



# Humedales Artificiales: Sistema Sustentable para el Tratamiento de Aguas Residuales -Una perspectiva para México

*Melisa Hermosillo*<sup>1\*</sup>, Ma. del Socorro Linaje<sup>1</sup>, Celso Valencia<sup>1</sup>,  
Laura Hernández<sup>2</sup>, Nagamani Balagurusamy<sup>1\*</sup>.

*1 Laboratorio de Biorremediación de la Escuela de Ciencias Biológicas de la UA de C.*

*2 Unidad de Ciencias del Agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán.*

*\* e-mail: melisa.hermosillo@gmail.com; bnagamani@uadec.edu.mx*



# Humedales Artificiales (HA)

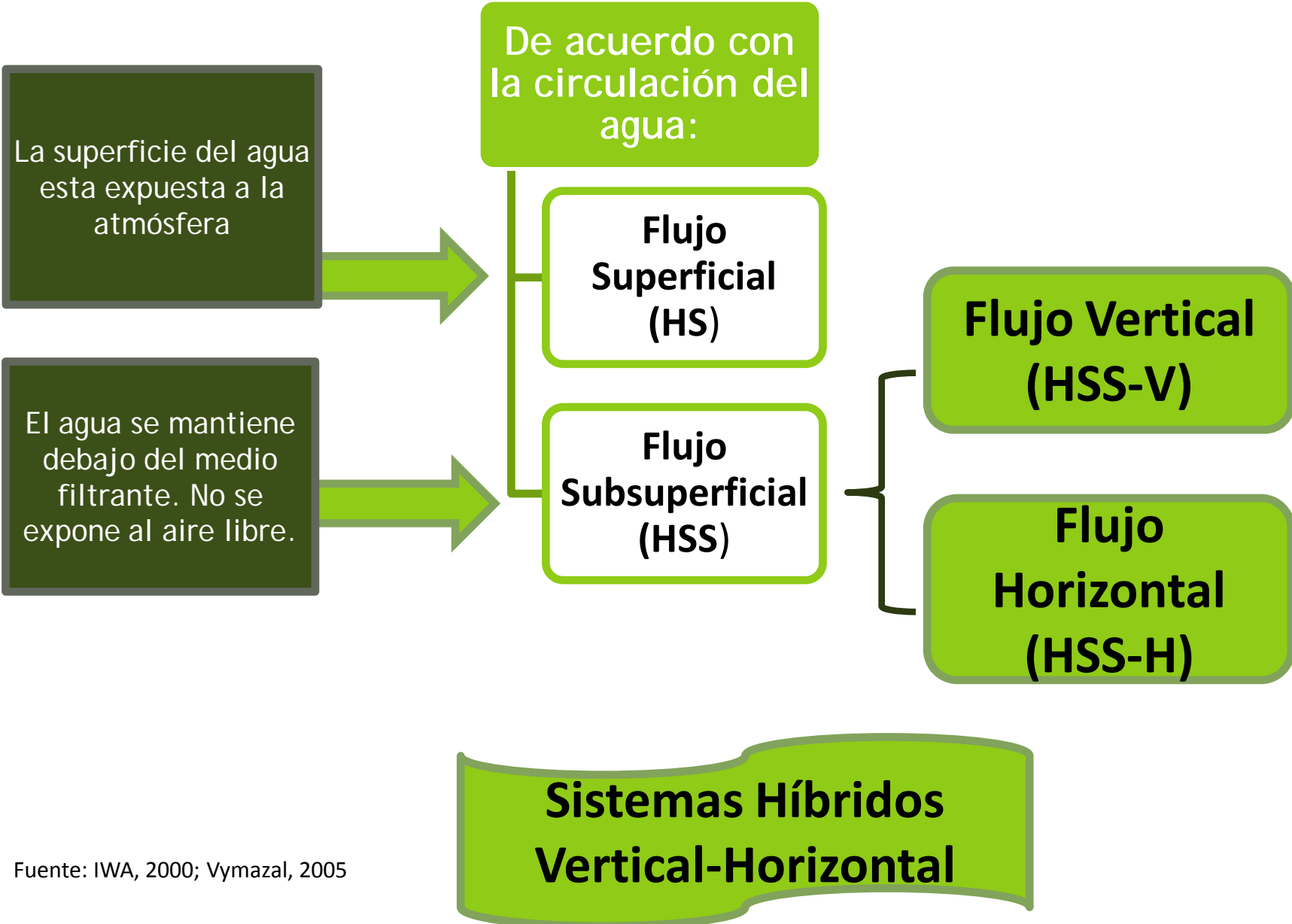
“ Los humedales artificiales son sistemas diseñados y construidos para aprovechar los procesos naturales que involucran plantas macrófitas, medio filtrante y comunidades microbianas en el tratamiento de aguas residuales” (Vymazal,2005).



