

Evaluación de sistemas aislados de tratamiento de aguas residuales en Nicaragua

Evaluation of isolated sewage treatment systems in Nicaragua

Araceli Lozano¹

María J. Rodríguez²

José A. Mancebo³

Daniel Leante⁴

¹Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid, España, araceli.lozano.pulido@gmail.com

²Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid, mariajo240677@yahoo.es

³Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid, ja.mancebo@upm.es

⁴Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Madrid, dleante@hotmail.com

Autor para correspondencia: María J. Rodríguez, mariajo240677@yahoo.es

Resumen

Desde hace ya algún tiempo se están acometiendo proyectos interesantes para el tratamiento de aguas residuales en ámbitos rurales aislados mediante instalaciones de bajo coste, que permiten un acceso mejorado de calidad al servicio para la mayoría de la población sin recursos económicos. El presente trabajo aborda la problemática del acceso a saneamiento familiar desde una perspectiva tecnológica de

bajo coste con la integración de actores: beneficiarios, operadores locales, Instituciones Nacionales, Universidad, y los Organismos Internacionales de Cooperación para el Desarrollo. Este artículo presenta el análisis desde las tecnologías implementadas, integradas y socialmente aceptadas tanto en Proyectos Locales como Programas Internacionales en Nicaragua: la Taza Rural y el Inodoro Ecológico Popular. Tras la evaluación de su funcionamiento desde un enfoque aplicado, se plantean propuestas de análisis, visibilizando cuestiones recurrentes en la implementación de las tecnologías de bajo coste como son la necesidad de implementar procesos de divulgación, transferencia tecnológica y democratización de conocimiento.

Palabras clave: tecnología de bajo coste, saneamiento, inodoro ecológico, taza rural.

Abstract

For some time, interesting projects have been undertaken to treat wastewater in isolated rural areas through low-cost facilities, which allow improved quality access to service for most of the population without economic resources. The present work addresses the problem of access to family sanitation from a low cost technological perspective with the integration of actors: beneficiaries, local operators, National Institutions, University, and International Development Cooperation Organizations. This article presents the analysis of the technologies implemented, integrated and socially accepted in Local Projects and International Programs in Nicaragua: The Rural Cup and the Popular Ecological Toilet. After evaluating its operation from an applied approach, proposals for analysis are presented, highlighting recurrent issues in the implementation of low cost technologies such as the need to implement processes of dissemination, technology transfer and knowledge democratization.

Keywords: Low cost technology, sanitation, ecological toilet, rural cup.

Recibido: 22/06/2017

Aceptado: 21/02/2018

Introducción

El transporte de aguas residuales por arrastre hidráulico es la forma más generalizada para conducir los residuos de las viviendas familiares, tanto en zonas urbanas como rurales. Estos procesos pueden suponer entre el 60 y el 80 % del gasto familiar de agua (Metcalf, & Eddy, 2002). Los residuos sólidos están compuestos casi en su totalidad por materia orgánica y contienen, también, microorganismos presentes en nuestro organismo como son virus, helmintos, bacterias y parásitos. El contacto o ingestión de estos residuos es causante de 4 000 millones de casos de diarrea anuales en el mundo, siendo la segunda causa de muerte con 1.8 millones de fallecimientos al año, el 90 % de ellos niños menores de cinco años (OMS, 2013).

Por ello es imprescindible la implantación de sistemas de saneamiento, individuales o colectivos, diseñados para la recogida de las aguas grises y negras y su posterior tratamiento para la eliminación de la carga orgánica y elementos contaminantes. El cierre del ciclo de tratamiento se realiza con la depuración de las aguas residuales para la eliminación de la carga orgánica contaminante y los sólidos en suspensión, asegurando la calidad ambiental y sanitaria tanto del entorno donde viven como de los ríos y mares, devolviendo estas aguas al cauce en un estado "adecuado"(Corcoran *et al.*, 2010).

Dada la tipología de residuo, la instalación es diseñada para el transporte por gravedad, y como cualquier instalación, el sistema ha de ser convenientemente mantenido para su correcto funcionamiento. La realidad geográfica y demográfica condiciona cómo solucionar el problema generado por las aguas residuales (García, 2007). Las características geográficas de los núcleos rurales, con viviendas dispersas y alejadas, hace que los sistemas colectivos convencionales de recogida y transporte de aguas residuales resulten inviables en muchas poblaciones debido a la importante inversión en ejecución como en mantenimiento que suponen (Sato, Qadir, & Yamamoto, 2013). El alejamiento de estos núcleos rurales de los centros de toma de decisión y los problemas de acceso tanto físico como a la información convierte a estas zonas en olvidadas, siendo en ellas donde se concentra mayormente la pobreza. No solo se trata de un problema de salud, lo es también de la dignidad de las personas (PNUD, 2006). La Observación

General nº 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales concluyen que el agua y el saneamiento son indispensables para una vida digna, y reconocidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas en la Resolución 64/292 en 2010 como Derecho Humano.

Específicamente, en los Objetivos para el Desarrollo Sostenible, la garantía para el saneamiento supone la búsqueda de soluciones viables a las problemáticas en cada zona. Las tecnologías apropiadas son infraestructuras que tanto en su diseño como en su mantenimiento demandan menos recursos, siendo su procedencia prioritariamente local, lo que abarata su coste y facilita su mantenimiento (Cardoso, Fernández, & Gualdani, 2014). Además, se adaptan a las características propias de cada intervención, lo que da lugar a una rica tipología de propuestas con un alto impacto social y un bajo impacto ambiental.

La evaluación y análisis de las infraestructuras es incipiente en el campo de la ingeniería para el desarrollo, donde los fallos de una infraestructura superan la simple elección tecnológica. La evaluación de una propuesta tecnológica, además de determinar el cumplimiento de los objetivos del proyecto, es una herramienta para el conocimiento y la mejora tanto de la intervención, así como proyectos futuros, además de indagar en las consecuencias imprevistas debido a las actividades del proyecto (Lobera, Martínez, López, & Narros, 2014).

