

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES UTILIZANDO CÁMARA SÉPTICA Y ZANJA FILTRANTE

* Ma. Cecilia Panigatti¹
Rosana Boglione¹
Carina Griffa¹
Marco Boidi¹
Ma. Celeste Schierano¹

*SEWAGE TREATMENT USING SEPTIC TANK AND
INFILTRATION TRENCH*

Recibido el 18 de diciembre de 2012; Aceptado el 22 de marzo de 2013

Abstract

The study and construction of a septic tank-infiltration trench as a sewage treatment alternative is proposed. It originates from a cesspool groundwater-contamination problem at Rafaela, Santa Fe, Argentina. Effluents from treatment outlets and the incidence of this system on surrounding groundwaters have been studied for three years.

In the wastewater the following parameters were analyzed: pH, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD5), Total Nitrogen, Phosphorus and Ammonia. In groundwater the following variables were studied: pH, total solids, chlorides, total hardness, calcium, magnesium, total alkalinity, sulfate, nitrite, nitrate, ammonium and arsenic. In both cases, bacterial determinations were performed. A house with no sewerage yet, was evaluated as case study, aiming to extend the system to neighborhood houses under similar conditions. A significant decrease in COD and BOD5 concentrations was found on the treated effluents. Nearby groundwater measurements, in turn, demonstrate treatment advantages, since no pollution by nitrates, nitrites, ammonia and fecal bacteria was detected.

Key Words: Contamination, groundwater, infiltration trench, septic tank.

¹ Grupo Estudios Medioambientales, Facultad Regional Rafaela. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

* Autor correspondiente: Bv. Roca 989. (2300) Rafaela. Pcia. de Santa Fe. Argentina. Email: laboratorio.quimica@frra.utn.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo, se propone la construcción y el estudio de un sistema compuesto por cámara séptica-zanja filtrante con relleno granular como alternativa de tratamiento de efluentes cloacales. Esto surge como consecuencia de la problemática de contaminación de las aguas subterráneas por el uso de pozos negros (depósito de aguas residuales que se construye junto a las viviendas cuando no hay saneamiento cloacal), en la ciudad de Rafaela, Santa Fe, Argentina. Para ello, se evaluó el efluente a la entrada y salida del tratamiento y la influencia de este sistema en el agua subterránea circundante, realizando análisis periódicos durante tres años. En el agua residual se analizaron los siguientes parámetros: pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno total, fósforo y amonio. En el agua subterránea se estudiaron las siguientes variables: pH, sólidos totales, cloruros, dureza total, calcio, magnesio, alcalinidad total, sulfato, nitritos, nitratos, amonio y arsénico. En ambos casos, se realizaron determinaciones bacteriológicas. Se estudia el caso particular de una vivienda de la ciudad de Rafaela que aún no cuenta con desagüe cloacal, con la idea de extender el sistema a barrios que se encuentran en la misma situación. En el sistema en estudio se ha evidenciado una importante disminución de las concentraciones de DQO y DBO₅ del efluente a la salida tratamiento. A su vez, mediciones realizadas en las aguas subterráneas aledañas al sistema, ponen de manifiesto las ventajas del tratamiento, ya que no se ha detectado contaminación por nitratos, nitritos, amonio y bacterias de origen fecal.

Palabras clave: Agua subterránea, cámara séptica, contaminación, zanja filtrante.

Introducción

La ciudad de Rafaela está ubicada en el centro oeste de la provincia de Santa Fe, Argentina y cuenta con alrededor de cien mil habitantes. En los últimos años, se ha detectado la existencia de contaminación de las aguas subterráneas en la ciudad y zona aledaña debido principalmente a la influencia de las aguas negras, industriales y agropecuarias (Boglione *et al.*, 2009). En los barrios de la ciudad que no cuentan con red de desagües cloacales, las viviendas evacuan los líquidos servidos a pozos negros. Éstos no sólo originan problemas de contaminación, sino que con el tiempo suelen tener deficiencias funcionales y estructurales. Para las viviendas que no están conectadas a un desagüe cloacal, un sistema alternativo, más adecuado que el simple pozo negro, es el constituido por cámara séptica y zanja filtrante. La función de la cámara séptica es realizar un primer tratamiento para permitir la sedimentación de sólidos y la eliminación de flotantes como materias grasas, actuando también como digestor anaerobio. El tratamiento final y la evacuación del efluente de la fosa séptica se realizan por adsorción en el suelo, mediante zanja filtrante.