# Antecedentes

- ① 1950s Käthe Seidel (Alemania) realizó los primeros experimentos utilizando plantas emergentes para el tratamiento de aguas. (Seidel, 1995)
- ① 1970s Kickuth “Root Zone Method”. (Kickuth, 1969,1977)
- ① 1970s-1980s, los HA sólo eran utilizados para tratar aguas domésticas o municipales. (Vymazal, 2005)
- ① Desde los 90s, los HA son usados para tratar todo tipo de agua residual. (Vymazal, 2005)
- ① 1990s, Sistemas Híbridos. (Vymazal y Kröpfelová, 2010)

# Clasificación de los Humedales Artificiales



# Componentes Básicos de los HA

- ⊙ Membrana impermeable. (Vymazal, 2005)
- ⊙ Medio filtrante: arena, grava, gravilla, etc. (Vymazal, 2005)
- ⊙ Microorganismos: Llevan a cabo las reacciones biológicas que degradan la materia orgánica y los compuestos inorgánicos. (García *et al.*, 2003)

# Plantas emergentes más usadas



Figura 1. Tule (*Schoenoplectus spp.*)



Figura 2. Carrizo (*Phragmites spp.*)



Figura 3. Espadaña (*Typha spp.*)

# Beneficios

- ⊙ Tecnología simple.
- ⊙ Reducción de materia orgánica y patógenos.
- ⊙ Alta remoción de DBO, DQO, SST, N, P.
- ⊙ Absorción de metales pesados.
- ⊙ Los HA pueden construirse utilizando materiales locales lo que baja los costos de construcción considerablemente.
- ⊙ Baja producción de materiales de desecho durante la operación del sistema.
- ⊙ Los HSS no generan malos olores ni producen insectos.

(Kadlec, 2009; Zurita *et al.*, 2009)

# Limitaciones

- ⊙ En algunos casos es necesario emplear grandes extensiones de tierra para el tratamiento.
- ⊙ El diseño a veces es complicado.
- ⊙ Largo tiempo de puesta en marcha.
- ⊙ Pueden ser fuentes de emisión de gases de efecto invernadero.



# Emisiones de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>

**Tabla 1. Influent and effluent water quality and gaseous emissions of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, and CH<sub>4</sub> reported for vertical flow and horizontal flow wetlands.**

	Influent (mg/L)			Effluent (mg/L)		Emissions (mg/m <sup>2</sup> /d)		
	TN-N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	BOD	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Vertical flow constructed wetlands								
Zhou et al., 2008						-1.4 to 188		
Inamori et al., 2007	9.8	8.1	38			<0.24		<72
Inamori et al., 2007	18.4	10.2	60			<0.48		<240
Inamori et al., 2007	36.7	19.3	163			<1.44		<480
Sovik et al., 2006 (Koo VFCW)	50.9	35.7	142	31.7	1.7	10.8 <sup>a</sup>	5200 <sup>a</sup>	77.4 <sup>a</sup>
Horizontal flow constructed wetlands								
Maltais-Landry et al., 2009	21.7	0.18		0.2 (g/m <sup>2</sup> d)	0.05 (g/m <sup>2</sup> d)	3	1400	5
Fey et al., 1999			500			3.2		
Sovik et al., 2006 (Kodijarve wetland)	96.5	83.9	125	36.2	5.9	4.5 <sup>a</sup>	2490 <sup>a</sup>	182 <sup>a</sup>
Sovik et al., 2006 (Koo wetland)	43.1	31.7	62.8	34	1.2	2.9 <sup>a</sup>	1301 <sup>a</sup>	96.5 <sup>a</sup>
Yearly average = [summer average (#samples) + winter average (#samples)]/total #samples								
a Yearly average calculated from reported summer and winter data.								

