

Humedales construidos para la remoción de arsénico y metales de agua contaminada



Katherine Lizama Allende, Ph.D.
Profesora Asistente
Departamento de Ingeniería Civil
Área Recursos Hídricos y Medio Ambiente
Universidad de Chile

SEMINARIO
AVANCES Y DESAFÍOS EN LA PROBLEMÁTICA
DEL ARSÉNICO EN AGUAS DE CHILE Y EL MUNDO
20 Junio 2014

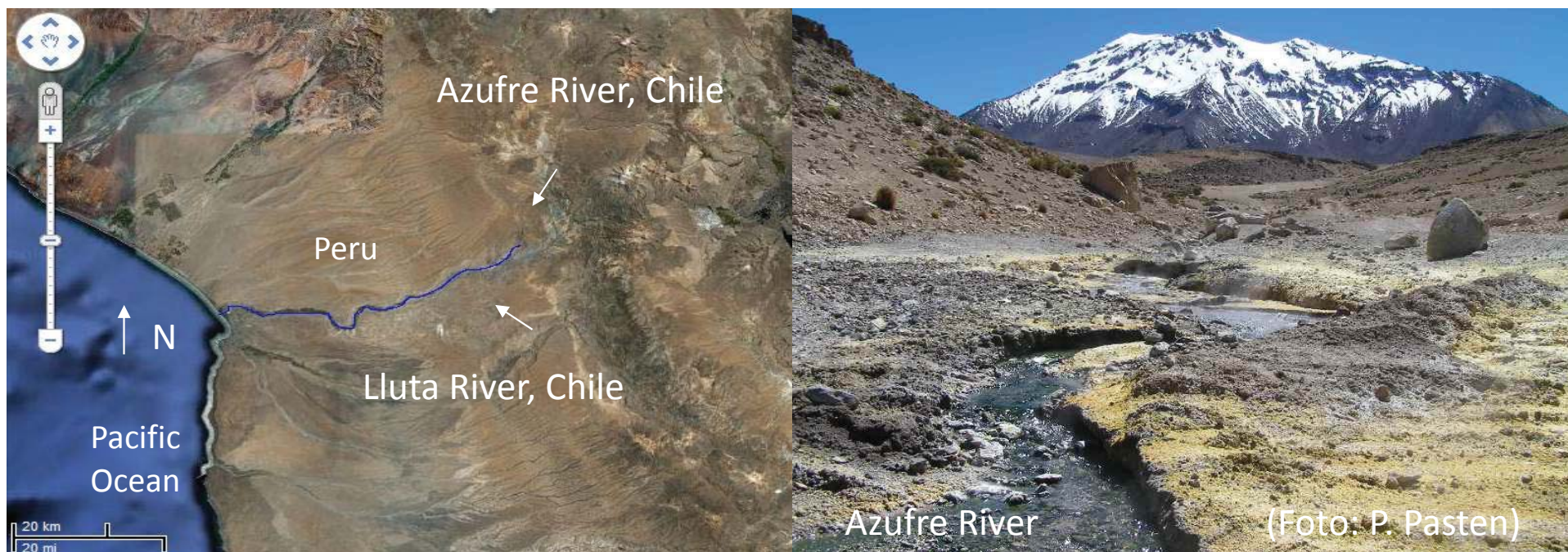
- Motivación
- Humedales construidos como sistema de tratamiento de agua
 - Antecedentes
 - Concepto de *constructed wetland*
 - Estado del arte
 - Principales resultados
 - Trabajo actual y futuro
- Conclusiones

Arsénico y metales en cursos superficiales

Norte de Chile: Escasez de agua + presencia de As y metales

→ **Cuenca de Río Loa (Romero et al, 2003; Landrum et al, 2009)**

→ **Cuenca del Río Lluta: caso de estudio**



**Río Azufre: Arsénico (As), boro (B) y fierro (Fe) a pH≈2
(Leiva et al., 2011; Guerra et al., 2012)**



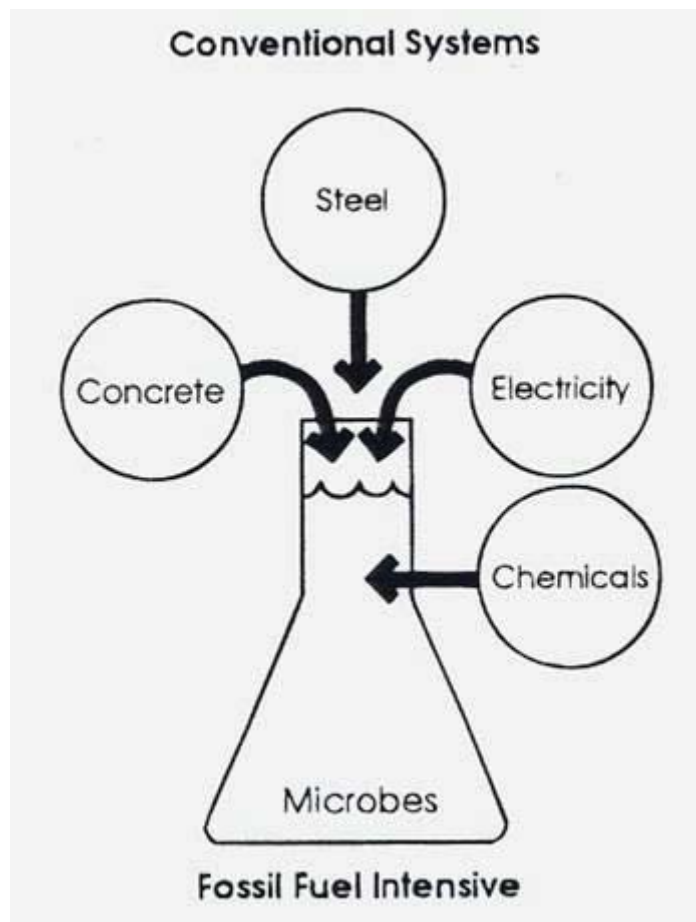
Cuenca del río Lluta:

- Escasez del recurso hídrico
- Mala calidad: As, B, Fe
- Requerimientos para agricultura
- Se requiere manejo y control de la calidad del agua

