

## Reuso de agua y nutrientes.

### Water and nutrient reuse.

Lic. Joaquín Gutiérrez Díaz  
Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA).  
E-mail: [joaquin@ama.cu](mailto:joaquin@ama.cu)

### Resumen

Los Pequeños Estados Insulares en vías de desarrollo del Caribe (SIDS) presentan un crecimiento acelerado de población y demanda de agua, a la vez tienen un pobre desarrollo en la cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales domésticas. Esta situación produce la disposición de altas cargas de materia orgánica, nutrientes y bacterias a las zonas costeras, donde la población se suele concentrar en ciudades principales y villas, causando un impacto negativo a actividades asociadas al turismo, pesca y salud. En este artículo el reuso de nutrientes significa el reuso de aguas residuales domésticas tratadas (aguas reclamadas). El reuso debe ser la opción preferida antes que la remoción de nutrientes siempre y cuando todas las exigencias puedan llevarse a cabo. El reuso contribuye a satisfacer la demanda de agua y a mejorar el manejo de las aguas residuales, con una reducción de la polución y un beneficio económico. El reuso de aguas reclamadas en el Caribe es una tarea necesaria e impostergable.

**Palabras Clave:** AGUAS; AGUAS REIDUALES DOMESTICAS; IMPACTO AMBIENTAL; AGUAS RESIDUALES; AGUA DE RIEGO; AGRICULTURA

### Abstract

Caribbean "Small Island Developing States" (SIDS) with a growing population and water demands has a poor development of sanitation and wastewater treatment. This situation produces high loads of organic matter, nutrients and bacteria to coastal zones, where population are concentrated in main cities and villages, causing a negative impact to tourism, fisheries and health. This situation produces high loads of organic matter, nutrients and bacteria to coastal zones, where population are concentrated in main cities and villages, causing a negative impact to tourism, fisheries and health. Eutrophization problems have been addressed. Wastewater nutrients removal technologies and recycling of nutrients through reuse are identified as the key elements to overcome this situation. This paper presents technicians and decision maker involved in the evaluation; planning, design, operation and management of water and nutrient reuse a clear vision of the main questions to be addressed when reuse of treated domestic wastewater is intended. Public concept in wastewater reuse is emphasized.

**KEYWORDS:** Caribbean (SIDS), water and nutrient reuse, wastewater treatment.

### Introducción

Los pequeños estados insulares en vías de desarrollo del Caribe (SIDS) presentan un crecimiento acelerado de población y demanda de agua, a la vez tienen un pobre desarrollo en la cobertura de saneamiento y tratamiento de aguas residuales domésticas. Esta situación produce la disposición de altas cargas de materia orgánica, nutrientes y bacterias a las zonas costeras, donde la población se suele concentrar en ciudades principales y villas, causando un impacto negativo a actividades asociadas al turismo, pesca y salud.

Como resultado del exceso de nutrientes dispuesto por las aguas residuales con insuficiente tratamiento o sin él, se han identificado problemas de eutrofización en cuencas hidrográficas y zonas costeras. El uso de tecnologías para la remoción de

nutrientes y el reciclaje de nutrientes se identifican como elementos claves para revertir esta situación.

En este artículo el reuso de nutrientes significa el reuso de aguas residuales domésticas tratadas (aguas reclamadas). El reuso debe ser la opción preferida antes que la remoción de nutrientes siempre y cuando todas las exigencias puedan llevarse a cabo. El reuso contribuye a satisfacer la demanda de agua y a mejorar el manejo de las aguas residuales, con una reducción de la contaminación y un beneficio económico. El reuso de aguas reclamadas en el Caribe es una tarea necesaria e impostergable.

¿Cómo podemos reusar el agua y los nutrientes si no conocemos las mejores prácticas del reuso del agua? La consideración principal en el desarrollo de un sistema de reuso es que la calidad del agua tratada debe ser apropiada para el uso previsto. Sistematizar las acciones inherentes a la planificación del reuso es un factor clave para el reuso de agua y nutrientes.

La aplicación de una metodología de acercamiento sistemático en la planificación de un sistema de reuso debe considerar: la identificación y caracterización de la demanda potencial, los requerimientos del tratamiento, las facilidades de almacenamiento y redes de distribución, los impactos negativos al medio ambiente del agua residual doméstica tratada y lodos generados, entre otros elementos.

El propósito del artículo es presentar a los técnicos y tomadores de decisiones involucrados en la evaluación, planeamiento, diseño, operación, mantenimiento y manejo del reuso del agua y nutrientes una visión clara de las preguntas a responder cuando se intenta desarrollar el reuso de aguas residuales tratadas.

### **PRINCIPALES TIPOS Y APLICACIONES DEL REUSO**

Los tipos y aplicaciones del reuso se clasifican de acuerdo al sector o infraestructura que recibe el beneficio.

