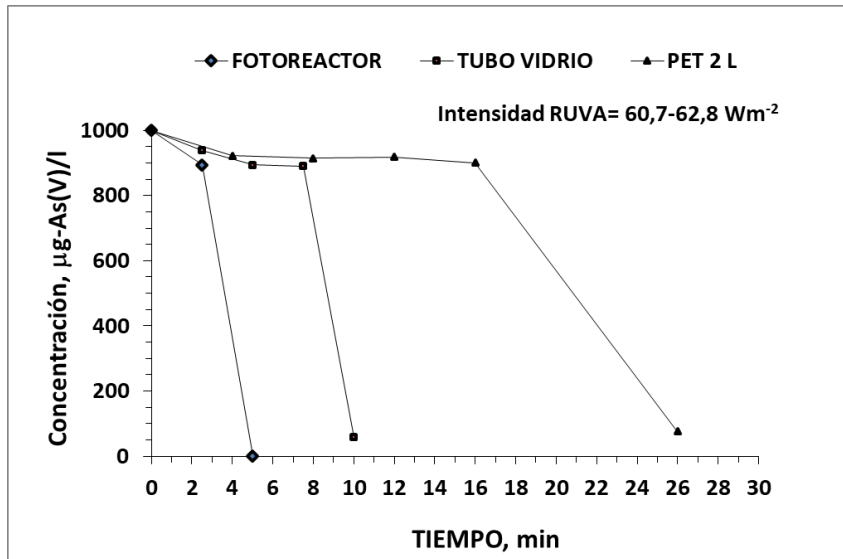
Aireación, exposición solar por varios minutos, sin y con agitación posterior

Determinación de As(V): método espectrofotométrico, (Johnson, 1972);

FAA con generador de hidruros

Resultados

Cinética de formación de flóculos



Rapidez (microflóculos > 45 µm)

