

ISBN: 978-84-938046-4-0

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y QUÍMICO DEL PICÓN COMO MATERIAL PARA LA DEPURACIÓN NATURAL DEL ESTIÉRCOL LÍQUIDO DE RUMIANTES

Nereida FALCÓN CARDONA¹, Vanessa MENDOZA-GRIMÓN¹, Juan Ramón FERNÁNDEZ VERA², Idaira HERNÁNDEZ BRITO², Axel RITTER³, José Manuel HERNÁNDEZ-MORENO⁴ María del Pino PALACIOS-DÍAZ¹

¹ Departamento de Patología Animal, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Grupo GEOVOL Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35413 Las Palmas de Gran Canaria, España, mp.palaciosdiaz@ulpgc.es

² Laboratorio agroalimentario y fitopatológico del Cabildo de Gran Canaria, Arucas, España, jfernandezv@grancanaria.com

³ Departamento de Ingeniería Agroforestal, aritter@ull.es

⁴ Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, jhmoreno@ull.es

RESUMEN

Los efluentes ganaderos constituyen un beneficioso aporte de nutrientes para los cultivos, que es fundamental a la hora de garantizar la sostenibilidad de la gestión de las explotaciones ganaderas, pudiendo ocasionar graves problemas ambientales si se emplean mal. La intensificación agraria ha convertido los efluentes ganaderos de subproducto a residuo. Su tratamiento con materiales locales y tecnologías de baja intensidad es una solución de bajo coste financiero y energético. En el proyecto REAGUA se plantea la posibilidad de utilizar el "picón" (lapilli) como material para el tratamiento del estiércol líquido de rumiantes, para su posterior empleo en el riego enterrado de especies forrajeras y biocombustibles, actuando el suelo como medio de depuración avanzado. Para ello, se diseña un sistema en el que se aporte el efluente con un flujo subsuperficial vertical en un medio no saturado, que circule por tres fases (en serie). Para determinar las condiciones de manejo que optimicen el filtrado se caracterizó el comportamiento hidráulico del picón y su capacidad de eliminar sustancias. Utilizando tres columnas rellenas de picón y un efluente de rumiantes, las reducciones de la DQO, DBO₅ y amonio, fósforo y SS superaron el 80, 90% y 95% respectivamente, obteniéndose valores asumibles para inyectarse al riego.

Palabras clave: *lapilli, estiércol líquido, depuración avanzada, picón y especies forrajeras.*

ABSTRACT

Livestock effluents constitute a beneficial nutrient supply for crops which is critical to ensuring the sustainability of the farms management. However, they can cause serious environmental problems if misused. The progressive agriculture intensification has transformed the consideration of byproduct into effluent waste. Treatment with local materials and low technology intensity is a low-cost solution in terms of finance and energy. The REAGUA project analyzes the possibility to use the "picon" (lapilli) as material for the treatment of liquid manure from ruminants, for later use in subsurface drip irrigation system to produce forage and biofuels, in which the soil acts as subsequent advanced treatment. A

system in which the effluent is poured with a vertical subsurface flow in an unsaturated medium, which circulates through three phases, is designed. To determine the management conditions that optimize the filter it was necessary to characterize the hydraulic behavior of lapilli and its ability to remove substances. Using three lapilli-filled columns, unsaturated flux and a ruminant effluent, the reduction of DQO, DBO₅ and ammonia, phosphorus and SS obtained was over 80, 90% and 95% respectively, assumable values for irrigation.

