

## **Alternativas para un Saneamiento Convencional – Estudio Comparativo – Limitaciones y Potencial**

*Christoph Platzer, Heike Hoffmann, Elier Ticona [Perú]*

PERUSAN 25 – 27 de Noviembre 2008, Perú

---

*El estudio analiza los potenciales y límites de alternativas al saneamiento convencional (SaCo). Está basado en una comparación de un saneamiento convencional (SaCo) con una solución de saneamiento seco (SaSe). Un punto muy importante es que la introducción de una solución UDDT (baños secos con separadores de orina), permite una provisión de agua para un 50 % más de habitantes. Un aspecto muy significativo para la situación en el Perú, es que está seriamente afectado por el cambio climático, y estando próximo a una disminución ayuda en la disponibilidad hídrica en un futuro cercano.*

*Se llevó a cabo una comparación de costos, el cual compara una problemática de 10.000 familias. La comparación se hizo desde el punto de vista de una empresa de saneamiento, siendo que los autores creen fuertemente que sólo un servicio de saneamiento municipal organizado (que podría o no ser un operador privado) puede asegurar una solución sostenible. Por el lado de la empresa, la inversión necesaria para el Saneamiento Convencional (SaCo) sería aproximadamente de 1.038 – 1.227 USD por vivienda. Mientras que para el Saneamiento Seco (SaSe) se estima aproximadamente 935 USD por vivienda.*

*Por el lado de la gestión, se propone un modelo de servicio, en el cual la empresa de Saneamiento recolecte las heces secas y la orina cada tres meses. Los costos operativos incluyen transporte, tratamiento en una planta central, costos administrativos y costos de educación. Basado en la actual tarifa de agua de Lima (por m<sup>3</sup>) se calcula un beneficio de 1USD/ mes por cada vivienda.*

*En total una ventaja muy clara para el Saneamiento Seco (SaSe) puede ser demostrada y por lo tanto es más que necesario implantar soluciones a mayor escala para poder optimizar los sistemas propuestos.*

*La comparación no toma en cuenta las ventajas económicas que podrían generarse vendiendo la orina. En base al precio para fertilizante en uso agrícola en Lima y las ciudades circundantes, este ahorro podría ser aproximadamente de 20 USD/vivienda, por la orina. En la visión de los autores la comercialización de los productos no debe depender de la empresa de saneamiento, pero si debería ser de las organizaciones de agricultura. Un área de desierto adicional de 141 hectáreas podría ser irrigada usando toda el agua ahorrada o tratada en el modelo de Saneamiento Seco (SaSe).*

---

### **Introducción**

Perú es uno de los países más afectados por el cambio climático, especialmente en la zona desértica costera. Esta zona es inferior al 15% del total de territorio peruano, pero desafortunadamente el 60% de la población vive en esta área. Su capital, Lima (8 millones de habitantes) está situada en una de las áreas más secas del mundo, 1,3 millones de habitantes no tienen acceso al abastecimiento público de agua (MVCS 2006) y viven con menos de 25 litros de agua por día, y se calculan alrededor de 3 millones de personas con el uso de letrinas como

instalación sanitaria, la cual no es una solución adecuada de saneamiento para las áreas urbanas.

Una situación similar se puede encontrar en muchas ciudades costeras peruanas. El 20% de las aguas residuales peruanas oficialmente pasan por una planta de tratamiento, pero la realidad es mucho peor, porque las plantas de tratamiento que existen, a menudo no funcionan correctamente, así la mayor parte de aguas residuales recolectadas (57%) son descargadas casi sin tratamiento y los problemas de calidad de agua en los ríos y las áreas costeras se incrementa dramáticamente.

En el pasado hubieron algunas tentativas para introducir conceptos de Saneamiento Seco (SaSe) en Lima, pero la introducción falló debido a una serie de problemas descritos en *Oswald & Hoffmann (2007)*. Las razones principales eran la ausencia de un concepto de manejo sostenible, problemas técnicos no resueltos y la opinión de la gente que veía al UDDT (Baños secos separadores de orina) como una solución temporal. Estaba muy claro, incluso en poblaciones pobres como en asentamientos marginales que no había ningún interés, menos aún tiempo o paciencia para cuidar de sus baños o utilizar sus productos. No había interés sobre la dimensión ecológica; la gente sólo estaba interesada en una solución para su desastrosa situación sanitaria. La única solución que pueden imaginarse y por lo tanto estar interesados, son los baños por descarga de agua.



**Figura 1: Letrina pública, "solución" sanitaria típica en los asentamientos peri-urbanos de Lima**  
Fuente: P. Oswald



**Figura 2: Hasta el 2007, UDDT en Lima mezclaron siempre las aguas grises con orina, la infiltración no trabajó a menudo correctamente**  
Fuente: P. Oswald



**Figura 3: Esta familia ya está preparada para conectarse al abastecimiento de agua. Como en este caso el baño por descarga de agua es siempre el preferido.**  
Fuente: P. Oswald

Un artículo de *Córdova y Knuth (2005)* entrega un análisis muy detallado para los posibles fracasos en aplicaciones a grandes escalas. El artículo discute cada aspecto detalladamente y especialmente precisa que existe una alta necesidad de servicio de saneamiento cuando se aplica a grandes escalas. Cuando se trata de un número mayor de usuarios, un sistema de saneamiento no puede confiar en un servicio voluntario de todos los usuarios. Por lo tanto este artículo se basa en la presunción que todo el sistema de saneamiento seco (SaSe) tendría que ser operado en "calidad" para el usuario el cual podría ser comparado con el sistema de saneamiento convencional (SaCo). El término "calidad" significa en este caso que el usuario recibe el mismo servicio como en una recolección de aguas residuales o por lo menos como recojo de basura. Hablando de una aplicación a "gran escala" tienen que considerarse que *Córdova & Knuth* analizaron casos con un máximo de 600 UDDT.