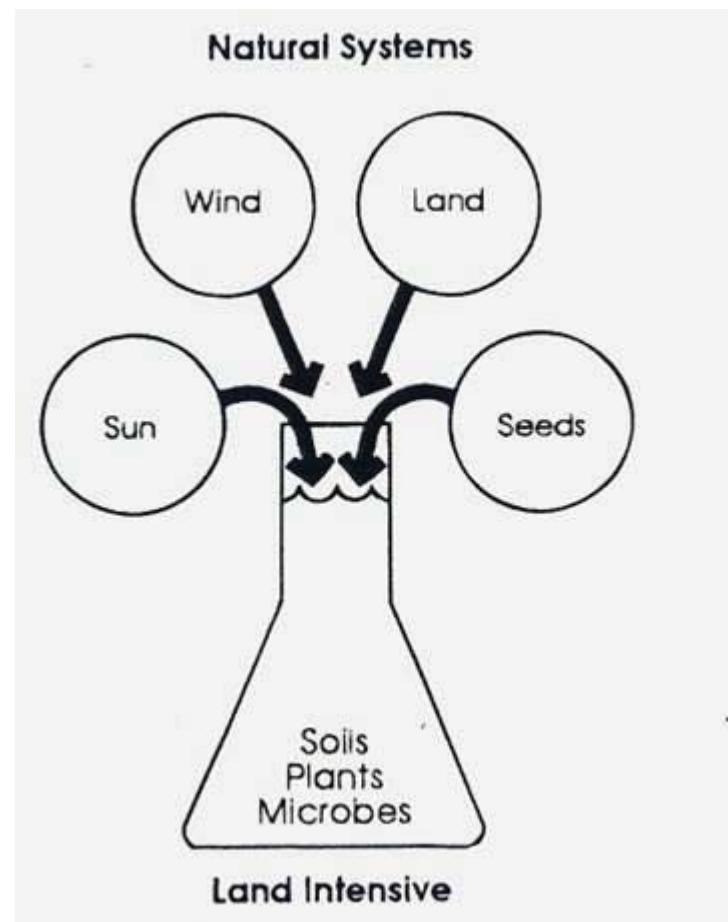
Remoción de arsénico del agua

- Distintas tecnologías disponibles:
convencionales v/s naturales
 - Evaluar según el caso
 - Niveles de As, otros contaminantes, restricciones de presupuesto, espacio, calidad objetivo
 - No existe solución única
- Oportunidad para explorar nuevas tecnologías

Sistemas de tratamiento de agua



Sistemas convencionales



Sistemas naturales

(Kadlec and Knight, 2006)

Sistemas de tratamiento naturales

- Menores costos
 - Uso de energía naturales
- Tratamiento *in-situ*
 - ¡Cualquier parte!

Ejemplo: *Wetlands* → *Constructed wetlands*
Humedales construidos/artificiales



*"Sure, kid. You start by working for the ecosystem,
but pretty soon you figure out how to get the ecosystem
working for you!"*

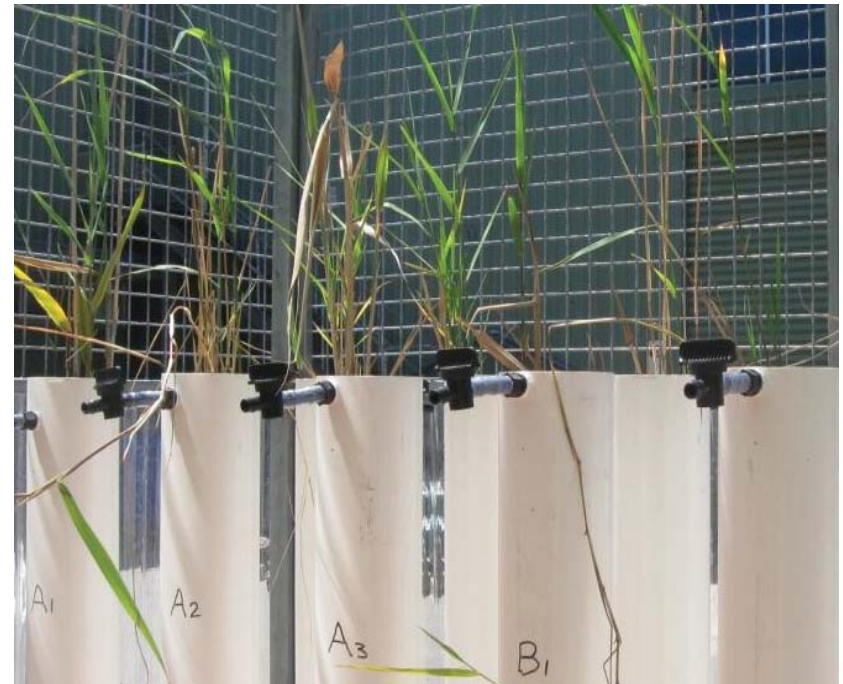
(Ed Fisher, 1991)

Constructed wetlands: Definición

- **Humedal** se define como "land where the water table is at (or above) the ground surface long enough to maintain **saturated soil** conditions and the growth of related **vegetation**" (Crites, 2006)
- **Construidos "imitan" a los naturales** para tratamiento de agua



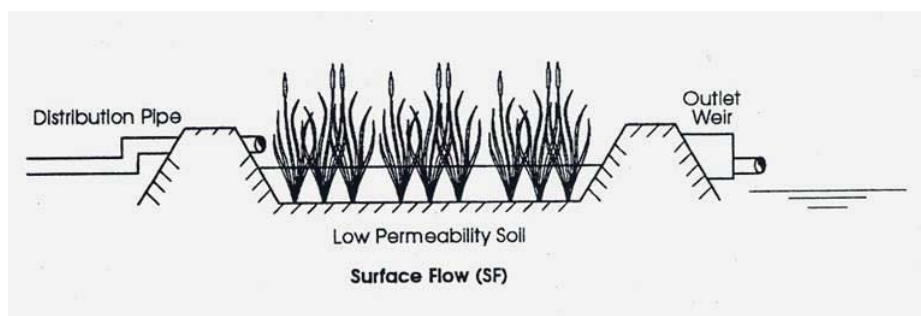
Humedal natural: El Yali, V Region, Chile
(foto: P. Galdames)



Humedales construidos: Escala de laboratorio

Surface-flow wetlands (SF)

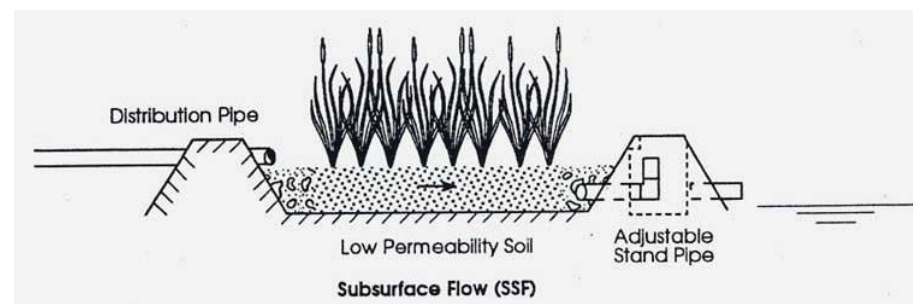
→ flujo sobre el medio de soporte



SF: Tratamiento de aguas servidas, escorrentía de aguas lluvias, drenaje minas

Subsurface-flow wetlands (SSF)

