

Plantas de tratamiento para remoción de arsénico por procesos de coagulación-adsorción para sistemas centralizados

MSc. Ing. Rubén G. Fernández



**Centro de Ingeniería Sanitaria
Rosario – Argentina
cis@fceia.unr.edu.ar**

Departamento Hidráulica FCEIA, 08/10/10

Problemas sanitarios originados por la presencia de arsénico en aguas de bebida

- Hiperqueratosis, hiperpigmentación en la piel
- Trastornos cardiovasculares
- Cáncer de piel
- Cáncer en órganos internos: hígado, vejiga

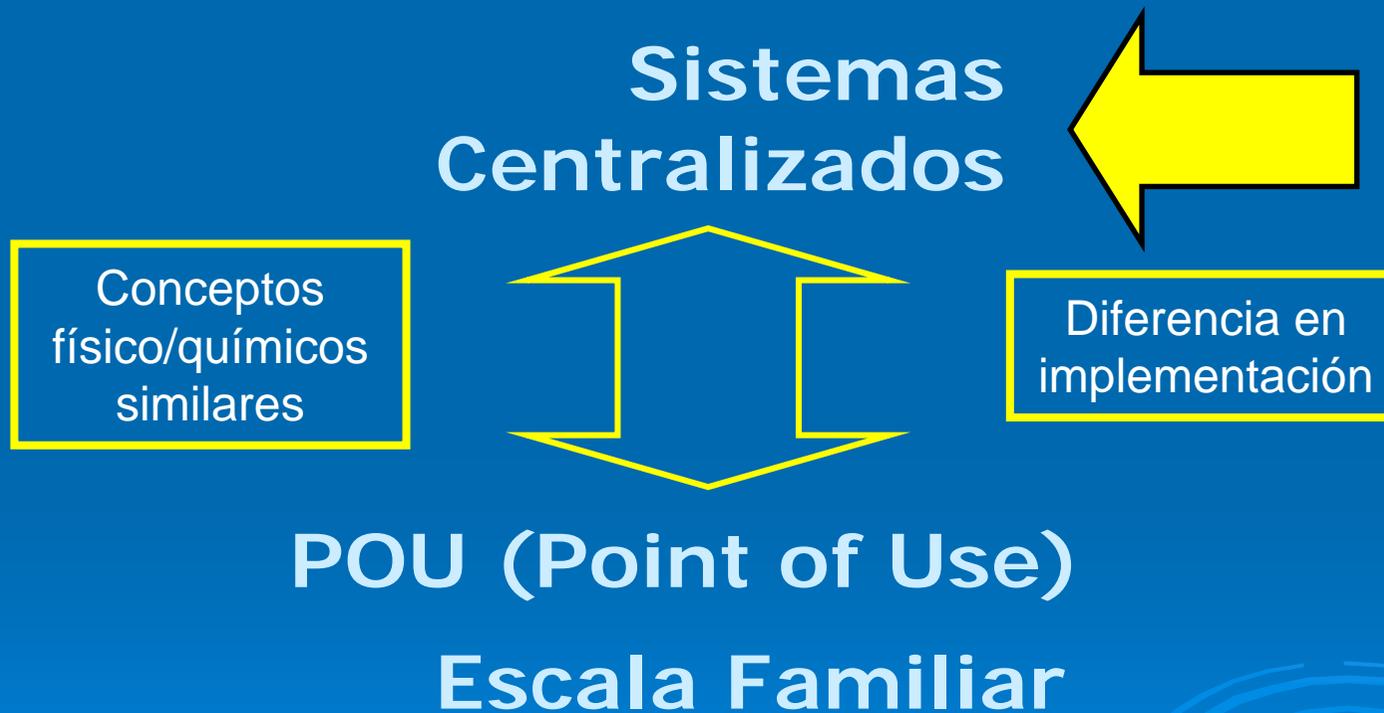
Concentraciones máximas admisibles de As en agua de bebida

Organismo/país	Límite
USEPA	10 $\mu\text{g/l}$
OMS	10 $\mu\text{g/l}$ (P)
Unión Europea	10 $\mu\text{g/l}$
Canadá	25 $\mu\text{g/l}$
México	25 $\mu\text{g/l}$
Chile	30 $\mu\text{g/l}$
Código Alimentario	50 $\mu\text{g/l}$ – Ahora 10 $\mu\text{g/l}$ - 5 años de plazo

Arsénico: 60 a 200 $\mu\text{g/l}$
Flúor: 1,5 a 2,2 mg/l



Clasificación de las tecnologías para remoción de arsénico (I)



Plantas de Sistemas Centralizados (características)

- Producen grandes volúmenes de agua
 - Abastecen poblaciones
 - Necesitan mano de obra especializada
 - Costos constructivos (fuentes de financiación)
 - Costos de operación (incremento del servicio)
 - Producen desechos → tratamiento y disposición
- 

