

Análisis de turbas como medio de soporte en lechos de infiltración para la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales*

José Manga**, María José Palma***, Diana Andrade****,
Diego Abad***** y Nury Logreira*****

Grupo de Investigación en Tecnologías del Agua
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad del Norte
Barranquilla (Colombia)
gta@uninorte.edu.co, jmanga@uninorte.edu.co

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del estudio, en planta piloto de laboratorio, de los procesos de eliminación de materia orgánica, en aguas residuales urbanas, empleando turbas de la región Caribe colombiana como medio de soporte en lechos de infiltración. Tres tipos de turbas, provenientes de diferentes zonas de la región Caribe, fueron seleccionadas para conformar los lechos de infiltración. Éstos fueron evaluados bajo distintas condiciones de operación, teniendo en cuenta variaciones en el contenido orgánico del agua residual afluyente (150 y 250 mg DBO₅/L), la carga hidráulica aplicada (30, 40, 60 y 80 cm/d) y el espesor del material en el lecho (30, 40 y 50 cm). Los resultados obtenidos, para los tres tipos de material ensayados, muestran elevadas remociones de materia orgánica, por lo que se sugiere la utilización de la turba para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la región.

Palabras clave: Turbas, lechos de infiltración, tratamiento de aguas residuales, materia orgánica.

Fecha de recepción: 8 de marzo de 2004
Fecha de aceptación: 23 de marzo de 2004

* Este estudio de investigación fue financiado por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología «Francisco José de Caldas» - COLCIENCIAS.

** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Doctorado en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia (España). Profesor e investigador del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte. jmanga@uninorte.edu.co

*** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental de la misma universidad. mjosepalma@hotmail.com

**** Ingeniero Civil, Universidad del Norte.

***** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental de la misma universidad. djabad@hotmail.com

***** Ingeniero Civil, Universidad del Norte; Especialista en Análisis y Gestión Ambiental de la misma universidad. Magíster en Hidrología del Centro de Estudios y Experimentaciones de Madrid. Profesora e investigadora del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Norte. nlogreir@uninorte.edu.co

Abstract

Results obtained from investigating Colombian Caribbean peat soils as percolator material in organic removal from domestic wastewaters at laboratory scale peat filters are presented. Three peat materials from the Colombian Caribbean Coast were selected to carry out this study. Three different depths (30, 40 and 50 cm) of peat columns were tested under different operating conditions, taking into account the influent organic matter concentrations (BOD_5 of 150 and 250 mg/L) and the hydraulic loading rate (30, 40, 60 and 80 cm/d). Results of the column studies at steady-state showed excellent BOD_5 and COD removals. Therefore, using local available peat materials is an effective medium in soil filtration system for the treatment of domestic wastewaters from Colombian Caribbean Coast.

Key words: Peat, soil infiltration systems, wastewater treatment, organic removal.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de materia orgánica, en porcentajes superiores a los característicos de los suelos minerales, da lugar a la formación de los suelos húmicos. Cuando los contenidos son muy elevados aparecen los suelos turbosos u orgánicos. Esta acumulación de materia orgánica bajo condiciones de anaerobiosis, como las que se presentan en los suelos hidromorfos saturados permanentemente con agua, da lugar a lo que se conoce como turba.

Dentro de las tecnologías de depuración de aguas residuales, los lechos de turba se inscriben en el campo de los tratamientos naturales, ya que aprovechan las peculiares características de un material natural, y mediante la aplicación de bajas cargas orgánicas e hidráulicas, se logra la depuración casi completa del agua residual. Diferentes estudios encontrados en la literatura muestran que la turba es un buen medio de soporte para el tratamiento de aguas residuales [1, 2, 3, 4, 5], debido a que presenta buenos resultados no sólo en la eliminación de materia orgánica y sólidos suspendidos sino también en la eliminación de nutrientes.