El objetivo del presente trabajo fue construir y estudiar un sistema compuesto por cámara séptica-zanja filtrante con relleno granular como una alternativa menos contaminante que los pozos negros existentes, para el tratamiento de efluentes cloacales domiciliarios. Además se evaluó la influencia de este sistema en el agua subterránea circundante.

Metodología

En el año 2002, se diseñó, construyó y puso en funcionamiento un sistema de tratamiento de líquidos cloacales para una vivienda habitada por cuatro personas, que consta de una cámara séptica seguida de zanja filtrante. La cámara séptica consiste en un tanque subterráneo construido en hormigón armado y mampostería de ladrillos comunes como cerramiento lateral. Uno de los aspectos fundamentales para su correcto funcionamiento reside en la estanqueidad, por lo tanto se impermeabilizaron los pisos y paredes. El sistema de infiltración en el terreno consiste en una serie de zanjas estrechas, poco profundas (entre 0.50 m y 1.50 m), rellenas de un medio poroso (grava). Este medio se utiliza para mantener la estructura de la zanja, proporcionar un tratamiento aerobio del efluente y redistribuirlo en las áreas de infiltración. Dicho medio actúa como un filtro percolador aerobio.

Para el estudio, se efectuaron cálculos, se realizó el diseño y se construyeron los dos sistemas de manera que se puedan tomar muestras de efluentes a la entrada y salida del tratamiento, para evaluar eficiencia de remoción. Se determinaron en el efluente de entrada y salida, desde el año 2010 y con una periodicidad de 45 días, las siguientes variables fisicoquímicas: pH (método electrométrico), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (calentamiento a reflujo con dicromato de potasio), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) (dilución e incubación a 20 °C a 5 días), nitrógeno total (método Kjeldhal), fósforo total (ataque ácido y método colorimétrico) y amonio (método de Nessler).

También se realizaron los siguientes análisis bacteriológicos: Recuento de bacterias aerobias mesófilas en agar nutritivo (37 °C- 48 hs), por siembra en profundidad. Bacterias coliformes totales, se determinó el NMP/100 mL (37 °C- 48 hs) en caldo Mc Conkey. Las Bacterias coliformes fecales, se determinaron por fermentación en tubos múltiples en caldo Verde Brillante Bilis (44.5 °C- 24 hs), *Escherichia coli* se determinó, por aislamiento en agar EMB con identificación IMVIC. Para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* se partió de los tubos Mc Conkey utilizados en la determinación de coliformes. Aquellos que desarrollaron un halo turbio en la superficie de dichos tubos se aislaron e identificaron en Agar Cetrimida (37 °C- 24 hs).

A su vez se construyó, aguas abajo del sistema, un pozo de monitoreo de agua subterránea. En el año 1999, antes del comienzo del funcionamiento del tratamiento, se realizó una toma de muestra de agua y análisis de la misma. Posteriormente, desde el año 2010, con el sistema en marcha, se realizaron muestreos cada 45 días y se analizaron las siguientes variables fisicoquímicas: pH (método electrométrico), sólidos totales (evaporación y secado en estufa a 105 °C), cloruros (titulación argentométrica), dureza total (titulación con EDTA), calcio (titulación con EDTA), magnesio (cálculo por diferencia entre dureza y calcio), alcalinidad total (titulación ácido-base), sulfato (turbidimetría), nitritos (método colorimétrico con alfa-naftilamina), nitratos (método colorimétrico del ácido fenildisulfónico), amonio (método de Nessler), arsénico (espectrometría de absorción atómica con inyección de flujo y generación de

hidruros). También se evaluaron las siguientes variables bacteriológicas: Recuento de bacterias aerobias mesófilas, Bacterias coliformes totales, Bacterias coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Pseudomona aeruginosa*, utilizando la metodología descrita anteriormente.

Para la toma de muestra y análisis del efluente y del agua de pozo, se utilizó la metodología propuesta por Standard Methods (2001).

Resultados

Diseño de Cámara Séptica

- Cálculo del caudal

El primer parámetro que se debe considerar, es el caudal medio diario generado por los cuatro habitantes de la vivienda, teniendo en cuenta un consumo de agua de 150 litros por habitante por día (Ecuación 1). Se debe considerar también un factor de caudal de punta diario (Fpd), es decir, la relación entre el caudal diario máximo y el caudal diario promedio. Para residencias familiares, el mismo adopta un rango de valores entre 2 y 6 (Metcalf, 1999). En este caso se toma un Fpd=3.

