

FIQ

UNL

Grupo Investigación de Química Analítica
Facultad de Ingeniería Química,
Universidad Nacional del Litoral.
Argentina



Humedales Construidos: Nuestra Experiencia en Argentina

María Alejandra Maine
amaine@fiq.unl.edu.ar

G. Sánchez, H. Hadad,, S. Caffaratti , M.C. Pedro, G. Di Luca, M. M.
Mufarrege; N. Camaño Silvestrini, M.C. Schierano



- **Disponibilidad de terrenos marginales de bajo costo.**
- **Clima templado.**
- **Gran disponibilidad de macrófitas.**



Humedales para el tratamiento final de efluentes de dos Industrias Metalúrgicas

CW1 esta en operacion desde hace 15 años.

Ambos sistemas son del tipo de flujo libre.

CW2 esta en operacion desde hace 8 años.





Fabrica de fertilizantes nitrogenados



Lixiviado de relleno sanitario



Efluentes de tambo



Efluentes de lavado de caniles

2001 - SNA Europe - Argentina

**Efluente de alta salinidad y pH,
conteniendo Cr, Ni, Zn, Fe.**

- **Tolerancia de las plantas al efluente**
- **Eficiencia de Retención de contaminantes**

Wetland experimental a escala piloto (3m x 6m)



Pistia stratiotes



Pontederia cordata

Pontederia cordata
1996 Kerry Dressler



Scirpus californicus



Salvinia herzogii



Typha dominguensis



Panicum elephantipes



Eicchornia crassipes

Water hyacinth

Inicio de la experiencia- AÑO 2001



Humedal experimental a los 2 meses del inicio del funcionamiento



**Humedal experimental a los 4 meses del
inicio del funcionamiento**





Que aprendimos???

Humedal experimental a los 9 meses del inicio del funcionamiento



El wetland piloto removió:

85 % Cr

71 % Ni

54 % Zn

2002-Wetland construido 1

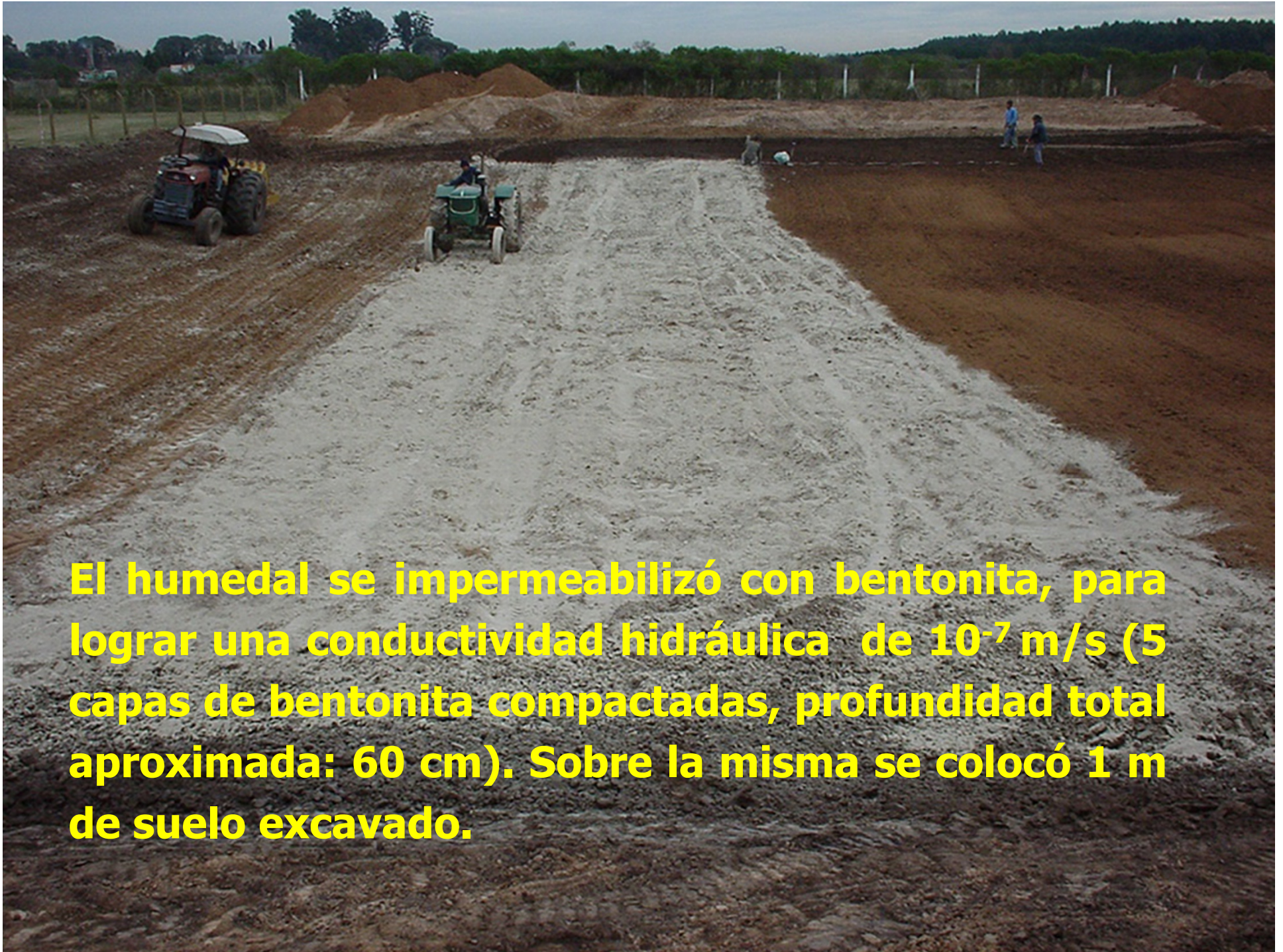


- **Flujo Superficial**

- **Dimensiones: 50 m largo, 40 m ancho, 30-50 cm profundidad.**

- **Descarga de agua:: 100.000 l d⁻¹**

- **Tiempo de residencia: 7-12 días.**




El humedal se impermeabilizó con bentonita, para lograr una conductividad hidráulica de 10^{-7} m/s (5 capas de bentonita compactadas, profundidad total aproximada: 60 cm). Sobre la misma se colocó 1 m de suelo excavado.



Se hipotetizó que altas concentraciones de nutrientes favorecerían el desarrollo de las macrófitas e incrementarían los límites de tolerancia a los metales, lo que se corroboró con experiencias de invernadero.