Este estudio tiene como propósito determinar el potencial que tienen las turbas de la región Caribe colombiana para ser utilizadas como medio de soporte en lechos de infiltración para la eliminación de materia orgánica de las aguas residuales domésticas. Por lo anterior se evaluó el funcionamiento de los lechos de turba bajo diferentes condiciones de operación, teniendo en cuenta variaciones en la carga hidráulica, el contenido orgánico y el espesor del material turboso en el lecho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la selección de los materiales turbosos utilizados en el desarrollo de este estudio se tomaron en cuenta dos zonas que por sus características son posibles fuentes de este tipo de material: humedales naturales y áreas de manglar. De esta forma, fueron seleccionados tres materiales turbosos con diferentes contenidos de materia orgánica y características físicas. Dos de los materiales escogidos presentaron bajos contenidos de materia orgánica, pero diferentes características de tipo físico. Estos materiales se denominaron A y B. En cuanto al tercero, éste presenta un alto contenido orgánico y se denominó material tipo C. Las turbas ensayadas fueron caracterizadas de acuerdo con los estándares de la *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1980) [6,7].

Se construyó una planta piloto de laboratorio constituida básicamente por nueve lechos de infiltración y el sistema de alimentación. Los lechos de infiltración consistieron en columnas de acrílico de 10 cm de diámetro y 70 cm de altura, en las cuales se depositó el material seleccionado a diferentes alturas (30, 40 y 50 cm). En cada lecho de infiltración se empleó un filtro de grava fina en la parte superior para mejorar la distribución del afluente, e igualmente en la parte inferior del mismo, para evitar el arrastre de la turba.

Con relación al sistema de alimentación, el agua residual afluente fue preparada en laboratorio, con características típicas de un agua residual doméstica. Los contenidos de materia orgánica (medida como mg DBO₅/L) estudiados fueron 150 y 250. Los dos niveles escogidos varían desde un agua diluida hasta una agua moderadamente concentrada [8]. En la tabla 1 se muestran las características generales del agua residual afluente al sistema.

Tabla 1
Caracterización del agua residual afluente al sistema

PARÁMETRO	150 mg DBO ₅ /L	250 mg DBO ₅ /L
DBO ₅ (mg O ₂ / L)	143 – 158	238 – 263
DQO (mg O ₂ / L)	201 – 223	365 – 367
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	35 – 40	35 – 40
Amonio (mg N-NH ₄ /L)	12.83 – 14.18	16.00 – 17.70
NOx (mg N-NOx /L)	No Detectable	No Detectable
Nitrógeno Total (mg N/L)	13,20 – 14,70	16,50 – 17,70
Fósforo Total (mg P/L)	9.50 – 11.03	9.50 – 11.03
Temperatura (°C)	25.0 – 27.0	25.0 – 27.0
pH	7.10 – 7.80	7.10 – 7.80
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	109.40– 124.60	109.40– 124.60
Conductividad (µS/cm)	475 – 500	475 – 500

Las cargas hidráulicas evaluadas en este estudio fueron de 20, 40, 60 y 80 cm/día, las cuales guardan relación con lo reportado en varios estudios en planta piloto de laboratorio encontrados en la literatura [9, 10].

En la tabla 2 se observan las diferentes condiciones de operación evaluadas, para cada material, durante el funcionamiento de la planta piloto. Cada condición de operación se mantuvo por un período de siete semanas, durante el cual se efectuó un monitoreo continuo del comportamiento del sistema. Una vez alcanzado el estado estacionario, para cada condición de operación, se realizó una analítica exhaustiva en el agua residual efluente del sistema, y se evaluaron los parámetros mostrados en la tabla 1.

Tabla 2
Condiciones de operación del sistema

Variables estudiadas	Lecho de turba											
	1				2				3			
Altura del material (cm)	30				40				50			
Carga hidráulica (cm/d)	30	40	60	80	30	40	60	80	30	40	60	80
Contenido orgánico (mg /L)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales del medio de soporte

Material A

Este material presenta una estructura granulométrica en la cual el 50% del material se concentra alrededor de un diámetro de 0.81 mm, lo cual es indicador de un material muy fino. Su coeficiente de uniformidad, de 3.02, sugiere que el material posee una buena permeabilidad, debido a un menor acomodamiento de sus partículas. Los resultados de los análisis para este material indicaron un bajo contenido de materia orgánica, de 26.11 % (turba muy descompuesta). Posee, además, un elevado contenido de aire, de 54.82%, lo que indica una alta porosidad efectiva y se traduce en transmisibilidades hidráulicas elevadas. Presenta un espacio poroso total de 87.83%.

