

Proyectos de cooperación para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. Aplicación a escuelas rurales en Perú.

José Antonio Mancebo Piqueras

Departamento de Ingeniería Mecánica, Química y Diseño Industrial – UPM
ja.mancebo@upm.es

María José Rodríguez Pascual

Grupo de cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo - UPM
mariajo240677@yahoo.es

Claudia Antonella Zapattini Irala

Grupo de cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo – UPM
clauzapa@ucm.es

Resumen

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. La Resolución exhorta a los Estados y organizaciones internacionales a proporcionar recursos financieros, a propiciar la capacitación y la transferencia de tecnología para ayudar a los países, en particular a los países en vías de desarrollo, a proporcionar un suministro de agua potable y saneamiento saludable, limpio, accesible y asequible para todos [1]. El objeto de este artículo es la descripción del diseño y aplicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para escuelas de pequeñas comunidades rurales. Este diseño fue realizado como parte del proyecto de fin de carrera (PFC) “Depuración de aguas negras en pequeñas comunidades en proyectos de cooperación para el desarrollo” [2] y fue desarrollado en el proyecto de cooperación “*Mejora del saneamiento básico con perspectiva de género en escuelas rurales de la provincia de Quispicanchi (Cuzco – Perú)*”, ejecutado por las ONGs Prosalus y Fe y Alegría del Perú, con la colaboración del Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo (GCSASD) de la Universidad Politécnica de Madrid.

Palabras clave: tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones, saneamiento básico, tecnología apropiada, cooperación para el desarrollo, sostenibilidad de los recursos hídricos.

Abstract

On July 28, 2010, through Resolution 64/292, the General Assembly of the United Nations explicitly recognized the human right to water and sanitation, reaffirming that clean drinking water and sanitation are essential for the realization of all human rights. The Resolution calls upon States and international organizations to provide financial resources, to encourage training and technology transfer to assist countries, particularly developing countries, in providing a supply of safe drinking water and sanitation, clean, accessible and affordable for all [1].

DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo
2018, 5, desde pag. 73 - hasta pag. 87
ISSN: 2386-8546

The purpose of this article is the description of the design and application of a wastewater treatment system for schools in small rural communities. This design was carried out as part of the master's thesis "Wastewater treatment in small communities in cooperation projects for development" [2] and was developed in the cooperation project "Improvement of basic sanitation with the perspective of gender in rural schools of the province of Quispicanchi (Cuzco - Peru)", executed by the NGOs Prosalus and Fe y Alegría del Perú, with the collaboration of the Grupo de Cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo (GCSASD) of the Universidad Politécnica de Madrid.

Key words: treatment of wastewater in small populations, basic sanitation, appropriate technology, cooperation for development, sustainability of water resources.

1. Introducción

El agua potable y el saneamiento han pasado a ser calificados internacionalmente, por efecto de la declaración realizada en el año 2010 por las Naciones Unidas, como Derechos Humanos. Así mismo, en el año 2000, entre los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), se fijó para el año 2015, entre otros, el Objetivo 7, que tenía como propósito garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, que implicaba reducir a la mitad para dicho año la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.

Así mismo en el año 2016, la Asamblea General de la Naciones Unidas, por medio de su Resolución A/RES/70/169, reconoció el Derecho Humano al Saneamiento como derecho autónomo e independiente del derecho al agua, esto con el fin de tratarlos independientemente para conseguir avances más significativos en la implementación, puesto que históricamente éste ha quedado relegado en segundo plano.

Del mismo modo, en el 2015 se formulan los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por parte de la ONU y se fija una atención específica al agua y saneamiento en el Objetivo 6. En realidad, el ODS 6 está relacionado con los demás y esta relación ha de ser tomada en cuenta en todo proceso de desarrollo. En la figura 1 se describen los ODS.



Figura 1. Los ODS y sus logos. Fuente: Naciones Unidas, 2015.

En Perú, la cobertura de agua potable y saneamiento, a pesar de los significativos incrementos en los últimos años, conservan las tendencias de inequidad en el acceso a dichos servicios. Entre los años 2007 al 2013, la cobertura de agua potable se ha incrementado en 9,3% y 31,5%, en los ámbitos urbano y rural respectivamente; la cobertura en saneamiento en el ámbito rural, al final del periodo indicado (2013), continúa siendo mínima, a nivel nacional (18,9% contra 83,6% en el ámbito urbano) [3].

Las deficiencias en el abastecimiento de agua potable y en el saneamiento tienen consecuencias directas en la salud de las personas, y por tanto también en su desarrollo, de tal forma que se puede asegurar que una mejora en el acceso a servicios básicos de AyS redundará inmediatamente en su calidad de vida. Inadecuados servicios de saneamiento, higiene o acceso a agua potable incrementan la incidencia de enfermedades; Según algunos autores [4], diversos microorganismos patógenos afectan a la salud a través del agua, ya sea porque se generan o se transmiten por ella. Algunas enfermedades derivadas de este problema son la diarrea, cólera, tífus, tracoma, malaria, dengue, entre otras. El impacto principal se refleja en las enfermedades diarreicas. Según la OMS (2009), en el año 2004, a nivel mundial, el 88% de las muertes por diarrea fueron causadas por servicios inadecuados de agua, saneamiento o higiene, el 99% de estas muertes se produjo en países en desarrollo y alrededor del 84% en niños. Una adecuada dotación de agua, saneamiento e higiene contribuye sustancialmente a la reducción de la incidencia de enfermedades diarreicas. Según la OMS (2014) en un estudio aplicado a 145 países de ingresos bajos y medios, la incidencia de diarrea se puede reducir entre 11% y 16% mediante el uso de servicios básicos de agua y saneamiento, como por ejemplo fuentes protegidas y letrinas mejoradas [5].