La única aplicación real a gran escala por una empresa es el caso de Durban en donde más de 60.000 UDDT han sido implantado con éxito y están siendo operados por la empresa de Saneamiento local (Gounden, 2008). Considerando esta situación, es mas que necesario de implementar proyectos de soluciones secas en diversas condiciones, para acumular experiencias

prácticas que serán muchísimo más valiosas que este estudio teórico. El objetivo de este estudio teórico es motivar a los tomadores de decisiones, que tomen el "riesgo" de invertir en proyectos reales a gran escala de SaSe. En el caso de áreas desérticas como en Lima y la costa peruana tenemos una situación segura de éxito. A largo plazo, simplemente no habrá agua para el saneamiento convencional (SaCo), así que existe la mejor posibilidad de probar este nuevo enfoque.

## La realidad del Saneamiento Convencional (SaCo) en el Perú y Conclusiones

Cada sistema de saneamiento que es operado por una empresa del mismo rubro en el Perú, es un saneamiento bajo el enfoque de arrastre con agua. El saneamiento con arrastre hidráulico se relaciona automáticamente con una solución permanente. Las letrinas son vistas como la solución para la gente pobre y se consideran como señal de clase baja. El gobierno del Perú está poniendo un gran esfuerzo en atender a las Metas del Milenio (ODM) y actualmente está implementando una serie de sistemas de saneamiento por todo el país. Casi todos estos sistemas consisten en sistemas de saneamiento convencional (SaCo) por descargas de agua, frecuentemente por sistema condominial, y tratamiento de aguas residuales por lagunas. Los sistemas ya existentes demuestran serios problemas operacionales. La figura 4 muestra el efluente de una laguna de aguas residuales sobrecargada. Este efluente se utiliza para riego agrícola. La figura 5 muestra otra situación típica; en donde el canal de aguas residuales fue bloqueado para conseguir un rebosamiento hacia un canal de riego para la irrigación de cultivos agrícolas. La figura 6 presenta un nuevo asentamiento humano social en un suburbio de Lima, el saneamiento convencional (SaCo) (por arrastre hidráulico), las redes colectoras y la planta de tratamiento de aguas residuales fueron implementados. El asentamiento humano tiene una antigüedad de 2 años y hasta ahora no cuenta con una conexión al abastecimiento público de agua, de modo que las familias no puedan utilizar sus servicios sanitarios instalados y así no cuentan con ninguna solución sanitaria.



**Figura 4: Efluente de un tratamiento por laguna, usado para irrigación**

Fuente: H. Hoffmann



**Figura 5: Bloqueo de aguas residuales crudas de las ciudades usadas para riego en agricultura.**

Fuente: H. Hoffmann



**Figura 6: Asentamiento humano en Lima con baños por descargas de agua (15 L por descarga). Pero no se cuenta con agua para poder usarlo**

Fuente: H. Hoffmann

Por otra parte, las tecnologías que reducen el consumo de agua o inodoros que economizan este recurso, son casi desconocidos, en áreas donde el agua está disponible, el consumo está cerca de 200 l/hab/día. La figura 7 muestra una situación típica; casi la mayor parte de los inodoros sanitarios en el Perú tienen pérdidas de agua permanente debido al mal funcionamiento de la válvula de agua. Adicionalmente la pérdida de agua no contabilizada en el abastecimiento público está sobre el 40% (SUNASS, 2008). Los parques del centro de la ciudad se irrigan en exceso (figura 8), a menudo con agua potable. El uso de las aguas grises no se practica y con frecuencia la idea de reutilización del agua no es aceptada. Desde un punto de vista económico realmente no es interesante porque el precio para el agua potable en Lima es muy bajo.

La consecuencia es, que dada la situación se discrimina sólo a los más pobres; no se cuenta con suficiente agua para proveer a toda la gente de 200 l/hab/día, y quien no está conectado al

sistema público tiene que pagar los precios más elevados (hasta 3,5 USD por m<sup>3</sup>) por agua de calidad dudosa y adicionalmente es más propenso a la contaminación de aguas con enfermedades, provocado por servicios deficientes de agua y desagüe.



**Figura 7: Pérdida de agua por mal funcionamiento de válvula de agua**  
Fuente: H. Hoffmann



**Figura 8: Riego de parques en el centro de la ciudad.**  
Fuente: H. Hoffmann



**Figura 9: Aguas grises sobre calles de un asentamiento**  
Fuente: H. Hoffmann

Las inversiones necesarias para atender a los ODM del Perú (2015) en el área del saneamiento son alrededor de los 1.454 Mio USD (MVCS, 2006). Estos hechos condujeron a las siguientes conclusiones:

- La situación especialmente en las áreas con gran concentración de población, pero totalmente secas, como las áreas costeras del Perú, exigen de un sistema de saneamiento que reduzca las pérdidas de agua y reduzca en lo mínimo el agua destinada al transporte de residuos sanitarios.
- La irrigación con aguas residuales crudas o parcialmente tratadas, así como la descarga de las aguas residuales no tratadas en los ríos, se deben evitar por la solución sanitaria.
- El agua usada debe tener una calidad que permita un tratamiento simple in situ y garantice la reutilización segura del agua tratada para la irrigación local o infiltración, sobretodo con aguas grises.
- La situación social demanda de un sistema de saneamiento con costos considerablemente más bajos que la inversión y la operación de la solución convencional.