Key words: *lapilli, slurry, advanced treatment, and forage species.*

INTRODUCCIÓN

La ganadería intensiva bovina en Canarias representa el 61% del total de la ganadería de la ganadería total y genera efluentes que deben ser almacenados en las granjas y tratados convenientemente. Éstos constituyen un beneficioso aporte de nutrientes para los cultivos que es fundamental a la hora de garantizar la sostenibilidad de la gestión de las explotaciones ganaderas. Sin embargo, si se emplean de forma inadecuada, pueden ocasionar graves problemas ambientales. En este sentido, la intensificación agraria ha ocasionado que el efluente ganadero pase de ser subproducto a ser considerado un residuo. El tratamiento del estiércol líquido con materiales locales y tecnologías de baja intensidad es una solución de bajo coste financiero y energético. En el proyecto REAGUA se plantea la posibilidad de utilizar el “picón” (lapilli) como material para el tratamiento de los efluentes ganaderos. El objetivo es que efluente producido se emplee en un sistema de riego localizado, para lo que en el tratamiento deben reducirse fundamentalmente los sólidos en suspensión (SS), la DQO, y la DBO₅, siguiendo las recomendaciones de Pescod (1992) y Ayars et al (2007). Estudios de otros autores (Abreu-Acosta y Vera, 2011), que utilizaron un sistema de tratamiento en el que una de sus fases estaba rellena de picón y en la que aplicaban un flujo subsuperficial horizontal, encontraron una buena reducción de la materia orgánica (MO), los SS y los patógenos pero también, cierto riesgo de transmisión de Salmonella. Por tanto, la mejora en la seguridad sanitaria que permite el riego con SDI resulta imprescindible. En este sentido, en el sistema propuesto en este artículo el suelo actúa como medio de depuración avanzado por lo que el efluente se aplica utilizando un sistema de riego enterrado (SDI) para producir especies forrajeras y biocombustibles. Respecto a las condiciones de tratamiento, Zurita y White (2014) comparan en un interesante estudio, la eficiencia de diversos sistemas de tratamiento no convencionales de aguas residuales, que fueron diseñados para mejorar la calidad del agua para el riego pero sin producir una reducción significativa de los nutrientes aportados (los objetivos coinciden con los del proyecto REAGUA). Estos autores concluyen que el tratamiento más eficaz es el que utiliza flujo subsuperficial vertical en dos fases (mejor que el de flujo horizontal), en el que la reducción del amonio es del 85% (que estos autores asocian al incremento del nitrato) mientras que la reducción de E. coli es del 99,99%. Coincidiendo con estos autores para el tratamiento se ha diseñado un sistema en el que se aporte el efluente con un flujo subsuperficial vertical en un medio no saturado y que circule por tres fases (en serie).

El objetivo del presente trabajo es determinar las condiciones de manejo de un sistema de depuración natural que optimicen el filtrado y la reducción de contaminantes y permitan el riego sostenible con efluentes ganaderos, utilizando lapilli como material filtrante y tecnologías de baja intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Comportamiento hidráulico del picón en las columnas

Se realizó un estudio en laboratorio con tres columnas cilíndricas de cristal de 0.70 m de altura y 0,048 m de diámetro, utilizando “picón” (lapilli), tamizados con una luz de 0.002 m, y

rellenando hasta una altura de 0.55 m. Las tres columnas se dispusieron en serie de manera que se simulara un sistema de depuración de flujo vertical no saturado.

Caracterización del comportamiento hidráulico de las columnas.

Utilizando agua destilada se han determinado los siguientes parámetros: densidad aparente (d_a), coeficiente entre la masa de suelo seco (M_s) y el volumen total del suelo (V_t); densidad real (d_r), cociente entre la masa de suelo seco (M_s) y el volumen ocupado por las partículas sólidas (V_s), es decir, el volumen de suelo descontando los poros y porosidad (\mathcal{E}) volumen ocupado por los poros, expresado normalmente como porcentaje del volumen total de suelo. Para cada una de las columnas se ha medido: i) la cantidad de agua necesaria para llegar a saturación (impidiendo el drenaje y rellenando hasta obtener una ligera película de agua libre en la superficie), ii) la cantidad de agua libre, midiendo la cantidad de agua que se pierde por drenaje a lo largo del tiempo, y iii) la cantidad de agua retenida en los poros, por diferencia entre el volumen de saturación y el perdido por drenaje. Se ha calculado el contenido volumétrico a lo largo del tiempo para cada una de las columnas. Siguiendo los siguientes intervalos de tiempo 0, 0,5, 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30 y 40 minutos.

Caracterización del potencial depurador.

Caracterización del comportamiento de las columnas con sustancias no adsorbibles ni biodegradables.

Se realizó un estudio con Br, como ejemplo de trazador con baja capacidad de adsorción. Para ello se utilizó una solución de bromuro de 50 mg/L. La solución se bombea con una bomba peristáltica con un caudal de 1ml/min. Cuando la columna se encuentra en condiciones no saturadas, conteniendo sólo agua de retención (agua destilada) se inicia la inyección del bromuro, midiéndose la concentración de esta solución a lo largo del tiempo y en cada una de las columnas, en intervalos de tiempo de 0, 100, 120, 140, 180, 200, 240, 300 y 360 minutos (tiempo en el que se recoge prácticamente todo el bromuro). Las muestras obtenidas fueron analizadas por cromatografía iónica.