El caudal medio diario, está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_m = N^{\circ} \text{ Habitantes} \times \text{dotación}$$

Ecuación 1

Donde:

Q_m: Caudal Medio Diario.

En este caso:

$$Q_m = 4 \text{ Hab} \times 150 \frac{\text{L}}{\text{Hab.d}} = 600 \frac{\text{L}}{\text{d}}$$

El caudal punta a considerar se obtiene como lo indica la ecuación 2:

$$Q_p = Q_m \times F_p d$$

Ecuación 2

Donde:

Fpd: Factor de caudal de punta diario

Q_p: Caudal diario máximo

En este caso:

$$Q_p = 600 \frac{\text{L}}{\text{d}} \times 3 = 1800 \frac{\text{L}}{\text{d}}$$

- Cálculo de Tiempo de Retención Hidráulico

El parámetro más importante para diseñar la cámara séptica, es el tiempo de retención del agua residual en la misma (Ecuación 3). Este tiempo mínimo es de 0.5 días (Metcalf, 1999). Para el presente diseño se utiliza un valor mayor a 1 día, para mejorar el proceso. El volumen de agua que se pierde por decantación de los barros y flotación de las grasas se puede estimar en un 30 %. La relación típica entre el ancho y el largo de la cámara es de 1:3 (Metcalf, 1999). La profundidad recomendada es de 1.00 m. En el caso estudiado, el largo de la cámara se adoptó de 3.00 m, el ancho de 1.00 m y la profundidad de 1.00 m. (Figura 1).

$$T_{\text{retención}} = \frac{\text{Volumen} \times 0.70}{Q_m}$$

Ecuación 3

Donde:

T retención: Tiempo de Retención del agua residual

$$T_{\text{retención}} = \frac{3000L \times 0.70}{600L/d} = 3.5d > 0.5d$$

El tiempo de retención para el caudal medio (Q_m) es de 3.5 días, mientras que para el caudal de punta el valor obtenido es de 1.2 días, ambos valores mayores al tiempo mínimo recomendado. Los sólidos presentes en el agua residual que ingresa a la cámara séptica, sedimentan formando una capa de barro en la parte inferior de la misma. Las grasas y demás materiales livianos flotan en la superficie, dando lugar a una capa de espumas formada por acumulación de materia flotante. El agua residual decantada y libre de flotantes que se halla entre la capa de barro y espumas fluye hacia los lechos de infiltración. La materia orgánica contenida en los barros que queda retenida en la parte inferior de la cámara séptica, sufre un proceso de descomposición anaerobia y facultativa. A pesar de que la descomposición anaerobia reduce permanentemente el volumen de materia sólida depositada en el fondo de la cámara, siempre existe una acumulación neta de fango en el interior de la misma. La generación de gases durante los procesos de descomposición provoca que una parte de la materia sedimentada en el fondo de la cámara ascienda por boyancia y se adhiera a la parte inferior de la capa de espumas, lo cual contribuye a aumentar el grosor de la misma. Debido a lo expuesto, el contenido de la cámara séptica se debe extraer, para evitar la reducción de la capacidad volumétrica efectiva provocada por la acumulación de espumas y barros a largo plazo. Esta tarea puede ser realizada por camiones atmosféricos de la misma manera que se realiza en pozos negros, pero siendo el volumen a extraer de la cámara séptica sensiblemente menor al de los pozos, y, si la cámara está bien diseñada, el período de tiempo entre cada limpieza es más largo en éstas que en pozos negros.

Diseño de zanja filtrante

Se utilizan cargas hidráulicas basadas únicamente en las superficies laterales y de fondo de la zanja. Para los suelos presentes en Rafaela se recomienda una carga hidráulica de 12 L/(m²·día) (Metcalf, 1999). Esta carga hidráulica se utilizó para determinar la longitud total de la zanja de infiltración. Lo ideal es construir dos zanjas de esta longitud y explotar por rotación cada seis meses, cada tramo. Esto es necesario para recuperar la capacidad de infiltración del terreno. Durante la fase de inactividad (en la que se usa uno de los tramos), se reagregan las partículas de arcilla dispersadas, recuperándose gran parte de la capacidad de infiltración original del suelo. Cuando se diseñan las dimensiones de la zanja, es de vital importancia conocer cuál es el régimen de variación del nivel freático, de modo que la cota intra-uno del caño quede siempre por lo menos 1.00 m por sobre el nivel freático.