La hipótesis es, que una solución de UDDT con servicio organizado de recolección y tratamiento de aguas grises in situ, o tratamiento semi-descentralizado de aguas grises, podría ser una alternativa prometedora a la solución convencional de descargas de agua. Por lo tanto este estudio analiza críticamente esta hipótesis.

### **La hipótesis básica**

Siempre y cuando se trate de comparaciones, los números y las hipótesis básicas son fundamentales. Por lo tanto este trabajo intenta, en lo posible, dar los números de forma clara y comprensiva. La forma del cálculo se dará para cada número, por lo tanto, da la posibilidad de repetir el cálculo para un propio ejemplo, o con números "mejorados". Los autores trataron de utilizar los números que están siempre a favor del Saneamiento Convencional (SaCo). El objetivo es demostrar que incluso bajo estas condiciones la hipótesis arriba mencionada es válida en la situación dada para la costa del Perú.

El ejemplo se lleva a cabo para un asentamiento, una ciudad pequeña o un suburbio de cerca de 40.000 habitantes que viven en 10.000 viviendas. Por ahora no hay solución de UDDT para más de 3 pisos, este cálculo no se aplica a las áreas con un alta verticalización. El número de 10.000 casas fue elegido con el fin de acercarse más a la aplicación a gran escala. La base del consumo del agua fue asumida en 150 l/hab/día, para el SaCo. En el caso del SaSe se asumió que el consumo del agua llega a 100 l/hab/día.

## Descripción de la solución de Saneamiento Seco - SaSe

Pensando en la aplicación de una solución de saneamiento seco (SaSe), uno tiene que ofrecer una calidad de saneamiento que satisfaga todas las necesidades básicas para el saneamiento de los usuarios. Las necesidades básicas pueden ser descritas como: limpieza de inodoros sin olor y moscas, posibilidad de tener el inodoro dentro de la vivienda, integración en un cuarto de baño típico (véanse las figuras 10 y 11), ninguna manipulación de heces frescas. En un total de 40.000 personas no se puede esperar que todos los usuarios sean ecológicamente orientados y estén interesados en ponerle esfuerzo a una solución sostenible de saneamiento. Por lo tanto una solución sostenible no debe causar más trabajo que la de una recolección de la basura sólida. Los autores creen, en el éxito de la situación actual desde el concepto que el SaSe puede ser garantizado solamente, cuando hay un fuerte incentivo a favor de la solución del SaSe. Esto es necesario hasta el momento cuando el uso del SaSe sea comúnmente considerado como equivalente con el Saneamiento Convencional. Las figuras siguientes dan algunos ejemplos para las instalaciones de saneamiento seco (SaSe) en cuartos de baño, sólo para demostrar la aplicabilidad general.



Figura 10 : Baño seco integrado en el cuarto de baño  
Fuente: [www.rinconesdelatlantico.com](http://www.rinconesdelatlantico.com)



Figura 11: Baño seco en México  
Fuente: U. Windblad

## Concepto de Gestión y operación para la solución de Saneamiento Seco (SaSe)

Los autores desarrollaron un modelo teórico de gestión basado en la idea de recolección de heces secas y de orina a cada tres meses. Por ello es necesario instalar tanques de almacenamiento que tengan una capacidad que sea significativamente superior a la media de producción. Sugerimos que sea por lo menos un 50% más grande de almacenamiento.

Para el almacenamiento de la orina, se puede construir un sistema de tuberías que termine en el tanque de almacenamiento, cerca del punto de recolección. La producción de orina es aproximadamente de 1,1 l/hab/día. (UNESCO IHE, 2008). Para el ciclo completo de almacenamiento de 3 meses para 4 personas, la casa necesitaría de un almacenamiento de 400 l, por lo que nosotros consideramos 600 l de tanque de almacenamiento. En el caso de las heces, la producción es aproximadamente de 51 l/hab/año, (Vineras, 2002). Como el contenido de agua del material es aproximadamente del 80% (Vineras, 2002) y deshidrata muy rápidamente y por lo tanto se reduce en gran parte de tamaño y peso. Parte de la pérdida de su tamaño será equilibrada por el material seco que se debe agregar después de cada uso. Estimamos que el volumen total anual es cerca de 107 l/vivienda ó 27 l por ciclo de 3 meses. Consideramos un recipiente de almacenamiento de 90 l para garantizar una buena circulación de aire. El recipiente se utilizará cada tres meses y se utilizará otro para tres meses más. Sólo después de un período de 3 meses sin ninguna nueva recarga, el contenido podrá ser recolectado.

El transporte desde el baño al punto de recolección cerca del límite de la propiedad es un aspecto que necesita de un desarrollo adicional. En este modelo asumimos que el transporte está hecho de una forma muy similar a los cubos de basura con rodillos. El usuario tiene que transportar el

envase o recipiente al punto de colección como tiene que hacerlo en el caso de la recolección de la basura sólida.

Para la recolección nos proponemos utilizar un camión de 10 m<sup>3</sup> que tenga un tanque dividido y dos dispositivos de succión. Un compartimiento de 9,2 m<sup>3</sup> sería para el transporte de la orina, y 0,8 m<sup>3</sup> para la recolección de las heces secas. El volumen es suficiente para la recolección de 23 casas. En total se necesitarían de 4 camiones de esta clase para atender a las 10.000 casas. El cálculo detallado se da en la sección sobre cálculos de costos de operación. El material será transportado a una instalación central de tratamiento que consiste en un lugar de compostaje para las heces y almacenamiento de orina, tal como se recomienda como tratamiento secundario en las Normas WHO (2006). Allí las heces serán tratadas para garantizar un producto higiénico y limpio. Las Normas recomiendan un compostaje de por lo menos una semana con temperaturas sobre 50° C (WHO, 2006, Cuadro 4.4). En el modelo, se utilizó para el compostaje un período de dos meses.

