



**035- EXPERIENCIAS DE TRATAMIENTO EN HUMEDALES ARTIFICIALES
DE FLUJO SUB-SUPERFICIALES VERTICAL PARA AGUAS RESIDUALES:
GRISES, NEGRAS Y DOMÉSTICAS.**

Heike Hoffmann

Microbióloga por la Universidad Greifswald/Alemania, Doctora en Ecología por la Universidad Rostock/Alemania, Pos-doctorada de la Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC. Profesora pasante en la Universidad Agraria de La Molina, Lima, Perú, Gerente General de Rotaria del Perú SAC, Especialista en Saneamiento Sostenible de Rotária do Brasil Ltda.

Blanca Marchand

Ingeniera Agrícola por la Universidad Nacional Agraria la Molina – UNALM. Becaria CNPq en la maestría de Ingeniería Ambiental en la Universidad Federal de Santa Catarina -UFSC. Proyectista en el área de Ingeniería de la empresa Rotaria del Perú SAC (hasta Feb. 2012) en sistemas sustentables de saneamiento básico.

Dirección: Calle Mariano Melgar 233-Urbanizacion Santa Cruz - Lima 18 – Lima – Perú -
Tel: +51(1)4211392 – e-mail: heike@rotaria.net y blanca@rotaria.net

RESUMEN

El presente documento aborda las experiencias en el tratamiento de aguas residuales: grises, negras y domésticas en humedales artificiales de flujo sub-superficial vertical aplicadas a diferentes condiciones y necesidades del Perú. La reutilización es una alternativa que permite amortiguar el consumo de agua y responde a su escasez. El objetivo específicos de este trabajo es presentar experiencias diferentes de reúso de agua tratada con humedales artificiales de flujo sub-superficial vertical diseñados por la empresa Rotaria del Perú: a) aguas grises de duchas de un conjunto habitacional reutilizados para el riego de áreas verdes; b) aguas grises de lavaderos de mano y cocina, duchas y lavanderías de una casa de retiro que son reutilizadas para la descarga sanitaria en todas las habitaciones; c) dos líneas de tratamiento para aguas grises y negras de un colegio que son reutilizadas para el riego de áreas verdes y áreas agrícolas productoras, y d) para el desagüe producido por un colegio en una zona sin sistema de alcantarillado y reúso en el riego de una área vegetativa. Los proyectos se desarrollaran dentro de un proyecto PPP (participación pública privada) de la empresa Rotaria del Peru SAC y la cooperación alemana en Perú, GIZ programa PROAGUA. La metodología usada para la implementación de cada sistema fue adaptado según las condiciones y necesidades de cada caso. Como resultados se tiene la construcción de cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales que responden a diferentes realidades. Sistemas que permiten el reúso de sus aguas en actividades como el riego de plantas o en la descarga sanitaria, no causan contaminación visual u odorante, volviéndose parte del paisaje como un jardín, y su mantenimiento puede ser realizado por personas capacitadas del lugar. La expectativa de este trabajo es mostrar que existen experiencias de tratamiento de aguas residuales domésticas, separadas o no, para su reutilización dentro del mismo predio y que pueden ser replicables, disminuyendo el volumen de consumo de agua potable y generando un menor impacto ambiental.

PALABRAS CLAVES: EXPERIENCIAS DE TRATAMIENTO; AGUA GRIS, NEGRA Y DOMÉSTICA; HUMEDAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL VERTICAL; ADAPTACIÓN A DIFERENTES REALIDADES.



INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanas especialmente en la costa Peruana y la zona oeste Andina son caracterizadas por escasez de agua. Es una zona desértica con precipitación mínima en la capital Lima de 10 l/m² anual. Muchas veces no se tiene abastecimiento continuo de agua potable y muchas zonas peri-urbanas (asentamientos humanos) no cuentan con servicio público de agua potable, ni con saneamiento básico, mientras que en las zonas abastecidas de agua potable existe mucho desperdicio. En los centros urbanos por ejemplo muchas veces se utiliza agua potabilizada para el riego de parques y áreas verdes. El consumo para la descarga sanitaria representa del 30 al 50 % de consumo total de agua potable de una vivienda. Agua que podría abastecer las zonas periurbanas o simplemente ser un menor impacto ambiental al generar un menor volumen de desagüe. Rotaria del Perú SAC tiene como objetivo mostrar ejemplos de uso racional del agua, con la finalidad de preservar este recurso valeroso para el consumo humano y reducir su gasto en el riego de áreas verdes y para las descargas sanitarias.