En el caso en estudio se considera el nivel freático máximo a 3.00 m por debajo del NTN (nivel de terreno natural). Se supone que la cota intra-uno del caño efluente de la cámara séptica se encuentra a 0.60 m por debajo del NTN. Por lo tanto, se diseña una zanja con un ancho de 0.50 m y una profundidad de 0.75 m por debajo del caño (Ver Figura 2). De esta manera, el área filtrante por metro lineal de zanja será aproximadamente igual a 2 m²/m de zanja. El área filtrante necesaria, según las siguientes ecuaciones, será:

$$\text{Área filtrante} = \frac{Qm}{\text{Carga Hidráulica}}$$

Ecuación 4

$$\text{Área filtrante} = \frac{600 \frac{\text{L}}{\text{día}}}{12 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ día}}} = 50 \text{ m}^2$$

$$\text{Long. cada Lecho Filtrante} = \frac{50 \text{ m}^2}{2 \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \text{ zanja}} = 25 \text{ m}$$

Entonces lo ideal es realizar dos zanjas filtrantes de 25 m de largo, utilizándolos en forma alternada cada seis meses.

El tratamiento final y la evacuación de los efluentes de la cámara séptica se realizan por adsorción en el terreno mediante zanjas de infiltración rellenas de un medio poroso. Este se emplea para mantener la estructura de las zanjas, proporcionar un tratamiento parcial al efluente, distribuir el efluente en el terreno y proveer capacidad de almacenamiento temporal a las zanjas para las fases de caudal punta.

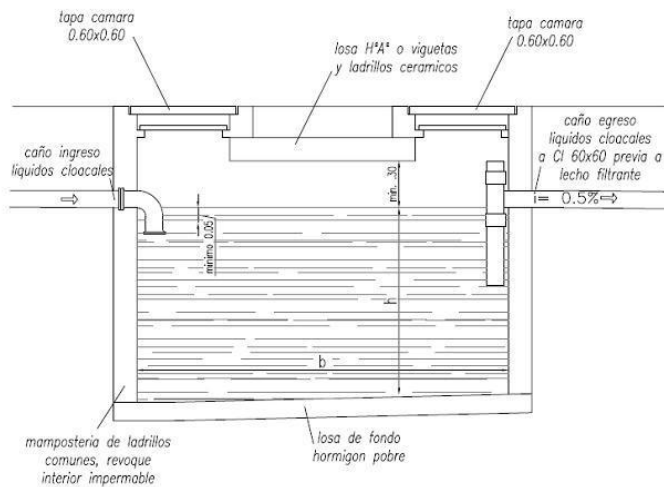
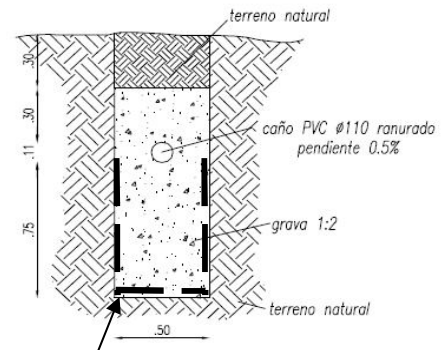


Figura 1. Corte de la cámara séptica



Área filtrante por metro lineal de zanja
(0.75 m+0.75m+0.50m) x 1 m = 2 m²

Figura 2. Corte lateral de la zanja de drenaje

El tratamiento que se consigue en estas zanjas de infiltración se produce al circular el efluente a través y por encima del medio poroso, al infiltrarse en el terreno y al percolar el líquido a través del mismo. A medida que el efluente fluye por el lecho de infiltración, en las superficies del sistema se desarrolla progresivamente una película biológica. El grosor de la biopelícula crece a medida que los microorganismos metabolizan la materia orgánica presente en el efluente proveniente de la fosa séptica. Al producirse las reacciones de conversión biológica, también se forman precipitados minerales. En función de las condiciones ambientales, estos precipitados se pueden acumular en la película biológica o eliminarse por lixiviación. Las zanjas de infiltración actúan como filtro mecánico y biológico.

Monitoreo del efluente en el Sistema Cámara séptica-zanja filtrante

Al analizar el agua residual a la entrada y salida del tratamiento propuesto, se obtuvo una importante disminución de la materia orgánica medida como concentraciones de DQO y DBO₅, evidenciando el buen funcionamiento del tratamiento. En la Figura 3, se observan los valores medios obtenidos de los mismos y los límites exigidos por la ley 1089/82 (Santa Fe, Argentina). En el caso de DQO la remoción es del 71.6 %, mientras que para DBO₅ es del 64.5 %.