Este artículo procede al análisis de dos casos particulares de tecnologías individuales de amplia extensión: el Inodoro Ecológico Popular (IEP) y la taza rural (TR) en Nicaragua, donde el 42 % de la población vive en zonas rurales. El interés de las propuestas es que parten del trabajo colaborativo local entre usuarios, actores sociales, expertos e Instituciones Nacionales como el Centro de intervención educativa en medio ambiente (CIEMA), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y consultores como Ensome- PIENSA. A la propuesta se han ido integrando ONGDs (ONGAWA), la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) a través del Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo y los Organismos nacionales e internacionales de cooperación para el desarrollo como el Banco Mundial, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (Cosude) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

El objetivo es evaluar la propuesta tecnológica en el cumplimiento de sus objetivos, así como sus riesgos. A partir del trabajo de campo y encuestas a sus usuarios se pretende realizar un análisis integrador,

tanto técnico como social y ambiental, de los procesos que tienen lugar en la instalación y alrededor de esta, donde se analizaron los puntos más débiles y problemáticos, así como propuestas de mejora para su óptimo funcionamiento.

El interés de este estudio radica tanto en verificar la idoneidad de la instalación, así como crear la base para el conocimiento y posterior extrapolación a otras experiencias y tecnologías que contribuyan a la sistematización de las evaluaciones de saneamiento. La finalidad es constituir una base para el establecimiento de procedimientos de análisis de la implementación de propuestas tecnológicas en el campo del saneamiento y depuración adaptadas a los contextos demandantes con el objetivo es minimizar los problemas recurrentes observados en la elección e implantación de tecnologías de bajo coste.

Este trabajo pretende la divulgación de los conocimientos y la transferencia de la tecnología como herramientas para universalizar el acceso como democratizar el conocimiento.

Descripción de las tecnologías propuestas

El *Inodoro Ecológico Popular* (IEP), diseñado y validado por el Centro para la Promoción la Investigación y el Desarrollo Rural y Social (CIPRES) es un sistema de saneamiento unitario (on-site), también conocido como Letrina Horizontal Ecológica, con flujo de arrastre horizontal a partir de la descarga de 1 a 1.5 litros de agua, como se puede observar en la Figura 1.

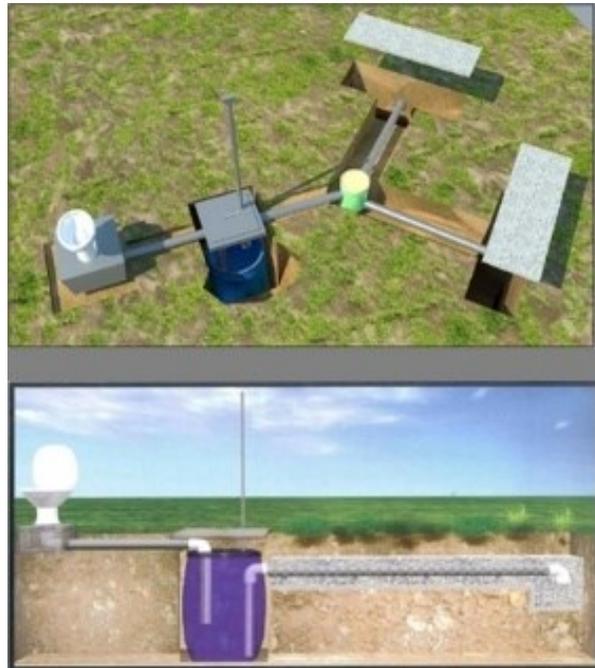


Figura 1: Esquema general (planta y perfil) del Inodoro Ecológico Popular (ENSOME – PIENSA UNI, 2012).

Las distintas partes que conforman la instalación presentada en la Figura 1 se diseñaron y dimensionaron con el objetivo de simplificar y asegurar la funcionalidad para los usuarios (Núñez, 2010), describiéndose a continuación:

1. Inodoro común al que se le ha inhabilitado el sifón, de forma que el material pasa directamente al tubo de descarga.
2. Tubería de descarga de PVC de 75 mm de diámetro que transporta el material por gravedad hasta el depósito.
3. Depósito formado por un bidón, de al menos 200 litros dependiendo la amplitud de la unidad familiar, donde los residuos se depositan y son almacenados. El bidón ha de estar convenientemente cerrado para el confinamiento de los residuos y protección del contacto humano, además de facilitar los procesos de digestión en su interior. Por las características de uso del sistema, el tiempo de retención hidráulico en el interior es muy variable dependiendo de los caudales utilizados para el arrastre, estando comprendido entre los 2.2 y los 32.4 días. En este tiempo

tienen lugar distintos procesos bioquímicos por la actividad química y microbiana, que descompone la materia y metaboliza los residuos. Se trata de un proceso principalmente anaerobio con poca aportación de oxígeno.

4. Tubo de aireación de 1.9 cm (3/4 pulgadas) de diámetro para la salida de los gases producidos en los procesos de descomposición del barril. Se instala un mallazo en el extremo de salida para evitar la entrada de vectores en el barril.
5. Tubería de infiltración, que desaloja la materia procesada en el bidón por diferencia de cota hacia el terreno, distribuyéndose la carga a lo largo de esta. Es una tubería de PVC con distintas ranuras en la parte media de unos 0.6 cm de ancho por 7.5 cm de largo, y donde se finaliza con el procesamiento aerobio de los residuos.
6. Zanja de infiltración de 3-4 metros de largo, 40 cm de ancho y 40cm de profundidad donde la tubería es dispuesta sobre grava, que facilita la entrada del material procesado en el terreno donde finaliza el proceso de descomposición.
7. Área de raíces en la superficie y a ambos lados de la zanja de infiltración para terminar de depurar los efluentes. No se define características ni dimensiones.