Clasificación de las tecnologías para remoción de arsénico (II)

de Enlace
Químico/
Físico

Coagulación-Adsorción
Ablandamiento con Cal
Remoción conjunta con Fe y Mn
Alúmina Activada / Otros (ICS)
Intercambio Iónico

de Membrana

Nanofiltración
Osmosis Inversa
Electrodiálisis

Biológicas

Fitoremediación



Tecnologías aplicadas para remoción de arsénico

de Adsorción
en medio
físico

Coagulación-Adsorción
Alúmina Activada / Otros (ICS)
Intercambio Iónico

de membrana

Osmosis Inversa

Tecnologías aplicadas para remoción de arsénico

de adsorción
en medio
físico

Floc disperso en la matriz de agua

Medios fijos (resinas, gel, otros)

de membrana

Membrana semipermeable

Elección de las tecnologías para remoción de arsénico

de adsorción
en medio
físico

Eficiencia (normativa)

Disponibilidad de espacio

Lavado (% de agua consumida)

Regeneración

Requisitos

Requisitos (tratamiento)

+ experiencia de aplicación

de membrana

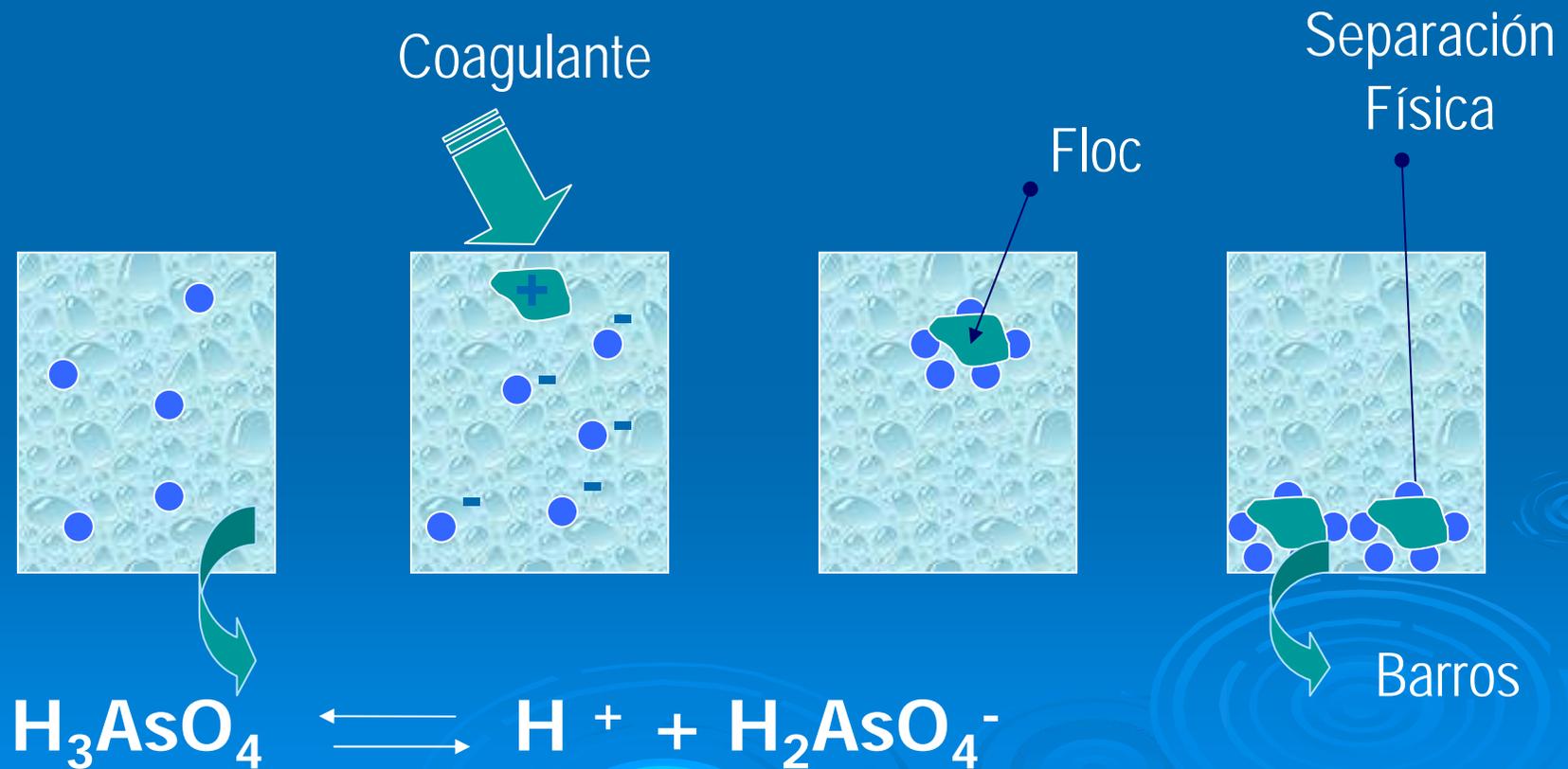
Eficiencia (normativa)