Material B

Este material posee una estructura granulométrica más homogénea en su fracción fina que el material A, en la cual el 50% del material se concentra alrededor de 0.5 mm de diámetro. Su coeficiente de uniformidad, de 3.33, indica una adecuada permeabilidad, al igual que el material A. En cuanto al contenido de materia orgánica, de 31.65%, éste sugiere un material turboso parcialmente descompuesto. Este material presenta un espacio poroso total del 83.86% y un contenido de aire menor al material A, de 42.9%.

Material C

Este material presenta un diámetro medio de 0.95 mm y posee un coeficiente de uniformidad de 3.87. En comparación con los materiales A y B, este material presenta un mayor contenido de materia orgánica, de 76.2%. Adicionalmente, debido a que presenta un espacio poroso total superior al de las turbas restantes, de 91.1%, y un mayor contenido de aire; esto permitirá suficientes espacios entre las superficies adyacentes que faciliten, por una parte, el flujo de líquido y aire a través del lecho, y por otra, el crecimiento de la película microbiana sin obstruir los intersticios.

Capacidad de remoción de compuestos orgánicos

La capacidad de los lechos para la remoción de materia orgánica se evaluó para las diferentes condiciones de operación (véase tabla 2). Las remociones de DBO_5 y DQO obtenidas, para cada material, durante la aplicación del primer contenido orgánico, se muestran en las tablas 3 y 4. Las tablas 5 y 6 corresponden a los resultados obtenidos para el segundo contenido orgánico ensayado.

En general, para todos los materiales estudiados, las mayores remociones de materia orgánica se obtuvieron para el menor contenido orgánico (150 mg DBO_5/L) y los mayores tiempos de retención del agua en el sistema, es decir, en el rango más bajo de carga hidráulica (30 y 40 cm/d). Adicionalmente, para los tres tipos de material ensayados, se observó que los lechos de menor altura (30 cm) presentaron menores eficiencias en la remoción de materia orgánica.

Tabla 3

Valores promedio de remoción de DBO_5 obtenidos durante la aplicación del contenido orgánico de 150 mg DBO_5/L

Carga hidráulica (cm/d)	DBO_5 afluente (mg/L)	Material A			Material B			Material C		
		30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm
30	152,95	90,11%	92,32%	94,52%	93,95%	96,24%	98,28%	97,38%	98,53%	99,10%
40	150,35	86,70%	89,03%	90,02%	93,24%	96,12%	98,00%	96,01%	98,00%	98,89%
60	152,17	83,13%	84,45%	84,56%	92,33%	95,07%	98,03%	95,18%	97,15%	98,36%
80	151,00	80,13%	81,46%	83,44%	92,05%	94,92%	97,79%	95,25%	96,80%	98,12%

Tabla 4

Valores promedio de remoción de DQO obtenidos durante la aplicación del contenido orgánico de 150 mg DBO_5/L

Carga hidráulica (cm/d)	DQO afluente (mg/L)	Material A			Material B			Material C		
		30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm
30	219,14	88,87%	89,83%	93,01%	92,33%	95,41%	97,87%	95,59%	95,72%	97,79%
40	217,09	83,28%	82,47%	84,32%	89,95%	92,18%	92,39%	92,81%	94,99%	95,29%
60	219,90	80,85%	82,17%	82,40%	92,58%	94,67%	97,03%	94,32%	95,63%	97,48%
80	213,73	76,84%	78,30%	80,92%	91,06%	93,54%	96,76%	93,95%	95,77%	96,08%

Como se puede observar en las tablas 3 y 4, durante el período de aplicación del primer contenido orgánico (150 mg DBO_5/L), los tres materiales ensayados presentaron porcentajes de remoción de DBO_5 entre 80 y 99%, correspondientes a valores en el efluente de 30 y 1,38 mg O_2/L respectivamente. De igual forma, en el caso de la DQO, los porcentajes de remoción variaron entre 76 y 97%, con valores en el efluente de 49,51 y 4,84 mg O_2/L respectivamente.