El Humedal Artificial de Flujo Sub-superficial Vertical (HAFSSV) es una posible respuesta para el tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas. Rotaria del Perú viene promoviendo la implementación de este tipo de sistema descentralizado para el tratamiento de diferentes tipos de desagües domésticos, la empresa que desarrollo el cálculo para el dimensionamiento de humedales artificiales adaptados a la realidad Latinoamérica los denomina como WTL Rotaria. Los resultados de estas experiencias se publicaran con la cooperación técnica alemana GIZ, programa ecosan en una Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y negras (Hoffmann et al 2011).

La implementación de sistemas descentralizados de tratamiento, de los diferentes tipos de aguas producidas domésticamente, permiten reducir el consumo de agua potable en actividades como riego y descarga sanitaria, entre otras alternativas. Además es una solución que puede ser aplicada en diferentes regiones, principalmente en los lugares donde existe escasez de agua. Alternativa de fácil instalación, sin emisión de olor ni gas metano, consume poca energía, genera un agradable impacto visual, integrándose como un jardín en el paisaje instalado y reduce la contaminación ambiental antrópica.

El tratamiento de agua residual doméstica también puede volverse un recurso importante en el riego de plantas al aporta nutrientes que no son removidos, tales como nitrógeno y fósforo, que son aportados en la agricultura como urea. Otra alternativa de reúso es en la descarga sanitaria, evitando usar agua potable para el arrastre de heces. El agua residual debidamente tratada es incolora e inodora lo que permite su reúso sin prejuicio. En este documento se presentan cuatro sistemas que responden a diferentes necesidades y realidades, siendo ejemplos de aplicación de tratamiento descentralizado alternativo que pueden ser replicados.

METODOLOGIA

Los cuatro casos presentados tienen diferentes características y necesidades, por lo el diseño de cada sistema corresponde a cada necesidad.

Caso 1: aguas grises para el reúso en irrigación

Carabayllo distrito al norte de Lima se caracteriza por ser una zona costera desértica. Se encuentra ubicado dentro de la vertiente del río Chillón, donde antiguamente era zona de cultivo pero en la actualidad por el sobre poblamiento de las ciudades se ha convertido en una zona urbana árida (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). La Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que se debe tener 8 m²/hab de área verde, mientras el distrito llega a un poco más de 5m²/hab según plan de desarrollo concertado al 2015 del municipio, favorecido por las pequeñas chacras que aún quedan en el lugar.

El proyecto es parte de un programa social de vivienda para familias de bajos recursos financieros. La primera etapa del conjunto habitacional alberga unas 288 familias. El reglamento municipal exige en el proyecto una área verde mínima en común, por lo que se incluyó un área de 4 351 m², que significa un volumen diario de



riego de 8.7 m^3 para una lamina de riego de 2 mm. El hecho de tener una gran población fue aprovechada para captar solo las aguas producidas en las duchas, ya que es la contribución de aguas residuales con menor carga orgánica. Según los cálculos realizados se precisaron la conexión de 109 departamentos para cubrir las necesidades hídricas del lugar, en la determinación de la contribución de agua gris por persona se consideró la clase social de la población beneficiada, la cultura de consumo y las exigencias de la empresa contratante.

El sistema colecta el agua por gravedad en un tanque de sedimentación. Este es complementado con un tubo de filtro que evita el paso de grasas, cabellos y otros desperdicios que suelen generarse en las duchas. El agua pre-filtrada pasa a un pozo de bombeo, el cual alimenta el humedal en seis pulsos distribuidos a lo largo del día. El cálculo del área superficial del humedal fue adaptado según el agua gris a ser tratada, aguas de duchas. El HAFSSV fue diseñado con un área de 65 m^2 distribuido en tres celdas, para que trabajen dos en simultáneo mientras una descansa, sistema rotativo de celdas semanal. Este juego de alternancia permite recuperar la porosidad de cada unidad, evitando la obstrucción del humedal y asegurando un mayor tiempo de vida.