Caracterización del comportamiento de las columnas con sustancias adsorbibles.

Se realizó un estudio con fosfato, como ejemplo de sustancia con capacidad de adsorción. Utilizando una disolución de fosfato, con una concentración de 50mg/l (concentración de P de 18,93 mg/l). Al igual que en el anterior caracterización se hace uso de una bomba peristáltica con un caudal de 1ml/min. Se midió la concentración de fosfato a lo largo del tiempo en cada una de las columnas, los intervalos utilizados fueron los mismos que para el bromuro. Una vez recogidas todas las muestras en cada uno de los intervalos de tiempo se procede a la medición por espectrofotometría de emisión óptica (ICP_OES).

Caracterización del comportamiento de las columnas en el tratamiento de un efluente real

En esta fase del estudio se trabaja con estiércol líquido, procedente de una granja de vacuno intensivo. En este ensayo se utiliza un caudal discontinuo de 10 ml cada 10 min en la columna 3, sin utilizar la bomba peristáltica. Se parte de que la columna no está saturada, alcanzando el flujo constante a partir del minuto 40. A los 60 minutos se recoge la primera muestra en un tubo A hasta completar 5 ml. Posteriormente se recoge la solución en un tubo B hasta completar 5 ml siguientes, y así sucesivamente hasta que cada tubo (A y B) contenga 20 ml. El tubo A se utiliza para humedecer la columna 2, a partir del minuto 100, empezando el muestreo en el minuto 160. El tubo B se lleva al laboratorio para realizar el correspondiente análisis de amonio, fósforo, nitrógeno total y metales. Se repite el mismo

procedimiento para los intervalos de tiempo 100, 140, 180, 220, 260, 300, 340, 380, 420, 460, 500, 540, 580, 600, 640, 700, 740 minutos. El mismo procedimiento se sigue para humedecer la columna 1, empezándose a humedecer en el minuto 200, comenzando el muestreo en el minuto 260. Se respeta el mismo intervalo de tiempo que en las columnas anteriores.

Caracterización del estiércol líquido

Se realizaron análisis físico-químicos de las muestras antes de su paso por las columnas y tras su paso por cada una de las mismas, determinando pH, conductividad, nitrato, amonio, DQO, DBO₅, sólidos en suspensión y contenido en fósforo total y los principales constituyentes metálicos (Na, K, Ca, Mg, B, Cu).

pH y conductividad eléctrica (CE), DQO, DBO₅ y Sólidos en suspensión (SS)

Para la determinación de estos parámetros se toman dos muestras, antes de entrar en la columna 3 y a la salida de la columna 1. Se estima la DQO a partir de la cantidad de materia orgánica total en cada una de las muestras utilizadas. Se utilizan un kit Test 0-29, Nanocolor CSB 1500. La DBO₅ se obtiene por la medición de oxígeno mediante electrodo selectivo durante 5 días. Para ello utilizaremos botellas aforadas de 300 ml, siguiendo el método estandarizado de DBO₅ (APHA-AWWA-WPCF). La determinación de estos parámetros se realiza sobre 4 muestras, a la entrada de la columna 3 (M1), a la salida de la columna 3 (M2), a la salida de la columna 2 (M3) y una última a la salida de la columna 1 (M4). Se calcula el porcentaje de reducción de la DQO como cociente entre el valor obtenido tras cada una de las columnas y el valor inicial. Se miden los SS de una muestra de estiércol líquido antes de entrar a la columna 3 y otra a la salida de la columna 1. Siguiendo los métodos estandarizados (APHA-AWWA-WPCF)