Teniendo en cuenta que para la orina, las Normas WHO recomiendan de un almacenamiento de 6 meses para permitir su uso en cultivos (WHO 2006, Cuadro 4.6). El período de almacenamiento de 6 meses es dado por almacenamiento de 3 meses para los tanques de almacenamientos individuales y de 4 meses para un almacenamiento central.

El tratamiento central considera 2 lugares para la descarga del material y dos lugares para recolectar los productos del abono.

La empresa de saneamiento tiene que introducir un sistema educativo para garantizar una eficiente introducción del nuevo concepto. En la parte económica la tarifa de agua tiene que ser muy progresiva, a fin de evitar que la gente use el agua de saneamiento por descargas de agua, en una zona que está destinada a operar con saneamiento seco (SaSe). El aspecto de controlar el uso del agua para propósitos de arrastre hidráulico es uno de los aspectos más importantes para el éxito de la aplicación.

### **Costos de inversión para el cliente en ambos escenarios**

Para cada sistema de saneamiento los costos de implementación del baño tienen que ser pagados por el cliente. La construcción de un baño seco UDDT es ligeramente más barato que un baño convencional. En el caso del SaCo la conexión a la red pública de desagüe, cuesta generalmente entre 150 - 250 USD. Para el almacenamiento de la orina (600 l) y el tratamiento de aguas grises (filtro de arena) se tiene que considerar un total de 450 USD. El almacenamiento in situ (orina) o el tratamiento (aguas grises) ayuda a reducir los costos para las empresas de aguas. Por lo tanto se sugiere para este modelo, dar un reembolso al cliente de estos costos, que lo deja igual a la inversión necesario para un modelo convencional. El debate es, si debe haber un incentivo económico o no para el modelo SaSe, no será hecho en este documento.

### **Costos de inversión para el saneamiento - la solución convencional**

Para determinar la longitud total de red de colectores, se asumió un ancho medio de propiedad de 10 m en ambos lados de la calle. Esto conduce a una longitud específica de 1,25 m/hab, el cual es un número bajo. Esta presunción es a favor de la hipótesis SaCo para el caso del Perú. Los costos fueron tomados de diferentes estudios en el norte del Perú. En este caso sólo los costos finales son interesantes para la empresa de saneamiento, por lo tanto los costos directos fueron transformados a los costos finales (sin IGV) aplicando un aumento del 20% (por los costos indirectos y utilidad de la empresa constructora). Los costos específicos para la red son aproximadamente de 31 USD /m. Se consideró un buzón con un costo de 642 USD en cada 80 m. En total la red de colectores secundarios fue estimada en 41USD/m. El colector principal es estimado con una longitud total del 10% del colector secundario, estos costos no han sido considerados.

Cada conexión a la red cuesta aproximadamente 192 USD.

Para el tratamiento de aguas residuales se tomaron dos diseños. Con el fin de llegar al límite más bajo posible para SaCo, se asumió que las aguas residuales podrían ser tratadas en un concepto más de la laguna de tratamiento con aguas residuales para más de 200.000 hab, junto con las aguas residuales del resto de la ciudad. El diseño de esta planta sería una laguna anaerobia como pre-tratamiento manual, lagunas facultativas y de maduración con un tiempo de retención de 20 días (remoción de coliformes). En este caso la inversión sería aproximadamente de 36 USD/hab. Este diseño fue elegido con el fin de favorecer el diseño SaCo en términos de costos, lo cual es un diseño muy típico de tratamiento; sin embargo los autores no consideran esto como una solución recomendable. Una laguna anaerobia provoca siempre problemas severos de olor; sin mencionar los aspectos negativos en lo que respecta a aspectos climáticos por la emisión del gas metano. Actualmente las lagunas anaerobias existentes están en discusión cada vez más. En el Brasil, por ejemplo, muchas lagunas anaerobias se piensa en cubrirlas con membranas o sustituirlas por reactores UASB. Un tratamiento de aguas residuales sostenible no debe considerar hoy en día, lagunas anaerobias sin la captura y el quemado de gas. Por lo tanto se utilizó un segundo tipo de diseño que consideraba un pre-tratamiento mecánico, un UASB y un tratamiento secundario solo para los 40.000 hab. Los costos estimados para esta situación son de 71 USD /hab. Comparando estos costos con los costos publicados por la Agencia Nacional Brasileña del Agua en el 2001 (ANA, 2001) los costos mencionados están dentro del rango. ANA (2001) da un costo de 38 USD/hab (R\$ 65/hab) para la solución más barata y un rango de 44 a 61 USD/hab para la segunda opción. Hay que considerar que los costos presentados en ANA (2001) no han sido actualizados en lo que respecta a precios actuales.

Además de los costos de conexión a la red pública, se deben considerar por lo menos una estación de bombeo central y una tubería de impulsión hacia la planta de tratamiento. Los costos de todos los componentes, también para el bombeo y la tubería de impulsión, se muestran en la tabla 1. En total la solución de SaCo tiene un valor de 574 – 764 USD/vivienda ó 143 - 191USD/hab.

Item	SaCo min	SaCo
	USD/vivienda	USD/vivienda
Inversión mínima para Saneamiento	574	764

Tabla 1: Costos de Inversión de la parte de saneamiento de la solución SaCo

### Costos de inversión para el saneamiento - la solución del Saneamiento Seco (SaSe)

En el caso del SaSe, los costos de inversión tuvieron que ser desarrollados sobre una base teórica, ya que no se cuenta con muchos ejemplos en el mundo.