→ flujo a través del medio de soporte, vertical (VF) u horizontal (HF)



HF: Tratamiento secundario de aguas servidas, efectivo en materia orgánica, sólidos suspendidos, metales pesados

VF: Tratamiento in situ de aguas servidas domésticas/comunidades pequeñas, RILES y escorrentía de aguas lluvias

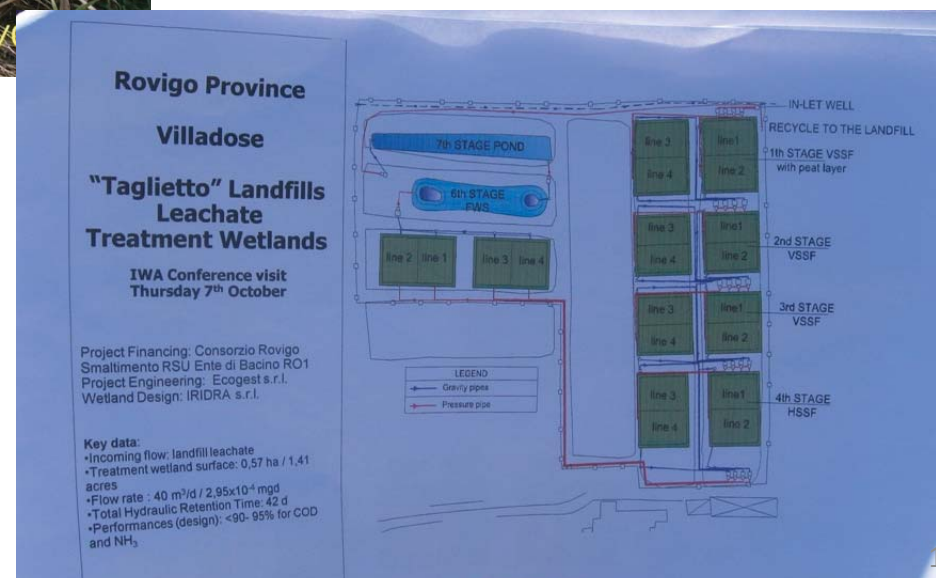


Tratamiento de aguas lluvias, Blue Mountains, Australia
(Kadlec and Wallace, 2009)

Tratamiento de aguas residuales, Portugal (foto: G.Sun)

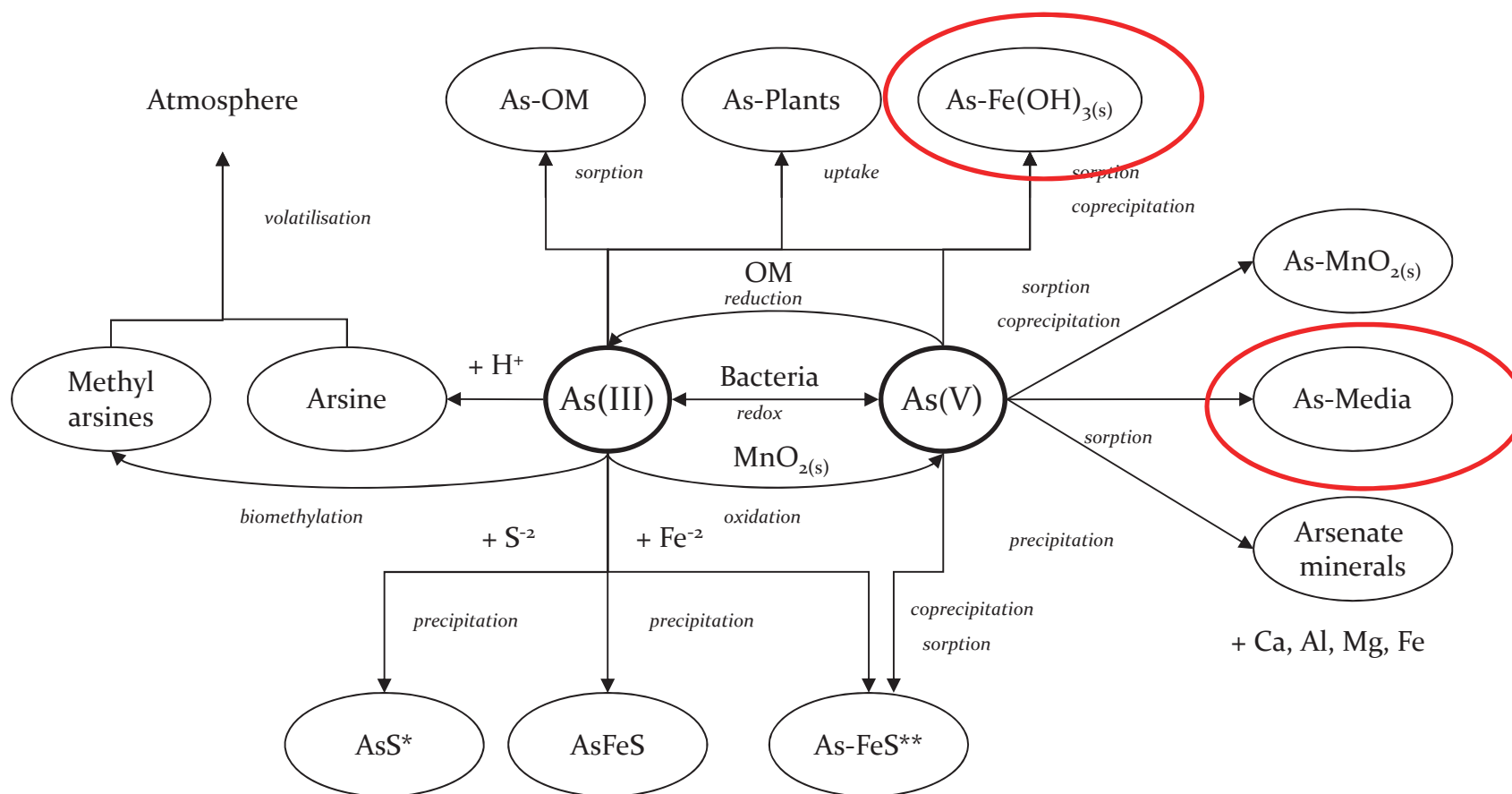
Ejemplos en el mundo

Tratamiento de lixiviados, Italia



¿Qué se sabe de la remoción de arsénico usando estos sistemas?