**Tratamiento final conjunto del
efluente industrial de alta salinidad y pH,
conteniendo Cr, Ni, Zn, Fe y efluente
Cloacal (P y N).**



***Eicchornia crassipes* fue la especie dominante durante los dos primeros años.**



***Typha domingensis* se convirtió en la especie dominante con una cobertura media del 80 % (55-95 %) del wetland durante los últimos 10 años.**

Cobertura Macrófitas



Por que toleró *T. domingensis* ??

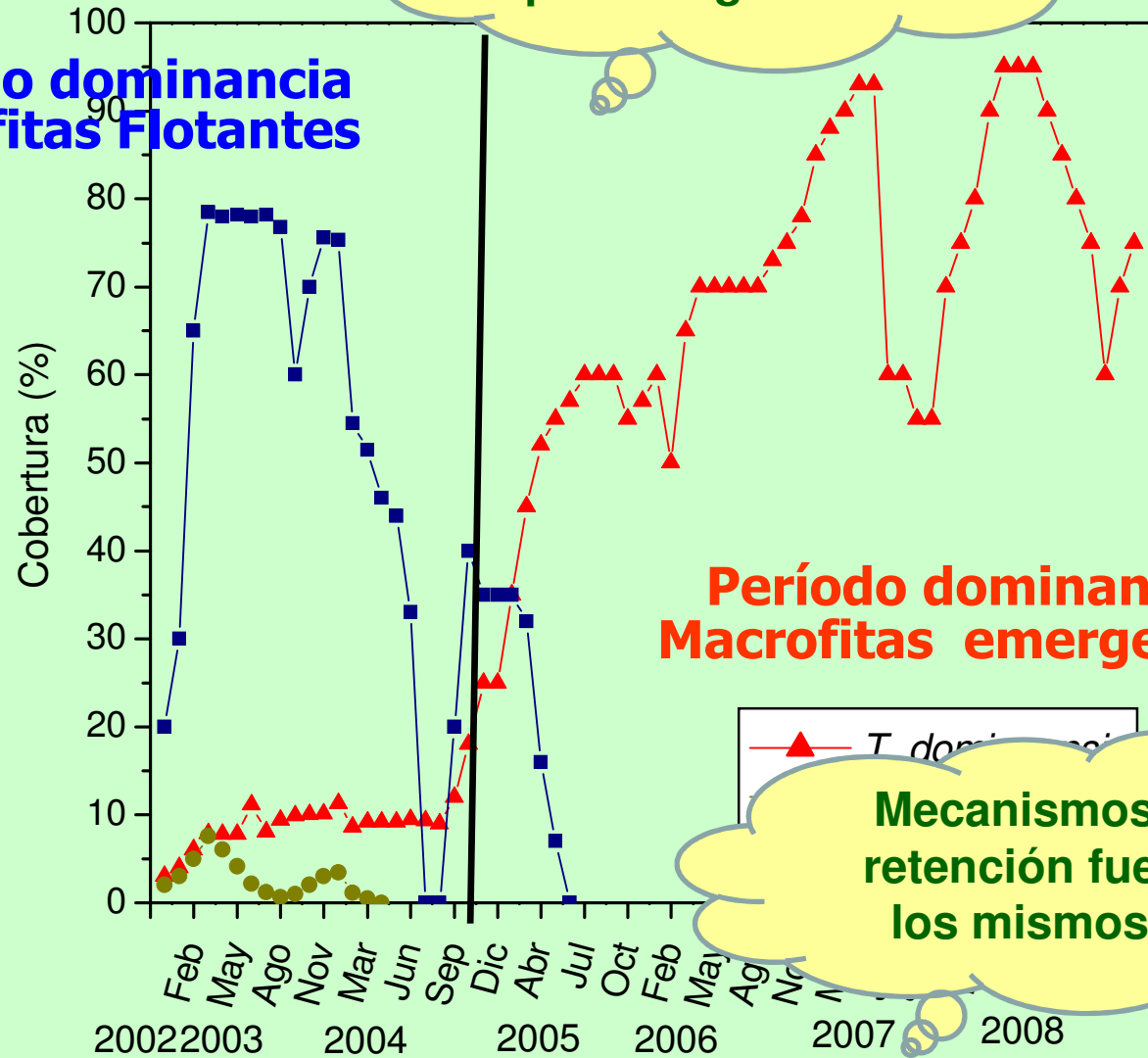
Por que desaparecieron las flotantes???

ACLIMATACION

Cob

Eficiencia del sistema dependió del tipo de vegetación ??

Periodo dominancia Macrofitas Flotantes



Período dominancia Macrofitas emergentes

Mecanismos de retención fueron los mismos??

Retención de Contaminantes por macrófitas y sedimento en el area de entrada (%)

Dominant species	Cr		Ni		Zn		P	
	Sed	Macr.	Sed	Macr	Sed	Macr.	Sed	Macr.
<i>E. crassipes</i>	11	89	7	93	5	95	2	98
<i>T. domingensis</i>	73	27	87	13	71	29	62	38

La cosecha de las especies flotantes permitiría la remoción de metales y P del sistema. Pero las plantas tendrían que tener una adecuada disposición final.

Las macrofitas emergentes favorecen la acumulación de metales en el sedimento.

Las plantas cosechadas se utilizaron en la fabricación de compost para plantas ornamentales cultivadas en el mismo predio.