Disponibilidad de agua cruda

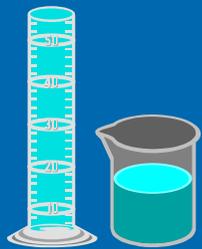
Disponibilidad de energía

Rechazo (conducción+tratamiento)

Principio de la remoción de As por coagulación – coprecipitación - adsorción



Metodología utilizada

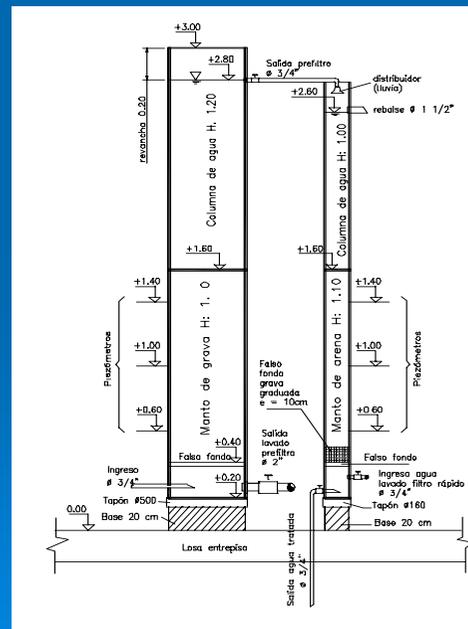


1. Ensayos Laboratorio



Metodología utilizada

2. Planta Piloto



Metodología utilizada



3. Escala real

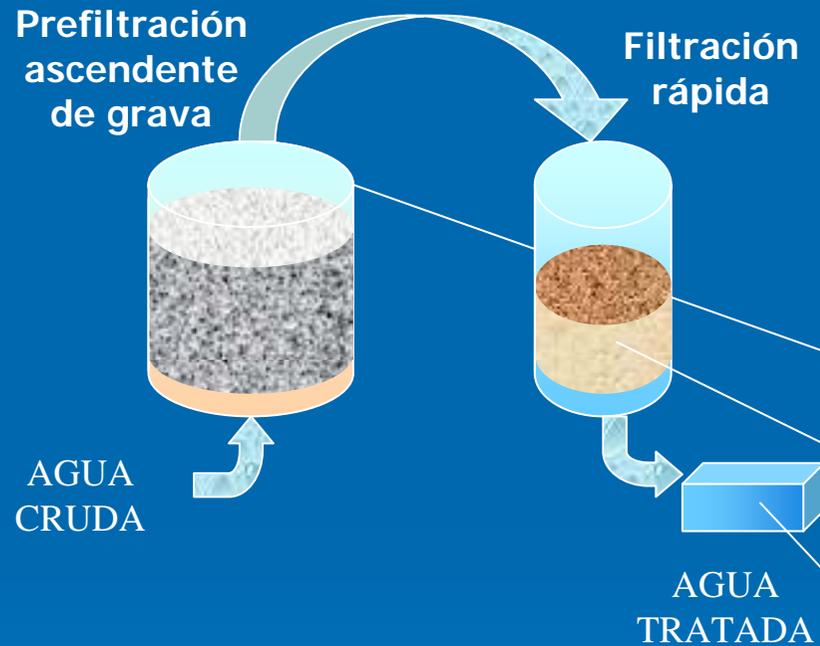
Variantes en la implementación a escala real

Coagulante	Cloruro Férrico, Sulfato Aluminio, Policloruro de Aluminio
Coagulación/ Floculación	Floculadores, Prefiltración ascend.
Separación física	Sedimentación, Filtración
Barros	Deshidratación, Disposición final