Mecanismos de remoción de As no habían sido elaborados... (Singhankant, 2009)



*and other arsenosulfides

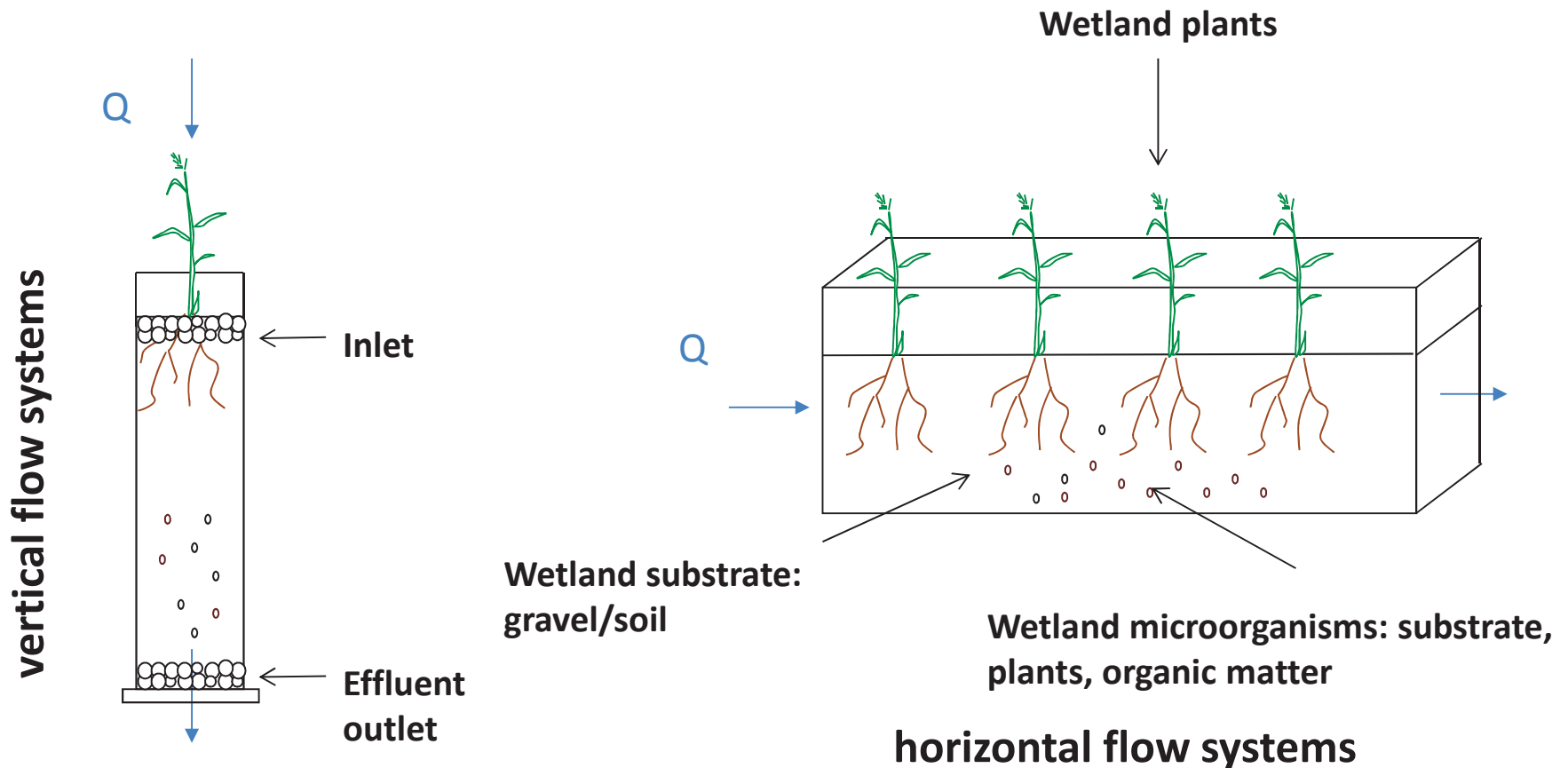
**FeS₂ also sorb As(III) and As(V)

(Lizama A. et al., 2011)

Mi tesis de Ph.D.

Humedales construidos para la remocion de arsénico y metales

Are subsurface flow wetlands systems a viable option to remove arsenic and metals from contaminated water?



Metodología

- Revisión bibliográfica: flujo subsuperficial, distintos sustratos
 - Elección de sustratos factibles
- Diseño y construcción de sistemas a escala de laboratorio
 - Flujo vertical y horizontal
- Caso de estudio: Cuenca del río Lluta
 - Río Azufre
 - Acidez y presencia de As y metales