COYPO

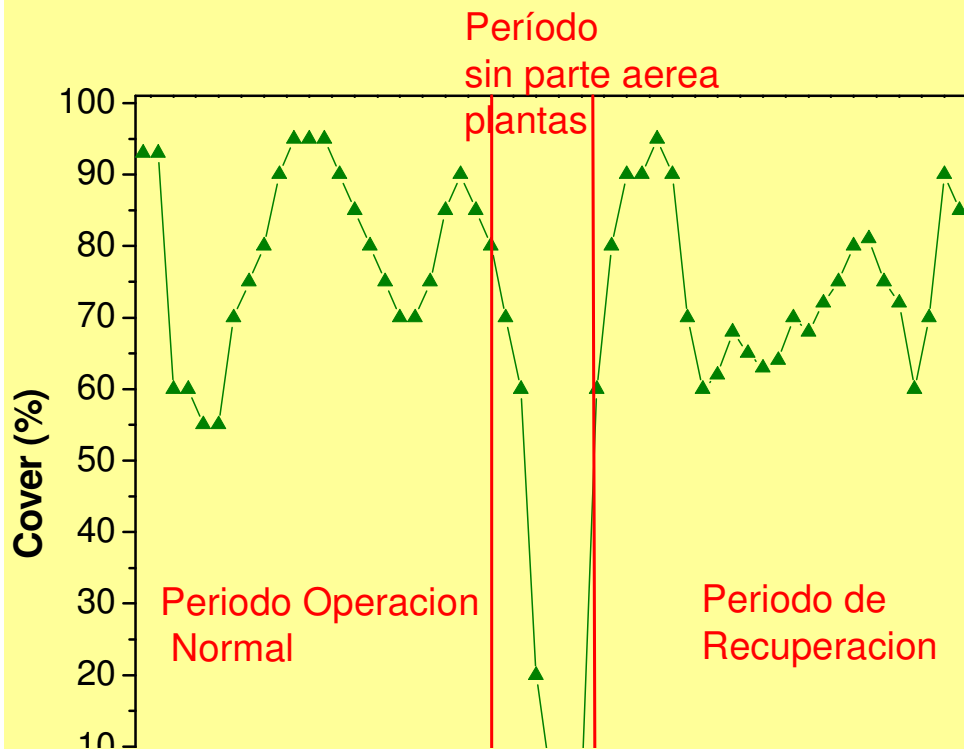


**CARPINCHO
CAPIBARA**



NUTRIA

La eficiencia de retención de contaminantes se comparó :



El wetland siguió reteniendo contaminantes durante el evento donde el wetland funcionaba con plantas sin parte aérea. Las plantas continuaron acumulando contaminantes en sus raíces y el sedimento aumentó su retención, equilibrando el funcionamiento del sistema.