Existe una modificación significativa del sistema (Núñez, 2010), con la disposición de dos tuberías de infiltración, de forma que estas funcionan alternadamente aumentando la capacidad y rendimiento del sistema, además de facilitar su mantenimiento. Esta tipología de instalación no se ha localizado en la zona de estudio.

La *Taza Rural* (TR) combina elementos de la letrina tradicional con flujo de arrastre vertical y elementos del Inodoro Ecológico Popular, conforme se representa en la Figura 2 a continuación (Cosude, 2011).

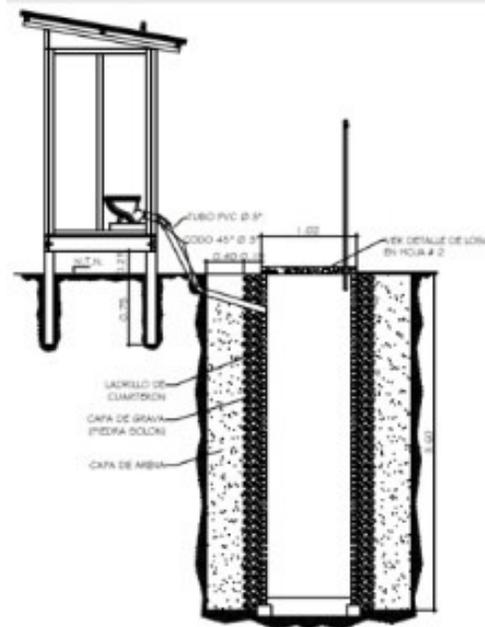


Figura 2: Sección de Taza Rural con pozo (ENSOME – PIENSA UNI, 2012).

La TR es un sistema más sencillo con menos elementos:

- La taza o inodoro común con sello hidráulico para impedir la salida de olores, en ocasiones se dispone una losa tipo “baño turco”.
- La tubería de descarga hacia el pozo mediante un sistema de arrastre hidráulico.
- Pozo de infiltración, de mayor profundidad, donde el material es infiltrado al terreno.

En ambas instalaciones (IEP y TR) se utiliza el terreno como sustrato depurador a nivel subsuperficial, aprovechando los procesos físicos, químicos y biológicos naturales que se desarrollan en el ecosistema suelo-agua-cultivo, que permiten eliminar la mayor parte de los contaminantes aún presentes en los efluentes depurados (Machado *et al.*, 2007). Ambas propuestas presuponen un efluente inocuo tras su paso por la instalación de infiltración. La propuesta del IEP, con infiltración más superficial, minimiza las probabilidades de contaminar acuíferos subterráneos.

Metodología

Con el objetivo de la evaluación de ambas propuestas tecnológicas, y como punto de partida, se ha analizado el estado del arte de las tecnologías. La recopilación previa de la información respecto a las tecnologías apropiadas en general y a las propuestas en particular, como de la zona donde se han implementado, favoreció el análisis teórico. Como complemento, se realizaron entrevistas con los distintos organismos que han implementado o planificaban la utilización de esta tecnología en sus proyectos, como son el Banco Mundial, Cosude, FISE, Save the Children, CIPRES, ONGAWA y CARE.

Adicionalmente, se diseñaron los modelos para las encuestas a realizar en terreno para definir las relaciones existentes entre la dimensión social, ambiental, económica y técnica del proyecto. Se realizaron un total de 300 encuestas, en 16 municipios y 30 comunidades, en unidades familiares donde el 55% eran mujeres. Las comunidades se seleccionaron en función de la geografía, representando al menos a 2 grupos focales en occidente, 2 en la zona norte y uno en la RAAN. Las entrevistas se complementaron con inspecciones visuales a las instalaciones existentes. La representatividad de la muestra es del 8% del total de unidades instaladas en los territorios seleccionados para realizar el estudio, como se indica en la Tabla 1.

De forma complementaria a las entrevistas se fueron inspeccionando las instalaciones como una fórmula para su evaluación que recoja todos los aspectos de la propuesta tecnológica.

Tabla 1. Distribución y representatividad de muestra por territorio (ENSOME – PIENSA UNI, 2012).

Departamento	Cantidad IEP/TR instalados por los ejecutores	Tiempo de instalación	Propuesta Viviendas	Representatividad

Chinandega	1161	4-1 años	115	10%
León	350	3-1 año	13	4%
Estelí	167	5-3 años	32	19%
Jinotega	753	1-1.5 años	52	7%
Matagalpa	1315	1 año	68	5%
RAAN W	244	> 1 año	20	8%
Total	3990		300	8%

Evaluación de las tecnologías

La evaluación de las tecnologías se realizó en los ámbitos en los que esta incide directamente, estructurándose en la evaluación funcional, la evaluación hidráulica, la evaluación social, la evaluación estructural y la evaluación ambiental.

La evaluación funcional está centrada en el diseño y funcionamiento de las infraestructuras. En ambas (IEP y TR) se ha eliminado el sifón, manteniendo la pendiente de la tubería de desagüe para facilitar el arrastre hidráulico y reducción de la cantidad de agua necesaria por descarga. Pese a que el olor no se elimina, se reduce en gran medida pudiendo disponer el sistema muy cerca de la casa o incluso en su interior, lo que facilita el uso y mejora la seguridad, principalmente para las mujeres. Ambas propuestas trabajan con importantes variaciones de carga hidráulica y contaminante debido al uso ocasional por parte de la familia y a los productos utilizados que son vertidos por el inodoro.

La evaluación hidráulica se realiza con el objetivo de analizar el funcionamiento de los distintos componentes del sistema mediante su modelización en laboratorio. Se realizó el modelaje en laboratorio de la tubería de descarga, similar en ambas propuestas, en la que se vertieron entre 1 y 1.5 litros de agua, con pendientes de tubería de entre 0.5% y 5%, verificándose velocidades de flujo en torno a 1 m/s, muy por encima de las velocidades de entre 0.3 y 0.5 m/s recomendadas por diferentes normativas.