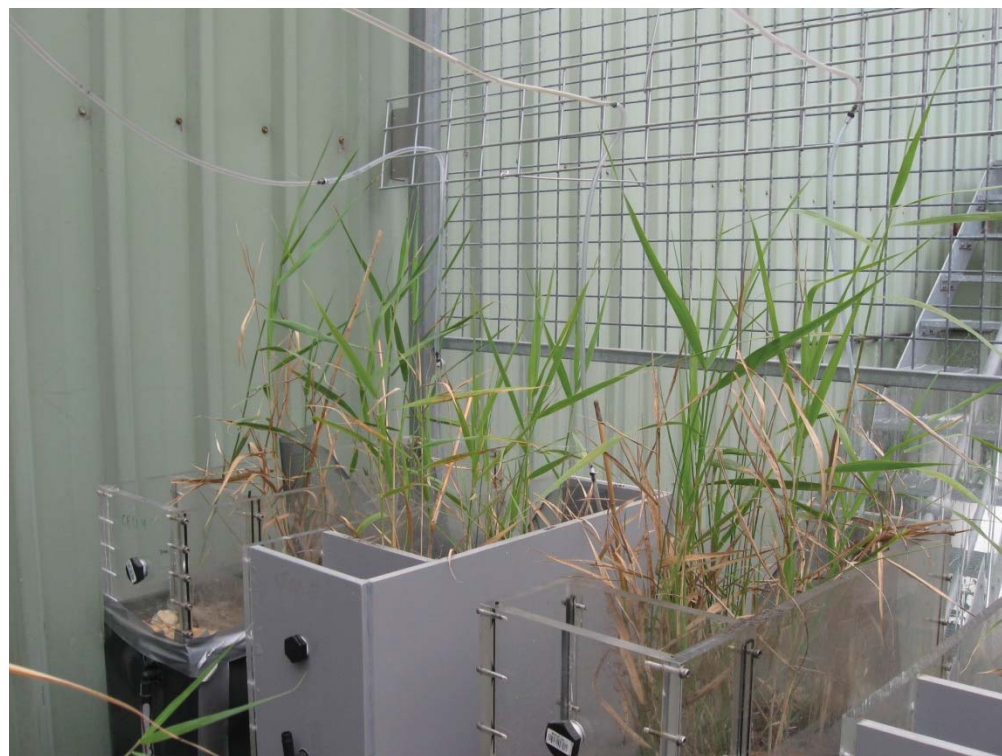
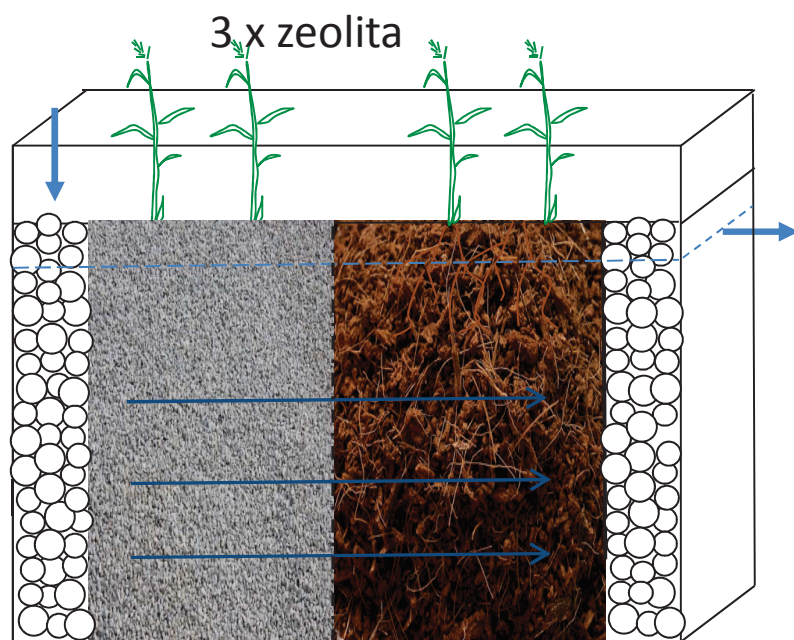
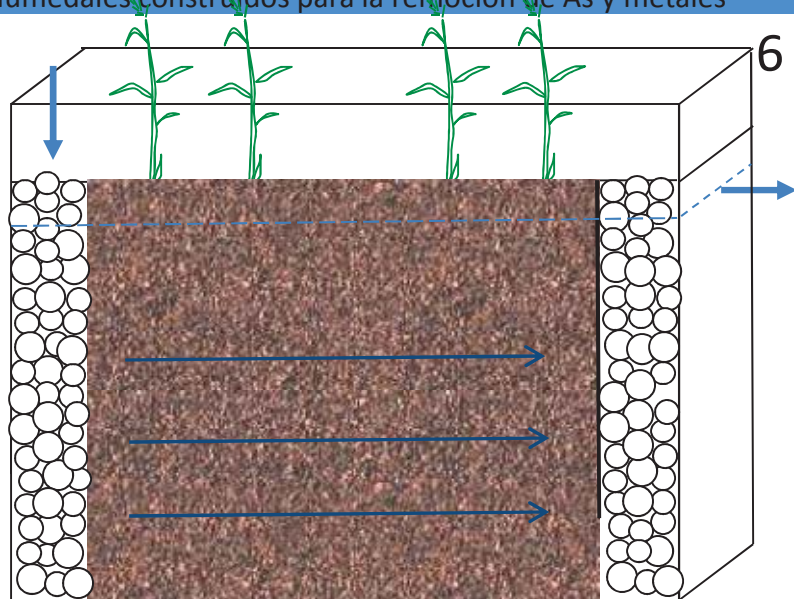
Algunos resultados

Uso de humedales de flujo horizontal con 2 medios de soporte no convencionales para la remoción de As, B y Fe de agua ácida (representativa del río Azufre) con distintos medios de soporte

- Cocopeat*: materia orgánica
- Zeolita:intercambio iónico
- Piedra caliza:ajuste de pH

Medios de soporte efectivos en VSSF (Lizama Allende et al.,2011, 2012)