Periodo de operación normal



Periodo con plantas sin parte aérea



Periodo de recuperación



2008-Wetland construido 2



Flujo superficial

Área de 7 m x 20 m

Profundidad entre 30-60 cm

Descarga diaria de efluente: 10m³

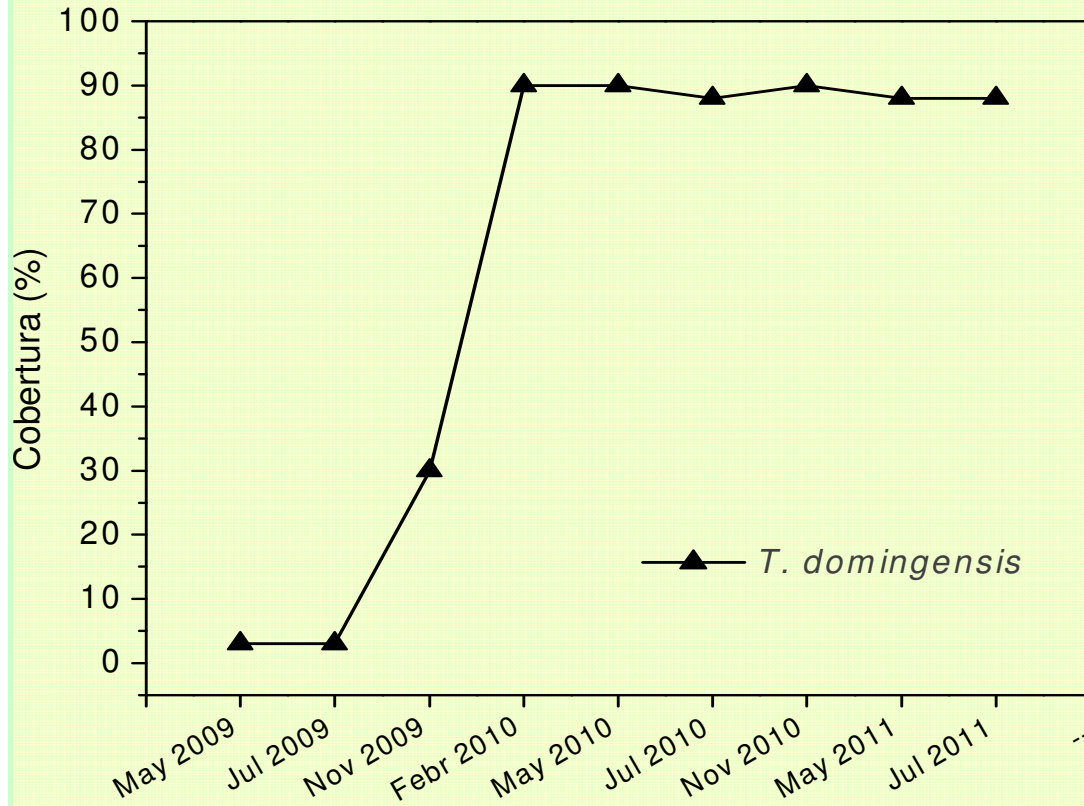
Tiempo de residencia mínimo: 7 días





***Typha domingensis*, que crecía en el mismo predio, se transplanto al wetland.**

Cobertura de las plantas de *T. domingensis*

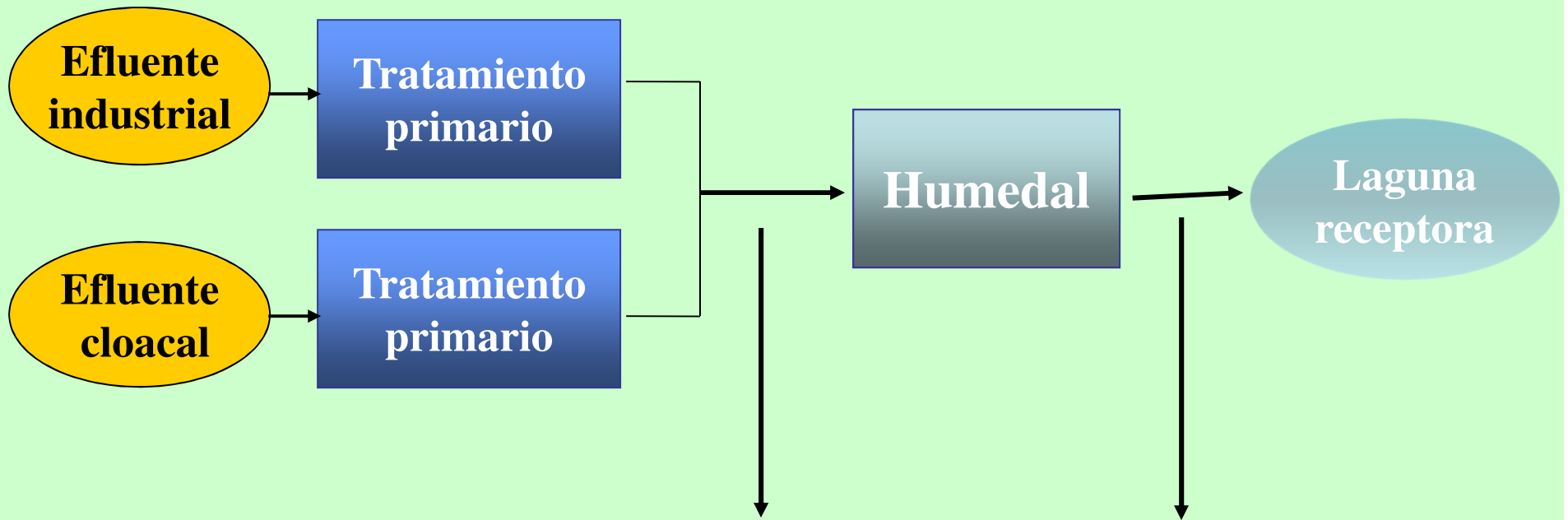




ND

S





Eficiencia de remoción

**Conc. de PT, Cr, Ni y Zn y
fraccionamiento**

**PT, Cr, Ni, Zn en hojas y raíces, biomasa,
cobertura**

Parámetros medidos en el efluente de entrada y de salida y eficiencias de remoción de los CWs

Parámetros	CW1			CW2		
	Entrada	Salida	Remoción %	Entrada	Salida	Remoción %
pH	10.8 (10.4-12.2)	8.3 (7.9-8.5)	-	7.9 (7.4-8.3)	8.0 (8.0-8.1)	-
Conductividad (umho/cm)	5113 (3890-8700)	1955 (1400-2500)	-	3213 (975-10060)	1203 (1058-2358)	-
OD (mg l ⁻¹)	3.40 (0-6.2)	2.1 (0.3-5.2)	-	6.0 (3.2-7.4)	6.4 (4.2-7.8)	-
NO ₃ ⁻ (mg l ⁻¹)	50.6 (15.4-98.2)	9.9 (3.6-24.2)	80.4	0.945 (0.271-1.28)	0.364 (0.158-0.484)	74.4
NO ₂ ⁻ (mg l ⁻¹)	2.22 (0.281-6.21)	0.352 (0.017-0.766)	84.1	0.112 (0.004-0.223)	0.037 (0.030-0.053)	71.2
NH ₄ ⁺ (mg l ⁻¹)	0.88 (0.15-2.6)	0.77 (0.05-2.14)	11.8	6.15 (0.957-15.6)	2.08 (0.722-3.89)	66.1
SRP (mg l ⁻¹)	0.030 (0.005-0.079)	0.026 (0.005-0.334)	13.3	0.692 (0.247-0.903)	0.307(0.291-0.350)	58.1
TP (mg l ⁻¹)	0.396 (0.064-1.38)	0.309 (0.129-0.696)	22.0	0.889 (0.642-1.322)	0.425 (0.398-0.442)	52.8
Fe (mg l ⁻¹)	8.24 (0.52-22.5)	0.87(0.05-1.23)	89.4	0.350 (0.151-0.561)	0.110 (0.061-0.173)	80.4
Cr (mg l ⁻¹)	0.092 (0.023-0.204)	0.014(0.002-0.033)	84.7	0.310 (0.012-1.45)	0.022 (0.019-0.025)	92.9
Zn (mg l ⁻¹)	0.041(0.022-0.070)	0.020 (0.015-0.050)	51.2	0.072 (0.006-0.145)	0.031(0.003-0.067)	51.7
Ni (mg l ⁻¹)	0.068 (0.004-0.101)	0.023(0.004-0.082)	69.5	0.018 (0.003-0.082)	0.004 (0.004-0.004)	77.5
DQO (mg l ⁻¹)	85 (27.9-154.0)	37.1 (13.9-42.9)	74.6	57.1 (21.3-160)	12.4 (2.0-27.2)	78.2
DBO (mg l ⁻¹)	31.3 (9.8-30.9)	9.97 (3.0-20.1)	73.2	45.3 (10.2-55.5)	8.6 (3.2- 17.6)	82.5

Concentración de P, Cr, Ni y Zn en tejidos de *T. domingensis*

Wetland Construido 1								
Muestra	Cr (mg g ⁻¹)		Ni (mg g ⁻¹)		Zn (mg g ⁻¹)		P (mg g ⁻¹)	
	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces
Zona Entrada	0,023	0,356	0,014	0,199	0,034	0,090	2,24	1,84
Zona Salida	0,010	0,034	0,006	0,030	0,035	0,086	1,16	1,02
Wetland Construido 2								
Muestra	Cr (mg g ⁻¹)		Ni (mg g ⁻¹)		Zn (mg g ⁻¹)		P (mg g ⁻¹)	
	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces	Hojas	Raíces
Zona Entrada	0,053	0,764	0,009	0,019	0,034	0,199	2,48	1,87
Zona Salida	0,033	0,195	0,007	0,013	0,014	0,054	2,19	1,66

Concentraciones de P, Cr, Ni y Zn en sedimento

	WC1				WC2			
	Cr (mg g ⁻¹)	Ni (mg g ⁻¹)	Zn (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	Cr (mg g ⁻¹)	Ni (mg g ⁻¹)	Zn (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)
Area de Entrada	1.582	0.960	0.146	0.996	0.865	0.017	0.056	0.586
Area de Salida	0.047	0.039	0.063	0.379	0.016	0.011	0.024	0.388
INICIAL	0.038	0.028	0.060	0.378	0.016	0.011	0.024	0.392