El material plástico de la tubería minimiza la erosión provocada por sobrevelocidad, además de evitar la sedimentación en la tubería, mejorando el funcionamiento hidráulico. No fue posible modelar en laboratorio el resto de componentes del IEP y TR a partir de la realización de una instalación piloto, debido al alto número de posibles condiciones de operación en la instalación y la dificultad y riesgo biológico asociado al pilotaje de un decantador-digestor por la especificidad de instalaciones y procedimientos. La concepción como digestor de del barril del IEP precisa de la definición de parámetros de diseño como son el tiempo de retención de lodos, la temperatura, pH alcanzado y reducción de DQO y DBO, que superan el alcance de la evaluación.

Complementando el análisis de laboratorio, se procedió a la evaluación hidráulica a partir de estudios en campo de unidades seleccionadas, un total de 40 IEP y 15 TR. Los criterios de selección de estas unidades se resumen en: similitud en el tamaño de las familias usuarias y diferentes volúmenes de agua usados para la limpieza, representación de los diferentes instaladores, distribución entre las diferentes comunidades, y tiempo de uso de al menos siete meses. Se observó que, de las 40 instalaciones inspeccionadas, únicamente el 17.5%, están en pleno uso en su configuración original, y el 25 % las instalaciones no son utilizadas de forma habitual por los usuarios, lo que amplió las cuestiones acerca del sistema.

La infraestructura está diseñada para volúmenes de descarga entre 1 y 1.5 litros de agua, cantidad que, además de condicionar el arrastre, es la responsable del funcionamiento del digestor (en el caso del IEP). En la visita de inspección se observó que se utilizan cantidades que incluso triplican la cantidad de agua recomendada, como se presenta en la Figura 3.

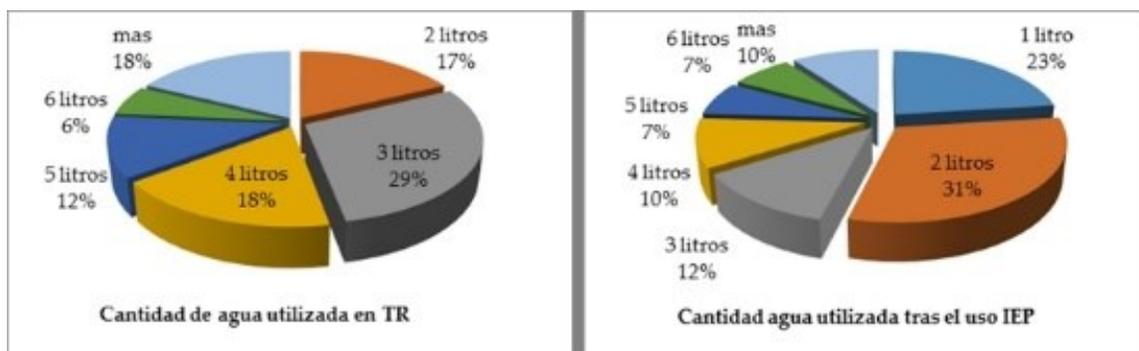


Figura 3. Cantidad de agua utilizada tras el uso del IEP y la TR.

La evaluación social se basa en el análisis de la aceptabilidad social, las actividades de operación y mantenimiento, aspectos de higiene, aspectos de conveniencia y preferencia relacionados con el uso del inodoro ecológico y la taza rural. Desde el punto de vista sanitario se analiza la capacidad de los dispositivos para ser una barrera ante el riesgo de transmisión de enfermedades, lo que garantiza la calidad de la instalación, de su uso y estado de limpieza (Mancebo, 2010). Además de la barrera física que supone la instalación, los usuarios presentaron como principal ventaja la disposición de la taza: cómoda, higiénica y fácil de limpiar, además de segura al minimizar los peligros en la deposición sobre todo para menores.

La aceptación por parte de la población también está relacionada con el imaginario de desarrollo, lo que favorece el aumento en la autoestima a la población. El 88% de las familias prefieren y usan el IEP/TR, lo cual indica un significativo nivel de aceptación de estas tecnologías. Las razones de preferencia de más frecuencia son higiene, comodidad y seguridad. Analizando esta variable por separado para IEP y TR, la tendencia es exactamente la misma. A pesar de la aceptación de la tecnología, hay aspectos importantes que deben ser objeto de revisión, tal es el caso de la educación sobre los materiales de limpieza que son vaciados en la taza y fluyen al digestor del IEP, mantenimiento de la zanja de infiltración y método de medición de lodos en el digestor; entre otros. En conclusión, todos referidos a capacitación y educación sobre el uso y mantenimiento del sistema en general.

El 90 % de los usuarios han sido capacitados en prácticas higiénicas y, esto se refleja en la inspección visual de las instalaciones, realizada durante la encuesta de estado de la higiene de la taza del IEP y TR. En dicha encuesta, se observó que solamente en el 18% de los casos, la taza presentaba mal olor, en el 21% se encontraron restos de heces, solamente en el 2% se encontraron vectores (cucarachas) y en el 4% se encontró agua sucia acumulada.

Pese a que el 100% de las familias recibieron capacitación para el mantenimiento y las operaciones de reparación del Inodoro Ecológico Popular, el 80% de las familias desconocen cómo y cuándo se llena el digestor, así como qué hacer cuando se obstruye la tubería de descarga y de infiltración, sintiéndose incapaces a actuar. En el diseño original de ambas instalaciones, no existe dispositivo o accesorio que permita

realizar la extracción de los lodos del barril, ni el vaciado. En el 91% de las instalaciones no se había realizado mantenimiento desde que se recibieron y apenas 16% de los usuarios manifestó disponer de instrucciones por escrito. En el cuadro 2 se resume la situación, siendo estos datos los que confirmaron la necesidad de un estudio estructural por partes de la infraestructura IEP, que presentaba mayor problemática que la TR.

En las encuestas realizadas, como se observa en la Tabla 2, son los mismos usuarios quienes reclaman la necesidad de más información y capacitación para reparación y mantenimiento. Siendo esta la mayor dificultad encontrada desde el punto de vista social para la implementación exitosa y sostenible de las instalaciones.