6 HSSF celdas plantadas con *Phragmites australis*



3.6 L/d agua sintética:

2.6 ± 0.5 mg/L As

30.8 ± 6.2 mg/L B

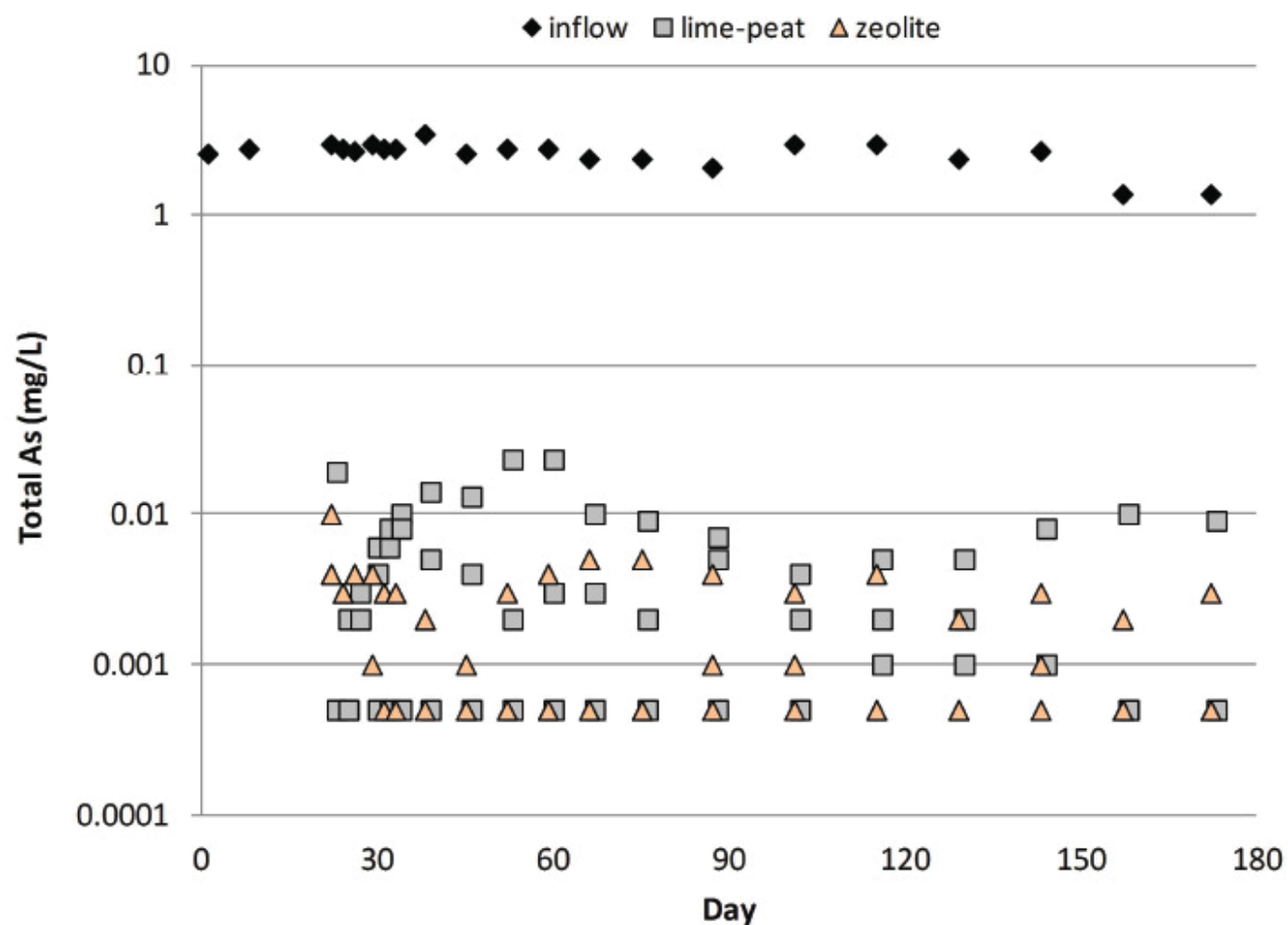
97.3 ± 14 mg/L Fe

pH 2.0 ± 0.2

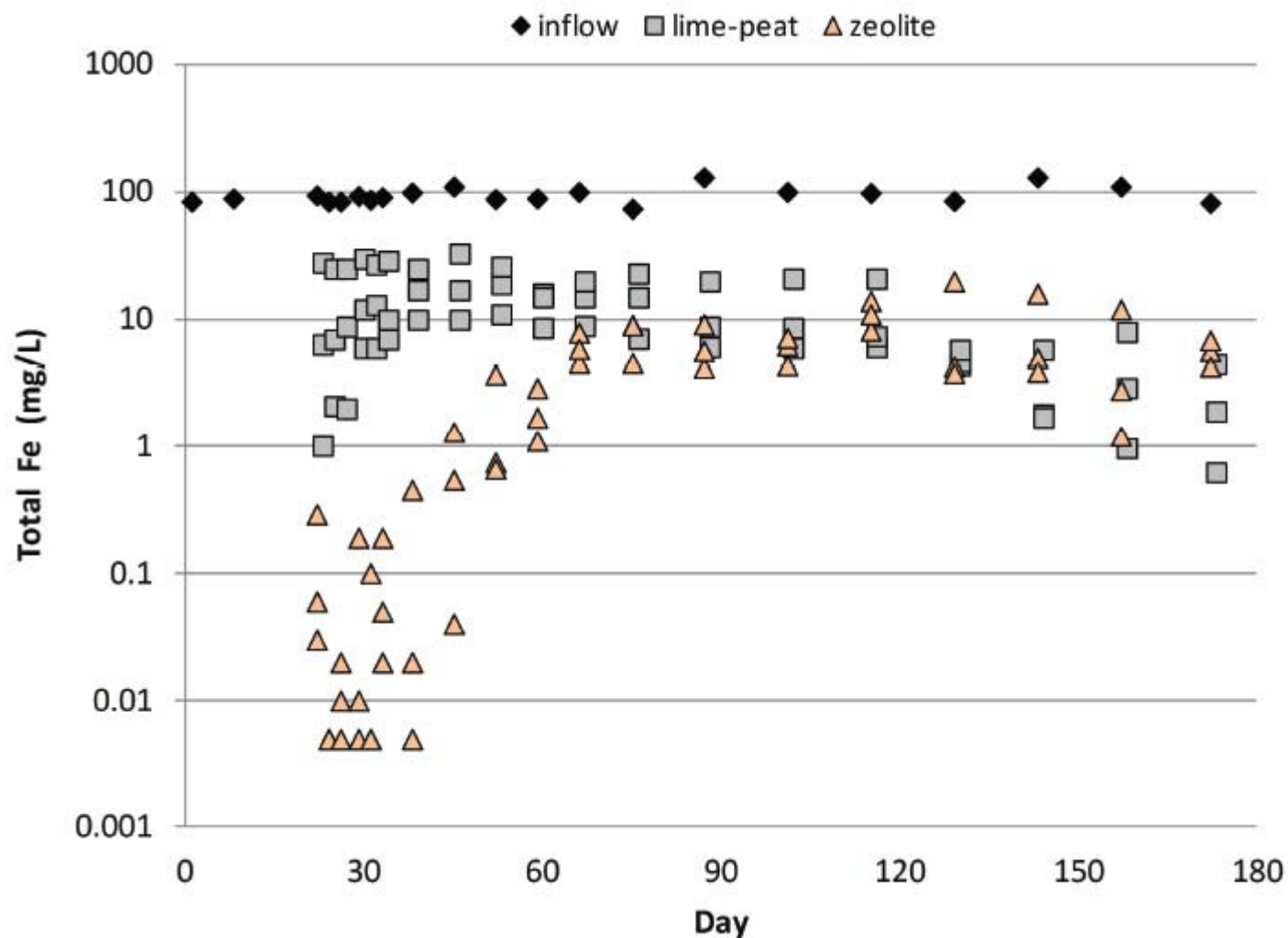
Niveles
típicos en
el Río
Azufre

3 x piedra caliza/cocopeat

Análisis de agua, medio y plantas



- Arsenic removal rates >99% on average for both types of wetlands
- No significant difference between them



- Iron removal rates were 87% and 96% for lime-peat and zeolite wetlands respectively
- Significant difference between them