Específicamente, la Resolución 64/292 de Naciones Unidas, exhorta a los Estados y a las organizaciones internacionales a que propicien la transferencia de tecnología por medio de la asistencia y la cooperación, en particular a los países en desarrollo, a fin de intensificar los esfuerzos por proporcionar a toda la población un acceso viable al agua potable y el saneamiento. En este marco, el uso de tecnologías apropiadas contribuye a una solución óptima y global, ya que promueven el desarrollo sostenible, respetando las tradiciones locales, pueden ser mantenidas por las comunidades, fomentan los potenciales endógenos de las mismas (empleando las propias capacidades y apoyando la asunción como propio del proceso de desarrollo), respetan el medio ambiente y la regeneración natural de los recursos, e incorporan la participación de los propios beneficiarios en la decisión de aplicar una u otra tecnología.

El presente trabajo describe el diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo, para pequeñas comunidades en proyectos de cooperación al desarrollo. El diseño se enmarcó en el proyecto de cooperación “Mejora del Saneamiento Básico con perspectiva de género en Escuelas Rurales”, que se llevó a cabo en la provincia de Quispicanchi, en la región de Cuzco, Perú. Para ello se contó con la organización Prosalus como titular del proyecto y Fe y Alegría 44, como contraparte, participando además el grupo de cooperación Sistemas de Agua y Saneamiento para el Desarrollo (Universidad Politécnica de Madrid) como asistencia técnica al proyecto.

Un objetivo específico del proyecto era mejorar las infraestructuras en saneamiento básico en escuelas rurales para facilitar el acceso y permanencia de las niñas en la escuela primaria y secundaria, adecuando ésta a la realidad de su condición de mujer. Para ello, se construyeron módulos sanitarios con diferenciación de género, así como sistemas de tratamiento de las aguas residuales generadas.

2. Diseño

2.1. Ubicación del proyecto

El proyecto en el que se desarrolló el sistema de tratamiento de aguas residuales se ejecutó en 25 escuelas gestionadas por la ONG Fe y Alegría, situadas en 25 comunidades rurales en la región de Cuzco, provincia de Quispicanchi. En la figura 1, se puede visualizar la zona de actuación. Estas comunidades tienen una población en el rango entre 100 y 500 habitantes, cada una. Están localizadas a una altura entre 4000 y 4500 metros sobre el nivel del mar. Las principales actividades productivas que desarrolla su población son la agricultura y ganadería de subsistencia. Los servicios con los que cuentan las comunidades son: carretera afirmada, red eléctrica (en algunos casos), agua entubada procedente de un manantial de alta montaña (a veces no potable o escasa) y letrinas comunitarias. En la figura 2 aparece el mapa con la ubicación de la zona de actuación.

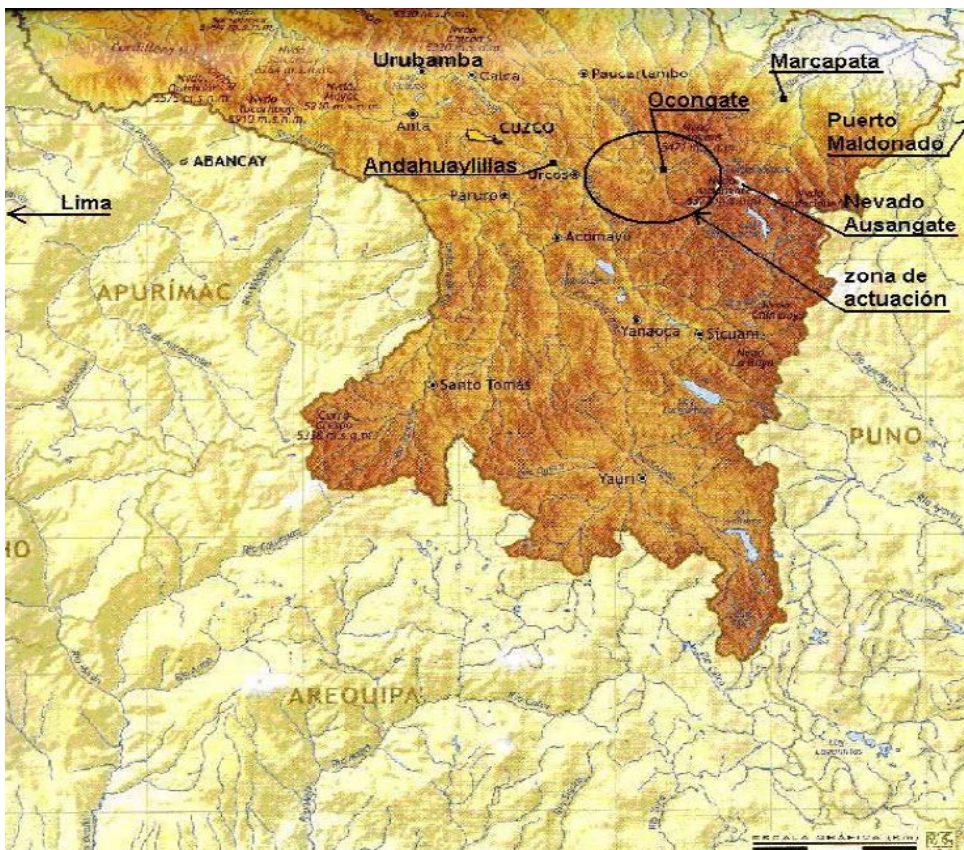


Figura 2. Ubicación del proyecto en la región de Cuzco.

2.2. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales de origen doméstico, consideradas en este proyecto, transportan contaminantes de los siguientes tipos: materia orgánica, inorgánica y microorganismos.