Tabla 2. Encuesta de uso y mantenimiento de las instalaciones de IEP y TR (ENSOME – PIENSA UNI, 2012).

	Uso IEP/TR	Mantenimiento o reparaciones IEP/TR			
		Si		No	
Uso cotidiano desde su instalación	299	24	8 %	275	91%
Uso temporal	9	4	45%	5	65 %
Total	308	28	9 %	279	91 %

La evaluación estructural se basa en el análisis del estado físico en que se encuentran las instalaciones y su uso seguro, analizando primero su ubicación en la vivienda y la construcción como el funcionamiento estructural en conjunto, para después proceder a analizar cada una de sus partes.

Normativas y guías de diseño, respaldadas por organismos como OPS/CEPIS y Cosude, recomiendan la instalación de la caseta de la letrina con arrastre hidráulico en el interior de la vivienda, o a una distancia a la vivienda no mayor de cinco metros para facilitar la comodidad del usuario, especialmente de las mujeres, dadas sus necesidades de higiene por la menstruación, además de minimizar el

riesgo de sufrir agresiones. Estos parámetros se cumplen para el IEP, pero no para la TR, conforme se presenta en la Figura 4.

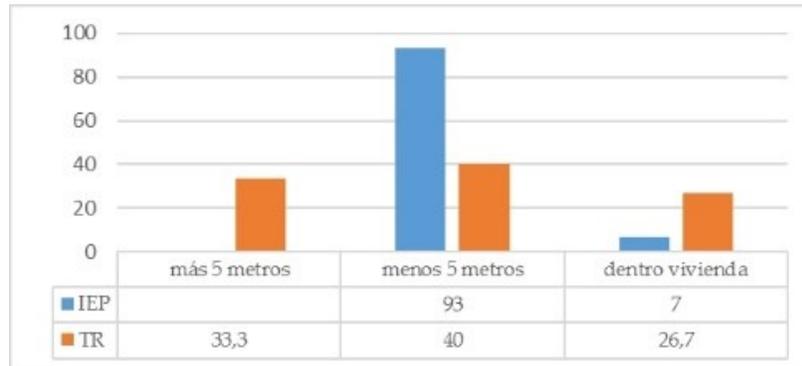


Figura 4. Comparativa % de distancia de la caseta a la instalación en la vivienda.

Durante la inspección, en el conjunto de la instalación se observan defectos en la construcción además de deficiencias en la calidad de los materiales. A partir de las entrevistas y encuestas, se concluye que no se realizó un seguimiento sistemático de la ejecución y la finalización de los trabajos por personal ajeno a la construcción.

Algunas de las deficiencias observadas tanto en el IEP como en la TR, no son visibles una vez ejecutadas las unidades, lo que facilita el cobro por unidad instalada a la empresa contratista. La certificación y pago a partir de unidades sanitarias instaladas promueve la rapidez en la finalización de los trabajos en lugar de la calidad. El objetivo de menor costo, considerando que la opción va dirigida a comunidades rurales y periurbanas con alto nivel de pobreza, no debería contradecirse con la adecuada calidad de los trabajos.

En el análisis por partes, tanto para el conjunto inodoro-barril digestor en el IEP como para el pozo de infiltración en la TR, señalar principalmente que los tubos de aireación estaban sobreelevados con respecto al diseño inicial, además de estar fisurados. Ninguno de los tubos tenía instalado una malla o cedazo para evitar la entrada de vectores en el barril. Las pendientes de la zanja-tubería de infiltración del IEP, varían notablemente respecto a las recomendaciones técnicas que recomiendan valores de 1.5 por mil y un máximo de 3 por mil y sin exceder nunca el 4.5 por mil (OPS, & Cepis, 2003).

La Figura 5, confirma la diferencia de las instalaciones ejecutadas con respecto a la recomendación, así como el amplio rango de pendientes inventariados.

El material de relleno de la zanja, además de garantizar la infiltración, debe cumplir la función de soporte y estabilizar la tubería de infiltración (OPS/CEPIS, 2003). El manual recomienda la instalación de piedra bolón, cascajo o trozos de ladrillo cuarterón; sin embargo, en la totalidad de las zanjas se observa la instalación de grava fina mezclada con suelo, o directamente el propio suelo.

A partir de las encuestas se concluye que no se realizaron pruebas de infiltración que confirmaran la adecuación de la instalación proyectada a los suelos existentes. El resultado, conforme se resume en la Figura 5, fue que el conjunto de la tubería de infiltración y zanja no funciona adecuadamente.

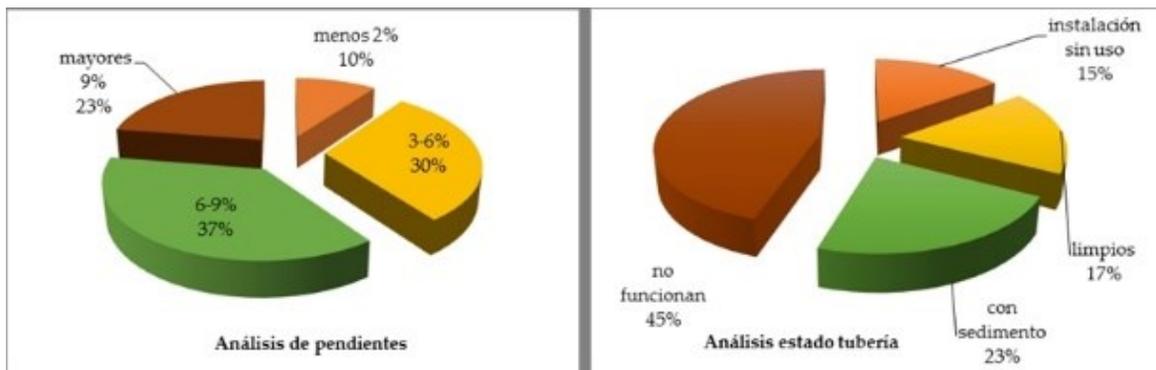


Figura 5. Resumen análisis de las pendientes y del estado de la tubería de infiltración.