Amonio, Fósforo total y nutrientes

Con un equipo de flujo segmentado, se determina el amonio presente en el efluente inicial (antes de entrar en la columna 3), el de la salida de las columnas 3, 2 y 1 para los distintos tiempos. Las concentraciones de P presente en el efluente inicial (antes de entrar en la columna 3), a la salida de la columna 2 a lo largo del tiempo, así como la concentración a la salida de la columna 1, se analizaron por espectrofotometría de emisión óptica (ICP_OES). Para el estudio de este nutriente se utiliza un efluente ganadero otra explotación de rumiantes, y por tanto distinto del utilizado para el resto de los parámetros químicos, con un valor inicial de 33 mg/L. La determinación de Na, K, Ca, Mg, B, Cu se realiza mediante la lectura por espectrofotometría de emisión óptica (ICP_OES)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento hidráulico de las columnas

En la Tabla 1, se presentan los resultados de la medida de i) la cantidad de agua necesaria para llegar a saturación, ii) la cantidad de agua libre y iii) la cantidad de agua retenida en los poros. La d_a del picón es baja si la comparamos con otros estudios realizados con picones de Canarias cuyos valores están entre 1,12 y 2,49 g/cm³ con valores promedios de 1,7 g/cm³ (Hernández Moreno et al, 2009). Los valores de d_r son también bajos, encontrando los mencionados autores valores entre 2,45 y 3,70 g/cm³, e inferiores a la densidad real del basalto, 3,01 g/cm³, (Johnson and Olhoeft, 1984), lo que demuestra el carácter vacuolar de los piroclastos. En cuanto a porosidad, las muestras presentan unos valores intermedios, estando las del mencionado estudio entre 18 y 57%. Donahue (1995),

considera microporos aquellos capaces de retener el agua después del drenaje. En ella entrarían todos aquellos diámetros que estén comprendidos entre 0,1 y 80 μm . Los valores de micro porosidad del lapilli son bajos si se comparan con los obtenidos para Canarias (12,33 – 35,02 %), aunque en este estudio se utilizó diferente metodología para determinarlos.

Tabla 1. Características de las columnas: volumen columna (V_c), densidad aparente (d_a), densidad real (d_r), volumen del sólido (V_s), porosidad (P) y cantidad de agua de saturación (A_s), Agua libre (A_l) y micro porosidad (M).

Columna	Peso (gr)	Altura (cm)	V_c (dm^3)	d_a (g/cm^3)	V_s (cm^3)	d_r (g/cm^3)	P %	A_s (ml)	A_l (ml)	M %
1	1117	55	0,89	1,26	488	2,29	45	397,0	91	8,56
2	1130	55	0,89	1,28	460,0	2,46	48	425,0	96	4,24
3	1126	55	0,89	1,27	466,0	2,42	47	419,0	90	9,79

La Figura 1 presenta el contenido volumétrico de agua a lo largo del tiempo, para las tres columnas, observándose un rápido drenaje. Así, en los primeros 30 segundos, se produce el drenaje de entre el 25 y el 45% del agua de saturación. A partir del minuto 4 sólo queda del 11 al 20% del agua de drenaje y, a partir del minuto 40, entre el 5,5 y 6,0 %. Por tanto existe un flujo preferencial muy importante por lo que las columnas posiblemente filtrarán mucho mejor en condiciones no saturadas. Cuando se aplicó un flujo de agua de 1ml/min se determinó experimentalmente que son necesarios 100 minutos tras empezar el bombeo para alcanzar la condición de equilibrio (recogida de 1ml/min).

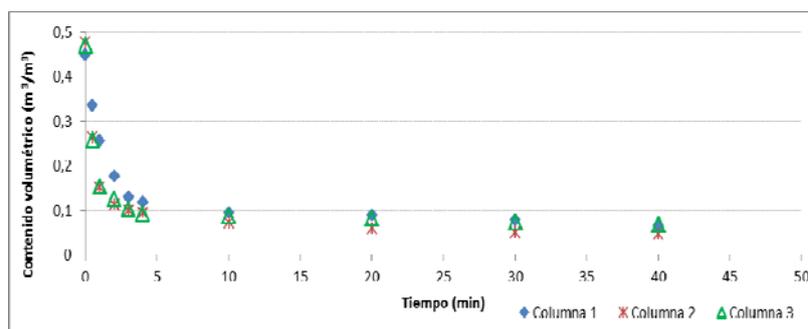


Figura 1. Contenido volumétrico de agua frente al tiempo en cada una de las columnas.