Los parámetros utilizados comúnmente para medir esta contaminación son:

- Sólidos Suspendidos Totales (SST): concentración de materia orgánica e inorgánica “más gruesa” que se encuentra suspendida en el agua residual.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅): concentración de oxígeno necesaria para eliminar biológicamente la contaminación orgánica e inorgánica que se encuentra en el agua residual.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): concentración de oxígeno necesaria para eliminar químicamente la contaminación inorgánica (sobre todo) presente en el agua residual.
- Nitrógeno total (N): concentración de nitrógeno presente en el agua residual.
- Coliformes (CF): concentración de este tipo de patógenos presente en el agua residual.

En las escuelas rurales, la fuente principal de generación de aguas residuales son los módulos sanitarios. En la figura 3 se muestran detalles de la construcción y en la figura 4 estado final del interior de las instalaciones.



Figura 3. Detalles de construcción. Fuente: J. A. Mancebo.



Figura 4. Estado final del interior de las instalaciones. Fuente: JA, Mancebo.

La composición típica de las aguas residuales consideradas en el proyecto se observan en la tabla 1:

Tabla 1. Composición agua residual en los módulos sanitarios.

Parámetro	Concentración
DBO ₅	300 mg/L
DQO	784 mg/L
SST	424 mg/L
Nitrógeno total	101 mg/L
Coliformes	1.20*10 ⁶ NMP/100 mL

2.3. Estimación del caudal de aguas residuales a tratar

Para hallar el caudal de aguas residuales, se realizó una estimación de la población a la que serviría el sistema, considerando un coeficiente de incremento poblacional de 0.012, en un tiempo de 25 años. Se consideraron 2 modelos de instalación “tipo” para poblaciones entre 100 y 250 habitantes. A estos valores se les multiplicó por un factor de población equivalente de 0.6, debido a que las instalaciones sirven a una escuela. Por último, se consideró un consumo de agua de 50 litros por habitante-equivalente y día. Este consumo es menor al que se da en los países del Norte, debido a la existencia en la zona de una cultura de uso del agua totalmente distinta a la que se encuentra en los países más desarrollados. Los caudales resultantes estuvieron en el rango entre 0.175 m³/h y 0.40 m³/h.

2.4. Tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento consta de 4 fases. La primera fase es un pre-tratamiento, que consiste en la eliminación mecánica de sólidos de gran tamaño, cuerpos flotantes, arena y grasas. La segunda fase es el tratamiento primario, que consiste en la separación física de limos y arcillas en suspensión, materia orgánica en suspensión y microorganismos. La tercera fase es el tratamiento secundario, que consiste en la eliminación biológica de materias en suspensión y materia orgánica más fina y microorganismos. La cuarta fase es el pos-tratamiento, que consiste en la eliminación de fangos.

Debido a las características de la zona donde se desarrollaría el proyecto: aislamiento, pobreza, carencia de servicios básicos, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para la selección de la tecnología a utilizar:

- Garantía de no contaminar los recursos hídricos.
- Funcionamiento lo más natural posible.
- Evitar automatismos que pudieran requerir mano de obra más cualificada, o fuertes dependencias de empresas exteriores.
- Exigencia de mano de obra reducida.
- Bajo o nulo consumo energético y máxima independencia de fuentes energéticas exteriores. Hay que tener en cuenta que el acceso a electricidad es todavía precario.

Con estos criterios, se escogió una tecnología apropiada, de bajo coste, buscando copiar los fenómenos naturales y sus procesos, reduciendo al máximo la acción del hombre y evitando consumos energéticos no naturales. Consiste en un sistema extensivo compuesto

principalmente por un sedimentador y dos líneas de salida, una la infiltración de líquidos mediante una tubería enterrada y perforada en la base y otra línea de tratamiento de fangos en una o dos eras de secado.

El sistema de tratamiento en su totalidad funciona por gravedad, aprovechando la pendiente del terreno. Al principio de la línea de desagüe se colocó una arqueta, que proporciona la presión suficiente para superar la pérdida de carga que se produce debida al rozamiento. La presión en la arqueta la proporciona el agua en forma de presión estática de columna de líquido. En la figura 5 se muestra una representación de los principales elementos del sistema de saneamiento.

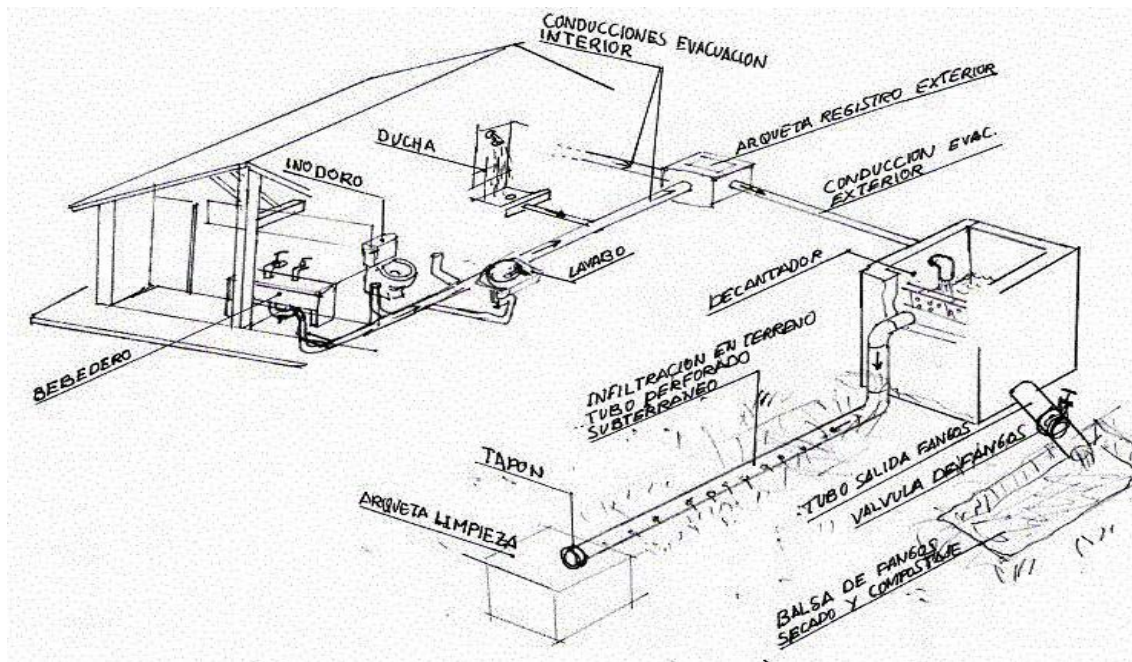


Figura 5. Representación de los principales elementos del sistema de saneamiento.
Fuente: J.A. Mancebo, 2010.