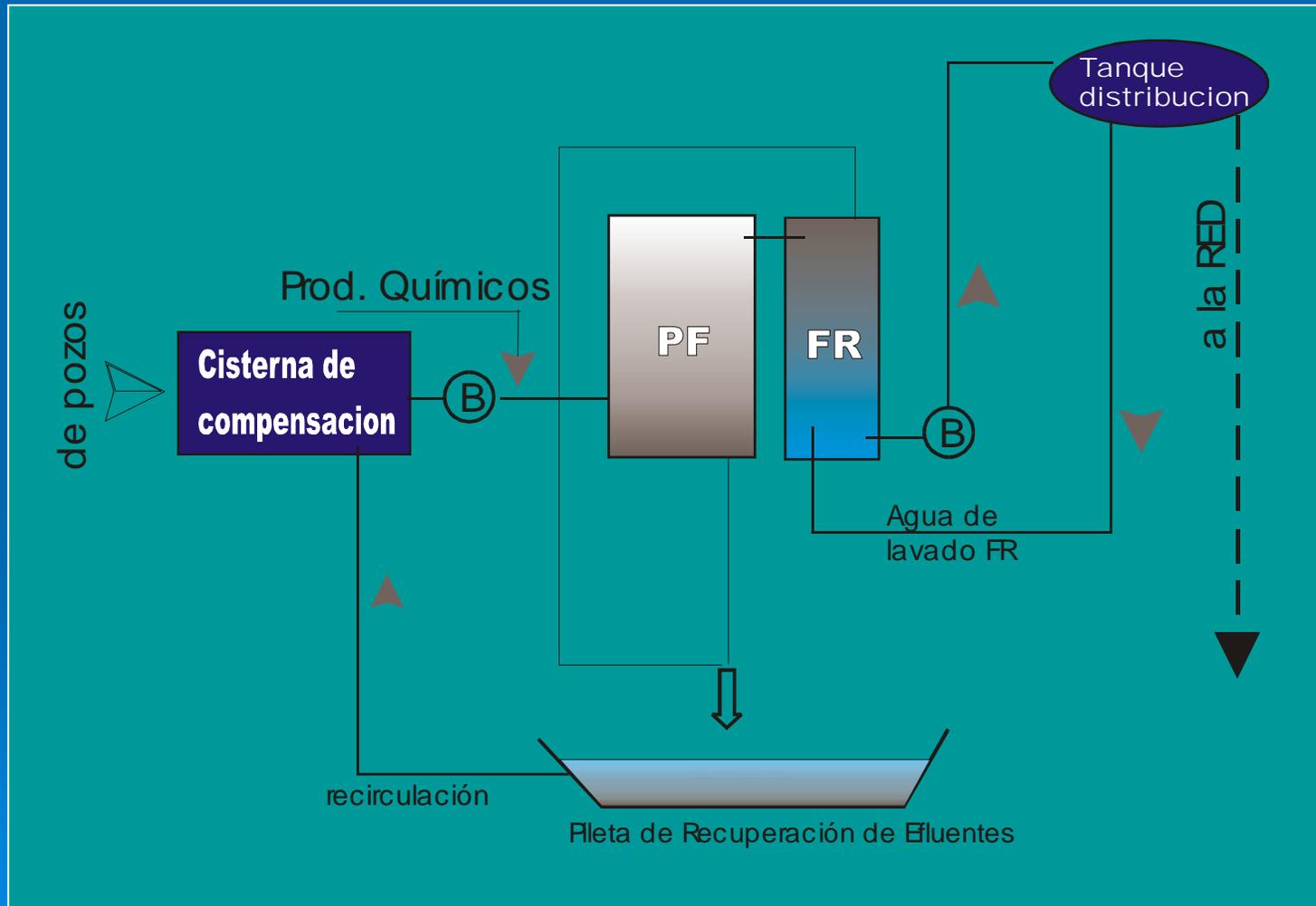
Implementación a escala real



Implementación a escala real

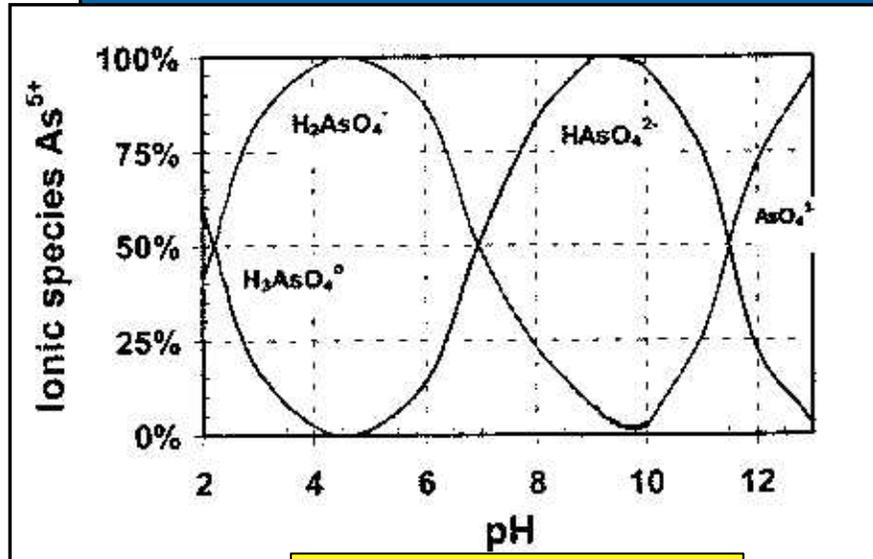
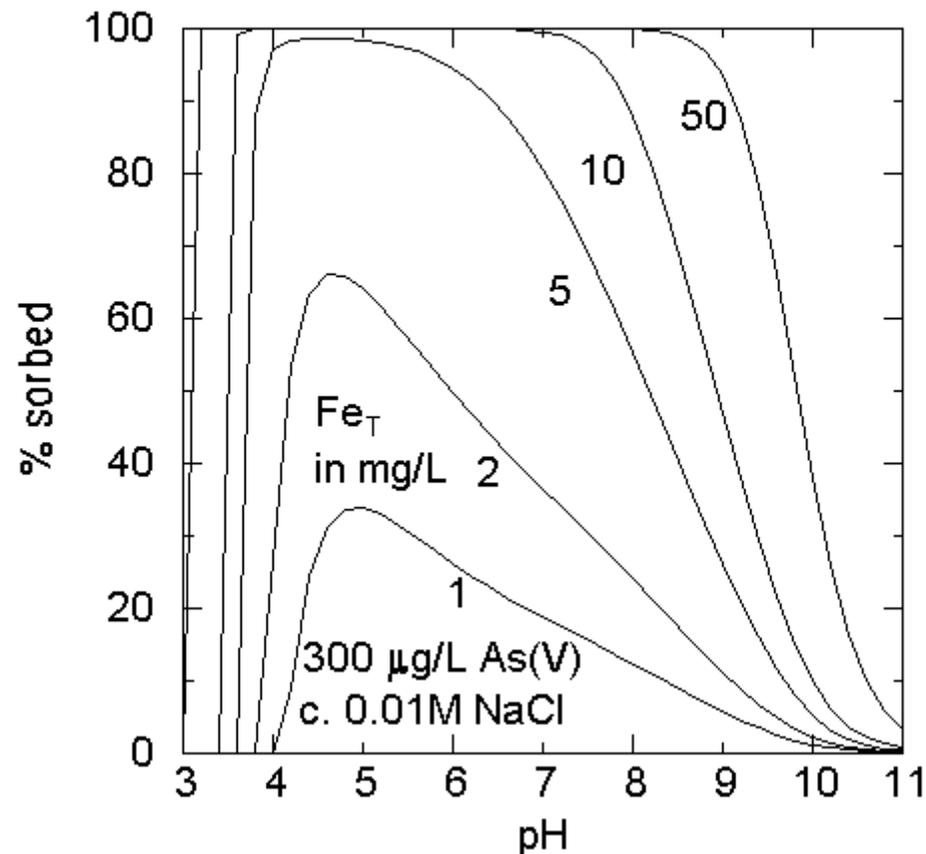