Tratamiento de Agua residual: 16 - 96 mg/m<sup>2</sup>/d N<sub>2</sub>O (IPCC, 2001)

Procesos aerados: 20 - 1800 mg/m<sup>2</sup>/d N<sub>2</sub>O (Czepiel *et al.* 1995)

Procesos anaerobios: 10 - 40.8 mg/m<sup>2</sup>/d N<sub>2</sub>O (Czepiel *et al.* 1995)

Lodos activados: 0 - 77 mg/m<sup>2</sup>/d N<sub>2</sub>O (Sumer *et al.* 1995)

Lodos activados: 53 - 4903 mg/m<sup>2</sup>/d N<sub>2</sub>O (Benckiser *et al.* 1995)

# APLICACIONES EXITOSAS EN MÉXICO



# SANTA FE DE LA LAGUNA WETLAND



⊙ Michoacán, 2005.

⊙ Capacidad de tratamiento= 3 l/s



⊙ Humedales subsuperficiales plantados con carrizo y tule.

# CENTRO ECOLÓGICO AKUMAL



- ⊙ Destino turístico cerca de Cancún.
- ⊙ En los últimos 40 años ha tenido un gran desarrollo.
- ⊙ A mediados de los años '90s se observó que la degradación del arrecife mesoamericano está relacionado con la contaminación de las aguas residuales provenientes de la villa de Akumal. (Nelson 1998).

(Krekeler *et al.*, 2010)

# CENTRO ECOLÓGICO AKUMAL



⊙ Se instalaron humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales en Akumal (Nelson, 1998).

⊙ Más de 50 HSS se han instalado desde mediados de los '90s, incluso se han reportado instalaciones en Tulum y otros lugares cercanos.

(Krekeler *et al.*, 2010)

# PUERTO MORELOS



Existe un humedal subsuperficial sobre la playa que sirve para tratar las aguas residuales provenientes de las regaderas y baños públicos.

Es un pueblo turístico ubicado en Quintana Roo, donde su principal actividad es la pesca.



# HUMEDALES ARTIFICIALES: UNA PERSPECTIVA PARA MÉXICO



# COMPONENTES BÁSICOS DE LA AGENDA DEL AGUA 2030

- ⊙ Todas las aguas residuales municipales deberán ser tratadas. (Antes del 2030)
- ⊙ Todas las aguas residuales industriales deberán ser tratadas. (Después del 2030)
- ⊙ Todas las aguas tratadas deberán ser reutilizadas. (Indefinido)



(Conagua, 2011)



# TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO

## Descarga de Aguas Residuales

- ⊙ Total de aguas residuales municipales generadas: 235.8 m<sup>3</sup>/s
- ⊙ Total de aguas residuales industriales generadas: 190.4 m<sup>3</sup>/s





Según datos de la CONAGUA, en el 2008 solamente se trató el 35% de las aguas residuales municipales generadas.

