Alternativa de tratamiento de aguas residuales para comunidades rurales con pequeños sistemas de alcantarillado sanitario

Alternative wastewater treatment for rural communities with small sanitary sewer systems

Carlos Sánchez-Mendieta, Alexander Mite Bedoya, Andrés Pintado Alvarado

csanchez@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante sistema de zanjas y pozos de infiltración para sectores rurales con pequeñas redes de aguas residuales y dar solución al problema de insalubridad que provoca la contaminación de los afluentes del sector debido a la falta de un tratamiento previo a las aguas residuales domiciliarias, para lo cual se propone dos alternativas basadas en sistemas de absorción. El propósito de este estudio es determinar en base a los resultados de las pruebas de infiltración realizadas en el sitio donde se desea implantar el tratamiento, una alternativa de diseño eficiente y de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento, aprovechando al máximo las características del suelo del lugar. Para ello, se realizó los ensayos de campo y laboratorio respectivos, cuyos resultados son favorables para la implementación de un sistema que contemple zanjas y pozos de infiltración como alternativa de tratamiento de aguas residuales del sector a nivel secundario. Además, cada sistema contará con un tratamiento previo a nivel preliminar y primario mediante rejilla de desbaste y tanque séptico.

Palabras clave: Insalubridad, aguas residuales, sistemas de absorción, pruebas de infiltración, pozos de infiltración, zanjas de infiltración.

ABSTRACT

The purpose of this work is to design a wastewater treatment system by means of a system of ditches and infiltration wells for rural sectors with small wastewater networks and to solve the problem of unhealthiness that causes the contamination of the tributaries of the sector due to the lack of prior treatment to residential wastewater, for which two alternatives based on absorption systems are proposed. The purpose of this study is to determine, based on the results of the infiltration tests performed at the site where the treatment is to be implanted, an efficient design alternative and low cost of construction, operation and maintenance, taking full advantage of the characteristics of the floor of the place. For this, the respective field and

laboratory tests were carried out, the results of which are favorable for the implementation of a system that contemplates ditches and infiltration wells as an alternative for wastewater treatment of the sector at the secondary level. In addition, each system will have a preliminary treatment at the preliminary and primary level by grinding grid and septic tank.

Keywords: Insalubrity, wastewater, absorption systems, infiltration tests, infiltration wells, infiltration trenches.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de cualquier población, "normalmente los recursos hídricos se obtienen de aguas superficiales o de aguas subterráneas. El uso de unas u otras depende de muchos factores, inicialmente de la disponibilidad de cada recurso, las aguas superficiales ofrecen cantidades mayores de agua a corto plazo, mientras que las subterráneas son un recurso más constante, al menos, a mediano plazo" (Fernández, 2012). Las aguas superficiales y subterráneas son vulnerables a la contaminación por distintas formas, una de ellas es la provocada por aguas servidas.

"Los métodos de evacuación de aguas residuales domesticas más comunes en la mayoría de ciudades de los países en desarrollo han sido el vertimiento directo a los suelos y a los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos y mares) y el riego; sin embargo, estas prácticas no respetan las regulaciones municipales para descarga ni los estándares de calidad para el agua de riego, representando problemas ambientales y riesgos para la salud" (Torres, 2012).

Según el censo del año 2010, en El Oro 57171 viviendas eliminan sus aguas a través de descarga directa o pozos negros. Cabe señalar que el hecho de que las conexiones se realicen a la red pública de alcantarillado no implica que dichas aguas serán tratadas antes de verterlas a los cuerpos receptores. Muchas redes públicas de alcantarillado vierten sus aguas a quebradas, ríos, esteros, más cercanos sin ningún tipo de tratamiento, lo que se conoce como descarga directa de aguas servidas.

En ciudades de la provincia, como en la ciudad de Machala se evidencia este tipo de contaminación en el Estero Huaylá, y canal El Macho, ya que las aguas de la ciudad son dirigidas a estos lugares. Asimismo, en investigaciones realizadas a los asentamientos de población en las riberas del canal El Macho se observa que los habitantes "carecen de servicios higiénicos en sus domicilios, todos sus desechos son descargados directamente en

el canal, contaminado más sus aguas que antes eran utilizadas para el riego de cultivos del agro" (Loor, 2016).