2.5. Pre-tratamiento

Para la eliminación de los elementos gruesos como primera fase de tratamiento, se escogió un separador de grasas, que consiste en una arqueta alargada con sección en forma de artesa y un área superficial importante en relación con la sección de conducción. La salida del agua es por la parte inferior de la arqueta, estando situado el conducto de salida por debajo del nivel de la superficie libre del agua en la arqueta. Las grasas deben retirarse periódicamente. Se escogió esta alternativa, ya que los sistemas de desagüe considerados en el proyecto eran separativos y no incluían aguas procedentes de escorrentía, por lo que no se esperaban grandes cantidades de arena ni elementos gruesos [6].

No se incluyeron rejillas ya que la costumbre en Perú es no echar objetos en el desagüe para prevenir atascos. Como parte de la capacitación para el uso del sistema se instruyó a los usuarios de esta forma. Además, como indica el texto, el sistema de desagüe es separativo, por lo que no se esperan elementos gruesos en el desagüe. Añadir rejillas al sistema elevaría el coste y aumentaría la necesidad de mantenimiento del sistema.

Esta arqueta sirve, a su vez, para proporcionar presión en el inicio de la línea de desagüe. Para el cálculo de las dimensiones de la arqueta se tienen en cuenta el caudal de agua, el tiempo

de residencia (5 minutos) y la altura de columna de líquido necesaria para superar la pérdida de carga. Las dimensiones de las arquetas construidas fueron de 0.40 m de lado y 0.65 m de profundidad.

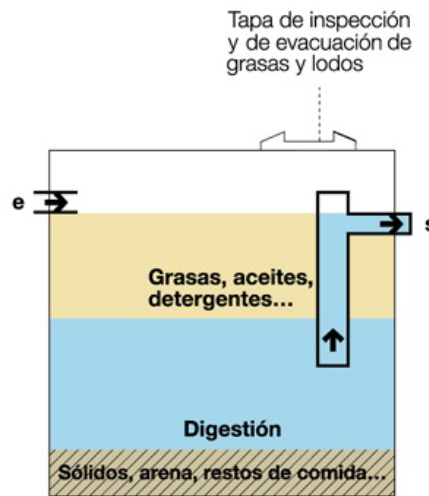


Figura 6. Cámara de grasas. Fuente: disponible en Internet.

2.6. Tratamiento primario

Para la fase de tratamiento primario se escogió un Tanque de Decantación Primaria. El objetivo de la decantación primaria es la eliminación de los sólidos sedimentables. La mayor parte de las sustancias en suspensión en las aguas residuales no pueden retenerse, por razón de su tamaño o densidad, en los sistemas de pre-tratamiento, ni tampoco pueden separarse por flotación por ser más pesadas que el agua.

La reducción de la velocidad de la corriente por debajo de un determinado valor (en función de la eficacia deseada en la decantación), es el fundamento de la eliminación de un 60% de las materias en suspensión del influente. Al depositarse estas partículas de fango, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se alcanza también en este tipo de tratamiento una reducción de la DBO_5 y una cierta depuración biológica [7].

Sirven como decantadores todos los depósitos que sean atravesados con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada por el agua a tratar. La exigencia, sin embargo, de separar fácil y rápidamente las partículas sedimentadas de las aguas clarificadas ha conducido a ciertas formas especiales. Los elementos fundamentales del decantador son:

- Entrada del afluente: deben proyectarse de forma que la corriente de alimentación se difunda homogéneamente por todo el tanque desde el primer momento.
- Vertedero de salida: su nivelación es muy importante para el funcionamiento correcto de la clarificación y, por otro lado, para no provocar el levantamiento de los fangos sedimentados.
- Características geométricas: las relaciones entre ellas deben ser las adecuadas para la sedimentación de los tipos de partículas previstas. Su forma puede ser rectangular, cuadrada o circular.

Se escogió esta alternativa porque en este tipo de decantadores no tiene lugar fermentación de la materia orgánica, con lo cual no se desprenden gases y es más seguro en cuanto a su explotación y mantenimiento. Se prefirió obtener un rendimiento de eliminación de

DBO₅ menor a cambio de un mayor grado de seguridad, ya que la explotación y mantenimiento del sistema se llevarían a cabo por personal no cualificado. En las figuras 7 y 8 se muestra un esquema del tanque de sedimentación primaria.

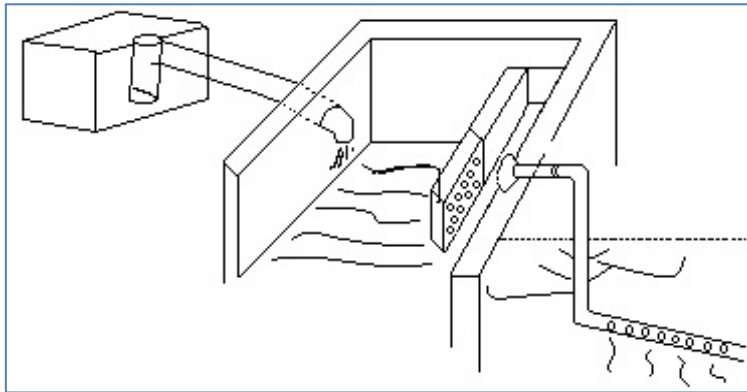


Figura 7. Tanque de Decantación. Fuente: Elaboración propia, J.A. Mancebo.