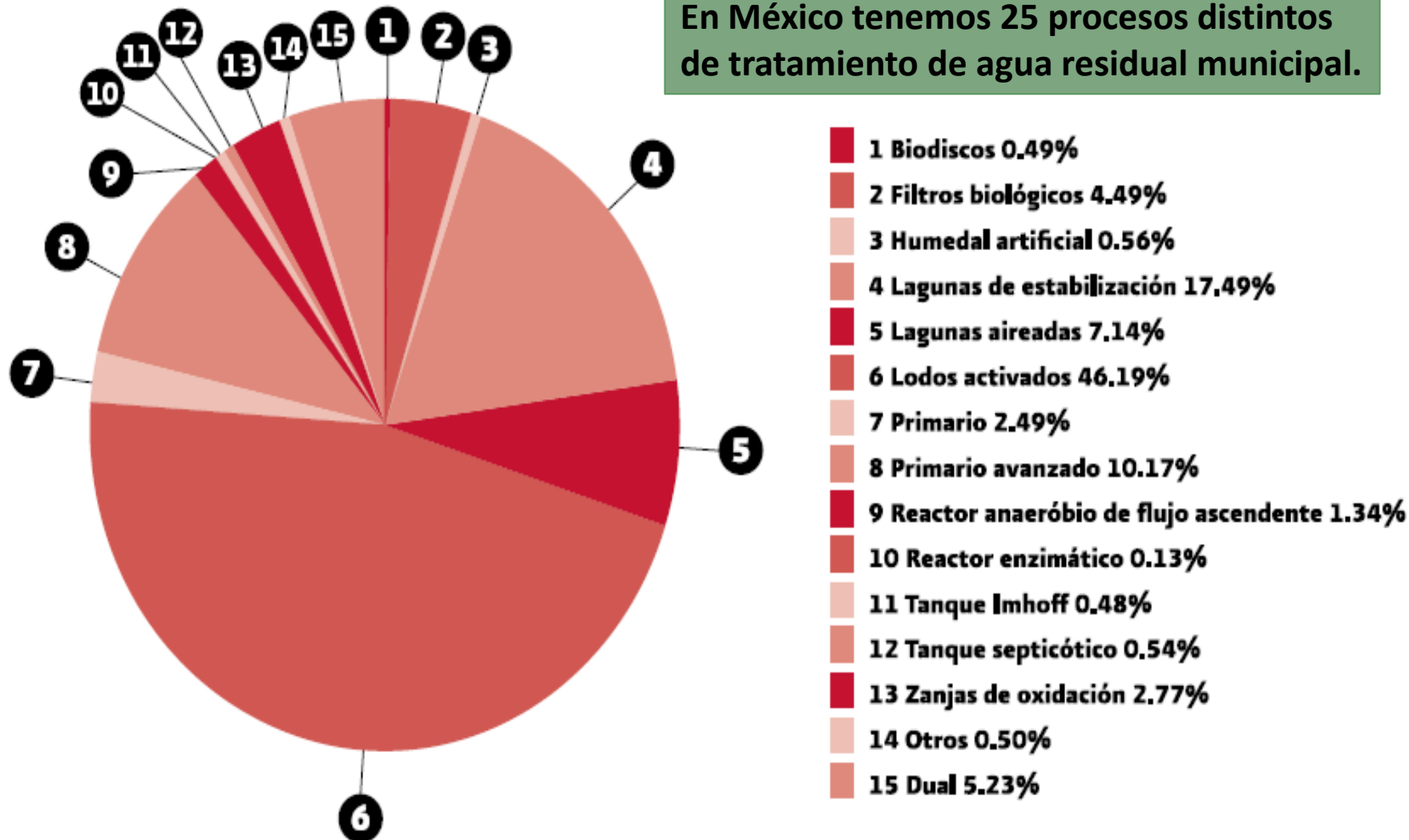
86U6L9992\*



En cuanto al agua industrial, sólo se logró un a cobertura de tratamiento de 18%, respecto al agua residual generada.

## G4.13 Principales procesos de tratamiento de aguas residuales municipales, por caudal tratado, 2008

En México tenemos 25 procesos distintos de tratamiento de agua residual municipal.



NOTA: Para el año 2008 el caudal tratado total fue de 83.6 m<sup>3</sup>/s.