Etapas del proceso en un esquema de planta real



Coagulante vs. Contaminante

As(V) sorption on Hfo according to the Dzombak and Morel (1990) model and database



Condiciones óptimas de pH para eficiencia de remoción de As

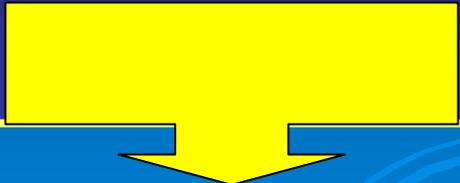
Otros condicionantes del éxito del enlace As-floc

pH de la reacción

Turbiedad

Presencia de otros iones en el agua:

- Sílice
- Sulfatos
- Fosfatos
- Carbonatos



Para todas las tecnologías que incluyan ADSORCIÓN

Líneas de tratamiento en procesos de coagulación-adsorción

Combinación de unidades de tratamiento en una planta convencional para formación y separación del floc

- 1) MR - Floculador – Sedimentador - Filtros
- 2) MR - Pre-filtros – Filtros
- 3) MR - Filtros (Filtración Directa)

Variantes en Filtración: FR, Manto dual, Dinámica

Obras necesarias para la aplicación a escala real



Obra Civil + Elementos Prefabricados

Aguas – Límites - Reactivos

Agua Tratada
< 100 µg/l
< 50 µg/l
< 10 µg/l

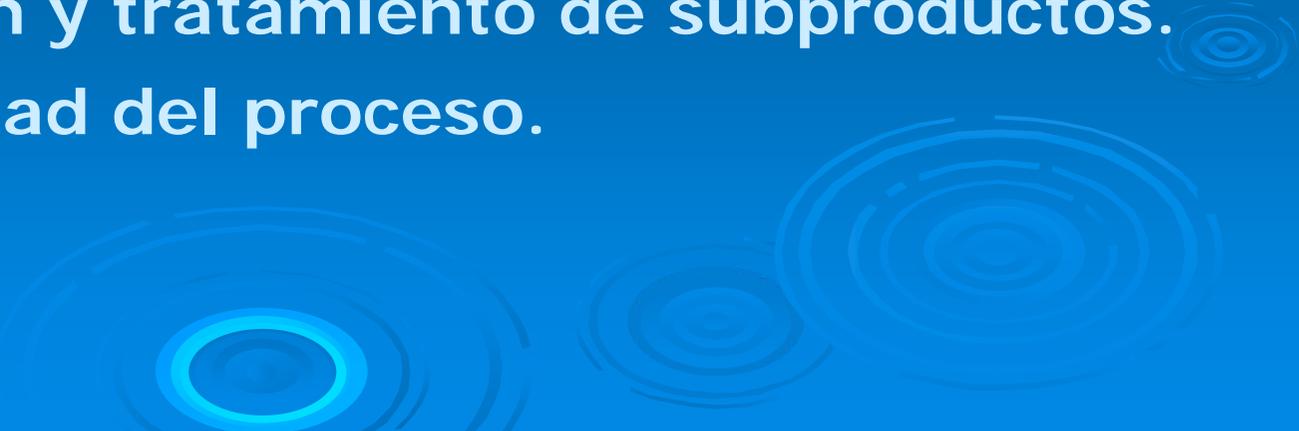
El Arsénico
no está solo
(competencia)