Como se menciona anteriormente se instalará una planta central de tratamiento. La compostera esta diseñada para un periodo de almacenaje de dos meses. El volumen necesario para el almacenaje es de 180 m<sup>3</sup>. El diseño fue realizado con tres áreas de compostaje de 120 m<sup>2</sup> cada una, considerando una altura promedio de 1,5 m de composta. El área de compostaje fue calculada con 20 centímetros de concreto y una cama de grava de 10 centímetros más una cobertura. La suma de los costos llegan a 47.000 USD.

La necesidad para un almacenamiento de 4 meses de orina alcanza a un volumen de 5.280 m<sup>3</sup> (1,1 l/hab, d \* 120 d \* 40.000). El almacenamiento fue considerado en 10 tanques de material LDPE, cada uno de 3 m de profundidad, 10 m de ancho y 17,6 m de largo. El almacenamiento es totalmente cerrado según se muestra en el ejemplo de Borsjö, Suecia (Figura 12) (IHE, 2008).



**Figura 12: Almacenamiento de orina Bornsjön, Suecia (Fuente: P. Jensen)**

Adicionalmente se considero un sistema de llenado y vaciado para los depósitos. La suma total para el almacenamiento de la orina se calcula en 107.000 USD.

Para garantizar una rápida carga y descarga se a considerado 04 lugares de recarga, cada uno con una longitud de 10 m y un ancho de 4 m. Adicionalmente se ha calculado un área de 200 m<sup>2</sup> para las maniobras. En total las áreas arrojan un costo de 10.000 USD.

La inversión más significativa son los 4 camiones de succión y una retroexcavadora. Se utilizaron precios adaptados de Brasil. El camión no se puede comparar con los hidrojets normales pues no habría un sistema de presión instalado. En vez del hidrojet, el camión será equipado con dos bombas de succión. Los costos estimados fueron de R\$ 300,000 ó 176.000 USD por cada camión y R\$ 217,000 para la retroexcavadora (127.000 USD).

Las instalaciones complementarias son aproximadamente de S/. 70.000. Dentro del cual se considera: una caseta pequeña de operación, un cerco perimétrico, conexión de agua y electricidad, áreas sin tráfico para disposición de crudos y un pórtico de acceso grande.

La inversión total para el SaSe es de 1.032.356 USD ó 103 USD /vivienda en el lado público.

Según se precisa en la comparación de costos de inversión para el cliente utilizamos un enfoque en la cual la compañía de servicios hará la inversión para el almacenamiento de la orina (150 USD) y el filtro para las aguas grises (300 USD). Esto se llega a una inversión total de 553 USD/vivienda.

### **Costos de inversión para el abastecimiento de agua**

La pérdida promedio de agua en el Perú es actualmente de 42,4% (SUNASS, 2008). Un objetivo para los sistemas de distribución de agua es reducir la pérdida de este valiosísimo recurso a un 35%. Este valor fue utilizado en el estudio actual. La producción del agua en el Perú se diseña con un factor del 1,3 a fin de considerar el día con el consumo más alto de agua. El diseño de reservorios considera por lo menos el 30% del consumo diario.

La capacidad de producción necesaria de agua es de 12.000 m<sup>3</sup>/d (Ej.1) ó 138 l/s para SaCo y hasta 8.000 m<sup>3</sup>/d ó 93 l/s para el SaSe.

(Ej. 1) Capacidad Producción = Hab.\*(factor.consumo)/(1-Perdida agua)\*(factor máximo de consumo)

La capacidad de almacenamiento necesaria es de 3.600 m<sup>3</sup> (Ej. 2) para SaCo y de 2.400 m<sup>3</sup> para SaSe.

(Ej. 2) Capacidad reservorio = Capacidad Producción \* 30%

Teniendo en cuenta el sistema de distribución se realizó una estimación aproximada. El total del sistema de distribución secundario fue completado con distribución primaria de varios diámetros y 1 km de tubería de aducción para el reservorio de agua.

En la Tabla 2 se muestran los costos específicos que fueron usados para la comparación. Todos los costos son costos mostrados sin IGV.

Item	SaCo		SaSe	
	Costo específico	Unidad	Costo específico	Unidad
Planta de tratamiento de agua	8.990	USD/(l/s)	9.603	USD/(l/s)
Reservorio	150	USD/ m <sup>3</sup>	150	USD/ m <sup>3</sup>
Sistema de distribución (sin accesorios)	20	USD/m	17	USD/m

**Tabla 2: Costos específicos para el estudio  
(Los costos son de proyectos típicos en el Perú y adaptados para dicho estudio)**

La longitud total de 51.000 m fue calculada con un costo de 20 USD/m para la solución SaCo La solución SaSe tiene un costo específico de 17 USD/m debido a diámetros más pequeños. Para simplificar el estudio, los costos de las válvulas y otros accesorios son considerados iguales en ambas soluciones y por lo tanto no han sido considerados dentro de los mismos.

La tabla 3 muestra los resultados del estudio. Los costos totales de inversión para el sistema de agua en el caso de la solución SaCo asciende a 4,6 Mio USD o a un costo específico de 464 USD/ vivienda, mientras que los costos para la solución SaSe ascienden a 3,8 Mio USD ó a un costo específico de 381 USD/vivienda. Por lo tanto el sistema SaSe tiene una ventaja económica en inversión de 82 USD/ vivienda.