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

# NÚMERO DE HUMEDALES ARTIFICIALES EN MÉXICO, UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES (POR ESTADO)

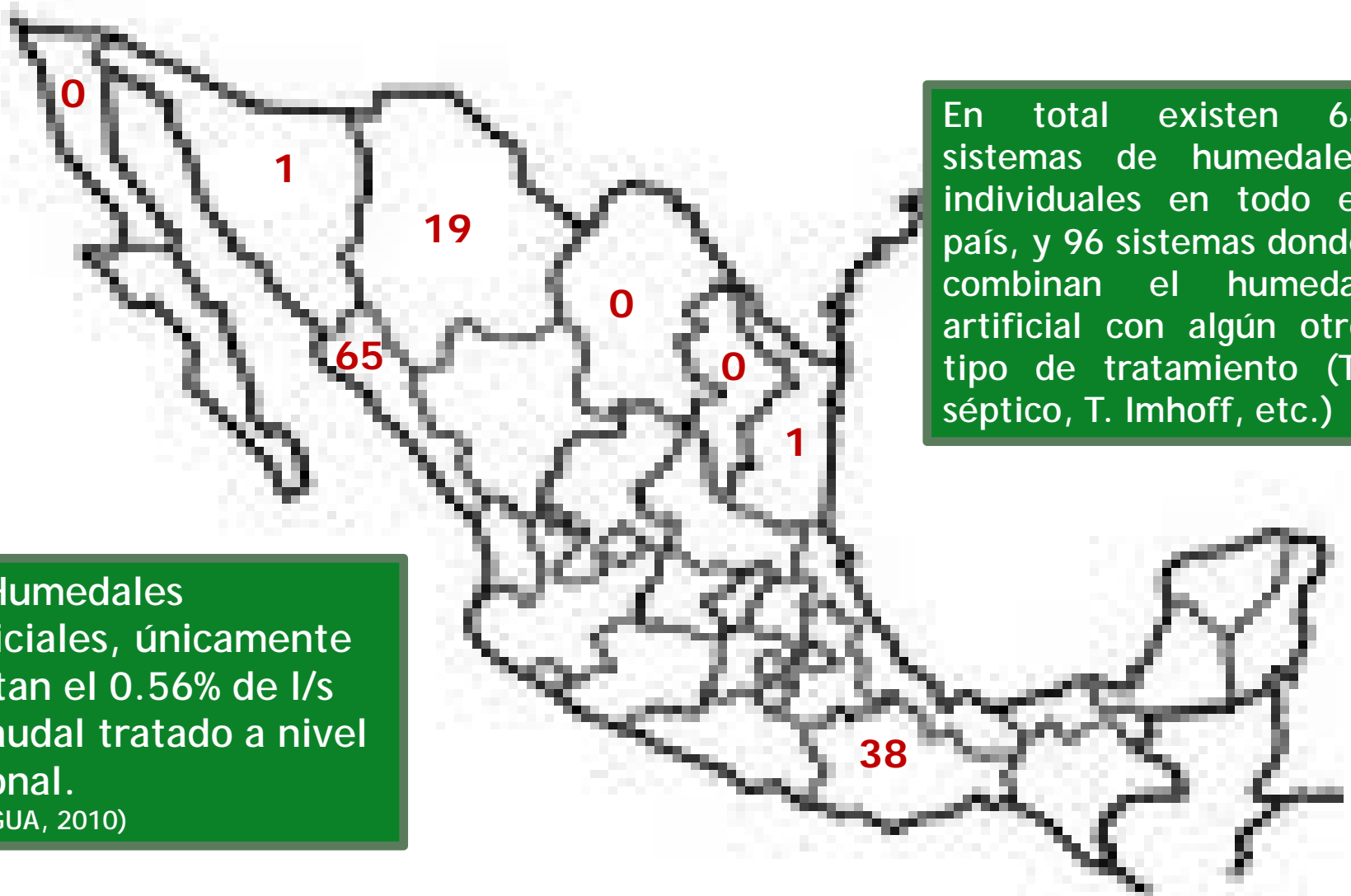
Estado	Humedal	Tanque Séptico + Humedal	UASB + Humedal	Tanque Imhoff + Humedal	Sedimentación + Humedal
Aguascalientes	3				
Baja California					
Baja California Sur					
Campeche					
Coahuila					
Colima		1			
Chiapas	1		1		
Chihuahua	1				18
Distrito Federal					
Durango					
Guanajuato					
Guerrero					
Hidalgo					
Jalisco	2				
México	1		1		
Michoacán	4				