71 cm > 48 cm > 32 cm > 15 cm > tubo solo > botella PET

10 > 6.9 > 4.7 > 2.8 soles

580 > 420 > 290 > 140 W/m² RUVA efectiva

3 min < 4 min < 5 min < 8 min

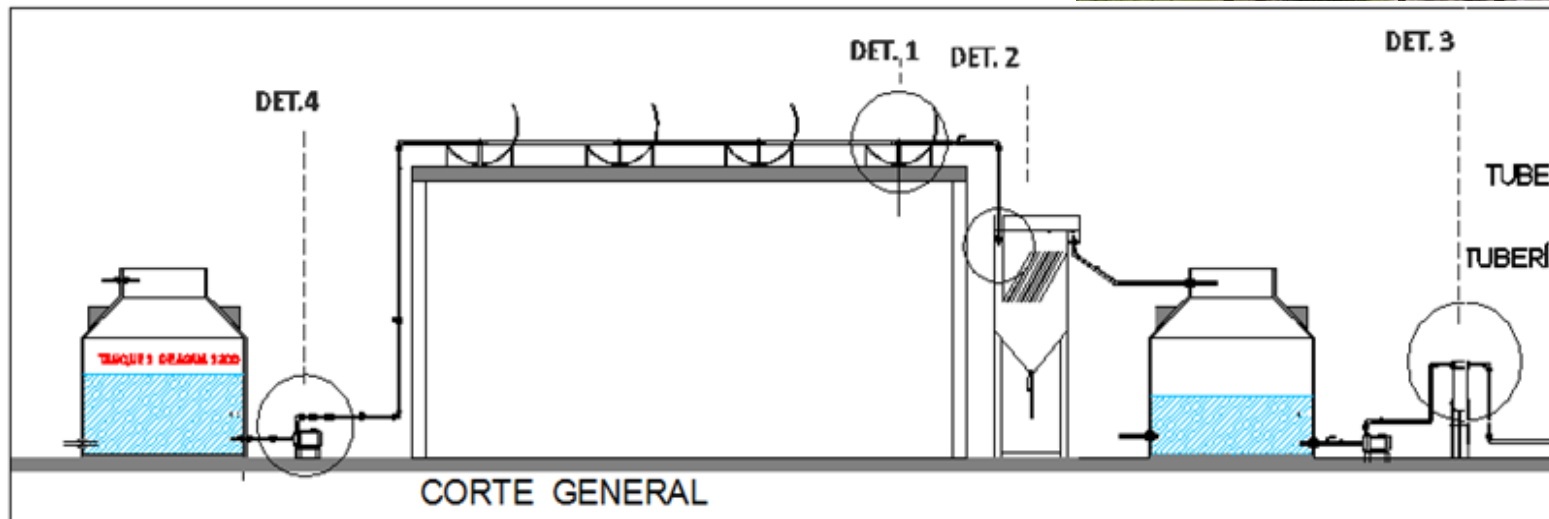
< 10 min < 25 min

Flujo continuo

Prototipo funcional



Prototipo piloto



Resultados

Flujo continuo Prototipo funcional

Tabla 1. Desempeño del colector solar de flujo continuo de 15 cm de diámetro

Nº	RUVA incidente, W/m ²	RUVA efectiva, en colector W/m ²	Flujo, L/min	Tiempo de residencia hidráulico, min	Tiempo de aparición de floc, s	Tamaño de flóculo, mm
1	58.2	163,0	402,8	16,6	10	0,75-1,0
2	67,0	187,6	450	14,7	60	0,75-1,0