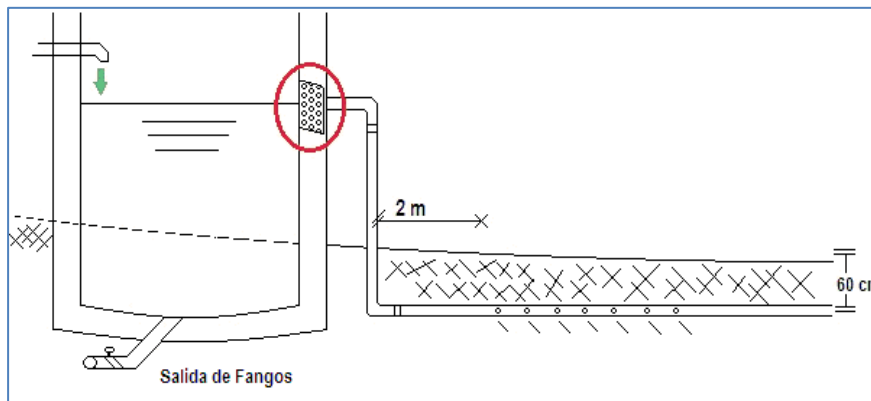


Figura 8. Tanque de Decantación primaria. Fuente: Elaboración propia, J.A. Mancebo.

Para el cálculo de las dimensiones principales del decantador se tienen en cuenta el caudal de la corriente que llega al tanque, el tiempo de residencia y la velocidad de sedimentación de los sólidos en suspensión. El valor de la velocidad considera que las partículas sólidas no son esferas perfectas, supone un buen comportamiento del tanque en cuanto a mezcla y es suficiente para conseguir un rendimiento de eliminación de SST del 60%. Para el cálculo de la superficie de sedimentación se consideró que el tanque es cuadrado. Se eligieron las dimensiones del decantador de forma que su profundidad no fuera demasiado elevada con respecto a su longitud. La salida del líquido se realizó mediante un vertedero (figura 8) situado en el extremo opuesto al de entrada del líquido, con una longitud igual al lado del tanque. Los sólidos sedimentan formando fango, que se acumula en una poceta de fangos situada en el fondo del tanque.

El decantador también cuenta con un aliviadero formado por una tubería de PVC, situada sobre la altura del líquido en el tanque, que conduce el agua residual hasta el sistema de filtro verde/ balsa de secado. El decantador se construyó de obra civil, con hormigón armado y una estructura compuesta por obra de fábrica de ladrillo hueco doble, con revoco. Se situó semienterrado, pudiéndose acceder a su interior a través de una tapa de hormigón armado, reforzada con malla electrosoldada, con una rejilla de ventilación de 30x30 cm². En la parte inferior, cuenta con una tubería de PVC y una válvula por la que caen los fangos a la balsa de secado.

Las dimensiones utilizadas en los decantadores que se construyeron fueron: 1,0 a 1,30 m de lado y 0,85 a 1,20 m de profundidad.

El tanque se diseñó para obtener el siguiente rendimiento:

Tabla 2. Rendimiento del decantador.

PARÁMETRO	RENDIMIENTO ELIMINACIÓN (%)
SST	60
DBO ₅	30

2.7. Tratamiento secundario

Las aguas residuales, a la salida del tratamiento primario, contienen una cierta carga orgánica y sólidos en suspensión, por ello es necesario realizar un tratamiento secundario biológico. La alternativa seleccionada para esta fase del tratamiento fue el Filtro Verde, que consiste en una instalación natural constituida por una superficie de terreno, en la que las aguas residuales son vertidas durante todo el año, consiguiéndose la depuración de los influentes, a la vez que se favorece el crecimiento de especies vegetales. La depuración de los influentes se basa en gran medida en acciones físicas (filtración), biológicas (degradación de la materia orgánica por microorganismos) y químicas (intercambio iónico entre el suelo y el agua y extracción de elementos químicos por la masa vegetal). La especie vegetal a implantar debe tener una importante capacidad de asimilación de nutrientes, rápido crecimiento, gran consumo de agua por transpiración, tolerancia a los suelos húmedos, escasa sensibilidad a los componentes del agua residual y unas exigencias mínimas de explotación.

El proceso se basa en que el suelo es en realidad un soporte de sales, aire, agua, microorganismos y las propias raíces de las plantas, cuya acción conjunta provoca de una manera natural la depuración de los efluentes contaminados, a través de acciones físicas, químicas y biológicas, aprovechando a su vez el estado de saturación en que se encuentra el terreno para propiciar el desarrollo de plantas.

Como alternativa, en cambio, se ha considerado un doble sistema de tratamiento secundario. Por un lado, los fangos se degradan en una balsa de secado y por otro lado los líquidos son captados en la parte superior (figura 7 y 8) siendo conducidas a una tubería enterrada y perforada en su base mediante la que se percola el agua sucia hacia el terreno.

Acciones físicas

La principal de estas acciones es la filtración, por la que los sólidos menores, presentes en el agua residual, quedan retenidos en los primeros centímetros del suelo. La capacidad de infiltración depende de la granulometría y de la textura del suelo. Así, en un terreno arcilloso, de granulometría fina, la filtración será efectiva pero excesivamente lenta, mientras que, en otro arenoso, altamente fisurado, ocurrirá lo contrario, alta velocidad de paso, pero escasa retención particular. Es pues conveniente disponer de terrenos de permeabilidad media y textura franca, huyendo de suelos arcillosos y arenosos, con alto contenido en gravas o fisurados.