La evaluación ambiental pretende confirmar la adecuación de la instalación al entorno y la sostenibilidad tanto en la ejecución como en su funcionamiento. La característica de la propuesta es el diseño unido a la utilización de materiales locales y de proximidad, facilitando la ejecución de instalaciones con un bajo impacto ambiental en su ejecución. El funcionamiento tiene importantes impactos para el medio humano y natural como consecuencia de la calidad de los efluentes resultantes.

Los parámetros seleccionados como la adecuada planificación de la toma de muestras se reflejan en los resultados finales, evitando trasladar los

fallos en las distintas etapas a errores en las conclusiones (Cedex, 2010). Para ello, en el IEP, fue preciso desarrollar un sistema de toma de muestras para su análisis cuantitativo y cualitativo en el barril digestor y en la tubería de infiltración para no alterar en lo posible las propiedades físico-químicas. Dada las características y dimensiones de la TR, no fue posible realizar la toma de muestras.

El rango de valores resultante es amplio para todos los parámetros analizados, siendo los valores inferiores los correspondientes a instalaciones infrautilizadas. Los valores de sólidos totales (ST) varían entre 12 741 mg/l y 63 200 mg/l, rango similar a los parámetros de sólidos totales volátiles: 6 871 mg/l y 56 566 mg/l. Parámetros como la DQO presenta valores entre 13 478 mg/l y 75 769 mg/l, mientras que DBO5 varía entre 1 300 mg/l y 18 000 mg/l. No se observan en el proceso reducciones considerables de estos valores que permitan concluir que se realiza digestión aerobia.

Como indicativo de digestión de los lodos se puede utilizar la relación de sólidos volátiles con respecto a sólidos totales (STV/ST), considerando que, para lodos digeridos, valores de 0.53 representan un alto grado de digestión (Méndez, Gijón, Quintal, & Osorio, 2007). Los valores obtenidos varían entre 0.76 y 0.89, y en ninguna muestra extraída de los barriles se encontró lodo mineralizado.

Se procedió al vaciado y análisis de los sedimentos en cuatro barriles instalados sin encontrarse lodo mineralizado, característico de un digestor anaerobio. Se puede concluir que en dicho barril no se realiza este tipo de digestión. Donde se pudo captar efluente del IEP, el laboratorio reportó valores, como NMP/100 ml, de hasta 5.4×10^6 de coliformes fecales, valores muy elevados para garantizar las condiciones aptas para el vertido.

La capacidad del terreno como complemento depurador tras el paso por la zanja de infiltración está físicamente relacionado con la capacidad de filtración del suelo, en concreto, la granulometría y textura, mientras que en las acciones químicas juegan un papel muy destacado la capacidad de cambio iónico del suelo y su pH, y las condiciones de aireación/encharcamiento que afectan a los procesos de oxidación-reducción. Estos procesos determinan la movilidad de los contaminantes en suelo y su disponibilidad por parte de las plantas.

La actividad radicular de las plantas depura biológicamente, pero los principales agentes son los microorganismos del suelo, que operan tanto

en condiciones aerobias (en los estratos superiores del terreno), como anaerobias (en los estratos más profundos) (Centa, 2012).

La hidrogeología del terreno y la pluviometría caracterizan el nivel freático del terreno, debiéndose adecuar el diseño de la zanja de infiltración a estas características. Dado que las zanjas de infiltración analizadas no se han ejecutado según condiciones normalizadas de diseño, no se ha procedido a planificar la toma de muestras dada.

Resultados

En este apartado se procederá a resumir los resultados concluyentes con respecto a ambas propuestas tecnológicas. Las posibilidades de esta evaluación nos han permitido realizar una fotografía de la tecnología, además de realizar una aproximación a otros ámbitos relacionados con la propuesta tecnológica, como el social y ambiental. Como complemento, hubiera sido deseable realizar una monitorización continuada de la que se podría obtener un conocimiento más detallado de la infraestructura y de otros aspectos relacionados con el uso y mantenimiento.

Dicha situación presenta el siguiente análisis:

Para las Tazas Rurales (TR):

- En las TR no se encontraron problemas de taponamiento ni sedimentación en el tubo de descarga, lo cual indica que se desarrollan condiciones de auto limpieza en esta tubería.
- No se encontró registro para confirmar si la prueba de infiltración, en los sitios en que se realizó, influyó en el dimensionamiento del sumidero, aunque éstos al momento de las inspecciones no presentaban problemas de rebose.
- La supervisión técnica capacitada, incluyendo una guía para el diseño, instalación, operación y mantenimiento, es de suma importancia para la correcta instalación y buen funcionamiento de la taza rural y de sus componentes esenciales.

Para los Inodoros Ecológicos Populares (IEP):

- Respecto al tubo que comunica el inodoro con el barril de digestión, la descarga de agua recomendada combinada con la pendiente del tubo, es suficiente para provocar el arrastre de todo el material fecal al barril. Tanto la utilización de agua insuficiente para lavar la taza del IEP, que ocasiona el menor arrastre de lodos hacia el tubo de infiltración, como de volúmenes excesivos de agua, donde los lodos son arrastrados al tubo de infiltración sin degradarse en el barril, suponen el colapso del sistema.
- No se realiza digestión ni mineralización completa de la materia orgánica que se deposita en el barril, generando demasiada biomasa para colmatar el barril en un tiempo inferior a un año, perdiendo su capacidad de almacenamiento.
- Confirmado el funcionamiento del barril como acumulador más que como digestor, se recomienda la extracción de lodos y flotantes antes de 1 año.
- Pese a las condiciones físicas y biológicas en el barril, no se observa una reducción apreciable de coliformes totales y fecales.
- Las obstrucciones del sistema se presentan tanto en el barril como en la zanja de infiltración.
- Dada la poca mineralización resultante, el efluente que recibe el tubo de infiltración tiene un alto contenido de sólidos lo que dificulta el funcionamiento. No se observa que el efluente del barril sea conducido y distribuido uniformemente en el lecho filtrante en el cual se desarrolla una biomasa, observándose un elevado porcentaje de obstrucciones.
- Se observan deficiencias menores en la instalación al no realizarse la adecuada supervisión técnica capacitada y la realización de los controles necesarios durante la ejecución de la obra a cargo de personal responsable que confirme la correcta ejecución de la instalación.
- Para el correcto mantenimiento de las instalaciones, es preciso capacitar adecuadamente a los usuarios para poder actuar frente a los problemas que se pueden presentar.