Los valores de pH oscilaron entre 7.3 y 8.1 en todos los muestreos, antes y después del tratamiento, siendo estos valores los adecuados para el desarrollo biológico. Las concentraciones de nitrógeno total, fueron variables a lo largo de toda la evaluación, no hubo diferencias significativas a la salida del tratamiento respecto de la entrada, inicialmente las concentraciones promedio fueron 52.5 ± 20.5 mg/L y a la salida de 47.1 ± 23.6 mg/L. Con

respecto a los valores promedio de amonio se observó un aumento importante de los mismos a la salida del sistema, como consecuencia de la actividad bacteriológica, siendo inicialmente 20.1 ± 11.9 mg/L y a la salida de 43.2 ± 18.6 mg/L. Las concentraciones de fósforo total fueron variables disminuyendo a la salida (2.2 ± 0.5 mg P/L) respecto de la entrada (8.1 ± 1.0 mg P /L), aspecto que coincide con el diseño del sistema y puede estar relacionado con la actividad microbiana.

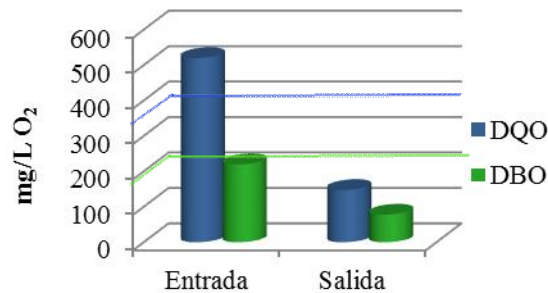


Figura 3. Concentraciones medias de DQO y DBO₅ a la entrada y salida del sistema, incluyendo límites permitidos

En cuanto al recuento total bacteriano se obtuvo un valor promedio de 1×10^{12} UFC/mL a la entrada del tratamiento y 4×10^7 UFC/mL a la salida del mismo. Las bacterias coliformes totales y fecales tuvieron un desarrollo variable, pero a la salida del sistema se observó una disminución de las mismas, atribuyendo estos resultados al cambio de condiciones ambientales (aerobio-anaerobio). En todas las muestras analizadas, se ha encontrado presencia de *Escherichia coli* (género de coliformes más representativo de contaminación fecal) y *Pseudomonas aeruginosa*.

Monitoreo de Agua Subterránea

Los valores promedios de los parámetros fisicoquímicos analizados en el agua subterránea se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (C.A.A.) (2007) para consumo humano, excepto en el caso particular del arsénico (Tabla 1).

El ion amonio se encuentra generalmente en bajas concentraciones en las aguas subterráneas, debido a que es adsorbido en las partículas y arcillas del suelo y no se extrae fácilmente por lixiviación, lo que implica que posee una baja movilidad. En ninguna de las muestras analizadas se encontraron concentraciones de amonio y nitrito detectables por el método de análisis. Cabe aclarar, que la presencia de nitritos indicaría una contaminación de origen orgánico tal como la generada por los pozos cloacales. En casos estudiados en sectores de la ciudad de Rafaela que poseen pozos negros, se han encontrado valores de nitritos promedios superiores al límite establecido por el Código Alimentario Argentino.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos analizados en el pozo de monitoreo de agua

Parámetros Fisicoquímicos	Límite C.A.A.	Previo a la construcción del sistema (1999)	Promedio (2010- 2012)
pH	6.5-8.5	7.55	7.57 ± 0.12
Sólidos totales (mg/L)	1500	1469	1238.9 ± 72.7
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	400	66.2	75.6 ± 15.1
Calcio (mg/L Ca ⁺²)	-	13.3	16.5 ± 6.8
Magnesio (mg/L Mg ⁺²)	-	8.1	8.5 ± 3.5
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	-	724.9	773.3 ± 71.9
Carbonato (mg/L CO ₃ ⁻²)	-	No contiene	No contiene
Bicarbonato (mg/L HCO ₃ ⁻)	-	884.4	943.4 ± 87.7
Cloruro (mg/L Cl)	350	105	96.3 ± 7.3
Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻²)	400	205.9	127.1 ± 31.5
Arsénico (mg/L As)	0.01	0.05	0.16 ± 0.07
Nitrito (mg/L NO ₂)	0.10	ND(0.05)	ND(0.05)
Nitrato (mg/L NO ₃)	45	5.0	9.2 ± 3.9
Amonio (mg/L NH ₄ ⁺)	0.20	ND(0.05)	ND(0.05)