Figura 1 – Caso 1: Vista panorámica del Google Maps de la zona de aplicación del sistema y sus alrededores.



Figura 2 - Caso1: Vista del HAFSSV con cerco de banca alrededor

El WTL Rotaria fue concebido para mimetizarse arquitectónicamente en el área verde del conjunto habitacional, formando parte de él. Se trabajó con bordes de concreto como sardineles de la jardinera y con la idea de acrecentar madera alrededor de estos y habilitar asientos, evitando que entren dentro de él, integrándose en el sistema sin hacer notar que este existe como tal, como se ve en la Figura 2.

El humedal se encuentra constituido por tres capas de filtro: La primera capa o capa profunda es gravita de $\frac{1}{4}''$ que permite el drenaje del agua filtrada. La capa del medio es arena gruesa (diámetro de la partícula no mayor a los 2 mm) sin polvo y con un coeficiente de uniformidad (CU) entre 1.5 y 2.5 recomendado. La capa superficial es de apenas 10 cm de la misma gravita de $\frac{1}{4}''$ para evitar el afloramiento de agua, o tener agua estancada, evitando la proliferación de vectores.

Los HAFSSV, se adaptan perfectamente a este tipo de proyecto multifamiliar, donde ni una familia es responsable por las áreas verdes, pero todas exigen el mantenimiento de ellas y la economía familiar no alcanza para contratar un especialista de tratamiento. Por lo que el mantenimiento del sistema percute en el jardinero, que necesita del agua tratada para la irrigación de las plantas. Una capacitación simple o leer los manuales proporcionados por la empresa de la operación del sistema es suficiente para saber como se debe mantener, además de ser seguro y fácil, siendo incluso posible un trabajo para mujer.

La planta utilizada en este sistema fue la macrófita *Cyperus Papyrus*, planta decorativa de zonas húmedas que se adaptó a las condiciones de América del Sur, tiene como desventaja que puede crecer hasta unos 4 m (Hoffmann, 2011). Este sistema aerobio para asegurar su eficiencia necesita mantener una buena respiración superficial, por lo que un control de la población vegetativa es importante, además que contribuye con el impacto visual.



CASO 2: Aguas grises para reúso de descarga sanitaria

Proyecto ubicado en medio de la cuenca del Río Lurín, a una hora de Lima, que al ser relativamente cerca y estar favorecida con un clima cálido la mayor parte del año, es muy frecuentada como un lugar de recreación turística. Este proyecto fue instalado dentro de una casa de retiro que también funciona como hotel y tiene la capacidad de albergar unas 160 personas en total. Este caso no tiene escases de agua, sin embargo, por ser una zona turística, el costo del agua es bastante elevado. Además muchas veces las personas que usan este recinto, por no ser sus casas, no toman cuidado del consumo de agua, gastando mucho más de lo normal.

El sistema se diseñó para tratar las aguas grises del recinto (lavamanos, duchas, lavaderos de la cocina y lavanderías) y reutilizarlas en la descarga sanitaria de todos los baños. Pero, por si se generase mayor volumen de agua que lo requerido en la descarga, el tratamiento podría absorber las sobrecargas permitiendo ser utilizadas también en la irrigación de las áreas verdes. Por la ubicación de los edificios se dividió la carga en dos zonas de tratamiento, cada sistema tiene una capacidad de tratamiento de 6.4 m³ por día. La colecta de las aguas grises de baños y lavanderías va directamente en un tanque de decantación, mientras que las aguas de cocina tienen una trampa de grasa, antes de juntarse con las demás aguas grises. El tanque de decantación es seguido por un pozo de bomba que alimenta por pulsos el HAFSSV, teniendo de 3 a 4 ciclos de tratamiento durante todo el día.

Cada WTL Rotaria tiene un área de 50 m² donde se distribuyen a lo ancho de un humedal seis tuberías independientes que permiten alternar el área de riego sobre él. Esto se logró con un juego de llaves colocadas al inicio de cada tubo, que da la posibilidad de controlar el área de irrigación y por lo tanto dejar descansar las zonas saturadas para permitir que las plantas y los organismos respiren y el material filtrante recupere su porosidad. Esta operación permite asegurar el tiempo de vida del HAFSSV.