La principal debilidad del IEP es que no está prevista la extracción de los lodos que se acumulan en el sistema. Conforme lo observado en la

inspección técnica, se identificaron varias opciones de mejora del diseño para realizar la extracción y manejo de los lodos en el IEP:

- Opción 1. Extracción de lodos fluidos en el barril: Confinar los lodos en el barril colocando un dispositivo que impida el paso de sólidos a la tubería de infiltración. La extracción de los lodos fecales, en estado fluido por el contenido de agua, se realizaría en el barril.
- Opción 2. Extracción de lodos secos en el tubo de infiltración: Colocar dos tubos de infiltración en lugar de uno y permitir el arrastre de lodos desde el barril hacia estos tubos que recibirían los lodos de manera alternada.
- Opción 3. Cambiar la función de los tubos de infiltración a tubos de conducción del efluente del barril para que lo descarguen, cada uno, en un foso o sumidero donde se acumularía material y se realizaría la infiltración.
- Opción 4. Aumentar el volumen del barril. Esta opción implicaría extraer lodos fecales en el barril sin evitar que sólidos pasen también al tubo de infiltración. Se espera que la cantidad de sólidos que pasen y se acumulen en el tubo de infiltración sea mucho menor.

A partir de un funcionamiento real de la instalación conforme las características del diseño y sin las interferencias de la ejecución, es imprescindible el análisis de posibles problemáticas asociadas a la puesta en marcha que permitirán la previsión de soluciones que garanticen la sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo, tanto de la instalación como de los resultados del proyecto en evaluaciones posteriores. Es vital el análisis social en detalle acerca de la idoneidad de los hábitos con respecto a la tecnología, las necesidades reales que ésta no cubre, etc. y las propuestas de adaptación para satisfacer así sus demandas y garantizar la aceptación plena por parte de los usuarios que además serán gestores para la previsión y resolución de los problemas asociados con la tecnología. Es por tanto imprescindible que los beneficiarios se apropien de la propuesta, la conozcan bien y se capaciten convenientemente para su mantenimiento.

La problemática técnica del sistema, su obstrucción y pérdida de funcionalidad en un período de tiempo aproximado de un año no es aceptable para un sistema de saneamiento. El desconocimiento del funcionamiento de la instalación, problemas en la ejecución, así como la

falta de previsión de un mantenimiento programado ha llevado a fallos en el funcionamiento de las instalaciones analizadas.

Respecto a las unidades instaladas del IEP, es necesario el vaciado programado en la vida útil para lo que es preciso en su diseño disponer de un dispositivo o accesorio que permita realizar la extracción de los lodos del barril y su vaciado. Una óptima implantación de la tecnología requiere de la sistematización de los procedimientos durante el ciclo de vida del proyecto, así como la implantación de herramientas para el seguimiento que confirmen la adaptación a una realidad, una cultura y unas prácticas propias en la comunidad.

La manipulación de los lodos resultantes durante el vaciado es caracterizada de peligrosa, dada la carga orgánica y de contaminantes biológicos, por lo que esta etapa ha de realizarse garantizando la protección de la persona a la exposición de la contaminación. Pero la problemática de la gestión de lodos tiene un alcance mayor y no solo atañe a la extracción del sistema, sino la posterior estabilización de los residuos extraídos para evitar ampliar la problemática y contaminar el entorno y las personas, por lo que ha de planificarse adecuadamente la gestión de lodos de una forma integral.

Sin embargo, el análisis de los resultados que se recoge presenta interesantes aportaciones acerca de la importancia de la sostenibilidad en el tiempo de un proyecto a partir de la visión conjunta de la problemática y la implicación efectiva de la comunidad y las instituciones democráticas presentes en la zona. Este proceso se plantea vital desde el momento de la identificación para minimizar errores futuros, o incluso el abandono de la tecnología.

Áreas a mejorar se han localizado en todo el ciclo de vida de la instalación, desde su planificación hasta su posterior gestión. Por ello es preciso la inversión de mayores esfuerzos desde las múltiples ópticas para la implantación de sistemas prototipo con especial cuidado en la ejecución, funcionando conforme los hábitos reales de la población y con un plan de vigilancia continua en el que se incluyan ensayos periódicos que permitan la confirmación y aclaración de las diversas hipótesis presentadas y así valorar realmente la tecnología, los roles y las responsabilidades de las instituciones y personas implicadas.

Adicionalmente al análisis, se plantearon propuestas para la mejora de las instalaciones de IEP que conllevan la necesidad de un rediseño del sistema. Estos diseños precisan de un estudio más en detalle, en todos los campos expuestos, incluidos los aspectos más sociales, dado que los

beneficiarios van a ser los usuarios-gestores de la tecnología. Estas mejoras deberían ir acompañadas, además, de instalaciones piloto que justifiquen el aumento de la inversión con respecto a los resultados.

Para el caso de la TR, no se observó tanto en su conceptualización como en sus componentes algún mal funcionamiento, cuando ésta fue correctamente instalada. Por lo tanto, no se propusieron mejoras de diseño, pero si se propuso la necesidad de una guía de diseño e instalación para esta opción de saneamiento. Debido a que esta tecnología conlleva un riesgo de contaminación de los acuíferos subterráneos, se priorizó el análisis del IEP.