En el estero Huaylá la contaminación provocada por la parte sur de la ciudad de Machala es evidente. "En el caso del oxígeno disuelto los tramos iniciales, donde nace el estero, presentan altas concentraciones de coliformes fecales, que se sitúan en cifras superiores a los 600 coliformes NMP/100ml, que rebasan con amplitud el límite de 200 establecido en las TULAS. La situación es descrita para marea baja, pero en marea alta debido al efecto de dilución varían entre 40 y 500. Los tramos donde nace el estero tienen cifras superiores a límite anotado anteriormente" (Neoambiente, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación aplicada y experimental, para la aplicada se estudió las distintas alternativas de solución y se escogió la más factible dadas las condiciones del lugar de emplazamiento, mientras que para la investigación experimental se realizó pruebas de campo y laboratorio para determinar las características de suelo necesarias para los diseños.

La investigación comprendió la simulación de las condiciones de trabajo a la que va a estar expuesto el suelo, esta simulación se la realizo in situ y su información fue corroborada mediante ensayos de permeabilidad realizados en laboratorio de las muestras extraídas del lugar y para definir las alternativas de diseño aplicables, se realizó un análisis de pre factibilidad de las distintas alternativas de tratamiento, escogiendo la que satisface las condiciones socioeconómicas y de tipos de suelo.

Los métodos técnicos utilizados para definir la alternativa de solución estarán en base a los estudios de suelos, se realizó primeramente pruebas de infiltración in situ y luego estudios de suelos de los distintos estratos en laboratorio. Las pruebas de infiltración basada en la unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural de la organización panamericana de la salud y ciencias del ambiente cuyo objetivo de este método es normalizar el procedimiento de las pruebas de infiltración para el diseño de pozos y zanjas de absorción para el tratamiento secundario de aguas residuales.

DISCUSIONES

Los resultados de las pruebas de infiltración se pueden determinar la capacidad de infiltración del suelo donde se propone implantar el sistema de tratamiento, cuyos resultados se muestran a continuación en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de las pruebas de infiltración

PRUEBA N	HORAS		MEDIDA DE NIVEL		DIFERENCIA ENTRE MEDICIONES (cm)	PROMEDIO DE TRES ULTIMAS LECTURAS	INFILTRACION (MIN/CM)
	HORA INICIAL	HORA FINAL	LECTURA INICIAL (cm)	LECTURA FINAL (cm)			
1.00	16:00	16:30	26.00	33.00	7.00	5.97	4.29
	16:30	17:00	25.00	31.50	6.50		
	17:00	17:30	25.00	32.00	7.00		
	17:30	18:00	24.50	30.40	5.90		
	18:00	18:30	24.50	30.50	6.00		
	18:30	19:00	25.00	31.00	6.00		
2.00	17:00	17:30	34.00	48.00	14.00	14.00	2.14
	17:30	18:00	30.00	43.50	13.50		
	18:00	18:30	30.00	43.50	13.50		
	18:30	19:00	30.00	44.00	14.00		
	19:00	19:30	30.00	44.00	14.00		
	19:30	20:00	30.00	44.00	14.00		
3.00	12:25	12:55	25.50	44.00	18.50	17.83	1.68
	12:55	13:25	25.50	43.50	18.00		
	13:25	13:55	23.50	41.50	18.00		
	13:55	14:25	23.00	41.00	18.00		
	14:25	14:55	24.00	41.50	17.50		
	14:55	15:25	24.00	42.00	18.00		

Dentro de los resultados obtenidos en las pruebas de infiltración se establece un valor de tasa de infiltración de 2.7 y un valor de tiempo para infiltrar 5cm de 13.52 minutos, encontrándose en el rango de 10 a 30 minutos el cual lo clasifica como terreno de clase media

Cuadro 2. Pruebas de infiltración en comunidades del Sector de Santa Rosa

TASA DE INFILTRACION T(min/cm)	VELOCIDAD DE INFILTRACION PROMEDIO Vp(m/s)	TIEMPO PARA FILTRAR 5cm	CLASE DE TERRENO
2,7	**8,74x10^-7**	**13,52**	**Medio**

Los estudios de suelo realizados a las muestras extraídas de los cilindros de prueba determinan un límite líquido de 40.40% y un índice de plasticidad de 6.18% lo que lo clasifica como suelo de tipo ML o OL ubicando a la muestra como Arena limosa; mezcla de arena, grava y limo de baja compresibilidad. En base a los valores el suelo con el que se cuenta es favorable para sistemas de absorción.

Debido a la condición topográfica plana característica de la zona, tiene mínima área de superficie; con cuerpo receptor más cercano aproximadamente a 700 m del lugar escogida y a su bajo costo de operación y mantenimiento; se descarta el tratamiento mediante lagunas de estabilización y humedales artificiales, ya que estos necesitan grandes extensiones de terreno para sus sistemas y el método de biofiltración se descarta por ser más costoso en comparación con lo infiltración directa.