Los humedales se integran en el paisaje de la casa retiro, siendo un jardín de *Cyperus papyrus* cercado con pequeñas flores rojas de *Gladiolus spp* (Figura 3). Las plantas de macrófitas tienen la propiedad de abrir los poros obstruidos de los humedales, además de trabajar en simbiosis con el biofilm generado en el humedal. El agua tratada es colectada por tuberías de drenaje en la parte inferior de los humedales y almacenadas en una cisterna que manda con bombas hidroneumáticas el agua hacia los vasos sanitarios y cañerías de riego (Figura 5), según la necesidad de cada punto.



Figura 3– Caso 2: Vista de humedal recién instalado y cargado con aguas grises



Figura 4– Caso 3: calidad de la salida del humedal, usado para riego

Este sistema también es operado por el personal de mantenimiento de la casa de retiro, siendo los principales responsables los jardineros, que además de recibir los manuales de mantenimiento acompañaron la construcción del sistema de tratamiento. Lo cual fue provechoso, ya que despertó el interés por el sistema, se capacitaron con mayor motivación y consiguieron entender la magnitud del mismo y la importancia del mantenimiento.



CASO 3: Tratamiento de aguas negras y grises por separado para el reúso en riego

Proyecto de un colegio para niños con capacidades limitadas ubicado en la zona sur de Lima, Chorrillos. Se encuentra localizado dentro de una zona urbana, donde el costo de agua, comparado con el presupuesto, no da para mantener verde los 6 000 m² de terreno que tienen. Los niños de este colegio para desarrollar sus actividades de aprendizaje necesitan de un mayor contacto con ambientes naturales que niños de otros colegios, volviéndose sumamente importante espacios recreativos y áreas verdes para el desarrollo de sus actividades.

Por la distancia entre los espacios cerrados con producción de desagüe se definió que una separación de desagües era la mejor opción, tanto por facilitar la operación del manejo del sistema, como por que tratar aguas grises y negras por separado es lo más ideal y genera sistemas más eficientes. La disolución de aguas negras en aguas grises genera un mayor volumen de aguas residuales contaminadas con coliformes termotolerantes, haciendo más exigente el tratamiento.

La población del colegio entre alumnos, voluntarios, profesores y funcionarios, llega alrededor de 70 personas y producen una media de 6,6 m³ al día de desagües. Las aguas residuales fueron separadas en dos líneas para sus tratamientos individuales. La línea de aguas negras es generada por la descarga sanitaria, duchas y lavamanos de 12 baños de todo el colegio, esta línea soporta una producción de alrededor de 3,7 m³/d de desagüe. Mientras que en la cocina, lavandería y lavaderos externos se produce un volumen de 2,9 m³/d de aguas grises.



Figura 5 – Caso 3: Humedal de aguas grises



Figura 6 – Caso 3: 2 Humedales de aguas negras

El sistema de aguas grises, tiene una trampa de grasa para las aguas producidas en la cocina y un pozo de bombeo donde se juntan todas las aguas grises que permite hacer la alimentación por pulsos al humedal. Este humedal tiene un área de 21,6 m² y la vegetación de soporte es la macrófita *Cyperus papyrus* como lo muestra la Figura 5. El agua tratada de este sistema se utiliza tanto en el riego de gras como para una pequeña parte de la huerta que tienen en el lugar.

Por su lado, el tratamiento de aguas negras tiene un sistema más complejo de pre-tratamiento llamados filtros de compostaje (Hoffmann, 2008). Dos unidades que trabajan en alternó y retienen los sólidos del desagüe a los cuales se adicionan material secante. Cada unidad trabaja aproximadamente por un periodo de seis meses, lo que permite que la otra unidad descansa mineralizando la materia orgánica, para ser tratada posteriormente como compost. Este sistema requiere de una mayor operación, pero con un tratamiento adecuado permite recuperar material fertilizante.