Remoción del 98,4% de As(V) en muestras decantadas

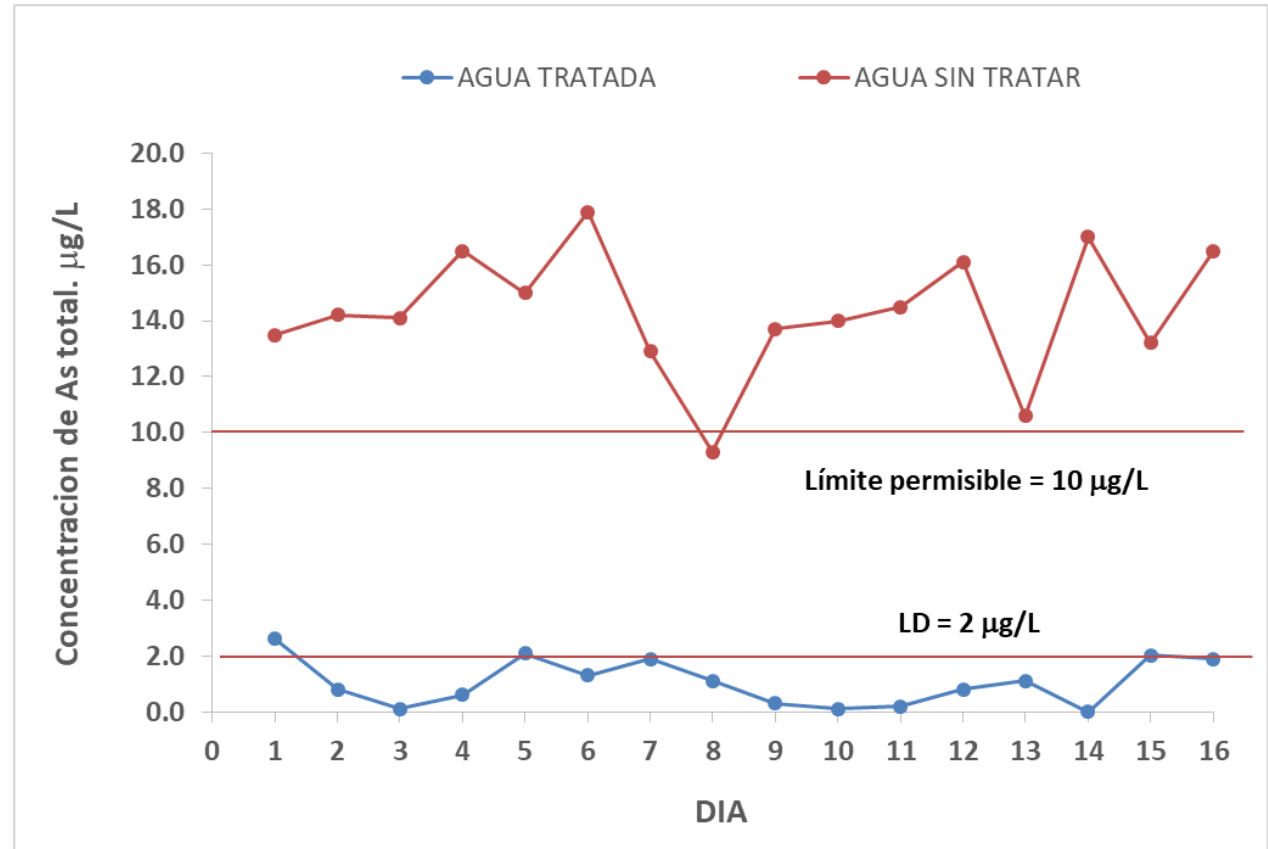
1000 → 16,5 µg/L

Capacidad: 130 L por m² de reactor por día, 6 h exposición solar

Consumo de 4 personas a una tasa de 30-35 L/hab-d,

Resultados

Flujo continuo Prototipo piloto



Remoción > 80%

Capacidad: hasta 160 L por m² de reactor por día, 3-4 h exposición solar

Intensidad de radiación UVA solar 5- 43 W/m²

PROYECTO AECID: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MAYOR CAPACIDAD (2018-2020)

Instalación en la UPB:

Capacidad: 1 500 l/d

Componentes del sistema:



<https://youtu.be/Q1zhF8NW8ks>

Proceso de adsorción:

Tecnología IHE-ADART (Adsorptive Dutch Arsenic Removal Technology), (Petrusevski, 2009)

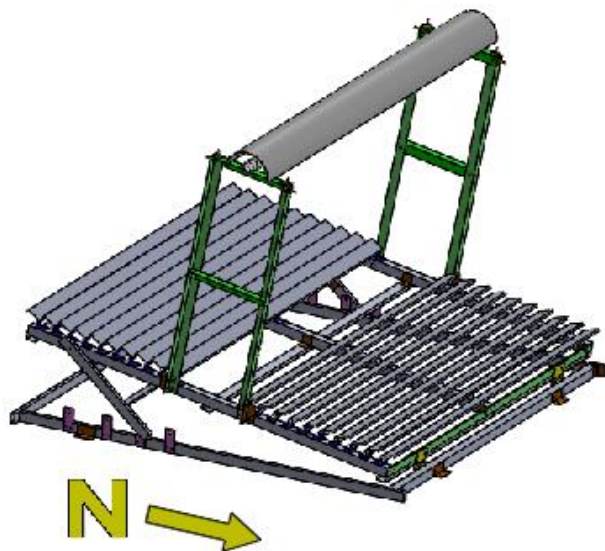
- Basado en adsorción sobre Arena Recubierta por Óxidos de Hierro, IOCS.
- Capacidad de adsorción competitiva con otros adsorbentes comerciales caros
- EBCT = 30 min
- Velocidad = 5 m/h



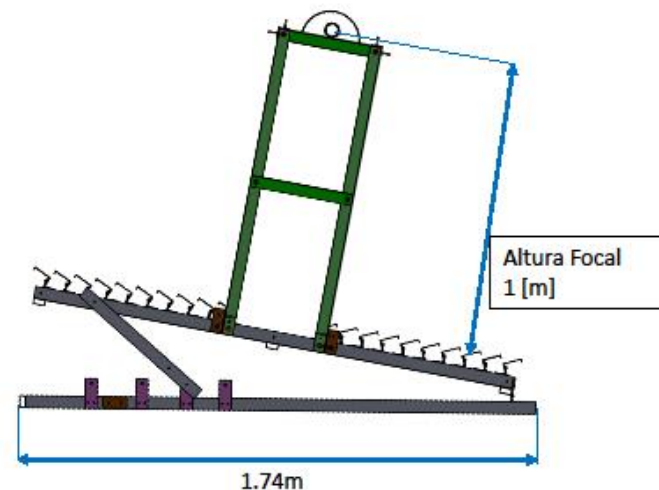
Arena virgen

IOCS

Colector Fresnel Lineal Diseño 2 (Sistema UPB continuo)