Reactivo/s según
tipo de agua
Remoción conjunta

Ensayos
de Jarras

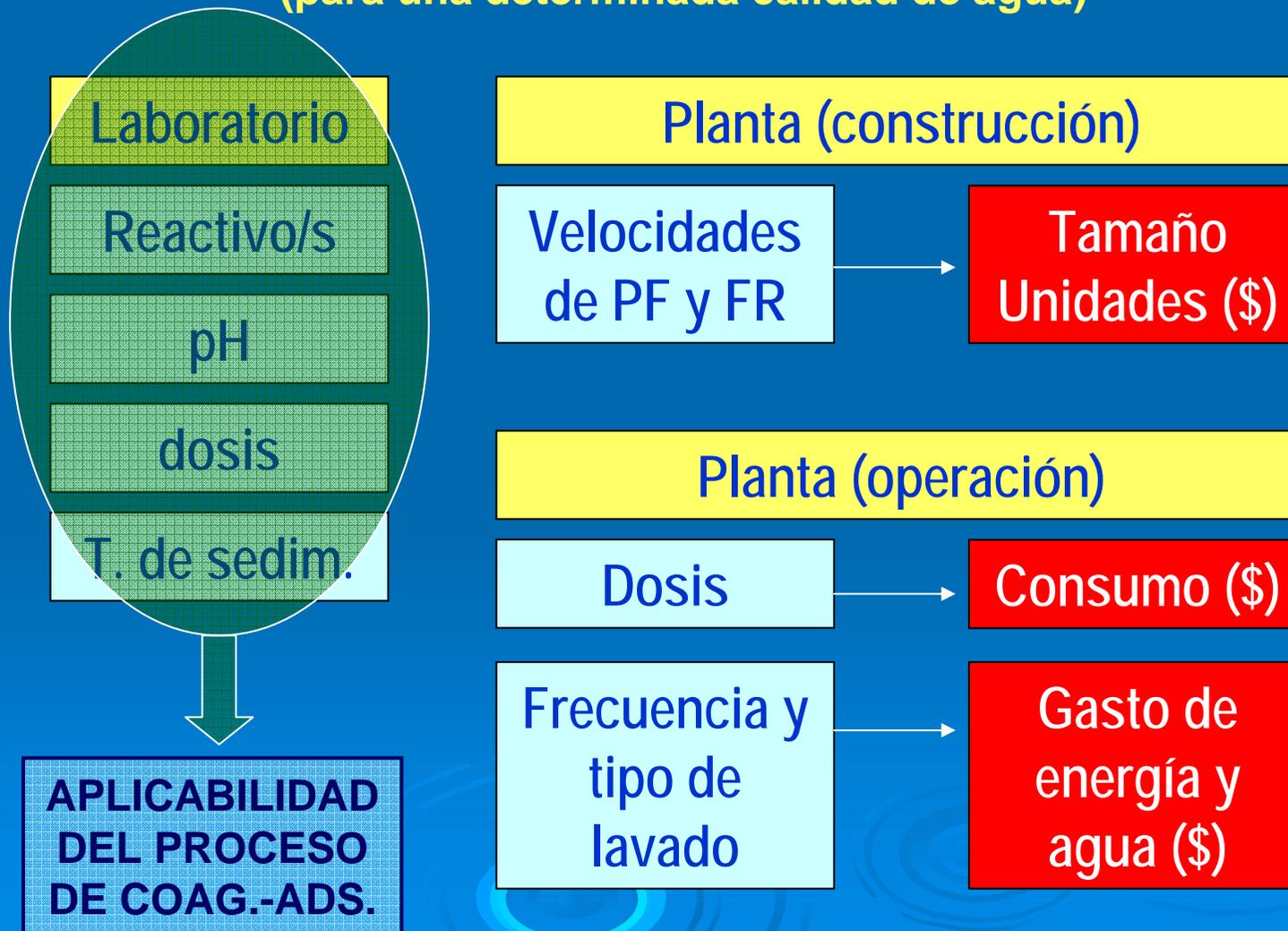
Aplicabilidad

Parámetros de interés para hacer una tecnología de laboratorio aplicable a escala real

1. Tiempo de residencia en unidades de tratamiento → Volúmenes de reactor.
 2. Disponibilidad y costo de los medios.
 3. Generación y tratamiento de subproductos.
 4. Confiabilidad del proceso.
- 

Variables sobre la eficiencia de remoción

(para una determinada calidad de agua)



- Laboratorio
- Reactivo/s
- pH
- dosis
- T. de sedim.