Caracterización del comportamiento de las columnas con sustancias no adsorbibles ni biodegradables (utilización del bromuro)

En la Figura 2a, se presenta la concentración de Br obtenido tras atravesar la columna en los intervalos de tiempo considerados. Se observa que en el minuto 100 se recoge muy poco Br pero su recuperación es muy rápida a partir de ese momento, obteniéndose pasadas 4 horas prácticamente la totalidad recuperada, que asciende al 90% de la cantidad aportada inicialmente. Estos resultados coinciden con otros estudios, donde se afirma que el Br es un ión que presenta un comportamiento de mínima reacción con el medio, por lo que se utiliza como trazador en estudios de suelo (Castillo et al., 1999).

Caracterización del potencial depurador con sustancias adsorbibles (uso del fosfato)

La Figura 2b, concentración de P frente al tiempo, se observa que se recupera un 60% del P introducido en la columna. Estos resultados coinciden con otros autores (Quintero, 1996). Comparando las figuras 2a y 2b se observa que la columna 1, con menos flujo preferencial, es la que presenta mayor adsorción.

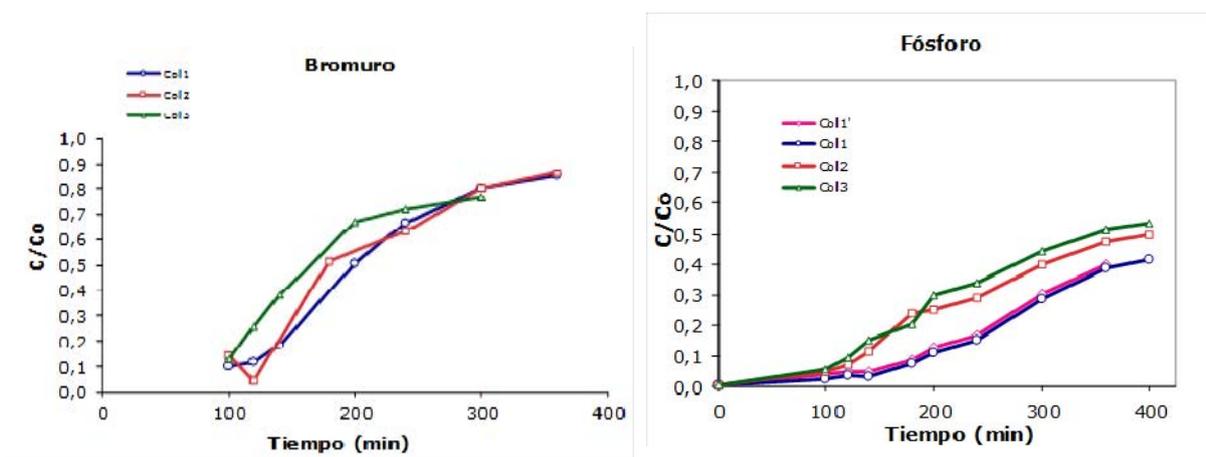


Figura 2. Concentración del trazador bromuro (a: izquierda) y fosfato (b: derecha) respecto al tiempo de muestreo

Caracterización del estiércol líquido pH, CE, DQO, DBO₅ y SS.

En la Tabla 2, se presentan los valores de pH y CE del efluente antes de entrar en la columna 3 y a la salida de la columna 1, cuya disminución podría asociarse a la retención junto a la MO. La disminución de CE observada contrasta con el incremento obtenido por (Hernández et al, 2009) cuando humedecían el picón con agua destilada, obteniendo un incremento los 2 y 3 primeros días del contacto del agua con el picón.

Tabla 2. Valores de pH y CE del efluente antes de entrar a la columna 3 (pHe y CEe) y a la salida de la columna 1 (pHs y CEs), a 25°C.

pHe	CEe (µs/cm)	pHs	CEs (µs/cm)
7,58	4740	7,10	863
7,61	4706	7,09	864
7,60	4730	7,01	860
Media	Media	Media	Media
7,60	4740	7,07	862,33

En la Tabla 3, se presentan los resultados obtenidos del análisis de la DQO. Se observa que el porcentaje de reducción de la MO total es del 78%. El valor inicial de la DBO₅ del efluente es 380 mg/L O₂. Respecto a los SS, a la entrada el efluente tiene 10,53 mg/L y a la salida de la tercera columna (columna 1) tiene 0,79 mg/L, obteniéndose un porcentaje de reducción del 92,48%.

