

Objetivos

El objetivo general consistió en la aplicación y evaluación a escala piloto de un humedal de flujo vertical cultivado con *I. pseudacorus* (HFV2) como tratamiento terciario para reducir la demanda de oxígeno carbonosa y nitrogenada del efluente de un tratamiento físico-químico de una EDAR urbana. El estudio también incluye una evaluación del funcionamiento del humedal sin cultivo de plantas (HFV4). Un resumen extenso del trabajo se publicó como "Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas" (*Ingeniería Investigación y Tecnología, XIV(2): 223-235, 2013*).

Metodología



Sistema experimental de humedales artificiales: vista general

Entre los meses de marzo a junio del 2011 los humedales fueron puestos en marcha y explotados. Se realizaron 3 fases experimentales, cada una con carga hidráulica y de contaminación distinta.

El aporte de agua desde el tanque de alimentación se realizó de forma intermitente mediante la aplicación de pulsos. Se utilizó un temporizador eléctrico para encender y apagar la bomba de alimentación a los humedales. La duración de los pulsos fue constante, 3 minutos, a lo largo de la experimentación. Entre pulso y pulso se hacía una pausa de 57 minutos. Es decir, fueron ciclos de 60 min (3 + 57). El número de pulsos se repitió día tras día durante el tiempo que duró cada una de las fases experimentales.

Una vez ejecutado el número de pulsos diarios, los humedales permanecían sin aportación de caudal hasta el día siguiente a la misma hora, momento en el cual empezaba de nuevo el ciclo.

Se ensayaron 3 cargas hidráulicas. Cuando se cambiaba la CH se dejaba un periodo de estabilización de 7 a 10 días para alcanzar el estado estacionario, y después en un lapso de 2 semanas se tomaban 5 muestras para la evaluación.

Material	Espesor (cm)	Diámetro aparente (mm)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (cm/d)
Arena gruesa	20	2	1.2	54	10 ⁴
Turba	10	0.8	0.5	81	10 ⁴
Grava media	40	10	1.33	49	10 ⁶
Grava gruesa	10	40	1.35	48	10 ⁷

Tabla 1. Características físicas del sustrato de los HFV

Autores

A. Jácome Burgos (UDC) Michelle Barros (Máster UDC)
J. Suárez López (UDC) Reyes Rodríguez (Máster UDC)
Ainhoa Garrote (Máster UDC)

Resultados y Conclusiones

La Tabla 3 presenta la composición promedio del agua problema y de los efluentes de los humedales HFV2 y HFV4 de cada fase experimental. También incluye la carga hidráulica experimental. Cada valor de concentración presentado es el promedio de 5 mediciones realizadas durante el estado estacionario en un lapso de 2 semanas.

Parámetro	Unidad	FASE I			FASE II			FASE III		
		AF	HFV2	HFV4	AF	HFV2	HFV4	AF	HFV2	HFV4
CH	cm/d	n.p.	8.3	8.8	n.p.	4.2	4.4	n.p.	16.6	17.6
pH		7.0	5.6	6.4	7.3	4.4	5.4	7.2	4.0	5.8
DQOT	mg O/L	141	31	43	111	21	42	84	13	22
DQOS	mg O/L	82	20	30	66	12	24	75	14	18
Alcalinidad	mg/L ⁽¹⁾	165	10	26	215	2	24	170	0	14
NH ₄ ⁺	mg N/L	37	7.5	14	42	1.8	7.0	39	10	13
NO ₂ ⁻	mg N/L	0.01	0.09	0.14	0.02	0.05	0.06	0.01	0.03	0.08
NO ₃ ⁻	mg N/L	0.15	32	30	0.26	39	39	0.09	33	30
NT	mg/L	42	47	52	49	57	66	44	48	47
NTK ⁽²⁾	mg/L	42	15	22	49	18	27	44	14	17
N-Org ⁽³⁾	mg/L	5.0	7.5	7.6	7.0	16	20	5.0	4.0	3.6
SS	mg/L	29	37	46	20	23	57	14	11	23
SSV	mg/L	19	13	16	11	6	12	13	9	10

Tabla 3. Composición media del agua problema y de los efluentes de los humedales durante el estado estacionario. (1) como CaCO₃; (2) NTK = NT - NO₃ - NO₂⁻; (3) N-Org = NTK - NH₄⁺. AF = afluente. n.p. = no procede. DQOT = DQO total; DQOS = DQO soluble.

Los humedales funcionaron eficazmente como tratamiento de afino de materia orgánica (DQO) y como tratamiento terciario de nitrificación. El humedal plantado elimina de 76 – 85% de la DQO y de 75 al 96% del amonio. El humedal plantado obtiene una mejora de al menos 10 puntos porcentuales en eliminación de materia orgánica y amonio.

El aumento de la carga hidráulica (CH) produjo una disminución del rendimiento en eliminación de nitrógeno amoniacal. Sin embargo, la cinética de la nitrificación aumentó cuando se incrementó la CH. En cuanto a nitrato, se observa mayor concentración siempre en el humedal con plantas que en el humedal sin plantas. En cambio la concentración de nitrito efluente es algo mayor en el humedal sin plantas. Esto sugiere que la aireación en el HFV2 es mayor debido a las plantas, y esto hace que la segunda etapa de la nitrificación (NO₂⁻ → NO₃⁻) sea más eficaz.

Los resultados sugieren que la incorporación de una capa de turba como constituyente del sustrato produce un incremento de la superficie específica disponible para el desarrollo de una biocenosis nitrificante, lo cual estimula un elevado grado de nitrificación a pesar de los reducidos tiempos de retención hidráulica del proceso.

VARIABLE:	FASE I		FASE II		FASE III	
	HFV2	HFV4	HFV2	HFV4	HFV2	HFV4
Nº pulsos/día	4	4	2	2	8	8
Duración pulso (min)	3	3	3	3	3	3
Pausa entre pulsos (min)	57	57	57	57	57	57
Q diario (L/d)	108	115.2	54	57.6	216	230.4
Carga hidráulica (cm/d)	8.3	8.8	4.2	4.4	16.6	17.6
Carga orgánica, B _{DQO} (g DQO/m ² /d)	11.7	12.4	4.7	4.9	14.0	14.8
Carga de NTK, B _{NTK} (g N/m ² /d)	3.5	3.7	2.0	2.1	7.3	7.7

Tabla 2.- Resumen de condiciones operacionales de cada fase experimental