**APLICABILIDAD
DEL PROCESO
DE COAG.-ADS.**

Planta (construcción)

Velocidades
de PF y FR

Tamaño
Unidades (\$)

Planta (operación)

Dosis

Consumo (\$)

Frecuencia y
tipo de
lavado

Gasto de
energía y
agua (\$)

Aguas – Límites – Reactivos

EJEMPLOS DE PLANTAS EN OPERACION

Planta	Reactivo	Línea	As cruda ($\mu\text{g/l}$)	As salida ($\mu\text{g/l}$)	Observ.
S. A° Cobres	Fe Cl_3	PF+F	190	<20	sin optimizar
Industrial	Fe Cl_3	F directa	50	<5	manto dual
Jachal	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	FI+S+F	64	<10	histórico
Lezama	PAC18+Ac.	PF+F	150	<20	p. en marcha

FI: floculación, S: sedimentación, PF: prefiltración grava, F: filtración arena

Aguas – Límites – Reactivos

EJEMPLOS DE PLANTAS EN OPERACION

Planta	Reactivo	Dosis (mg/l)	Al salida (mg/l)	Fe salida (mg/l)	Turbiedad
S. A° Cobres	Fe Cl ₃	11		<0.05	<0.20
Industrial	Fe Cl ₃	7		<0.03	<0.20
Jachal	Al ₂ (SO ₄) ₃	42	<0.03		<0.20
Lezama	PAC18+Ac.	100	<0.03		<0.10

EJEMPLOS DE PLANTAS EN OPERACION

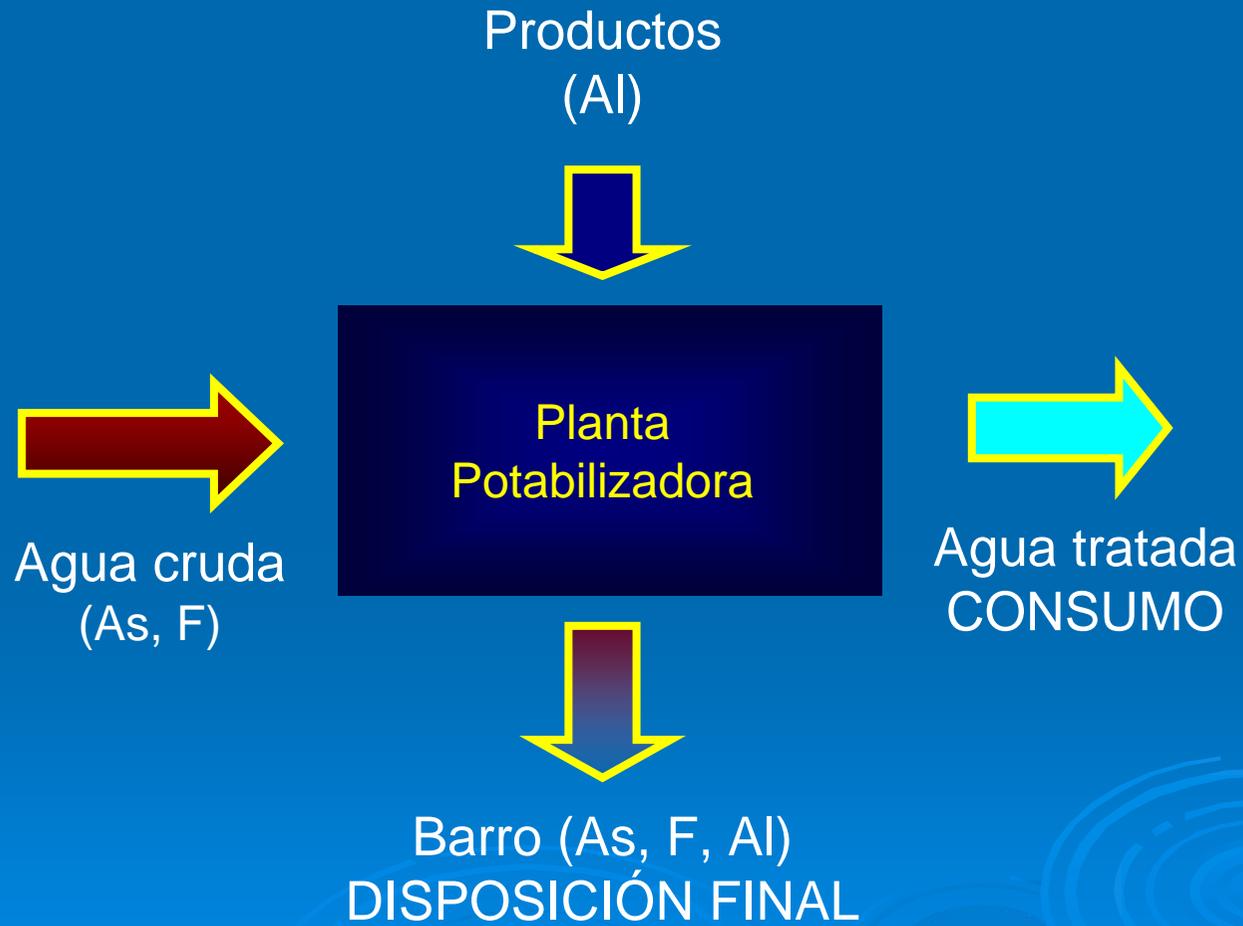


Lezama (Bs. As.)