Tabla 2. Parámetros bacteriológicos analizados en el pozo de monitoreo de agua

Parámetros Bacteriológicos	Límite C.A.A.	Previo a la construcción del sistema (1999)	Promedio (2010- 2012)
Recuento Total (UFC/mL)	< 500	96	290 ± 51
Coliformes totales (NMP/100 mL)	< 3	< 2	5 ± 4
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	< 3	< 2	< 2
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia en 100 mL	Ausencia en 100 mL	Ausencia en 100 mL
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia en 100 mL	Ausencia en 100 mL	Presencia en 100 mL

En este estudio, las concentraciones de nitrato variaron a lo largo de los muestreos, pero los valores encontrados no fueron elevados, lo que indicaría que no existe una contaminación importante. En algunos sectores de la ciudad que aun no cuentan con sistema cloacal, los valores obtenidos superan ampliamente los límites fijados por el C.A.A., lo que puede deberse a la contaminación fecal que hay en esta zona, generada por los pozos negros (Boglione *et al.*, 2009). En cuanto a los cationes (calcio, magnesio) y aniones (sulfatos, cloruros, bicarbonato) analizados, no hubo variaciones importantes a lo largo del tiempo de estudio. Las concentraciones de arsénico halladas corresponden a valores típicos de la zona y no están vinculadas al sistema en estudio (Vázquez, *et al.*, 2000)

Con respecto a los resultados obtenidos en los análisis bacteriológicos, es importante destacar que no se evidenció presencia de coliformes fecales y de *Escherichia coli*, teniendo en cuenta que el sistema se encuentra en funcionamiento desde hace 10 años. De acuerdo a estos resultados podemos inferir que el sistema de tratamiento en estudio no contaminaría las napas freáticas con bacterias de origen fecal (Tabla 2). Si bien hay presencia de *Pseudomona aeruginosa* en la mayoría de las muestras de agua analizadas y esta bacteria suele estar presente en grandes cantidades en el agua residual, su presencia no puede atribuirse a fuentes de contaminación fecal cercanas (Boglione *et al.*, 2009).

En la tabla 3 se comparan las características del sistema pozo negro respecto del propuesto, donde se pueden observar las ventajas del tratamiento en estudio.

Tabla 3. Cuadro comparativo de sistema tradicional respecto del propuesto en este estudio

Características	Pozo Negro	Cámara séptica - zanja filtrante
Contaminación de agua subterránea	Mayor posibilidad de contaminación	Menor posibilidad de contaminación
Características funcionales y estructurales	Existen peligros de derrumbes con riesgo para los habitantes	Sistema seguro
Mantenimiento	Más costoso	Menos costoso
Vaciado	Del pozo con frecuencia mensual o semanal	De la cámara séptica anual

Conclusiones

El efluente cloacal tratado mediante un sistema cámara séptica-zanja filtrante, recibe un tratamiento natural antes de infiltrarse en el terreno, situación que no sucede en un pozo negro.

Se ha evidenciado una importante disminución de las concentraciones de DQO y DBO₅ del efluente de salida, demostrando el buen funcionamiento del tratamiento y el cumplimiento de los límites exigidos por las autoridades competentes.

Las distintas mediciones realizadas en las aguas subterráneas aledañas al sistema, ponen de manifiesto las ventajas del tratamiento, ya que no se ha detectado contaminación por nitratos, nitritos, amonio y bacterias de origen fecal por infiltración.

Referencias bibliográficas

- APHA, (2001). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. American Public Health Assoc., N. York.
- Boglione, R.; Panigatti, M.C.; Griffa, C.; Cassina, D. (2009). *Estudio de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca oeste de la provincia de Santa Fe*. Libro de resúmenes del XXII Congreso Nacional del Agua. 36-37. ISBN:978-987-25369-0-9.
- Código Alimentario Argentino. (2007) *Artículo 982 - (Res Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007)*.
- Metcalf y Eddy, Inc., (1999). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3° Ed. Mc Graw-Hill. Madrid. España.
- Vázquez, H.; Ortolani, V.; Rizzo, G.; Bachur, J. y Pidustwa, V. (2000). *Arsénico en aguas subterráneas criterios para la adopción de límites tolerables*. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, Brasil. 17 pp.