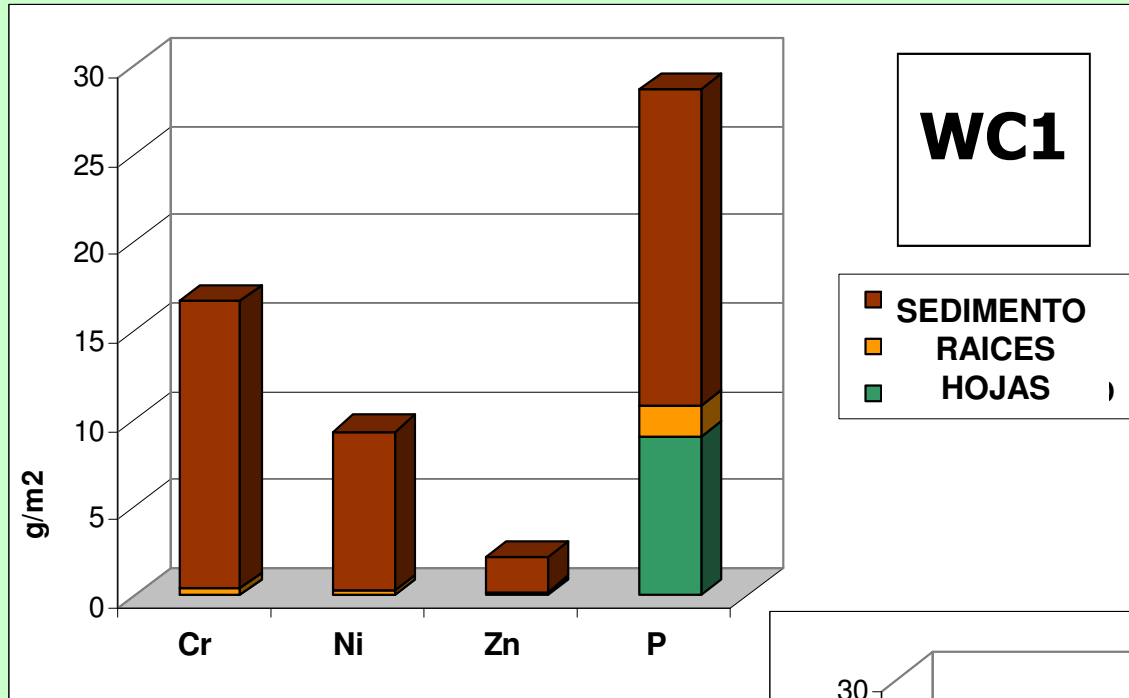
La concentración en sedimento depende fundamentalmente del tiempo de operación del sistema.

Las concentraciones en tejido vegetal reflejan la concentración de metal en el efluente

**DONDE ESTAN
RETENIDOS LOS
CONTAMINANTES?**

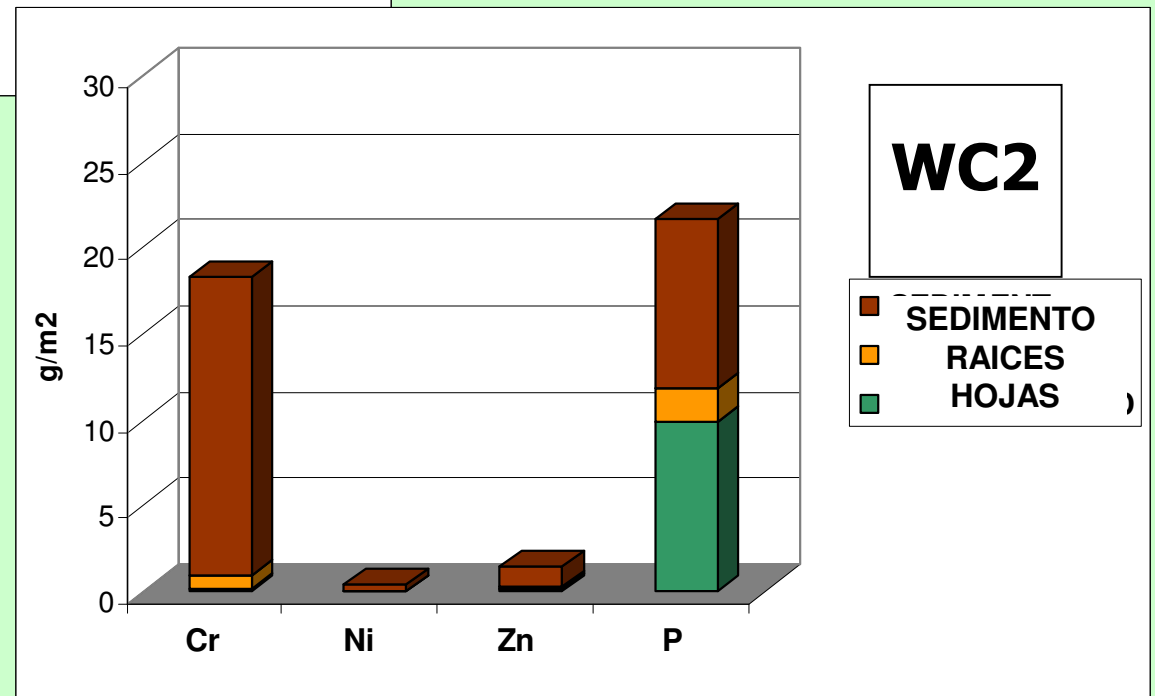


Acumulación de metales y P (g m^{-2}) en el area de entrada



El P es retenido en sedimento y plantas.

Los metales se acumulan en el sedimento.



TRATAMIENTO DE OTRO TIPO DE EFLUENTES



Fabrica de fertilizantes nitrogenados



Lixiviado de relleno sanitario



Efluentes de tambo



Efluentes de lavado de caniles

Lixiviados de Relleno Sanitario



Efluentes complejos, que contienen un gran abanico de contaminantes con concentraciones muy variables.