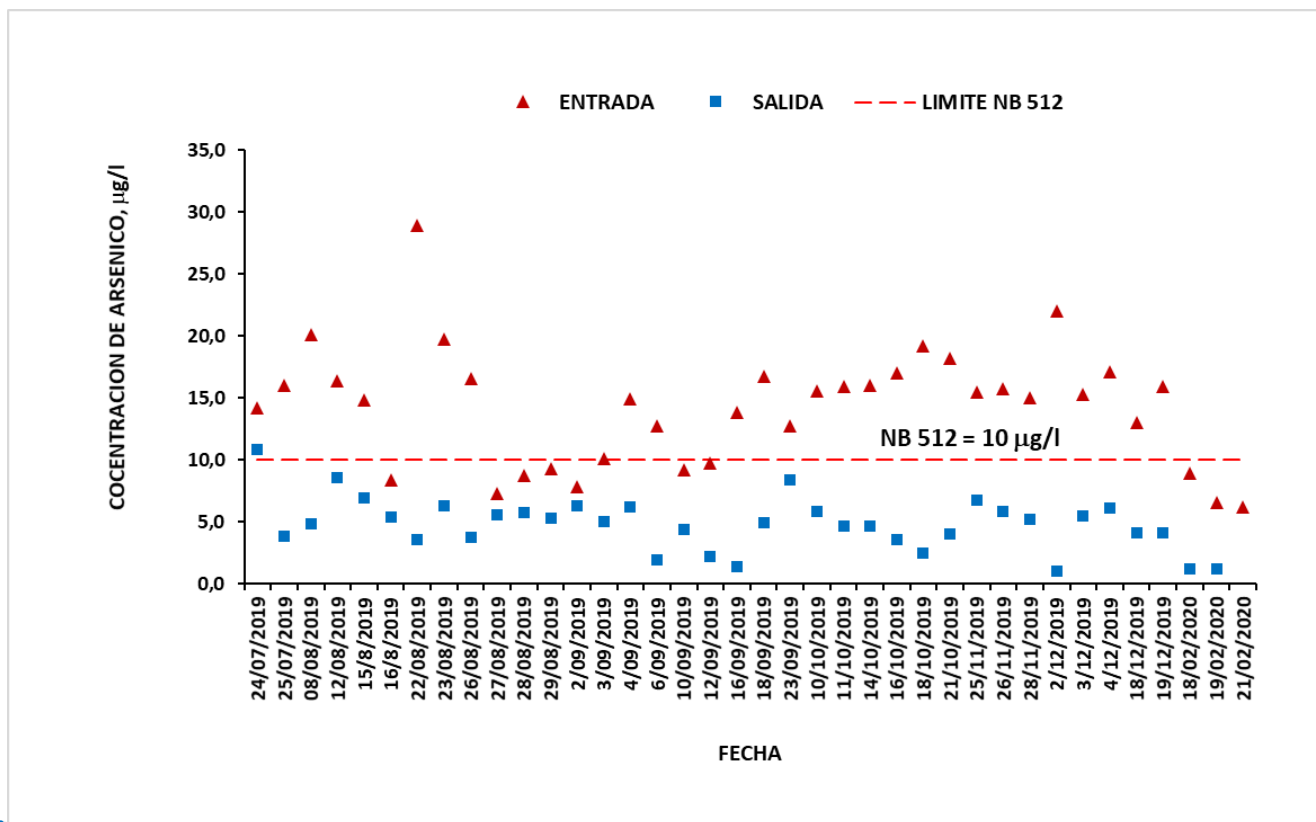
Vista Isométrica



Vista Frontal

Capacidad de concentración: 12-14 soles
Tiempo de residencia 3 min

Resultados



Calidad del agua:

pH: 7,7 - 8,1

As presente como As(III) principalmente

Fe: <0,05 mg/l

Mn: < 0,5 mg/l

Fosfato: < 0,7 mg/l

Bicarbonatos: 202 mg/l

Sulfatos: 14 mg/l

Condiciones de operación:

Dosis de Fe(II): 5-8 mg/l

Dosis de Cit: 7-10 mg/l

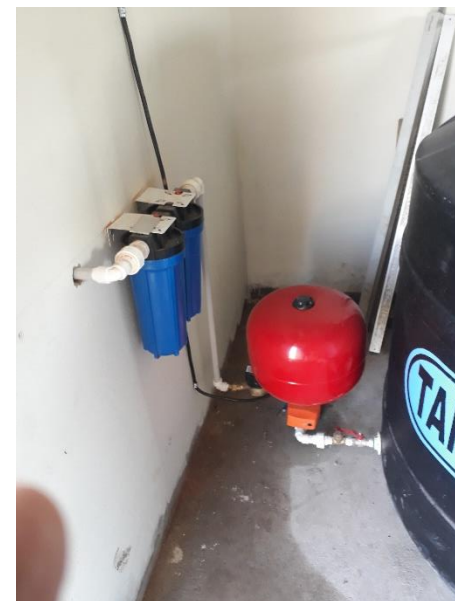
UVA incidente: < 54 W/m²

Consumo de agua: 2 000 l/d

PROYECTO AECID: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE MAYOR CAPACIDAD (2018-2020)

Instalación en Quillacas:

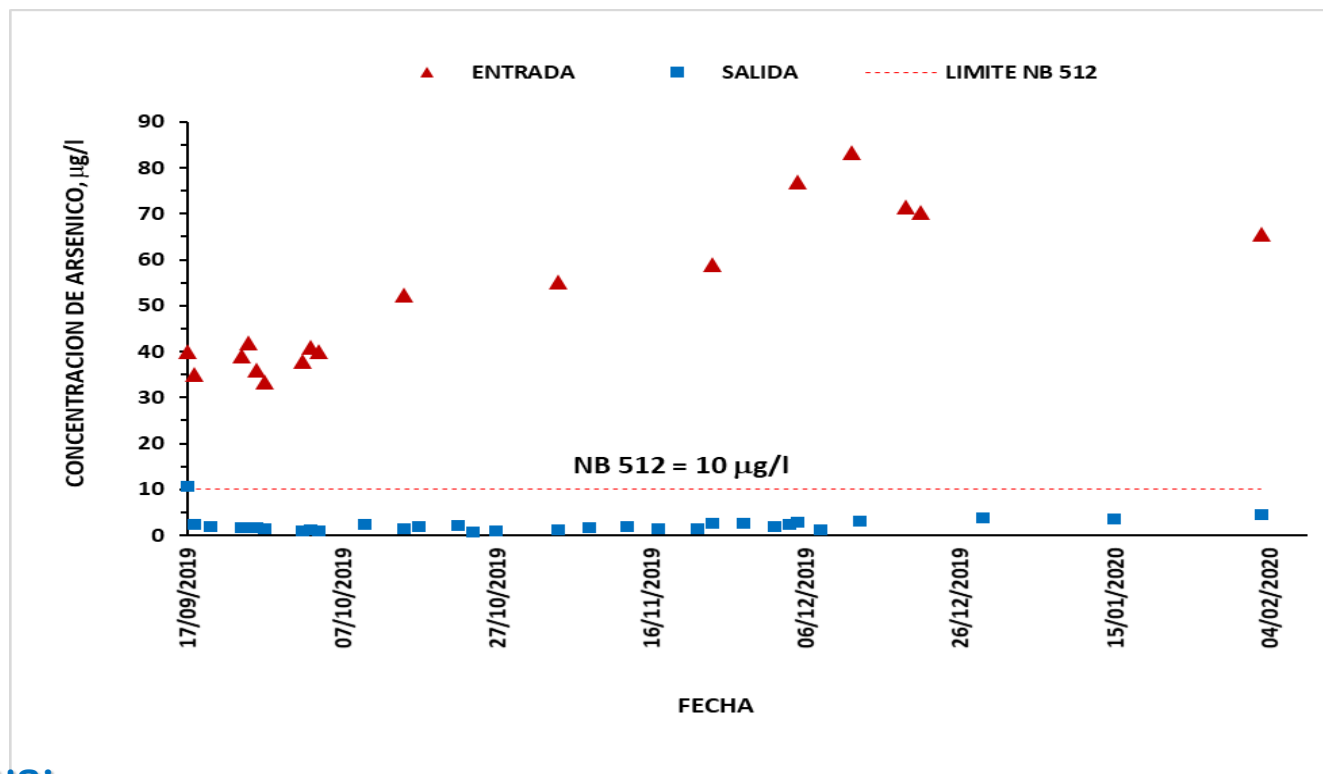
Capacidad: 1 500 l/d



Plataforma de fotocoletores



Resultados



Calidad del agua:

pH: 6,7 - 7,5

Fe: <0,45 mg/l

Mn: < 0,32 mg/l

Bicarbonatos: 202 mg/l

Sulfatos: 47 mg/l

Conductividad específica: 1024 µS/cm

Boro: < 2,9 mg/l

Condiciones de operación

Dosis de Fe(II): 5-8 mg/l

Dosis de Cit: 7-10 mg/l

UVA incidente: < 60 W/m²

Consumo de agua
promedio: 150 l/d

Conclusiones

- El sistema es eficiente
- El boro no interfiere
- Es apto para aguas de alta conductividad y salinidad
- Los consumos de reactivos son razonables
- En Quillacas el consumo es bajo (10-15% de capacidad instalada)

Trabajo por terminar

- Establecer costos por m³
- Analizar posibilidades de escalamiento y replicabilidad



Solar Oxidation and Removal of Arsenic from Groundwater Utilizing a Semicircular Section Tubular Photoreactor

Carlos Ramiro Escalera¹ and Omar Alberto Ormachea²

1. Centro de Investigaciones en Procesos Industriales, Universidad Privada Boliviana, Víctor Ustariiz Ave., km 6.5, Cochabamba, Bolivia

2. Centro de Investigaciones Ópticas, Universidad Privada Boliviana, Víctor Ustariiz Ave., km 6.5, Cochabamba, Bolivia

Received: July 18, 2012 / Accepted: August 11, 2012 / Published: September 20, 2012.

Abstract: A semicircular section tubular photoreactor has been constructed, characterized and applied to the treatment of groundwater contaminated with As(V) by means of the SORAS (solar oxidation and removal of arsenic) technique, using ferrous and citrate salts. The solar concentrator was built with recyclable waste materials: glass tubes from fluorescent lamps and 6-inch diameter PVC pipes cut in half and covered by aluminum foil. The reactor concentrates solar radiation up to 2.8 times its natural intensity. Batch irradiation experiments followed by controlled agitation (shear rate = $30\text{--}33\text{ s}^{-1}$; 20 min agitation period) showed that the photoreactor accelerates the formation of settleable flocs ($D_p > 0.5\text{ mm}$), compared with a fluorescent lamp glass tube alone and a 2 L PET (polyethylene terephthalate) bottle. Irradiation times necessary for floccle formation in the photoreactor, the fluorescent lamp tube and the PET bottle were 15 min, 25 min and 60 min, respectively. Continuous flow experiments using a photoreactor with a photo-collection area of 0.9 m^2 and a hydraulic retention time (equal to the irradiation time) of 15 min showed that immediate formation of floccles of good settleability occurs when the solution is subjected to moderate agitation (33 s^{-1}). An efficiency of 98.34% for As(V) removal was obtained with a final concentration of $16.5\text{ }\mu\text{g/L}$ in decanted waters. In accordance to these results, the photoreactor is able to treat approximately 130 L m^{-2} within a 5-h period with UVA irradiation intensities of $50\text{--}70\text{ W m}^{-2}$.

Key words: Tubular photoreactor, arsenic removal, SORAS (solar oxidation and removal of arsenic), groundwater, flocculation.