Item	SaCo	SaSe
	Costo específico	Costo específico
Planta de Tratamiento de Agua	1.248.608	1.067.051
Reservorio	540.000	360.000
Sistema de distribución (sin accesorios)	2.849.102	2.386.137
Total	4.637.710	3.813.188
Costo específico / Vivienda	464	381

**Tabla 3: Inversión total para el abastecimiento de agua potable en ambos casos**

### **Cálculo teórico de los costos operacionales para la solución SaSe (Seco)**

El SaSe se basa en asumir un ciclo de recolección de tres meses. Por lo tanto en total se trata de 40.000 visitas al año. La determinación de los costos de recolección es el paso más significativo para este modelo.

El material que tiene que ser recolectado está ubicado con una buena accesibilidad en el límite de cada propiedad. El camión recoleta al mismo tiempo la orina y las heces secas. Las bombas de succión tienen un flujo de 500 l/min. Por lo tanto el tiempo que demora en vaciar el recipiente de orina será alrededor de 2 min. En total se estima el tiempo de trabajo para cada vivienda de 5 min. Contando uno de los autores con un camión de succión para tanques sépticos, existe la experiencia práctica del manejo y base de cálculo para tal servicio. Estimamos que el tiempo necesario total para cada vivienda, incluyendo el traslado a la vivienda siguiente, será de 7 min. Como este número es muy sensible a errores y con el fin de hacer uso de un enfoque más conservador (a favor del SaCo) y ante la carencia de experiencias reales específicas, hemos utilizado 10 minutos/vivienda como hipótesis básica.

La distancia del transporte se fijó en un recorrido de 8 kilómetros. Teniendo en cuenta que es una ciudad con 40.000 habitantes y que tiene un área total de cerca de 4 - 6 km<sup>2</sup>, esta distancia correspondería por lo menos a 5,5 kilómetros del límite de ciudad. La velocidad estimada fue de 40 km/ hora. El tiempo para descarga fue aproximadamente de 15 min. Siendo el tiempo total por viaje de 4,52 horas. (Ej. 3)

$$(Ej.3) \quad \text{Tiempo total / viaje} = 23 \text{ viviendas} * 10 \text{ min/viv.} + 16 \text{ km/} 40 \text{ (km/h)} * 60 \text{ min/h} + 15 \text{ min}$$

En total las 40.000 visitas suman alrededor de 1.722 viajes ó 973 días (8 horas) ó 44 meses de trabajo. Para este modelo asumimos el uso de 4 camiones teniendo un 8% de reserva o cerca de 2 días por mes para el respectivo mantenimiento.

Los costos por camión se calculan tal como se muestra en la tabla 4, la suma total es de 4.588 USD / mes.

Los salarios son sueldos típicos para el Perú. El combustible es una estimación aproximada, por la experiencia en operación y el mantenimiento se basa en un porcentaje del 3% por año de la inversión. Los camiones se calculan con un periodo de vida de 10 años.

Costos / mes por camión	USD/ mes
Conductor	911,76
Ayudante	705,88
Combustible	1.058,82
Mantenimiento	441,18
Depreciación	1.470,59
<b>Total</b>	<b>4.588,24</b>

**Tabla 4: Costos mensuales para el transporte de la orina y heces secas por camión**

Multiplicado por los meses de trabajo y dividido por el número de viviendas, resulta una suma de 1,74 USD/ vivienda / mes, para recolección de los productos.

En el lugar central de tratamiento fueron considerados 1,5 personas para la supervisión de la recepción. Una retroexcavadora fue considerada con costos de mantenimiento del 3% por año de inversión. La compra de la retroexcavadora es una sobrestimación. La composta tiene que ser movida una vez al mes, habiendo una necesidad de 180 m<sup>3</sup> por mes y una recarga al camión de 90 m<sup>3</sup> /mes. La tabla 5 muestra la composición de los costos, dando por resultado 0,33 USD/ vivienda / mes, para el tratamiento y manejo de productos en una planta central de tratamiento.

Item	un.	Unidad	USD/mes
Operador	1,5	mes	1.324
Equipamiento	3%	a	1.064
Mant. Preventivo	2%	a	331
Energía		GB.	88
Guardianía		GB.	529
<b>Total</b>			<b>3.336</b>
Total / vivienda			0,33

**Tabla 5: Costos mensuales para la operación y el manejo de la orina y composta en una planta central de tratamiento**

Además los costos de educación y costos administrativos deben ser considerados. La educación sanitaria necesaria se basa en las experiencias de Gounden (2008) en Durban, donde cerca del 7% de usuarios son usuarios "críticos". Se considera a un trabajador social para la educación, asumiendo hasta el 0,1 USD/vivienda/ mes.

Los costos administrativos se calcularon en un 20% de los gastos de operación, llegando a un valor de 0,41 USD/ vivienda/ mes.

Los costos totales de operación y mantenimiento para la solución SaSe son de 2,59 USD /vivienda/mes. En el Perú se tiene que considerar el IGV del 19%. Por lo tanto el costo total para el cliente será de 3,08 USD / vivienda/ mes.

## Comparación de costos

### Punto de vista de la empresa de agua

Comparando los costos de inversión totales, las soluciones de SaCo son más costosas que la solución SaSe (tabla 6). Capitalizando esta diferencia por períodos de pago a 30 años y a un tipo de interés del 2% (en favor de la solución SaCo), la diferencia da una ventaja para la solución SaSe de 0,38 – 1,09 USD /vivienda / mes, para la empresa de saneamiento.