Metales pesados

Compuestos nitrogenados

Compuestos orgánicos



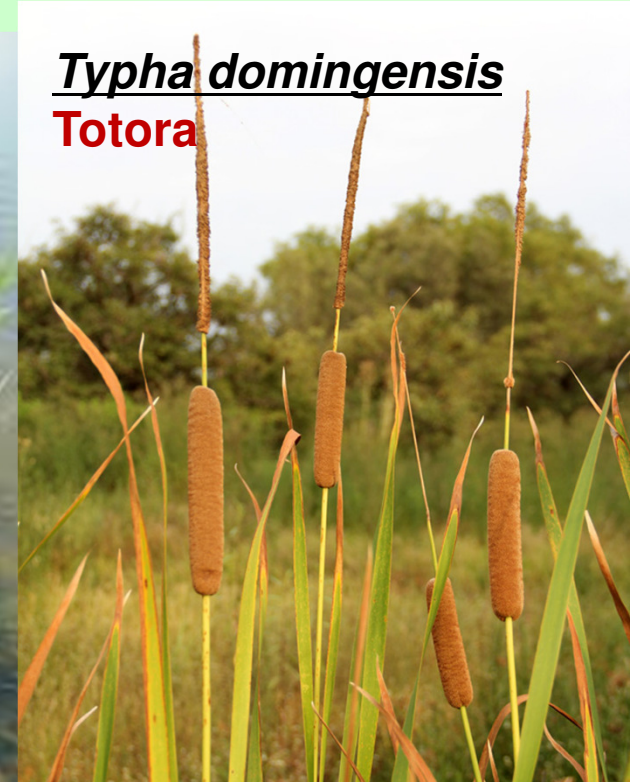
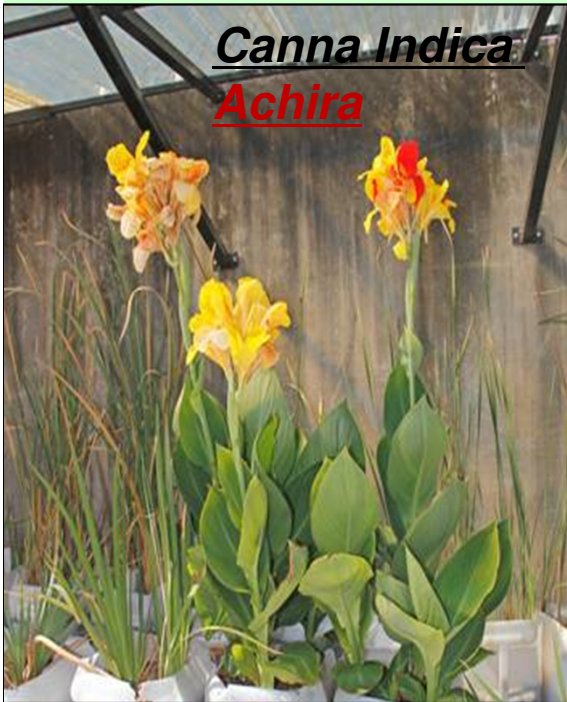
Experiencias de invernadero

Wetland sub superficial de flujo vertical

➤ Se evaluaron diferentes sustratos

Piedra partida	Leca Arena Fina Leca	Leca Arena Gruesa Arena Fina Leca	Piedra Partida Arena Gruesa Arena Fina Piedra Partida	Leca
30 cm	7,5 cm 17,5 cm 5 cm	7,5 cm 5 cm 12,5 cm 5 cm	7,5 cm 5 cm 12,5 cm 5 cm	30 cm

Se evaluaron diferentes especies de macrófitas



- Tolerancia al lixiviado
- Eficiencia en la remoción de contaminantes.

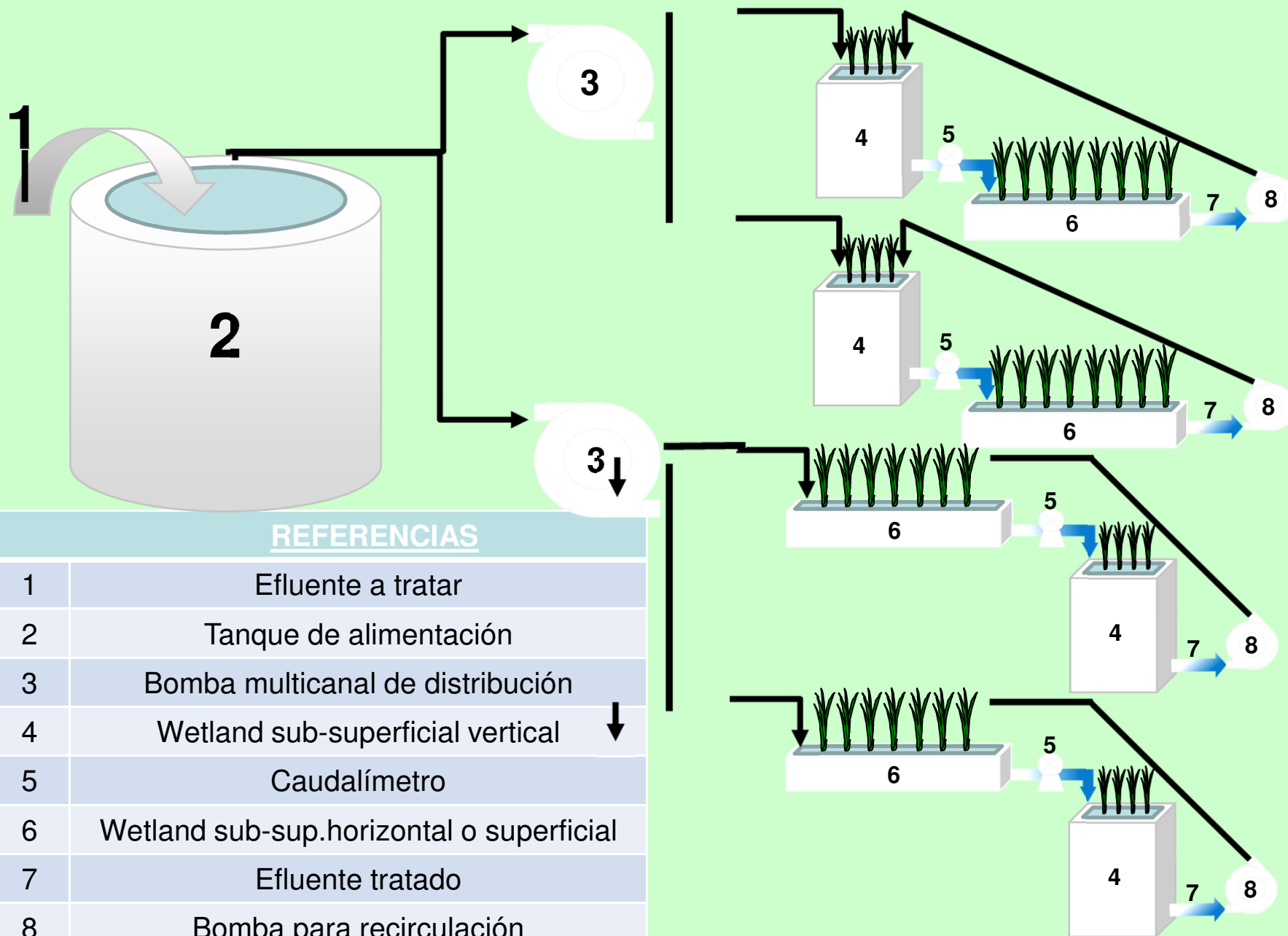




ESCALA MESOCOSMOS: FLUJO VERTICAL

**ESCALA MICROCOSMOS: SISTEMAS HIBRIDOS
VF-HF y VF-FWS**

Wetlands híbridos a escala mesocosmos



REFERENCIAS

1	Efluente a tratar
2	Tanque de alimentación
3	Bomba multicanal de distribución
4	Wetland sub-superficial vertical
5	Caudalímetro
6	Wetland sub-sup.horizontal o superficial
7	Efluente tratado
8	Bomba para recirculación