Tabla 3. Valores de DQO del efluente a lo largo del sistema

Muestra	DQO mg/l
M1 (antes de entrar en la columna 3)	526
M2 (a la salida de la columna 3)	425
M3 (a la salida de la columna 2)	320
M4 (a la salida de la columna 1)	115

Amonio y Fósforo total

En la Figura 3a se presentan las concentraciones de amonio a lo largo del tiempo en cada una de las columnas. Se obtiene una reducción del 10%, tras el paso por la columna 3, del 50% después de pasar por la columna 2 y de un 100% tras el paso por la columna 1. Esta reducción es compatible con la obtenida por Zurita y White (2014) que mencionan una reducción del 85% (que estos autores asocian al incremento del nitrato) utilizando un flujo

subsUPERficial vertical en sólo dos fases. Por tanto, estos resultados demuestran que para conseguir una buena reducción son necesarias al menos dos columnas. La disminución de amonio es coherente con la alta capacidad de adsorción que tiene esta sustancia (Garcés y Morante, 2013). Se determinó también el nitrato, tanto en el efluente como en los diferentes intervalos de tiempo, obteniéndose valores por debajo del límite de cuantificación, lo que permite suponer que, en origen, todo el N mineral se encontraba en forma de amonio. Sin embargo, transcurridas 5 horas es posible que se haya producido una cierta nitrificación.

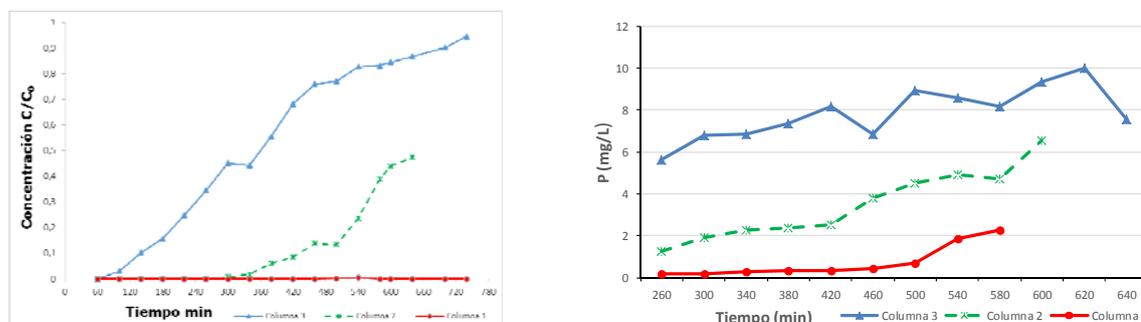


Figura 3. Valores de concentración de amonio (a: izquierda) y fósforo (b: derecha) a lo largo del tiempo en las 3 columnas.

En la Figura 3b, se presentan las concentraciones del Ptotal (en mg/L) a lo largo del tiempo tras el paso de las distintas columnas. El efluente de partida tenía 33 mg/L por lo que la reducción del P es importante (33%) ya desde el paso por la primera columna. Tras la segunda columna se obtiene una reducción cercana a un orden de magnitud. La reducción observada es superior a la medida para el fosfato reduciéndose la cantidad de P tras el paso de la última columna a prácticamente 0,5 mg/L. Este resultado es coherente con la presencia de P orgánico (que quedaría retenido junto con las partículas en suspensión). En filtros de riego convencionales y utilizando aguas depuradas sólo se obtuvo una reducción del Ptotal del 15% (Palacios et al., 2009), mientras que (Hernández Moreno et al., 2009), trabajando con efluente artificial pero con lapilli, obtienen una reducción muy importante en fosfato y compuestos orgánicos, que atribuyen a la capacidad de intercambio de los picones. Por tanto, el material elegido para el sistema de tratamiento resulta muy adecuado.

Metales.

En la Tabla 4, se presentan los resultados obtenidos para los cationes presentes en el efluente. Se observa que, en general, tras el paso por la columna 3 y una vez transcurrido el tiempo suficiente, apenas disminuyen en su concentración. Sin embargo, tras su paso por las columnas 2 y 1 sí se produce una reducción significativa de los mismos.

Tabla 4. Concentración de cationes (en mg/L) del efluente en los distintos intervalos de tiempo.