Acciones químicas

En estas acciones juega un papel muy destacado la capacidad de intercambio iónico que tenga el suelo, así como el pH y las condiciones de aireación/encharcamiento que afectan a los

procesos de oxidación/reducción. Las aguas residuales urbanas contienen calcio, nitrógeno, fósforo, magnesio, sodio, potasio y diversas sales como cloruros, sulfatos, etc. Parte de estos elementos son asimilados por la vegetación para su propia nutrición, mientras que otros quedan libres y se incorporan al terreno. Según las reacciones producidas pueden ocurrir fenómenos de fijación al suelo o de percolación, siendo arrastrados hasta los acuíferos.

Acciones biológicas

La materia orgánica contenida en los influentes está en contacto con las bacterias aerobias presentes, y también hay que tener en cuenta las actividades radiculares de las plantas establecidas en el filtro verde. Las raíces de las plantas actúan como bombas aspirantes que extraen de la solución del suelo el agua y las sales minerales para su desarrollo. Parte de esta agua y estas sales procederán de los aportes de aguas residuales. Las acciones de los microorganismos se deben principalmente a hongos, algas y protozoos. Dichos microorganismos intervienen en la descomposición de la materia orgánica aportada por el agua residual, así como en el reciclaje de los elementos nutritivos.

Por otra parte, la conversión de un terreno en filtro verde originará unas condiciones ambientales típicas, que darán origen a una biocenosis, en la que se establecerán, entre otras, condiciones de “competición y antagonismo”. Como consecuencia de estas interacciones se logra una elevada tasa de eliminación de los organismos patógenos aportados por el agua residual. Con esta tecnología de depuración, el agua depurada no es reutilizable de forma inmediata, sino que se infiltra en el terreno y se incorpora a los acuíferos. Los rendimientos de depuración de este sistema son bastante altos: 95% en eliminación de DBO₅, DQO y SST; 88% en eliminación de nitrógeno total y 99% en eliminación de patógenos [8].

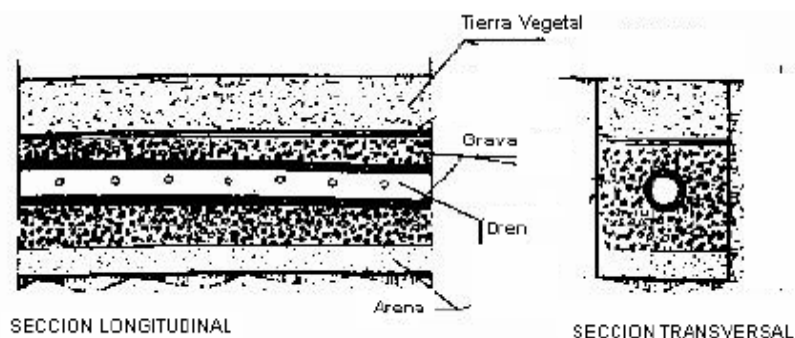


Figura 3. Zanjas filtrantes en Filtro Verde. Fuente: Universidad de Sevilla (2002). I Master en Ingeniería del Agua: Técnicas no convencionales.

Para el cálculo de la superficie del sistema se realizó una primera fase de diseño, teniendo en cuenta la carga hidráulica que soporta, la carga orgánica y el caudal de agua residual de la corriente que llega al filtro. Para calcular la carga hidráulica se realizó un estudio de la capacidad de infiltración del suelo. En una segunda fase de cálculo se tuvo en cuenta la actividad biológica de los árboles. Los valores de superficie calculados fueron de 300 a 450 m². Algunas de las escuelas contaban con bosques en sus cercanías con una cantidad suficiente de terreno disponible. El filtro es alimentado mediante tuberías de PVC de diámetro 6 pulgadas, con orificios. El filtro se diseñó para obtener el siguiente rendimiento, tabla 3:

Tabla 3. Rendimiento del Filtro Verde.

PARÁMETRO	RENDIMIENTO ELIMINACIÓN (%)
DBO5	95
DQO	95
SST	95
Nitrógeno total	88
Coliformes fecales	99

2.7. Tratamiento de fangos

En los procesos de tratamiento de aguas residuales, las aguas se han visto desprovistas de los sólidos en suspensión. En el tratamiento primario, se produce por fenómenos meramente físicos una separación de parte de los sólidos debido a su densidad. Es preciso pensar en un tratamiento de fangos, que se denomina digestión, tanto para el aprovechamiento de los lodos como para su eliminación. En el proceso de digestión se pretende disminuir las materias volátiles, mineralizar la materia orgánica y concentrar los lodos. La digestión de los lodos puede ser aerobia o anaerobia. La alternativa seleccionada fue la digestión aerobia o compostaje, específicamente el compostaje mediante lombricultura. Se trata de una técnica biotecnológica que utiliza una especie de lombriz, llamada "lombriz roja californiana", esta lombriz consume todo tipo de materia orgánica con gran voracidad, es inmune al medio contaminado en el que vive y proporciona como fruto de este trabajo fundamentalmente el humus o compost, un fertilizante orgánico de primer orden, que es la feca de la lombriz.

El humus es una materia orgánica degradada a su último estado de descomposición por efecto de microorganismos. En consecuencia, se encuentra químicamente estabilizada como coloide; regula la dinámica de la nutrición vegetal en el suelo. Esto puede ocurrir en forma natural en los bosques en un periodo de 5 años promedio o en un lapso de un año en el cual la materia fecada es procesada por otras lombrices y así sucesivamente miles de veces. Hay que resaltar que un alto porcentaje de los componentes químicos del humus son proporcionados, no por el proceso digestivo de las lombrices, sino por la actividad microbiana que se lleva a cabo durante el periodo de reposo que éste tiene dentro del lecho. Por ejemplo, el 50% del total de los ácidos húmicos que contiene el humus, son adicionados durante el proceso digestivo y el 50% restante durante el período de reposo o maduración.