El agua pre-filtrada es distribuida en dos humedales que funcionan en alternó o en paralelo, dependiendo de la contribución generada, ya que su población no es constante. Estos HAFSSV también cuentan con tuberías de distribución independiente, lo que permite recuperar zonas saturadas como los casos anteriores. Las plantas de estas dos unidades son diferentes a los casos anteriores, el *Cyperus papyrus* no es la mejor opción por la gran cantidad de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que contiene el afluente teniendo un crecimiento muy rápido, llegando a ser su tamaño mayor de lo que puede soportar el tallo, quebrándose fácilmente y ahogando la superficie del humedal. Los WTL Rotaria se implantaron con las especies vegetativas: *Cyperus alternifolius*, que es de menor tamaño y también más resistente y *Vetiveria Zizanioides*, que no es típico de zonas húmedas



pero que ha respondido satisfactoriamente al sistema, además de tener raíces profundas que da una condición especial al humedal. La suma de las dos unidades hace un total de 45 m² de área de humedales. El agua negra tratada es utilizada para plantas ornamentales, árboles frutales, también es utilizado para mantener húmedo el compost y el lombrizal.

CASO 4: Tratamiento de aguas residuales domesticas para el reúso en riego é infiltración en el subsuelo sin contaminar el manto freático en lugares sin redes de alcantarillado

Proyecto desarrollado para un colegio ubicado en el centro de la cordillera de los andes, Ayacucho. Centro educativo que tiene una población de 200 alumnos y da una ración diaria de alimento a sus alumnos preparados en el lugar. Además cuentan con duchas y servicios higiénicos, pero no cuentan con sistema de alcantarillado, siendo los desagües en general infiltrados al subsuelo sin ser tratados, contaminando el manto freático. Adicionalmente la época de lluvia se da durante 7 meses al año, teniendo 5 meses de época seca que necesitan proveer agua a los cultivos que tienen implantado en el lugar, árboles frutales y ornamentales. Entre las consideraciones a tener en cuenta es que el colegio al estar ubicado Chillicopampa, un pueblo aledaño a la ciudad de Huanta, se encuentra apartado de la ciudad y su caudal de agua potable es muy débil, lo que no permite cubrir la demanda de agua en el colegio, teniendo un afluente de aguas crudas concentrado.

El sistema de tratamiento esta compuesto por una trampa de grasa exclusivamente para la cocina, este afluente se junta en un tanque baffled con todas las demás aguas producidas en el colegio. El agua residual cruda al contener una mayor carga orgánica, exige una mayor eficiencia de remoción en el tratamiento primario, así como una mayor área de los humedales. El tanque baffled es un sistema de tratamiento anaerobio, que tiene como característica el contacto entre el afluente y el lodo acumulado (biomasa) lo que permite tener una remoción de la materia orgánica entre 40 al 60 %.



Figura 7 – Caso 4: Instalación de impermeabilización, las tuberías de drenaje



Figura 8 – Caso 4: Instalación de las tuberías de distribución

La producción diaria de agua en el colegio fue diseñada con 10 m³ día. El WTL Rotaria se proyecto con un área de 80 m² dividido en 2 unidades, como se muestra en la Figura 7, donde cada unidad tiene 5 tubos que distribuye uniformemente sobre toda la superficie el afluente a tratar. El mayor cuidado en la instalación de este humedal es la calidad del material filtrante. La granulometría del filtro determinara la capacidad de remoción del biofilm, el tiempo de retención, la eficiencia del tratamiento y las posibles obstrucciones de los poros. Este punto en la implementación del sistema es sumamente importante, porque en el país es difícil encontrar material uniforme, limpio y con una granulometría preferente de arena media con diámetros de 0,2 a 0,4 mm (Hoffmann 2011).

El agua tratada será colectada por gravedad en el fondo del humedal, pasa a una cisterna donde será desinfectada con cloro para poder ser reutilizada en jardines e áreas verdes a ser implementadas. El mantenimiento del sistema es encargado al guardián del lugar que también cuida de los jardines.



RESULTADOS Y DISCUSIONES

De los cuatro proyectos el más antiguo es el del colegio de niños especiales con dos líneas de tratamiento, implementado en el año 2007. Este ha sido monitoreado desde entonces por la empresa Rotaria del Perú. Las experiencias de proyecto integral de eco-saniamiento (baños secos con desviación de orina, compost, lombricultura y humedales para el tratamiento de aguas grises y negras) se publicaran en el congreso PERUSAN (Hoffmann, 2008) y en un *case study* de SuSanA (Hoffmann et al. 2010). Se ha observado durante este tiempo por ejemplo que el personal de mantenimiento no se quiere hacer responsable del sistema de pre-tratamiento de aguas negras (filtro de compostaje), por el prejuicio que significa trabajar con ellas. Sin embargo el seguimiento realizado por la empresa a los humedales permitió quebrar este paradigma y después de mucho tiempo conseguir el mantenimiento debido. Se observo que el mantenimiento de los WTL Rotaria para aguas grises se realizan continuamente y sin problemas, siendo lo mas dificultoso la poda del humedal para evitar sobrepoblación de plantas.