Conclusiones

El IEP como la TR son una tecnología incluida en el catálogo de los sistemas de saneamiento de grandes organizaciones como la Organización Panamericana de Salud (OPS) o Cosude con un alto número de usuarios y un alto impacto potencial. Sin embargo, no se ha realizado una evaluación previa de la tecnología que confirme la idoneidad de la tecnología y su validez como alternativa para futuros proyectos.

Tras el análisis centrado en el IEP, por la innovación tecnológica que supone y la minimización de las probabilidades de contaminar acuíferos subterráneos, los resultados del estudio muestran que la propuesta no ha alcanzado los objetivos esperados, presentando carencias tanto estructurales como de instalación y aceptación social asociadas a su mantenimiento. El estudio en sí, es una buena ilustración de la problemática asociada al saneamiento recopilando aprendizajes.

Las fórmulas pueden ser múltiples y variadas para la consecución de financiación para asumir los costos que implican una instalación de este tipo. La capacidad económica de las familias es una variable importante que afecta tanto a la inversión inicial como el futuro de la instalación, por ello el sistema elegido ha de garantizar su eficacia al menor coste y mantenimiento asequible.

Por ello, desde el punto de vista técnico, lo primero es asegurarse de que los posibles sistemas de saneamiento a implementar sean plenamente funcionales incluyendo la adaptación a las circunstancias locales y culturales, además de económicas y ambientales (nivel freático, inundaciones estacionales, etc.). El ciclo de vida del funcionamiento de una instalación sobrepasa el tiempo del proyecto, por lo que requiere procesos toma de decisiones, de supervisión, controles de calidad durante la ejecución, mantenimiento además de revisión y corrección permanentes durante toda la vida útil de la instalación.

Es vital para asegurar la funcionalidad de la tecnología en el tiempo que los usuarios se conviertan en gestores de la instalación. Por ello, han de poseer la información y la capacitación suficiente para enfrentarse a los retos que el mantenimiento supone, actuando con la mayor previsión a los problemas para garantizar el continuo funcionamiento, asegurando la sostenibilidad y rentabilidad de la infraestructura a largo plazo. Esto es sólo posible con la plena y efectiva participación de las comunidades en toda la vida del proyecto, especialmente implicándoles en la toma de decisiones inicial.

Se confirma imprescindible el conocimiento e integración de la comunidad en todo el ámbito de la actuación, así como la aceptación e implicación para la consecución del objetivo último de los proyectos, que es la mejora de las condiciones de vida de la población a partir de mejorar la cobertura de acceso al saneamiento. Para ello, entre otras acciones, la propuesta ha de ir acompañada de una adecuada capacitación de los usuarios en hábitos higiénico-sanitarios.

Este trabajo permite incorporar las lecciones aprendidas a futuros proyectos de saneamiento, además de conformar las bases para la integración de esta metodología en procesos sistematizados para la evaluación continua de las intervenciones en el campo de saneamiento.

Referencias

- Cardoso, A., Fernández, L., & Gualdani, C. (2014). A importancia das tecnologias sociais para enfrentar a escassez hídrica e para o desenvolvimento. Los límites de la cooperación al desarrollo, Lecciones aprendidas en proyectos de agua y saneamiento. *DisTecD, Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 1(1), 5-19. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/2497>.

- Cedex, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2010). *XXVIII Curso sobre Tratamiento de Aguas Residuales y Explotación de Estaciones Depuradoras*. Madrid, España.
- Centa, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. (2012). *Manual para la implantación de sistemas de depuración para pequeñas poblaciones*. Sevilla, España: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua.
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development. A rapid response assessment*. UNEP, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, UN-HABITAT, Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, GRID-Arendal, Base de Datos de Información Sobre Recursos Globales.
- Cosude, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (2011). *Saneamiento*. División Infraestructura Escolar. Managua, Nicaragua: Ensome, Alternativas Sociales y Ambientales, PIENSA UNI, Centro de Investigación y Estudios del Medio Ambiente de la Universidad de Ingeniería.
- Ensome, Alternativas Sociales y Ambientales. (2012). *Evaluación de las tecnologías de saneamiento conocidas como inodoro ecológico popular o letrina horizontal ecológica y taza rural*. Managua, Nicaragua: PIENSA UNI, Centro de Investigación y Estudios del Medio Ambiente de la Universidad de Ingeniería.
- García, J. (2007). Integrated approach to design and operate low capacity sewage treatment works. *2nd International Congress Wastewater Treatment in Small Communities*. Sevilla, España.
- Lobera, J., Martínez, A., López, T., & Narros, A. (2014). Los límites de la cooperación al desarrollo. Lecciones aprendidas en proyectos de agua y saneamiento. *DisTecD, Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 1(1), 31-47. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/2499>
- Machado, A. P., Urbano, L., Brito, A. G., Janknecht, P., Salas, J. J., & Nogueira, R. (2007). Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities. *Water Science & Technology*, 56(3), 15-22. DOI: 10.2166/wst.2007.497

- Mancebo, J, A. (2010). Construcción de comunidades saludables con enfoque de género en Quispicanchi, Cusco, Perú. Informe técnico de visita de campo. GCSASD, Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo.
- Méndez, R., Gijón, A., Quintal, C., & Osorio, H. (2007). Determinación de la tasa de acumulación de lodos en fosas sépticas de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 11(3), 55-64.
- Metcalf & Eddy Inc. (2002). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. New York, USA: McGraw Hill Education.
- Núñez, O. (2010). *Inodoro ecológico popular*. Managua, Nicaragua: Cipres, Centro para la Promoción, la Investigación y el Desarrollo Rural y Social.
- OPS, Organización Panamericana de la Salud, & Cepis, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas de filtro y filtros subsuperficiales de arena*. DOI: OPS/Cepis/03.84/UNATSABAR.
- Sato, T., Qadir, M., & Yamamoto, S. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.