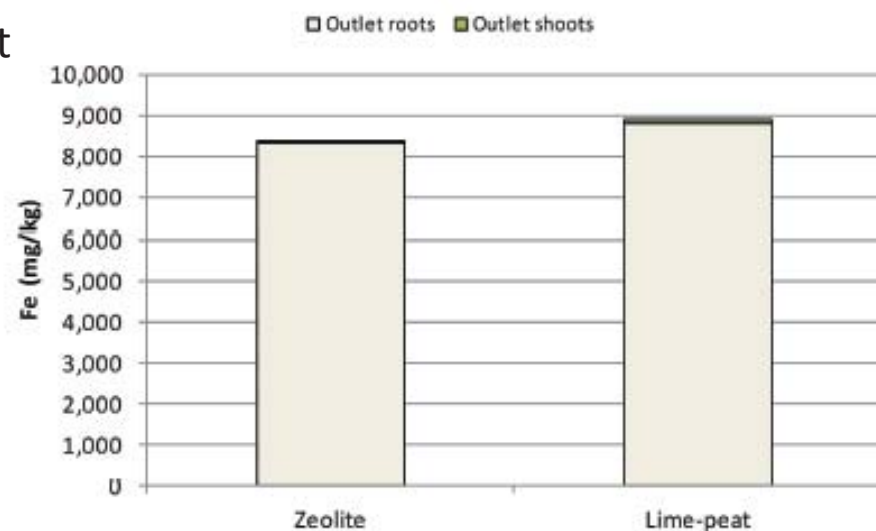
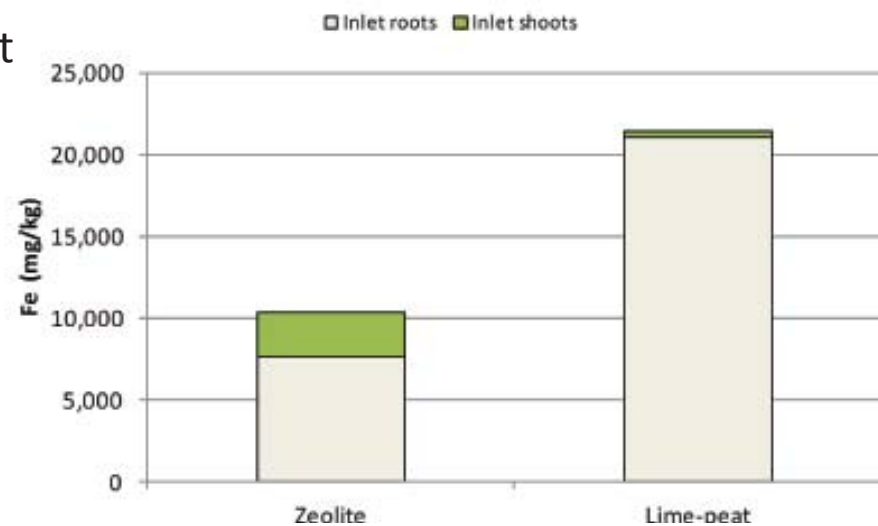
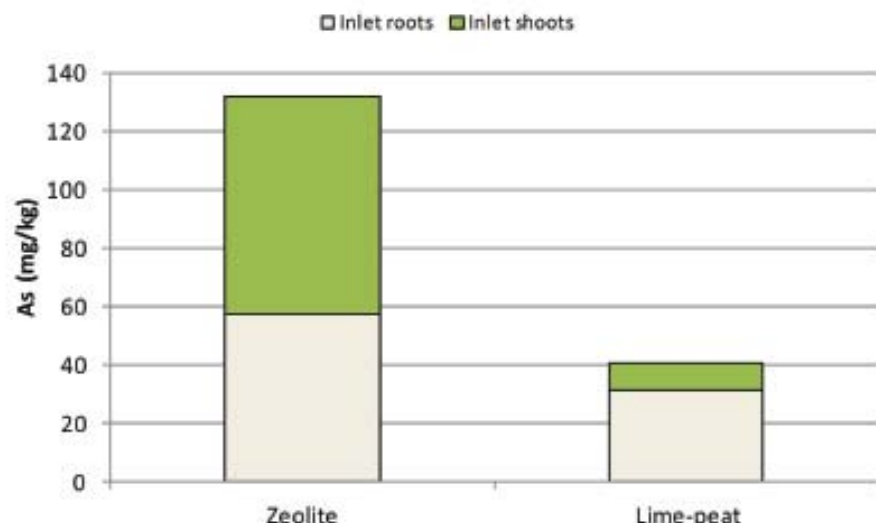
As and Fe accumulation in wetland media (mg/kg)

		Limestone/cocopeat wetlands					
		As			Fe		
Wetland	Location	Inlet	Middle	Outlet	Inlet	Middle	Outlet
Cell 2LP	Top	5	<5	<5	990	1100	3200
	Middle	5	<5	<5	1100	1100	990
	Bottom	<5	<5	<5	1000	890	1800
Cell 4LP	Top	13	59	31	1100	2000	3600
	Middle	7	9	18	870	840	2700
	Bottom	10	5	<5	2200	1200	2100
Cell 9LP	Top	<5	<5	<5	910	1200	5900
	Middle	15	6	<5	1500	1100	2400
	Bottom	<5	<5	<5	870	930	2100
		Zeolite wetlands					
Wetland	Location	Inlet	Middle	Outlet	Inlet	Middle	Outlet
Cell 3Z	Top	150	80	77	7500	6400	6500
	Middle	31	17	12	5900	4800	4500
	Bottom	11	9	8	5500	4700	4800
Cell 7Z	Top	230	57	15	9300	11000	5600
	Middle	58	21	13	6000	5600	5600
	Bottom	17	11	11	6400	5000	4700

→ Limestone/cocopeat retention occurred in the inlet/upper part

→ Zeolite wetlands retention followed a gradient

As and Fe accumulation in plants



→ Roots rather than shoots

→ Higher in the inlet, less available in the outlet

- Humedales construidos de flujo subsuperficial con medios de soporte alternativos tienen potencial para remover As y Fe
- Ambos tipos piedra caliza/cocopeat y zeolita presentaron altos porcentajes de remoción:
 - Ajuste de pH : coprecipitación Fe/As
 - Capacidad de intercambio iónico: sorción
- Absorción de las plantas tuvo un rol menor en la remoción total del sistema
- Contaminantes se acumularon principalmente en los medios de soporte

Más recientemente

Nuevos estudios a escala de laboratorio (e.g. Olmos-Márquez et al., 2012; Arroyo et al., 2013)

¿Posible aplicación? ¿Qué falta?

Guías de diseño

Algunas propuestas para metales
Cualitativas más que cuantitativas

Cuantitativas

Modelo orden cero

$$R_A = \frac{Q}{A} (C_i - C_o)$$

Modelo primer orden

$$K = \frac{Q}{A} (\ln C_i - \ln C_o) + C^*$$

→ ambos descartados

Modelos computacionales

Cualitativas

Sustrato

Vegetación

Fuente de carbono

Tipo de flujo

→ Ejemplo: tratamiento de lixiviados de una fundidora de plomo y zinc, contiene As, Zn y Cd

Experiencia internacional: Trail, BC, Canada

Laboratorio



Bench-scale system

Terreno



Celda con *Typha*

Ejemplo colaboración estado, academia e industria: Environment Canada, University of Guelph y Nature Works <http://nature-works.net/>



Celda con *Typha*

TABLE 11.41

Performance of the Trail, British Columbia, Wetland, Treatment System for Arsenic Removal (mg/L)

Year	1999	2000	2001	2002	2003	5/14/01–1/20/02
Input	76.4	47.2	95.6	82.9	108	99.6
Anaerobic #1	14.4	8.8	27.2	34.4	20	28.2
Anaerobic #2	NB	11.7	5.8	8.2	10	5.7
HSSF1	—	—	—	—	—	1.6
HSSF2	—	—	—	—	—	1.1
HSSF3	—	—	—	—	—	1.04
Pond	0.3	1.6	0.7	1.5	0.5	0.95

Note: NB = cell not yet built.