La alternativa de la infiltración directa no necesita grandes extensiones de terreno para implantar sus sistemas. Una vez construido la planta de tratamiento no necesita de personal especializado para su operación y mantenimiento. Por otra parte, se tiene que el suelo debe

tener como característica impermeable pero el sistema de filtración tiene la alternativa de construir en este, sistemas de drenaje que permitan recolectar y conducir el agua tratada al cuerpo receptor más cercano.

De las alternativas expuestas la infiltración directa y como se mencionó anteriormente, es necesario la construcción de un tratamiento primario, para evitar la colmatación y fallas en su funcionamiento, por lo que se diseñará en primer lugar desbaste, que es una rejilla metálica encarda de evitar el paso de materiales grandes a la planta de tratamiento. Para el tratamiento primario se colocará una cámara de desarenación junto con una cámara de biodigestión.

Para el tratamiento primario se propone un sistema se tanque anaerobio. "El uso de sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales de tipo municipal ha surgido en años recientes como una opción potencialmente interesante; esto debido a sus bajos costos de operación y producción de lodos menores con respecto a los sistemas aerobios" (Avila, y otros, 2010), con un volumen de lodos producido 32 l/hab/año; apegados a las normas se adopta el valor de 40 l/hab/año como lo indica la especificación técnica.

La temperatura favorece a nuestro diseño ya que a "temperaturas altas y estables todo el año, representa una ventaja específica para el uso de los sistemas anaerobios" (Lorenzo & Obaya, 2006) con un volumen de lodos almacenados 10.24 m3. Se considera 2 años ya que estos sistemas estarán bajo inspección visual rutinaria y se evitara la colmatación con lodo ya que se "recomienda que lodos y natas deban ser removidos cuando excedan del 30% del volumen del tanque o si no hay supervisión se debe limpiar por lo menos cada 3 o 5 años" (Mendez, Gijon, & Osorio, 2007), con un volumen de sedimentación 88.90 m3 obteniendo un volumen total de 108.24 m3, para un periodo de retención de la recamara principal 1.22 días; por lo consiguiente cumple con recomendación, la que indica periodos de retención hidráulica de entre uno a tres días.

Para la distribución del tanque séptico se la realizó con dos tanques en paralelo, cada uno dividido en dos recamaras, una de sedimentación y otra de biodigestión. Esta distribución provoca la sedimentación total de lodos en la primera cámara y como las cámaras están divididas en un 60 – 40 %, aumentaría el calado de lodos en la primera cámara hasta 17.85 %, por lo que cumpliría con la disposición de no colmatar con lodos más del 30% de la recamara se sedimentación.

Para el tratamiento secundario tenemos las siguientes alternativas: Las zanjas de infiltración son canales de secciones no mayores en su base de 1.50 m, relleno de gravas y arenas de distintas granulometrías. En su parte superior se coloca una tubería perforada que es la que alimenta el filtro. El paso del agua a través de estos sistemas es lo que logra que esta se depure; y los filtros superficiales de arena que son estructuras parecidas a las zanjas de infiltración, pero con secciones mayores, sobre estos filtros se distribuye de forma uniforme la tubería perforada que va en la parte superior y dispersa el agua a ser tratada. Cabe destacar, que tanto las zanjas de infiltración como los filtros superficiales de arena se pueden impermeabilizar en su parte inferior para lograr recolectar las aguas tratadas. En el cuadro 3 se describe los resultados obtenidos de las pruebas de infiltración.

En el transcurso de la prueba en el estrato a 80 cm de profundidad, el agua no se infiltro al igual que en las restantes calicatas como se detalla en el cuadro No4. Como se puede observar el filtro de arena está constituido en un 75 % de arena fina, y un 25% de grava de 0.5 a 2.00 cm de diámetro. Es por lo que consideramos un coeficiente de permeabilidad de K 0.1 cm/s. La velocidad de infiltración para un descenso de 2.50 cm es de 0.418 min/cm Como la velocidad de infiltración para el descenso de 2.50 cm es menor a 1.60 se aplicará una velocidad máxima de 189 L/m2 día y el área de infiltración es 470.86 m2

Cuadro 3. Prueba de infiltración in situ de la calicata 1

No.	Hora inicial	Hora final	Lectura inicial (cm)	Lectura final (cm)	Diferencia (cm)
1	12:00	12:30	27.00	27.00	0.00
2	12:30	13:00	27.00	27.00	0.00
3	13:00	13:30	27.00	27.00	0.00
4	13:30	14:00	27.00	27.00	0.00
5	12:00	12:30	27.00	27.00	0.00
6	12:30	13:00	27.00	27.00	0.00