Columna	Tiempo	K	Na	Ca	Mg	B
Efluente inicial	-	329,4	448,4	169,2	75,9	1,02
3	100	45,7	176,7	108,7	51,4	0,62
3	300	250,5	413,4	164,6	78,7	0,95
3	680	331,9	480,1	152,3	79,4	1,08
2	100	5,9	36,8	19,4	12,0	0,20
2	300	27,6	174,8	107,4	55,4	0,40
2	460	101,5	298,8	157,8	70,8	0,55
1	100	28,3	69,2	26,5	12,8	0,22
1	300	23,3	62,4	23,8	12,1	0,19
1	420	14,4	39,9	15,6	8,1	0,12

CONCLUSIONES

El tratamiento del estiércol líquido de rumiantes para su posterior empleo en el riego enterrado de especies forrajeras y biocombustibles, utilizando materiales locales (en nuestro caso lapilli), y tecnologías de baja intensidad (filtración con flujo subsuperficial vertical en un medio no saturado, circulando por tres fases en serie) se ha demostrado como solución de bajo coste financiero y energético. Se ha caracterizado el comportamiento hidráulico del picón y su capacidad de eliminar sustancias, utilizando tres columnas rellenas de picón y un efluente de rumiantes con un flujo discontinuo de 10ml/min. Las reducciones obtenidos para la DQO y DBO₅ fueron 80, 90% respectivamente, mientras que para el amonio, P y SS superaron el 95%, que son valores asumibles para ser inyectados en el sistema de riego enterrado, actuando el suelo como medio de depuración avanzado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Ministerio de Economía y Competitividad. Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental (CGL2012-39520-C03-03) y Agencia Canaria de Investigación del Gobierno de Canarias (SolSubC200801000012). Agradecemos también la colaboración del Laboratorio Agroalimentario y Fitopatológico y a la Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria.

REFERENCIAS

- Abreu-Acosta, N. and Vera, L. (2011). *Occurrence and removal of parasites, enteric bacteria and faecal contamination indicators in wastewater natural reclamation systems in Tenerife-Canary Islands, Spain* Ecological Engineering 37 496–503
- APHA-AWWA-WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*.
- Ayars, J.E., Bucks, D.A., Lamm, F.R. and Nakayama, F.S. (2007). Chapter 1: Introduction. Microirrigation for crop production: design, operation and management In F. R. Lamm, J. E. Ayars & F. S. Nakayama (Eds.), (pp. 1-26). Amsterdam: Elsevier.
- Castillo, A., El Mabrouki, K. y Álvarez, P. (1999). *Experiencia de trazado con bromuro potásico en una parcela piloto de la ZNS del acuífero de la Vega de Granada*.
- Garcés, M., (2013). *Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaraguau (Isidro Ayora, provincia del Guayas) y su aplicación en la remoción de amonio en aguas residuales*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
- Hernández-Moreno, J.M., (2009). *Evaluación de la eficacia de diferentes materiales como sustrato para humedales artificiales en Canarias Proyecto sustradep: informe final*.
- Johnson, G.R. and Olhoeft, G.R. (1984). *Density of rocks and minerals*. In Carmichael, R.S. (Ed.), *Handbook of Physical Properties of Rocks (Vol. 3): Boca Raton, FL (CRC Press)*, 1-38.
- Miller, R.W and R.L. Donahue (1995). *Soils in our environment. 7th Edtiton. Englewoods Cliffs, NJ: Prentice-Hall*.
- Palacios-Díaz M.P., Mendoza V., Fernández-Vera J.R., Rodríguez MT Tejedor-Junco y Hernández-Moreno, (2009). *Subsurface drip irrigation and reclaimed water quality effects on phosphorus and salinity distribution and forage production*. Agricultural Water Management 96 Issue 11: 1659-1666.
- Pescod (1992). "Wastewater treatment and use in agriculture" irrigation and drainage paper n° 47. FAO
- Quintero, C.E. (1996). *Dosificación del Fósforo según Tipos de Suelos*. Agr. MSc
- Zurita, F. y White, J.R. (2014). *Comparative Study of Three Two-Stage Hybrid Ecological Wastewater Treatment Systems for Producing High Nutrient Reclaimed Water for Irrigation Reuse in Developing Countries*. Water 6, 213-228