# NÚMERO DE HUMEDALES ARTIFICIALES EN MÉXICO, UTILIZADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES (POR ESTADO)

Estado	Humedal	Tanque Séptico + Humedal	UASB + Humedal	Tanque Imhoff + Humedal	Sedimentación + Humedal
Morelos					
Nayarit	3				
Nuevo León					
Oaxaca	38				
Puebla		1			
Querétaro	1				
Quintana Roo					
San Luis Potosí	2		1		
Sinaloa	1	64			
Sonora	1				
Tabasco	2			1	
Tamaulipas	1				
Tlaxcala	3	2			
Veracruz			6		
Yucatán					
Zacatecas					
<b>Totales:</b>	<b>64</b>	<b>68</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>18</b>

# UTILIZACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO



En total existen 64 sistemas de humedales individuales en todo el país, y 96 sistemas donde combinan el humedal artificial con algún otro tipo de tratamiento (T. séptico, T. Imhoff, etc.)

Los Humedales Artificiales, únicamente aportan el 0.56% de l/s de caudal tratado a nivel nacional.  
(CONAGUA, 2010)

# POTENCIAL DE LOS HA EN MÉXICO

- ⊙ A pesar de ser ampliamente utilizados en Europa y Estados Unidos, el desarrollo de esta tecnología no se ha visto favorecida en países en vías de desarrollo.
- ⊙ México tiene un enorme potencial y necesidad de implementar este tipo de tecnología de bajo costo y ambientalmente aceptada para el tratamiento de aguas residuales.



# BENEFICIOS EXTRAS:

- Reutilización de agua para el riego de parques, jardines, campos de golf, etc.
- Los HA se pueden utilizar para plantar especies ornamentales que posteriormente puedan ser comercializadas.
- Comercialización de artesanías que utilicen como materia prima la biomasa generada durante la operación de un HA.



# REFERENCIAS

- ① CONAGUA, 2010. Statistics on Water in México. Edition 2010.
- ① CONAGUA, 2009. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación.
- ① EPA, 2000. Wastewater Technology Fact Sheet Wetlands: Subsurface Flow. Washington D.C., E.E.U.U., (EPA 832-F-00-023).
- ① EPA, 2000. Wastewater Technology Fact Sheet Free Water Surface Wetlands. Washington D.C., E.E.U.U., (EPA 832-F-00-024).
- ① Fuchs, V., Mihelcic, J. and Gierke, J. 2011. Life cycle assessment of vertical and horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment considering nitrogen and carbon greenhouse gas emissions. Water Research 45: 2073-2081
- ① Kadlec, R. 2009. Comparison of free water and horizontal subsurface treatment wetlands. Ecological Engineering 35:159-174.
- ① Pangala, S., Reay, D. and Heal, K. 2010. Mitigation of methane emissions from constructed farm wetlands. Chemosphere 78:493-499
- ① Vymazal, J. 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. Ecological Engineering 25:478-490.
- ① Vymazal, J. 2005. Constructed wetlands for wastewater reclamation. Ecological Engineering 25:475-477.
- ① Vymazal, J. y Kröpfelová, L. A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years of operation. Ecol. Eng. (2010), doi:10.1016/j.ecoleng.2010.03.004
- ① Zurita, F., De Anda, J. and Belmont M.A. 2009. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. Ecological Engineering 32:861-869.

**GRACIAS!!**