Item	SaCo min	SaCo 2	SaSe
	USD/vivienda	USD/vivienda	USD/vivienda
Min. Inversión para saneamiento	574	764	553
Inversión abastecimiento de agua	464	464	381
Total	1.038	1.227	935
Diferencia a favor del SaSe	103	293	

**Tabla 6: Costos de inversión de saneamiento de las soluciones SaCo y SaSe**

### Punto de vista del cliente

Desde el punto de vista de un cliente la situación se presenta según la tabla 7:

		SaCo	SaSe
Consumo de agua	m³/mes	18	12
Tarifa de agua	USD/ m³	0,30	0,30
Tarifa desagüe	USD/ m³	0,14	
Pago mensual (agua)	USD/mes	5,43	3,62
Pago mensual (desagüe)	USD/mes	2,45	3,08
<b>Pago Total</b>	<b>USD/mes</b>	<b>7,88</b>	<b>6,70</b>
Diferencia a favor de SaSe	USD/mes		1,18

**Tabla 7: Comparación de la cuenta mensual para la solución media de los SaCo y del SaSe de una vivienda**

La solución SaSe presenta una ventaja de 1,18 USD/mes para una vivienda promedio. Además tiene que considerarse que esta evaluación está hecha bajo una situación actual en Lima. El costo del agua en Lima sigue siendo muy barato y las aguas residuales sólo se recargan en un 45% de la tarifa de agua. Esta práctica cambiará pronto. Desde este año las empresas de agua están obligadas (o mejor dicho, tienen la posibilidad) de calcular las aguas residuales basadas en costos verdaderos. Estos costos con seguridad serán más altos del 45% de la tarifa del agua. Pero en las aguas residuales de Brasil por ejemplo las tarifas están entre el 80% y 100% de la tarifa del agua. Esto daría lugar a una diferencia de por lo menos 3 USD /mes por cada vivienda.

## El potencial ecológico de la solución SaSe (seco)

### Irrigación con aguas grises

El modelo es orientado hacia el tratamiento de aguas grises in situ, en el futuro será interesante para las viviendas tener disponibilidad de agua para riego. Un filtro de arena simple es suficiente para el tratamiento de las aguas grises (100 l/d), y por lo cual se podría reutilizar en la misma propiedad. El cálculo básico para la irrigación es normalmente de 5 milímetros por día en las áreas costeras secas del Perú, por lo menos en el tiempo de verano (5 l/m²/d). Esto significa, que las aguas grises de una familia (300-500 l/d) será suficiente para una irrigación constante de 60-100 m² de áreas verdes. El filtro de tratamiento necesitará un área de 3 - 4 m². El agua se podrá utilizar para las áreas verdes de los alrededores de las casas, jardines con vegetales, frutas,

flores o también para parques públicos. La irrigación con el agua potable, es utilizada en muchos parques del Perú, este volumen se podría utilizar para proveer de agua potable a más familias que realmente lo necesitan.

### **Ahorro de recursos de agua dulce**

Con el de agua dulce ahorrada de 40.000 personas (3.076 m<sup>3</sup>/d) es posible irrigar un área total de por lo menos 61 hectáreas (5mm/ m<sup>2</sup>/ d, calculado para plantas con alto consumo de agua), que se podrían utilizar para la producción agrícola.

En total, un área desértica de 141 hectáreas podría ser irrigada, cuando el consumo de agua potable de 40.000 personas sea reducida a un tercio y cuando todas las agua grises sean tratadas y reutilizadas con fines de irrigación.

### **Substitución de fertilizantes**

La orina es caracterizada por su alta cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio. Estos elementos son los más importantes nutrientes para el crecimiento de las plantas. La orina de una persona al año es equivalente a 4 kilogramos de nitrógeno, 0.4 kilogramos de fósforo y 1 kilogramo de potasio. En el caso de una separación de orina estos nutrientes pueden ser utilizados más o menos en forma directa como fertilizante (UNESCO IHE, 2008). Anualmente la orina de 40.000 personas contiene 160 toneladas de nitrógeno, 16 toneladas de fósforo y 40 toneladas de potasio.

El nutriente más importante para la agricultura peruana es el nitrógeno y en el 2008 los precios para la urea sintética se han elevado por el 50%, debido a los altos costos de energía. Actualmente la urea sintética cuesta aproximadamente 600 USD/t (El Comercio, 2008), la cual es demasiada costosa para los pequeños agricultores. La urea sintética tiene un contenido del 46% N; por lo tanto la orina de 40.000 personas substituiría 348 toneladas de urea sintética, el cual tiene un valor real económico de 208.700 USD ó de 21 USD/año por una familia de 4 personas.

Los cultivos como el maíz, la papa, el trigo o el algodón requieren normalmente entre 100-200 kg N/ ha durante el periodo de crecimiento, por lo tanto la orina de 40.000 personas sería suficiente para una fertilización de nitrógeno de por lo menos 800-1.600 hectáreas de cultivo agrícola.

Desde un punto de vista ecológico el uso de la orina en vez de la urea sintética reduce directamente la emisión de CO<sub>2</sub>, porque evita el uso de combustibles naturales para la producción de la urea. A diferencia de la urea sintética la orina también contiene potasio y los compuestos de fósforo, ambos se utilizan normalmente como fertilizantes adicionales en forma de productos comerciales con 10-50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 30-60% KCl o K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que ocasionan costos adicionales para los agricultores. Pero el principal problema es la limitación de los recursos naturales de fósforo, el cual se predice se agotará dentro de 50 a 100 años (UNESCO IHE, 2008)

El uso de la orina como fertilizante para cultivo en huertos privados daría lugar a altas ventajas económicas; este cálculo fue realizado para una aplicación de UDDT (Jönsson et al., 2005). Repitiendo el ejemplo para el Perú la situación se presenta como sigue. En el Perú comúnmente los costos de fertilizantes NPK 30:10:10 están aproximadamente entre 1,50 USD/kg, y 1 kg es recomendado para el uso en 15 m<sup>2</sup> (0,02 kg N/m<sup>2</sup>). Por esto la orina de una familia de 4 personas tiene un valor teórico de 80 USD por año. Pero tienen que ser considerados dos puntos:

- a) La familia tiene suficiente orina para fertilizar 800 m<sup>2</sup> o más (tamaño normal de la propiedad de 250 m<sup>2</sup> con un máximo de 100 m<sup>2</sup> de áreas verdes),
- b) El fertilizante NPK para 100 m<sup>2</sup> podría costar alrededor de 10 USD por año. Por esto es obvio porque esta aproximación no puede ser utilizada para aplicaciones de gran escala en regiones urbanas del Perú, que tienen restricciones de área.