Source: Data from Duncan *et al.* (2004) *In Waste Processing and Recycling in Mineral and Metallurgical Industries V*, Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum, Montreal, Quebec, Canada, pp. 469–484.

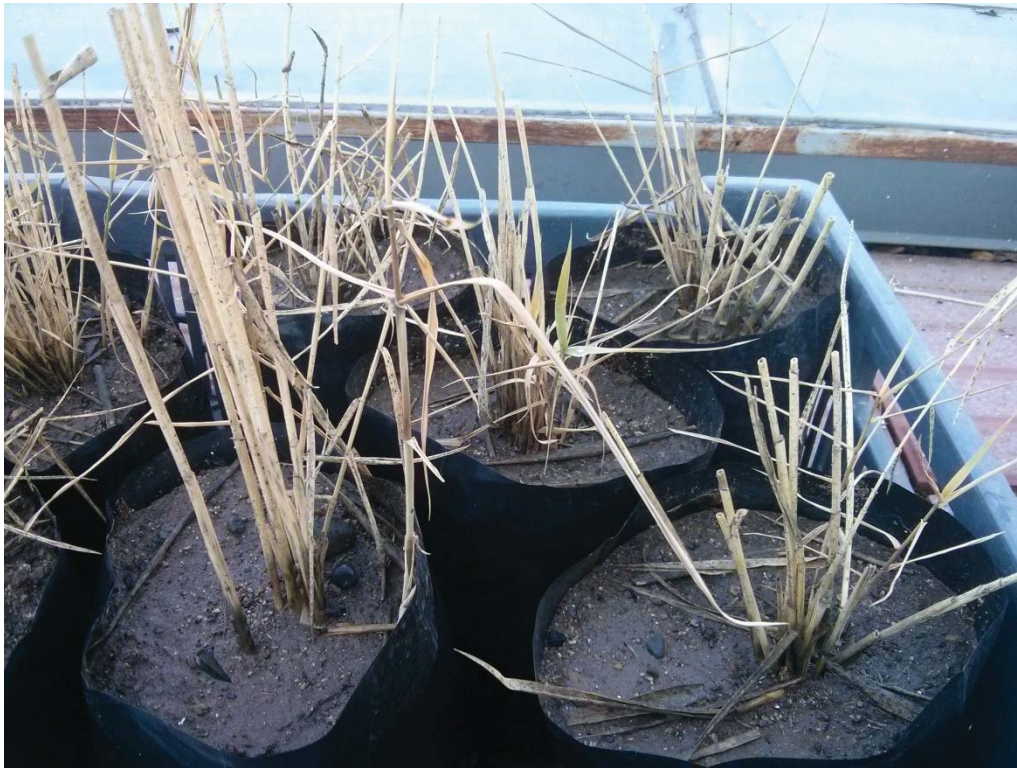
¿y aquí en Chile?

Uso de piedra caliza y zeolita
chilenas como medio de
soporte

Efecto de
→ presencia de vegetación
→ estacional

Direcciones para trabajo
futuro





Phragmites australis







- Humedales construidos de flujo subsuperficial con medios de soporte alternativos tienen potencial para remover As
- Se está estudiando su posible aplicación en Chile
 - Trabajo actual y futuro a escala de laboratorio
 - Medios de soporte locales
 - Vegetación
 - Idealmente además realizar pruebas piloto a mayor escala

- ROMERO, L., ALONSO, H., CAMPANO, P., FANFANI, L., CIDU, R., DADEA, C., KEEGAN, T., THORNTON, I. & FARAGO, M. 2003. Arsenic enrichment in waters and sediments of the Rio Loa (Second Region, Chile). *Applied Geochemistry*, 18, 1399-1416.
- LANDRUM, J. T., BENNETT, P. C., ENGEL, A. S., ALSINA, M. A., PASTEN, P. A. & MILLIKEN, K. 2009. Partitioning geochemistry of arsenic and antimony, El Tatio Geyser Field, Chile. *Applied Geochemistry*, 24, 664-676.
- LEIVA, E. D., RIOS, P. L., ESCAURIAZA, C. R., BONILLA, C. A., PIZARRO, G. E. & PASTEN, P. A. 2011. Arsenic mobilization in a high Andean watershed impacted by legacy mining. L Goldschmidt Abstracts 2011. *Mineralogical Magazine*, 75, 1261-1373.
- GUERRA, P. A., GONZALEZ, C., BONILLA, C. A., ESCAURIAZA, C. R., PIZARRO, G. E. & PASTÉN, P. A. Chemical-hydrodynamic control of arsenic mobility at a river confluence. *4th International Congress on Arsenic in the Environment*.
- KADLEC, R. H. & WALLACE, S. D. 2009. *Treatment Wetlands, second ed*, Boca Raton, FL, CRC Press.
- KADLEC, R. H. & KNIGHT, R. L. 1996. *Treatment Wetlands*, Boca Raton, FL, CRC Press.
- LIZAMA A., K., FLETCHER, T. D. & SUN, G. 2011. Removal processes for arsenic in constructed wetlands. *Chemosphere*, 84, 1032-1043.
- LIZAMA ALLENDE, K., FLETCHER, T. D. & SUN, G. 2011. Enhancing the removal of arsenic, boron and heavy metals in subsurface flow constructed wetlands using different supporting media. *Water Science and Technology*, 63, 2612-2618
- LIZAMA ALLENDE, K., FLETCHER, T. D. & SUN, G. 2012. The effect of substrate media on the removal of arsenic, boron and iron from an acidic wastewater in planted column reactors. *Chemical Engineering Journal*, 179, 119-130.
- OLMOS-MÁRQUEZ, M.A., ALARCÓN-HERRERA, M. T., MARTÍN DOMÍNGUEZ, I.R. 2012. Performance of Eleocharis Macrostachya and its importance for arsenic retention in constructed wetlands. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol.19. No.3. pp763-761.
- ARROYO, P., ANSOLA, G. & MIERA, L. E. S. D. 2013. Effects of substrate, vegetation and flow on arsenic and zinc removal efficiency and microbial diversity in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 51, 95-103.

Agradecimientos

- Universidad de Chile
- Becas Chile
- Monash University

¿Preguntas?
¿Comentarios?

klizama@ing.uchile.cl