El humus de lombriz además de ser un excelente fertilizante es un mejorador de las características fisicoquímicas del suelo, es de color café oscuro a negruzco, granulado e inodoro. Las características más importantes del humus de lombriz son:

- Alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos. Su acción combinada permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición, cuya actividad residual en el suelo llega hasta cinco años.
- Alta carga microbiana (40 mil millones por gramo seco) que restaura la actividad biológica del suelo.
- Opera en el suelo mejorando la estructura, haciéndolo más permeable al agua y al aire, aumentando la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada.

- Es un fertilizante bioorgánico activo, emana en el terreno una acción biodinámica y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos.
- Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin ningún riesgo de quemar las plantas. La composición química del humus de lombriz es tan equilibrada y armoniosa que nos permite colocar una semilla directamente en él sin ningún riesgo.

La lombricultura intensiva se realiza en una estratificación de material orgánico descompuesto llamado lecho sobre el cual se incorporan las lombrices. En condiciones ideales de cría intensiva la longevidad de las lombrices se incrementa, siendo de pocos meses en estado silvestre hasta varios años en cautiverio. Se emplean dos métodos preferentemente según la colocación de los lechos. Si éstos se colocan en el interior de los galpones o invernáculos o al aire libre. Los lechos bajo tierra es un método que se suele emplear en zonas de bajas temperaturas y donde las precipitaciones no constituyen un peligro. Estos lechos o cunas bajo tierra se realizan cavando un pozo de más de un metro de ancho por 50 cm de profundidad [9].

Primero se deberá colocar un colchón de paja o pasto de 10 cm de altura. Este colchón sirve de refugio a la lombriz californiana en el caso de sufrir cambios medioambientales en su medio de crianza. Posteriormente se colocará un cúmulo de estiércol de 0,70 m de alto, se regará y por último se cubrirá con 10 cm de paja para evitar la evaporación. Al poco tiempo comenzará el proceso de fermentación pudiéndose alcanzar hasta los 70C. Transcurridos diez días será necesario mover y airear el estiércol y aplicar un riego. Cuando la temperatura vuelva a bajar se deben colocar las lombrices.

La temperatura óptima es de 20C, no debiendo superar los 70C ni ser inferior a 15C. La cantidad de agua suministrada deberá tener en cuenta la época del año, siendo en primavera y otoño una vez por semana; en invierno una vez cada 15 - 20 días y en verano hasta dos veces al día. La humedad deberá mantenerse en torno al 75% y la temperatura no deberá superar los 32C. Una vez formado el humus, se separa de las lombrices exponiéndolo al sol. Las lombrices son muy sensibles a la luz solar y se trasladarán al fondo del lecho de humus, dejando libre la parte superior.

La cámara de compostaje construida consistía en una excavación en el terreno, cubierta por plásticos; dichos plásticos permiten conseguir una temperatura en el interior de la cámara que garantiza la realización adecuada del proceso de compostaje.

Para calcular las dimensiones de la cámara de compostaje se tienen en cuenta el caudal de fangos producidos en el decantador, los aditivos añadidos para fabricar el compost y el tiempo de residencia en la cámara. Esta última variable se considera de 60 días, tiempo suficiente para que las lombrices degraden la materia orgánica. Los aditivos que normalmente se añaden son residuos vegetales y papel. En las instalaciones del proyecto que sirven a un mayor número de personas, la cámara de compostaje se llena hasta un cuarto de su capacidad abriendo la válvula inferior del tanque cada 6 meses. Las dimensiones de la cámara son: 1,0 m² de superficie y 0,50 m de profundidad, por lo que se obtiene 0,25 m³ de fangos al año. Considerando la densidad de los fangos como 1,01 kg/L se calcula en 250 kg la cantidad de fango fresco producido al año.

Durante el proceso de compostaje el peso de las distintas materias se reduce en un 40%, con lo cual al año se obtienen 100 kg de compost. La cantidad de fango obtenida es muy baja considerando los parámetros típicos consultados en la bibliografía. Esto es debido a la dieta escasa y pobre en nutrientes de los habitantes de la zona y a una posible digestión semianaerobia en el tanque decantador. El compost obtenido fue analizado en los laboratorios de la Universidad San Antonio Abad del Cusco, concluyéndose que era seguro su uso como abono en vegetales que no se consumen crudos.