### **El camino hacia adelante**

Para el ejemplo teórico presentado, el cual todavía tiene mucho potencial para mejora, el saneamiento seco SaSe, se ha comprobado que es la mejor solución económica y ecológica. Considerando que los autores siempre han tratado de asumir ventajas favorables a la solución

SaCo, el saneamiento seco SaSe se presentó claramente más adecuado para las áreas desérticas y podrá ser LA adaptación al cambio climático por parte del saneamiento.

Además el SaSe ofrece mucho más flexibilidad en la construcción, pues no hay necesidad de una inmediata inversión completa. El SaSe ofrece un método paso a paso, creciendo exactamente en la velocidad de la necesidad, pues la mayor parte de la inversión y los costos operativos se relacionan directamente con el número de viviendas que exigen el servicio. En la opinión de los autores éste es el aspecto más importante de la solución de saneamiento seco SaSe. Se puede alcanzar a más gente en un período de tiempo más corto, aplicando la solución SaSe en vez del SaCo.

¿Si esto es así, por qué no hacemos ya más soluciones con aplicación de SaSe?

¡Necesitamos ejemplos prácticos! Es interesante y deseable tener un modelo teórico y tenemos soluciones probadas para cada aspecto, pero no hay una aplicación completa. No hay peligro para una empresa de saneamiento de que el modelo no funcione. El único punto es que **necesitamos ejemplos para superar los problemas que siempre hay en un nuevo enfoque yendo se a la aplicación práctica.** Esto es necesario para hacer posible el mayor desarrollo del modelo para una aplicación masiva completa.

---

### Referencias

ANA (2001) Tabela de Valores de Referência para Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários - ETE

CORDOVA, A.; KNUTH, B. (2005) Barriers and strategies for dry sanitation in large-scale and urban settings in: *Urban Water Journal*, Vol. 2, No. 4, December 2005, 245 – 262

El Comercio, online <http://www.elcomercio.com.pe> Altos precios de la urea (2008) (Accessed 11 September 2008)

GOUNDEN, T. (2008) personal communication

GOUNDEN T., PFAFF B., MACLEOD N., BUCKLEY C. (2008), Provision of Free Sustainable Basic Sanitation - The Durban Experience, paper accepted for PERUSAN, 25-27/11/2008, Peru

Koenig, R. (2008) Durban's Poor Get Water Services Long Denied in: *Science* 8 February 2008:Vol. 319. no. 5864, pp. 744 – 745

JÖNSSON, ET AL. 2005. Ecosan both Economical and Eco-sane. *Water 21* (IWA International Water Associations monthly magazine) June issue p. 15.

MVCS: Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015 – “Agua es Vida”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima, Peru, 2006.

OSWALD, P; HOFFMANN, H. (2007). Results of an evaluation of ecological sanitation projects in the peri-urban settlements of Lima/Peru, in: International conference on Sustainable Sanitation –Ecosan - Fortaleza 2007

SUNASS (2008), Informe Técnico del Ranking de las Empresas Prestadoras a nivel nacional (Año 2007) [http://www.sunass.gob.pe/documentos/indicadores/informe\\_tecnico\\_07.pdf](http://www.sunass.gob.pe/documentos/indicadores/informe_tecnico_07.pdf) (Accessed 11/09/2008)

VINERAS (2002) cit. in WHO (2006) Vol. 4

WHO (2006), WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and grey water Vol. 4, WHO, France

UNESCO IHE, Institute for Water Education, Delft, Material of the 3. International course of Ecological Sanitation (April to July 2008) coordinated by Elizabeth von Münch

---

### Palabras claves

UDDT, costos comparativos, saneamiento, modelo de gestión, saneamiento seco SaSe, reutilización,

---

**Detalle de contactos**

---

Christoph Platzer  
GTZ - PROAGUA  
Av. Los Incas 172, Piso 5 - El  
Olivar  
San Isidro - Lima 27, Perú

Tel:(51-1) 222-0779  
Fax: (51-1) 222-0707  
Email: [chr@rotaria.net](mailto:chr@rotaria.net)  
[www.proagua-gtz.org.pe](http://www.proagua-gtz.org.pe)

Heike Hoffmann  
Rotaria del Perú SAC  
Calle Navarra 143  
Surco - Lima 33, Perú

Tel:(51-1) 273-4588  
Fax: (51-1) 273-4588  
Email:  
[heike@rotaria.net](mailto:heike@rotaria.net)  
[www.rotaria.net](http://www.rotaria.net)

Elier Ticona  
GTZ - PROAGUA  
Av. Los Incas 172, Piso 5 - El Olivar  
San Isidro - Lima 27, Perú

Tel:(51-1) 222-0779  
Fax: (51-1) 222-0707  
Email: [eticona@proagua-gtz.org.pe](mailto:eticona@proagua-gtz.org.pe)  
[www.proagua-gtz.org.pe](http://www.proagua-gtz.org.pe)

---