Cuadro 4. Resumen de datos de campo de infiltración en terreno

Calicata 1 (profundidad=0.80 M)		Calicata 2 (profundidad=1.40)		Calicata 3 (profundidad=2.00 m)	
Altura de agua de saturación al iniciar prueba (cm)	Altura de agua al terminar la prueba (cm)	Altura de agua de saturación al iniciar prueba (cm)	Altura de agua al terminar la prueba (cm)	Altura de agua de saturación al iniciar prueba (cm)	Altura de agua al terminar la prueba (cm)
27	27	24	24	30	30

La alternativa del tratamiento secundario elegida son los filtros superficiales de arena, estos filtros permiten distribuir el agua en todo en todo el terreno mediante tuberías de 100mm perforadas. Los filtros están constituidos en 75 % de arena y un 25 % de grava, el movimiento del agua a través de esta capa permeable permite depurar eficientemente las aguas procedentes del tratamiento primario. Para lograr esta eficiencia se trabajará con ciclos de operación de siete días, los cuales permiten eliminar materia orgánica cuando están operando, y se máxima la capacidad de infiltración una vez transcurrido el periodo de secado.

CONCLUSIONES

Al comparar los diseños de zanjas filtros con los filtros superficiales de arena y al tratar de optimizar el terreno disponible, se optó por la construcción de filtros superficiales de arena los cuales tienen un lecho de infiltración de base 7.20 m que al ser multiplicado por su longitud se obtiene el área a ser aprovechada. Mientras que la zanjas solo admiten un diseño de hasta 1.50 m de ancho.

Realmente la restricción mayor es la construcción de un dique central de 3.00 m de ancho para separar las estructuras de infiltración, y al ser la zanja estructuras pequeñas, se coloca en medio de ellas el dique lo que provoca un aumento considerable en área en comparación con los filtros superficiales de arena cuyo dique es colocado cada 7.20 m.

Para operar de manera eficiente los filtros consideramos la construcción de 5 filtros superficiales de arena, se trabajara con ciclos de operación de siete días es decir: trabajaran siete días tres filtros luego de esto se trabajar con los restantes por siete días más, procurando que todos tengan periodos de intermitencia iguales, y cumplan con periodos de secado de siete días, estos periodos de secado maximizan la eficiencia de infiltración a través de los filtros, mientras que en el periodo de operación eliminan materia orgánica. La tubería de distribución y recolección de las aguas será de 100mm de PVC perforada con orificios de 13 mm cada 10 mm con una pendiente de 3%°.

En experiencias anteriores de tratamientos de aguas servidas mediante tratamiento primario con tanque séptico y zanjas de infiltración “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 (Panigatti, Boglione, Griffa, Boidi & Schierano, 2013). Estos sistemas removieron 72% de DQO y 64% de DBO5.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ávila, S., Gonzáles, J., Canche, J., Calva, G., Juan, A., Oropeza, N. & Carrión, J. (2010). Uso de un filtro anaeróbico sumergido en la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales. Resultados preliminares . *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, XLI*, 1-9.

Abushandi, B. (2013). Modelling Rainfall Runoff Relations Using HEC-HMS and IHACRES for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan. *Water Resources Management*.

Chen, A. (2009). A GIS-based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*.

Hellweger, D. (1990). Definition and Connection of Hydrologic Elements using Geographic Data. *Journal of Hydrologic Engineering, 4*.

Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva, XI*(3), 147-170.

Loor, J. (2016). *Consecuencias socioeconómicas en las familias asentadas en las riberas del estero el macho por contaminación de descargas de aguas residuales*. Machala.

Lorenzo, Y. & Obaya, M. (2006). La digestion anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azícar, XL*(1), 13-21.

Méndez, R., Gijón, A. & Osorio, H. (2007). Determinación de la tasa de acumulación de lodos en fosas sépticas de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería, XI*(3), 55-64.

Neoambiente, C. (2006). *Ministerio de Ambiente.* Quito.

Panigatti, M. C., Boglione, R., Griffa, C., Boidi, M. & Schierano., M. C. (2013). Tratamiento de efluentes cloacales utilizando cámara séptica y zanja filtrante. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, 1-72.

R. C. & J. C. (2007). *Ingeniería de Tránsito, fundamenteos y aplicaciones*. México: Alfaomega Grupo Edito.

Schumann, R. (2000). Application of a geographic information system for conceptual rainfall-runoff modeling. *Journal of Hydrology*.

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*(18), 115-129.