Los WTL Rotaria de tratamiento de aguas grises generales de la casa de retiro en Cineguilla han entrado en operación uno en diciembre del 2011 y el otro en abril del 2012, el primer resultado a los seis meses de operación, mostraron elevados contenido de colifórmes fecales en la entrada del sistema, valores muy altos para aguas grises. Por estas razones se pidió esperar un poco más antes de conectar el agua con los baños. Mientras el agua es utilizada por los jardineros para riego de plantas ornamentales. Por otro lado, el humedal de la parte baja no tiene entrada de aguas de cocina, que muestra una calidad superior a la del primer humedal.

El WTL Rotaria de Carabayllo, aun no han entrado en funcionamiento, pues los departamentos aun están en venta y mientras tanto el humedal se mantiene con agua limpia almacenada en él y los jardines regados con agua potable. Pero esta listo para entrar en operación.

El WTL Rotaria de Ayacucho acaban de terminar de construirlo y esta listo para entrar en funcionamiento, pero como el colegio ha estado funcionando el pre-tratamiento ya ha estado trabajando, desviando las agua pre tratadas a pozo sépticos para la infiltración del agua. Y ahora ya están listos para poner el WTL Rotaria en funcionamiento.

La eficiencia de tratamientos en los WTL Rotaria de las aguas pre-tratadas espera como resultados aguas con las siguientes concentraciones:

- DBO₅ debajo de 20 mg/L y/o la reducción de 90% DBO₅
- DQO debajo de 100 mg/L y/o la reducción de 80% DQO
- Sólidos Suspendidos Totales debajo de 25 mg/L

Los sistemas no fueron diseñados para la remoción de nutrientes, pero como la mayoría de ellos serán utilizados en la reutilización de riego esto no es necesario, por el contrario es un aporte que puede disminuir el consumo de urea en la agricultura.

CONCLUSIONES

La reutilización de aguas residuales tratadas, permite disminuir el consumo de agua potable en casa, tanto en baños como en el riego, aportando incluso en este ultimo nutrientes para las plantas.

Los sistemas no son difíciles de instalar y se adaptan a los diferentes requerimientos y situaciones, pero deben ser debidamente diseñados y construidos para que su eficiencia sea óptima.

Aun existen rechazo por el reúso de aguas tratadas, principalmente por los sistemas de aguas negras, sin embargo proyectos descentralizados como los presentando están mudando este hecho. Ayudo mucho cambiar la forma de ver estos sistemas de tratamiento cuando las personas acompañan la construcción, pues absuelven todas sus dudas con el ingeniero supervisor.

Tres de los cuatro sistemas fueron proyectados durante el 2010, pero construidos casi todos dos años después de tener el proyecto completamente diseñado, lo que advierte la lentitud o imprevistos que se puedan generar en proyectos de este tipo en Perú y probablemente en América Latina.



BIBLIORAFIA

Municipalidad Distrital de Carabaylo. PLAN DE DESARROLLO CONCERTADO AL 2015. Página web accesada 01/10/2012: <http://www.municarabaylo.gob.pe/transparencia/planeamiento-organizacion/planes-politicas/plan-desarrollo-concertado-2015.pdf>

HOFFMANN, H., PLATZER CHR., WINKER, M.; V. MÜNCH, E.; (2011) Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y negras; SuSanA & ecosan Program of GIZ GmbH <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1235>

HOFFMANN, H. Ejemplo para un saneamiento ecoeficiente con reuso total de efluentes y biosólidos tratados, aplicado en el Colegio San Christóferus – Lima. En: PERUSAN 2008

HOFFMANN; H.; RÜD, S. SCHÖPE; A. (2010) Blackwater and greywater reuse system Chorrillos, Lima, Peru Case study of sustainable sanitation projects
<http://www.susana.org/lang-en/case-studies?view=ccbctypeitem&type=2&id=70>