FABRICA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS





Efluente

La composición química del efluente crudo:

pH: 8.8-10.6;

Conductividad = 1,900-11,500 $\mu\text{S cm}^{-1}$;

Alcalinidad: 799-10,270 mg L^{-1} ,

N-NH_4^+ = 126.3-3,290 mg L^{-1} ;

N-NO_3^- = 7.9-66.5 mg L^{-1} ;

DQO: 111.6-223.3 mg L^{-1} ,

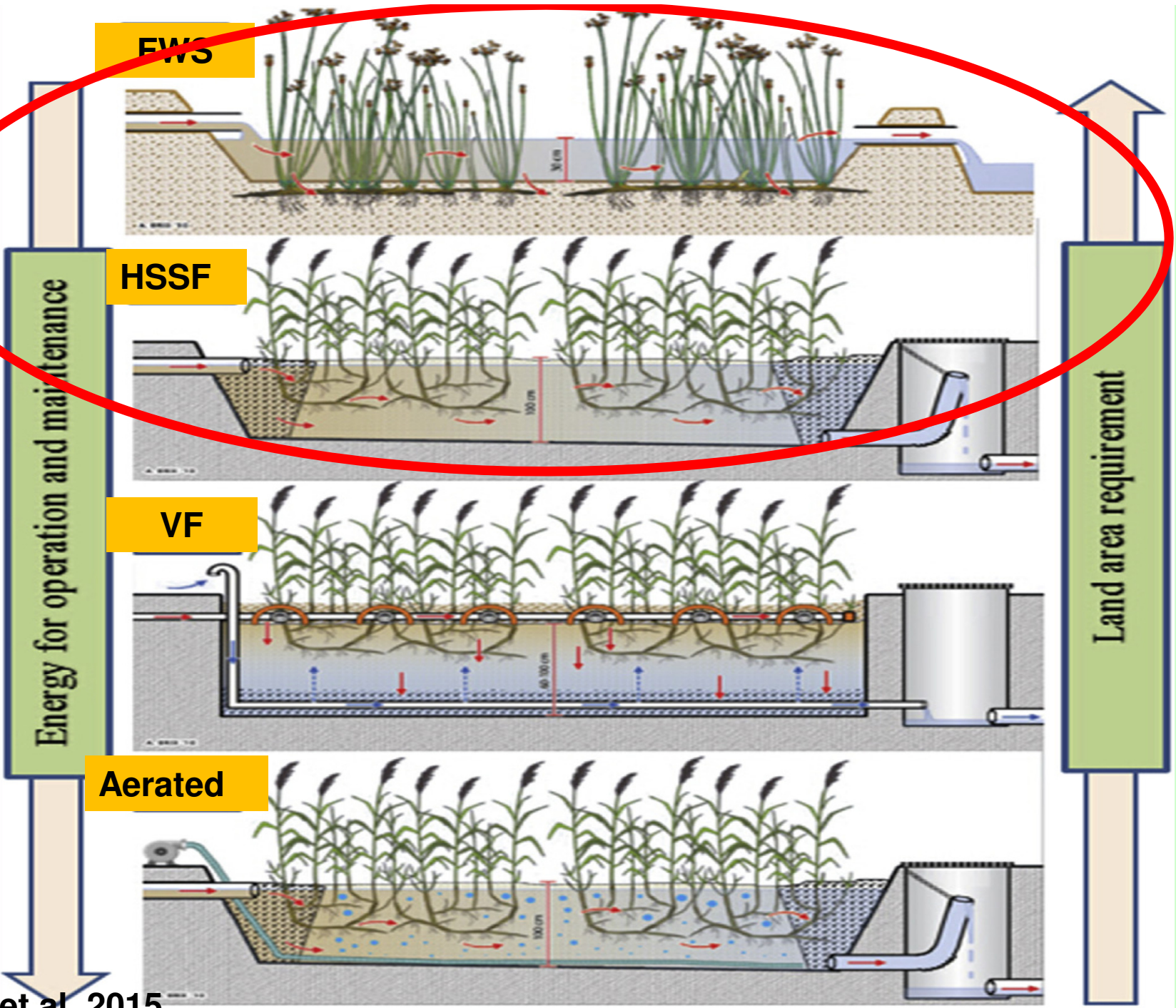
DBO: 59.0-103.2 mg L^{-1} .

Sistemas Híbridos

Vymazal (2013) comparó la eficiencia de 60 sistemas híbridos con diferentes configuraciones para la eliminación de amonio que se encuentran en operación en el mundo.

- VF-HF CWs
- Sistemas híbridos con FWSs,
 - HF-VF CWs
 - VF multietapas CWs

Concluyó que no había diferencia significativa en la remoción de amonio entre las diferentes configuraciones. Por otra parte, comprobó que las configuraciones que incluían un FWS eliminaban más nitrógeno total que las otras configuraciones.



Experimentos

Reactores simulando wetlands de tipo subsuperficial horizontal (HSSFWS) y de flujo libre (FWSWs) se dispusieron por triplicado



SUSTRATOS

Leca 10/20



Canto
rodado



Las macrofitas se aclimataron al efluente antes de iniciar la experiencia.