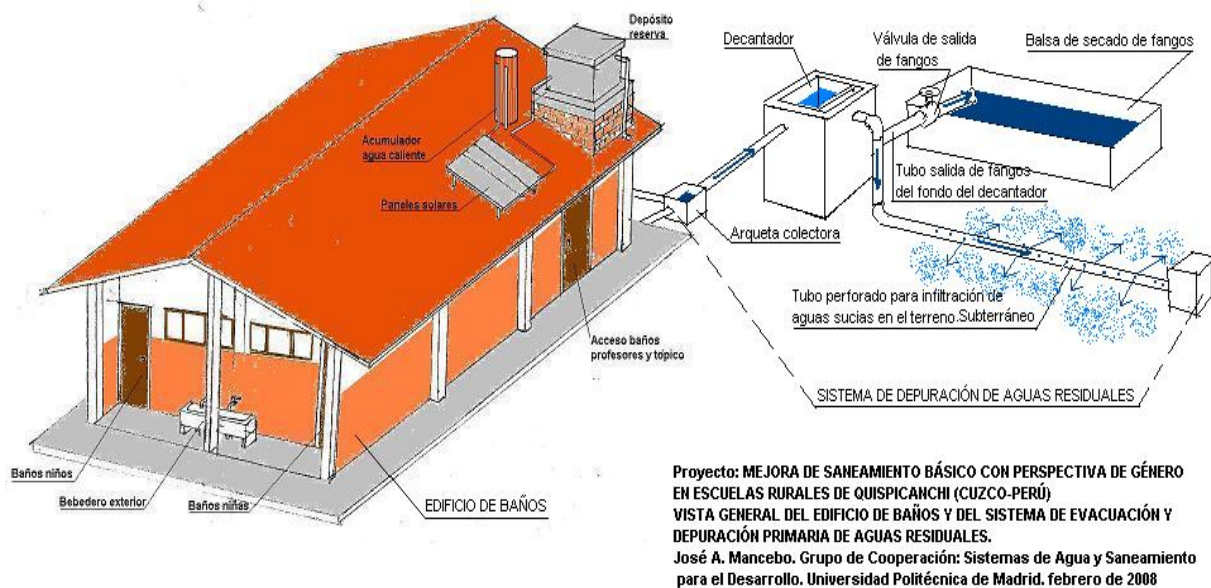


Figura 4. Vista general módulo de servicios higiénicos y sistema de tratamiento de aguas residuales.
Fuente: Elaboración propia.

2. Conclusiones

El proyecto se ejecutó en varias fases entre los años 2005 y 2013, beneficiando a 17 comunidades rurales de la provincia de Quispicanchi, región Cuzco. Además de las obras de infraestructura, se realizaron actividades de educación ambiental y sanitaria y capacitaciones para el uso y mantenimiento de los servicios higiénicos y sistema de tratamiento de agua residual. Los beneficiarios de dichas capacitaciones fueron los alumnos, padres de familia, profesores y personal técnico de la ONG local Fe y Alegría. Con estas actividades se logró, en general, el compromiso de la comunidad educativa para el uso y mantenimiento adecuado de las instalaciones.

En las visitas de supervisión realizadas durante la ejecución del proyecto, se pudo constatar que el estado de las instalaciones era satisfactorio, su funcionamiento era cada vez más regular y progresivamente su uso se iba extendiendo al conjunto de las comunidades. Se apreció también la presencia y seguimiento continuado de la ONG local Fe y Alegría, con la ventaja que supone ser a la vez la institución gestora de las escuelas donde se instalaron las infraestructuras de saneamiento.

En cuanto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se comprobó que trabajaban adecuadamente y no se observaron anomalías, es más, su operatividad se demostró con la inexistencia de terrenos fangosos o surgencias de líquidos lixiviados procedentes del tubo de infiltración enterrado. En cuanto al sistema de tratamiento de fangos, se observaron algunas dificultades, motivadas sobre todo porque el contenido sólido de las aguas residuales es pequeño. Sin embargo, se considera que este sistema es necesario, por limitado que sea su uso, ya que el decantador es pequeño, y de este modo se descarga fácilmente por simple gravedad, y porque siempre será preciso tratar los residuos sólidos, aunque sean escasos. La supervivencia de las lombrices es más problemática, debido al alto contenido en humedad de los fangos, y se debe seguir intentando creando un lecho de paja y vertiendo cuidadosamente solo los fangos

esposos, evitando el vertido de líquido, mediante la válvula de apertura y vaciado del decantador.

Los buenos resultados obtenidos con el proyecto se debieron tanto al uso de tecnologías apropiadas al contexto del proyecto, que integran los conocimientos y los recursos sociales, económicos y tecnológicos de los usuarios; potencian el empleo de recursos locales (materias primas, mano de obra, creatividad, sabiduría tradicional); promueven y refuerzan el papel de las organizaciones locales para tomar más control en la opción tecnológica y en su gestión; como en la incorporación de un componente importante de capacitación y educación sanitaria y ambiental, que permitió a los beneficiarios y a la ONG local apropiarse de la infraestructura y comprometerse con su uso y mantenimiento adecuado, y finalmente asegurar la sostenibilidad del proyecto.

Referencias

[1] Asamblea General de las Naciones Unidas. *Resolución A/RES/64/292,2010*. Disponible en web: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S

[2] Rodríguez Pascual, María José (Autora). García Encina, Pedro; Mancebo Piqueras, José Antonio (Tutores). *Depuración de aguas negras en pequeñas comunidades en proyectos de cooperación para el desarrollo*. [Proyecto fin de carrera]. 2016. Universidad de Valladolid. Disponible en web: [http://ingenieros.es/files/proyectos/PFC_Depuracion_Aguas_Negras\(rev\).pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/PFC_Depuracion_Aguas_Negras(rev).pdf)

[3] Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Plan nacional de inversiones del sector saneamiento, 2014*. Disponible en web: http://www.gestoresdeaguasegura.org/wp-content/uploads/2015/04/plan_nacional_inversiones_saneamiento.pdf

[4] G. Hutton, L. Haller. *Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level, Water, Sanitation and Health Protection of the Human Environment*. World Health Organization (WHO). Geneva, 2004

[5] Perú. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Propuesta de bases para una política nacional de saneamiento, 2016*. Disponible en web: <http://www3.vivienda.gob.pe/popup/Latinosan/PROPUESTA%20DE%20BASES%20PARA%20UNA%20POL%3%8DTICA%20NACIONAL%20DE%20SANEAMIENTO.pdf>

[6] Gobierno Vasco. Viceconsejería de Medio Ambiente. *Hirigune Txikietako Ur-Ondakinen Enularazketa*. Cap 2.Vitoria. 1985.

[7] Hernández Muñoz, Aurelio, Hernández Lehmann, Aurelio, Galán Martínez, Pedro Uralita productos y servicios, S.A. Obra Civil. *Manual de depuración Uralita*. Cap. 2. Madrid. 1995.

[8] Grupo TAR. I Master en Ingeniería del Agua. Universidad de Sevilla. *Técnicas no convencionales*. Cap. 3. Sevilla. 2002.

[9] Ferruzi, C. *Manual de lombricultura*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 1994.