Tabla 5

Valores promedio de remoción de DBO_5 obtenidos durante la aplicación del contenido orgánico de 250 mg DBO_5/L

Carga hidráulica (cm/d)	DBO_5 afluente (mg/L)	Material A			Material B			Material C		
		30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm
30	252,92	86,16%	87,28%	91,04%	91,17%	94,14%	96,31%	96,38%	97,69%	98,09%
40	252,75	80,42%	83,38%	86,75%	90,50%	92,35%	95,71%	93,80%	96,04%	98,48%
60	252,17	76,01%	78,19%	80,04%	87,71%	89,23%	92,00%	90,22%	94,25%	96,23%
80	251,33	72,02%	73,21%	76,26%	83,02%	84,28%	90,05%	90,19%	93,10%	95,29%

Tabla 6

Valores promedio de remoción de DQO obtenidos durante la aplicación del contenido orgánico de 250 mg DBO₅/L

Carga hidráulica (cm/d)	DQO afluente (mg/L)	Material A			Material B			Material C		
		30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm	30cm	40cm	50cm
30	366,58	84,50%	86,28%	89,95%	91,68%	93,21%	95,60%	95,33%	95,68%	97,54%
40	365,54	77,91%	81,09%	85,56%	89,55%	91,36%	92,78%	92,79%	94,81%	94,49%
60	365,13	75,49%	77,20%	79,21%	87,07%	88,58%	91,50%	88,89%	92,76%	94,74%
80	364,43	69,94%	71,69%	75,54%	79,94%	79,18%	86,43%	83,36%	88,88%	92,16%

Como se observa en las tablas 5 y 6, al incrementar el contenido orgánico en el agua residual afluente (250 mg DBO₅/L) se obtuvieron remociones de DBO₅ entre 72 y 98%, correspondientes a valores de DBO₅ en el efluente de 70,33 y 4,83 mg O₂/L respectivamente. Los valores de remoción de DQO variaron entre 70 y 97%, los cuales corresponden a valores de DQO en el efluente de 109,55 y 9,0 mg O₂/L respectivamente.

Respecto a las turbas ensayadas, el material C presentó los mayores porcentajes de remoción de materia orgánica, con valores entre 90 y 99% en la eliminación de DBO₅ y entre 83 y 97% en la eliminación de DQO. Los valores correspondientes a DBO₅, registrados en el efluente, se encuentran entre 24.67 y 1.38 mg O₂/L, y para la DQO, entre 60.66 y 4.84 mg O₂/L. Cabe anotar que el material C no se vio afectado significativamente por el incremento en los valores de carga hidráulica y contenido orgánico, es decir, mantuvo siempre altas remociones.

En cuanto al efecto de la altura del lecho en la eliminación de materia orgánica, se observó que al aumentar el espesor de material en el lecho, las remociones obtenidas fueron mayores (véase figura 1). La condición de operación representada en la figura 1 corresponde al contenido orgánico de 150 mg DBO₅/L y la carga hidráulica de 30 cm/d. Adicionalmente, se puede observar la evolución de los lechos, en la eliminación de materia orgánica, hasta alcanzar el estado estacionario.