Understanding the Geological and Medical Interface of Arsenic – Ng, Noller, Naidu, Bundschuh & Bhattacharya (eds)
© 2012 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-63763-3

Natural arsenic occurrence and its removal from drinking water using a tubular photo-reactor enhanced with a solar concentrator in Cochabamba, Bolivia

M. Ormachea, L. Huallpara & J. Quintanilla
Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia

O. Ormachea & R. Escalera
Universidad Privada de Bolivia, Cochabamba, Bolivia

P. Bhattacharya
KTH-International Groundwater Arsenic Research Group, Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

1 INTRODUCTION

In Bolivia there are very few studies dealing with natural arsenic (As) occurrence in drinking water (Ormachea et al. 2011) and few studies were conducted on the hydrochemistry, mobilization and transport from geological sources to groundwater. (Johnson & Wern 2010).

This paper deals with the assessment of physico-chemical characteristics of groundwater used for consumption and their relationship to the distribution of As and other trace metals. We also investigated the use of a photoreactor for arsenic removal from drinking water found in Cochabamba, Bolivia.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Water characterization

A total of 18 samples were collected from wells where water is used for consumption as drinking water. The geographical location of the geothermal springs and wells was recorded using a hand-held Global Positions System (GPS) GARMIN 12.

elements were analyzed in the filtered acidified water samples using Perkin Elmer AAnalyst100 flame atomic absorption spectrometer. Arsenic (As) concentrations were analyzed using Perkin Elmer AAnalyst200 Hydride Generator Atomic Absorption Spectroscopy with a FIAS system.

2.2 The photo-reactor

Tubes of 16, 32, 48 and 64 cm internal diameter and 1.0 m length were used as optical collectors. They were split through the axis to obtain the chosen semi circular cross-section shown in Figure 1.

Spent neon glass tubes without color traces were proposed as reaction containers due to their higher transmittance in the UVA range (290–390 nm). The tubes of 3.6 cm external diameter and 0.9 mm thickness were located at the focus of the semicircular section. The inner surface of the tubes was covered by aluminum foil in order to increase the reflectance of solar UVA radiation.

The modified SORAS approach (Lara et al., 2006) for As removal was used for comparative

INVESTIGACIÓN & DESARROLLO, No. 17, Vol. 1: 27 – 41 (2017)
ISSN 2518-4431

NANCIA NATURAL DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE URBANAS DE COCHABAMBA-BOLIVIA Y VIABILIDAD TÉCNICA DE PROCESOS DE REMOCIÓN

NATURALLY OCCURRING ARSENIC IN GROUNDWATER OF THE URBAN AREAS OF COCHABAMBA-BOLIVIA AND TECHNICAL EVALUATION OF ARSENIC REMOVAL PROCESSES

Escalera Vázquez* y Mauricio Ormachea Muñoz*
Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés
rescalera@upb.edu
del 20 de mayo 2017, aceptado para publicación el 20 de junio 2017)

El estudio de 18 pozos ubicados en la zona periurbana oeste de la ciudad de Cochabamba, Bolivia, tuvo como objetivo evaluar la viabilidad técnica de diferentes procesos de remoción de arsenio (As) de aguas subterráneas. Se analizaron las características físico-químicas de las aguas subterráneas y se evaluó la viabilidad técnica de diferentes procesos de remoción de arsenio. Los resultados más importantes fueron: la tendencia de evolución geoquímica hacia el tipo de mineralización y/o disolución de minerales tipo halita [NaCl], dolomita [MgCO₃]. El As disuelto presenta concentraciones variables en 3 órdenes de magnitud, lo que supone un alto riesgo a la salud por exposición. La variabilidad espacial de la concentración de As se explica por la variabilidad litológica del lugar, donde las diferentes capas litológicas presentan composiciones heterogéneas y variables de As. La correlación positiva moderada entre la concentración de As y la concentración de Fe(III) y Al(III) sugiere que el As está asociado a minerales de hierro y aluminio. Se evaluó la viabilidad técnica de diferentes procesos de remoción de arsenio: oxidación-reducción (IHE-ADART), adsorción sobre alúmina activada y RAOs también son viables. En cada una de las OTBs afectadas, será necesario analizar comparativamente la viabilidad técnica de cada uno de los procesos en función de sus costos de inversión, operación y mantenimiento para la población servida.

Subterráneas, Arsénico, Cochabamba, Procesos de Remoción de Arsénico.

**GRACIAS POR
SU ATENCIÓN**