Typha domingensis
(cattail)

Iris pseudacorus
(yellow lily)

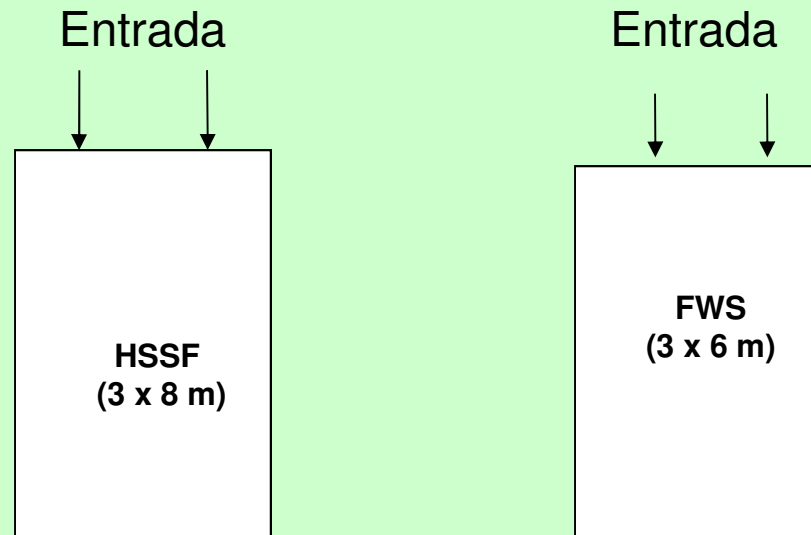
Canna indica
(indian shot)



Que concluimos???



Experiencia a escala piloto

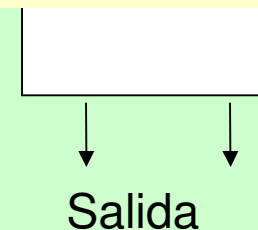
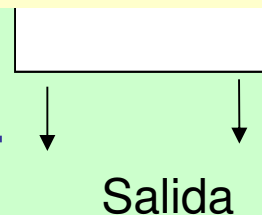


Objetivos:

- ✓ Evaluar la tolerancia de las macrófitas y la remoción de amonio en condiciones reales.
- ✓ Comparar la eficiencia de remoción de las diferentes configuraciones de wetlands híbridos.

Volumen diario: 1000 L

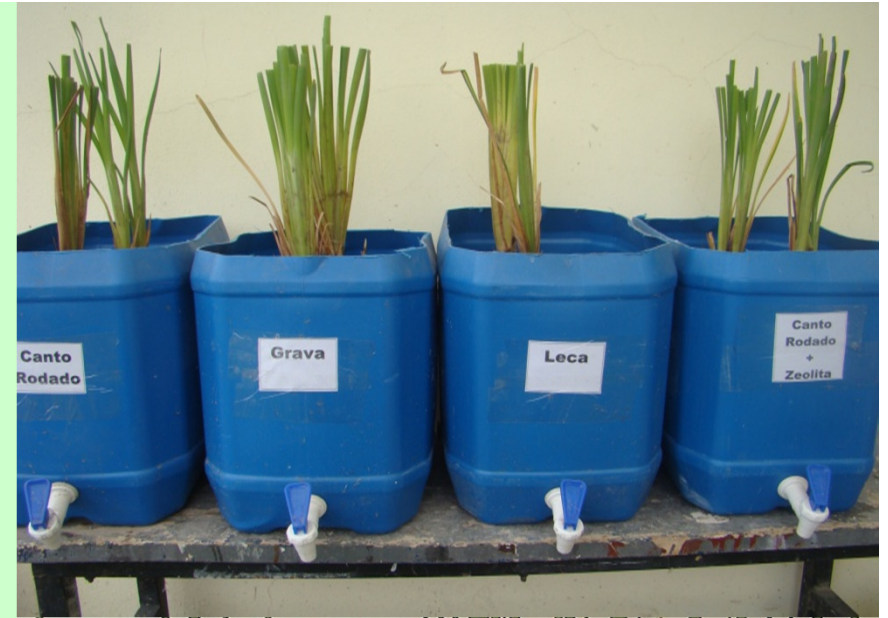
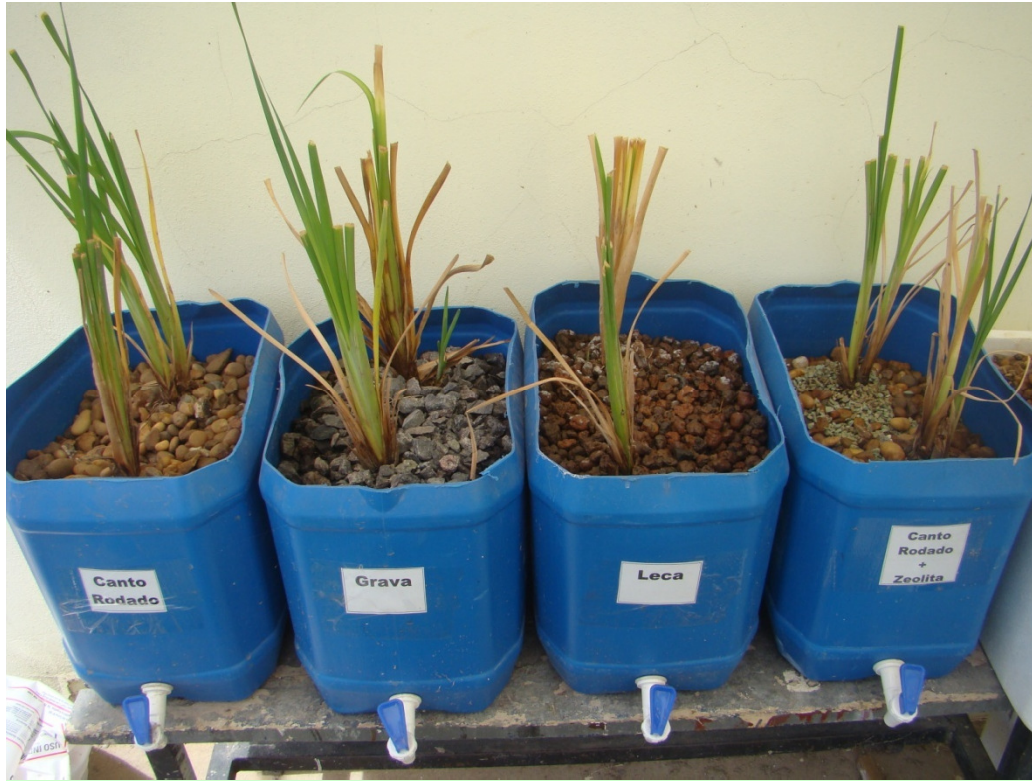
TRH: 7 días











EFLUENTES DE TAMBO Y DE INDUSTRIAS LACTEAS



Leca
Zeolita
Canto rodado
Grava

T. domingensis
C. indica
P. australis





EFLUENTES DE LAVADO CANILES

Primera Reserva Natural Urbana (RNU) Municipal.



FIQ

UNL



Gracias!!