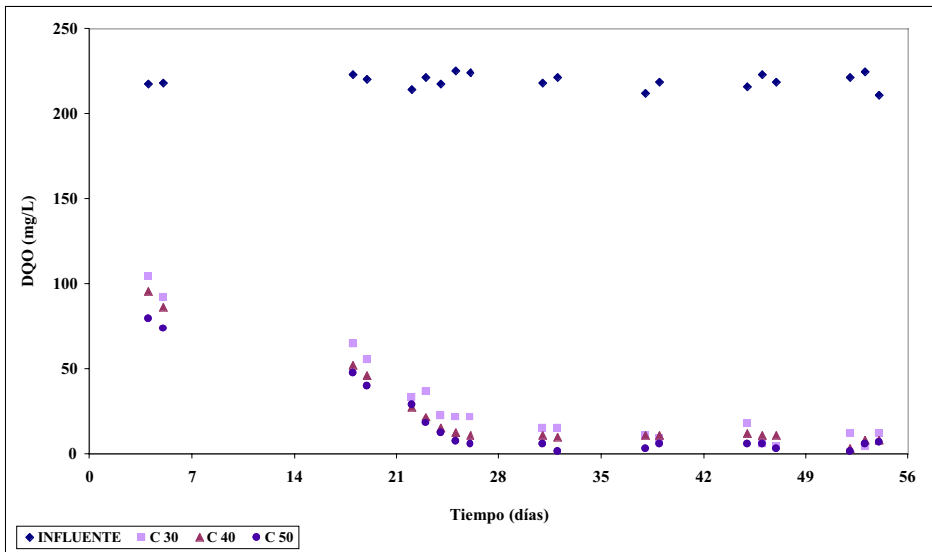


Figura 1: Efecto de la altura del lecho en la remoción de DQO

En lo que respecta al material B, durante el período de estudio se obtuvieron remociones de DBO_5 entre 83 y 98% correspondientes a valores de DBO_5 en el efluente de 42.67 y 2.63 $mg O_2/L$ respectivamente. Adicionalmente, se obtuvieron remociones de DQO entre el 79 y 98% correspondientes a valores de DQO en el efluente de 73.11 y 4.67 mg/L respectivamente.

Las remociones obtenidas con el material B, durante el primer contenido orgánico, fueron similares a las registradas por el material C. En promedio, si se le compara con el material C, la remoción disminuyó en un 3%. Sin embargo, durante la aplicación del segundo contenido orgánico se obtuvieron remociones menores al 90% en el rango de altas cargas hidráulicas (60–80 $cm/día$), por lo cual podría esperarse que para aguas residuales de bajo contenido orgánico (150 $mg DBO_5/L$) puedan alcanzarse altos rendimientos de eliminación de materia orgánica dentro del rango de carga hidráulica evaluado en este estudio. No obstante, si el contenido orgánico del agua residual afluente aumenta (hasta 250 $mg DBO_5/L$), lo recomendable, para este material, sería la aplicación de bajas cargas hidráulicas, de modo que no se afecte la eficiencia de eliminación de materia orgánica en el lecho. Al igual que el material C, las mayores remociones de DBO_5 y DQO se obtuvieron empleando los lechos con mayor espesor de material (40 y 50 cm).

Con respecto al material A, los porcentajes de remoción de materia orgánica, medida en forma de DBO_5 , variaron entre 80 y 94% durante el primer contenido orgánico. Para estos porcentajes de remoción se obtuvieron valores de DBO_5 en el efluente de 30 y 8.34 $\text{mg O}_2/\text{L}$ respectivamente. Durante la aplicación del segundo contenido orgánico disminuyó la eficiencia de eliminación, y varió entre el 72 y el 91%, correspondientes a una DBO_5 efluente entre 70.33 y 22.67 $\text{mg O}_2/\text{L}$ respectivamente. En el caso de la DQO, los porcentajes de remoción obtenidos fluctuaron entre el 76 y 93% durante el primer contenido orgánico, y entre el 69 y 90% durante la segunda, y se obtuvieron valores de DQO efluentes entre 15.32 y 109.55 $\text{mg O}_2/\text{L}$.

Contrario al comportamiento del material C, el material A se vio afectado tanto por el aumento de la carga hidráulica como por la variación del contenido orgánico. Si se comparan los porcentajes de remoción de materia orgánica del material A con respecto al material C, se observa que para el primer contenido orgánico, los porcentajes de remoción obtenidos con el material A son inferiores, en un 7% aproximadamente, a los obtenidos con el material C. Durante la aplicación del segundo contenido orgánico, la diferencia entre los porcentajes de remoción obtenidos con ambos materiales aumentó al 20% aproximadamente.