S.A. Cobres (Salta)

Generación de residuos



Línea de barros



1. Agua de lavado de filtros y prefiltros a pileta de recuperación.



2. Bombeo de barro sedimentado en piletas a playas de secado.



3. Deshidratación en playas de secado.

Línea de barros

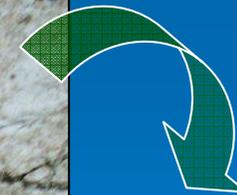
Deshidratación en
playas de secado



Ensayo en
lixiviado



Barro deshidratado
en relleno sanitario o
vaciadero



Seguimiento de
calidad de
napas

Análisis en lixiviado



Condiciones
ácidas, temperatura



Muestra de
barro



Lixiviado

Arsénico?

Aluminio?

Relleno
Sanitario

Relleno
Seguridad

Barros (calidad)

Resolución 97/2001 del Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente para disposición en relleno sanitario (Tabla 5, anexo III)

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite
Arsénico	[mg/l]	0.07	1
Cinc	[mg/l]	0.14	500
Cromo	[mg/l]	<0.05	5
Plomo	[mg/l]	<0.05	1
2, 4, D (plaguicida)	[mg/l]	<0.1	10

pH: 7.3 – Valor límite: 6 a 8 (Tabla 4, anexo III)

Barros (cantidad)

Generación de barros para cumplir con normativa de As $< 50 \mu\text{g/L}$ y $< 10 \mu\text{g/L}^*$

Planta	Caudal líquido tratado	Barro generado	Volumen seco	Proceso
Lezama*	38 m ³ /h	5.2 m ³ /mes	1.3 m ³ /mes	Playas sec.
Villa Cañas	46 m ³ /h	4 m ³ /mes	0.8 m ³ /mes	Lag. sec.
Lopez	16 m ³ /h	0.10 m ³ /mes	-	Filtro prensa

Filtro prensa



Costos operativos

\$/m³



Sueldos y Jornales
Aportes
Seguros
Conservaciones y reparaciones
Impuestos
Fletes y Acarreos
Energia Electrica
Intereses y Gastos Bancarios
Utiles de limpieza
Ropa de Trabajo
Papeleria y Utiles de Escritorio
Viajes, Viatico y Movilidad
Productos quimicos
Analisis
Recepcion y agasajos
Encomiendas y Comisiones
Gasto administración
Gastos Administracion Credito
Servicio de Gas
Amortización
Cuota Credito Bco. Pcia.

Costos operativos (reactivos)

Población: 5.000 hab.

Q_{prod.}: 38 m³/h

Salida As < 10 µg/l

Costo del m³ tratado:

Sin flete: 0.30 \$/m³

Con flete (max. Dist.): 0.50 \$/m³



No se incrementó el plantel de operarios

Costos energéticos despreciables

Comentarios finales (I)

1. Las plantas convencionales de coagulación – adsorción han demostrado poder operar en forma confiable alcanzando concentraciones $< 20 \mu\text{g/l}$ de As ($10 \mu\text{g/l}$).
2. El agua consumida en el proceso es similar a la consumida en plantas convencionales de potabilización que incluyen FR (3 al 6%)

Comentarios finales (II)

1. El proceso es aplicable en forma similar cuando se deba abatir As y Fluoruros.
2. La tecnología de coagulación-adsorción resulta recomendable, por sus bajos costos operativos, para aguas con altos contenidos de As, Fluoruros y bajos sólidos disueltos pudiendo cumplir con la normativa futura para una gran variedad de calidades de agua.

Desafío del proceso coagulación-adsorción

1. Ensayar alternativas de doble filtración rápida para poblaciones con mayor número de habitantes eliminando la PF en grava.

PROPUESTA DE SOLUCION (I)

1. Separar la problemática según sean servicios centralizados o de población dispersa.
2. Elaborar plazos para alcanzar niveles mínimos en agua tratada.
3. Utilizar tecnologías que "acompañen" esos niveles intermedios en cada etapa.
4. Proponer niveles compatibles con la disponibilidad de "control" en laboratorios.

PROPUESTA DE SOLUCION (II)

1. Establecer la forma de afrontar el aumento entre 0.50 a 2.00 \$/m³ del costo operativo por mejora en la calidad.

La solución a nivel nacional no implica un desafío tecnológico, solo implica una gestión de recursos para afrontar costos operativos.

Gracias

M.Sc. Ing. Rubén G. Fernández



**Centro de Ingeniería Sanitaria
Rosario – Argentina
cis@fceia.unr.edu.ar**