Respecto al efecto del espesor de material en el lecho en la remoción de materia orgánica, se observó, al igual que los materiales B y C, que los lechos de menor altura presentaron menores eficiencias en la eliminación de materia orgánica, lo cual podría atribuirse, por una parte, a que la biomasa en contacto con el agua residual es menor, y por otra, a la disminución del tiempo de residencia del agua en el lecho.

En general, los materiales B y C presentaron las mayores remociones de materia orgánica. Este hecho podría asociarse a características físicas inherentes a estos dos materiales, en especial, al contenido de materia orgánica. Fundamentalmente, materiales turbosos con altos contenidos de materia orgánica presentan características intrínsecas que permiten un adecuado desarrollo de organismos en su compleja estructura interna, lo cual favoreció la eliminación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. En este sentido, como lo indican los resultados obtenidos en este estudio, no es deseable emplear turbas demasiado descompuestas, como es el caso del material A. Los resultados obtenidos en este estudio son comparables con los reportados en la literatura [9, 11,12].

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de operación estudiadas, el uso de las turbas de la región Caribe colombiana como medio de soporte en lechos de infiltración para el tratamiento de aguas residuales, presentó adecuadas remociones de materia orgánica. Por esta razón, se sugiere su aplicación en el tratamiento de aguas residuales con condiciones similares a las evaluadas en este estudio. En este sentido, una combinación adecuada para alcanzar importantes eliminaciones de materia orgánica sería la utilización de bajas cargas orgánicas, bajas cargas hidráulicas y altos espesores de material en el lecho.

Referencias

- [1] BROOKS, J.L., ROCK, C.A. & STRUCHTEMEYER, R.A. (1984): Use of peat for on-site wastewater treatment: II. Field Studies. *J. Env. Qual.* 13 (4), 524-530.
- [2] ROCK, C.A., BROOKS, J.L., BRADEN, S.A. & STRUCHTEMEYER, R.A. (1984): Use of peat for on site wastewater treatment: I. Laboratory Evaluation. *J. Env. Qual.*, Vol. 13, N° 4, pp. 518-523.
- [3] LENS, P.N., VOCHTEN, P.M., SPELEERS, L. & VERSTRAETE, W.H. (1994): Direct treatment of domestic wastewater by percolation over peat, bark and woodchips. *Wat. Res.*, Vol. 28, N° 1, pp. 17-26.
- [4] NICHOLS, D.S. & BOELTER, D.H. (1982): Treatment of secondary sewage effluent with a peat-sand filter bed. *J. Env. Qual.*, 11, 86-92.
- [5] RIZNYK, R.Z. (1993): Peat leachmound treatment of residential wastewater in sub-arctic Alaska. *Water, Air and soil Pollution*, 69, pp. 165-177.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1980): *Standard method for particle-size analysis of soils. Method designation: D 422-63*. Philadelphia, PA., American Society for Testing and Materials.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1980): *Standard test methods for moisture, ash and organic matter of peat materials. Method designation: D 2974-71*. Philadelphia, PA., American Society for Testing and Materials.
- [8] HENZE, M., HARREMOËS, P., LACOURJANSEN, J. & ARVIN, E. (1997): *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. Springer, Heidelberg.
- [9] BUELNA, G. & BELANGER (1990): Biofiltration à base de tourbe pour le traitement des eaux usées de petites municipalités. *Sci. Technol. Eau* 23, 259-264.
- [10] MUÑOZ, A., LEHMANN, A. & MARTÍNEZ, P. (1995): *Manual de depuración URALITA*. Madrid, Paraninfo.
- [11] RANA, S. & VIRARAGHAVAN, T. (1987): Use of peat in Septic tank effluent treatment-columns studies. *Wat. Poll. Res. J. of Canada*, 22, pp. 491-504.
- [12] BELLIDO, B. R., SECO, A. & FERRER POLO, J. (1988): *Depuración de aguas residuales por filtración a través de lechos de turbas*. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia (España).