- Agrícola
- Industrial
- Urbano
- Recreacional
- Recarga de aguas subterráneas
- Restauración de Hábitats o ecosistemas
- Aumento de las fuentes de agua potable

Todas estas aplicaciones se pueden implementar en las islas del Caribe. Algunas de ellas, como el reuso agrícola, industrial y la recarga de aguas subterráneas son más atractivas a las islas mayores. Las islas caribeñas más pequeñas suelen estar muy estresadas por el desarrollo del turismo en áreas costeras. El reuso de aguas domésticas tratadas en riego de jardines, campos de golf, y otras áreas verdes puede ser una opción acertada. El riego agrícola con aguas residuales tratadas representa la mayor fracción del total de la demanda mundial de agua para el reuso. El éxito del reuso agrícola depende de una correcta estrategia. Básicamente, depende de una correcta selección del cultivo y de los métodos de riegos, así como del apropiado manejo integrado de todo el sistema, donde el impacto a la salud es clave.

La restauración de hábitats como reuso en el Caribe puede ser dirigida a ecosistemas de pantano y mangle. La creación de pantanos, su restauración y mejoramiento puede considerarse como reuso siempre y cuando el proyecto de una clara y evidente demostración de que el reuso de las aguas reclamadas sostendrán dichos objetivos.

Tabla 1. Principales posibilidades de reuso de aguas residuales domésticas tratadas en el Caribe.

Tipo de reuso	Aplicación
Reuso urbano (con restricción y sin restricción)	Riego de parques públicos, divisiones de carreteras, áreas verdes, campos de golf, protección contra fuegos, uso en sanitarios.
Reuso agrícola	Irrigación de cultivos
Restauración de Hábitat .	Creación de pantanos, restauración y mejoramiento.

### LA PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE REUSO

Los tipos y aplicaciones del reuso se clasifican de acuerdo al sector o infraestructura que recibe el beneficio.

- La identificación y caracterización de las demandas potenciales del agua reclamada.
- La identificación y caracterización de las fuentes existentes de agua reclamada con el fin de determinar su potencial para el reuso.
- Los requerimientos del tratamiento para producir un agua tratada segura y con la calidad necesaria para su uso previsto.
- Las facilidades de almacenamiento requeridas para un balance que considere las fluctuaciones estacionales de las demandas y las posibilidades de entrega.
- Las facilidades suplementarias requeridas para la operación del sistema de reuso, tales como: transporte del agua residual tratada al sitio, las redes de distribución, facilidades de almacenamiento operacional y las alternativas de entrega final (sistema de riego).
- Los impactos ambientales potenciales al implementar el sistema de reuso.

Como se puede fácilmente apreciar el reuso de agua no es algo que se puede hacer pensando solamente en el traslado del agua residual tratada al sitio de reuso. El reuso de agua es una tecnología ingeniera y ambiental que posee un importante componente de participación pública, su "estado del arte no debe ser olvidado.

El concepto de acercamiento sucesivo en las actividades de planeamiento dirige la atención a un numero de investigaciones preliminares que deben llevarse a cabo. EPA (1992) a identificado un enfoque de tres fases divididas en etapas sucesivas para el desarrollo de las investigaciones preliminares.

El concepto de público en el planeamiento del reuso de aguas residuales involucra: publico general, grupos ambientales, reguladores, lideres políticos, grupos de negocios, técnicos y académicos y lideres de la comunidad (EPA, 1978; Heilman, 1979). Lógicamente hay que incluir al público local afectado o beneficiado directamente por la implementación del reuso.

El conocimiento de las percepciones públicas solo puede llevarse a cabo a través de un programa de sondeo mediante encuestas. La percepción de la comunidad sobre un proyecto de reuso de aguas residuales es un elemento importante a tomar en cuenta, lo antes posible, en las investigaciones preliminares. Es muy posible que este tipo de actividad nunca se haya llevado a cabo en el contexto del Caribe.

Las investigaciones realizadas por W. H. Bruvold de la Universidad de California, Water Resources Center, en 1992 son de las más completas hechas en este campo. Algunos de sus resultados se exponen a continuación:

Tabla 2. Porcentaje de respuesta opuestas a varios usos de aguas reclamadas en encuestas generales, (numero de encuestados = 972.)

Uso previsto	% Opuesto
Cocina en el hogar	55
Baño en el hogar	37
Nado	24
Lavado comercial	22
Riego en la agricultura	14
Sanitarios en el hogar	4
Riego de campos de golf	2
Riego de parques públicos	3
Riego de áreas verdes	1

Una encuesta de la percepción de la comunidad sobre el reuso de aguas residuales puede dar diferentes resultados en países del Caribe. Este tipo de investigación es de importancia en nuestros países y debería llevarse a cabo cuanto antes. Los resultados que se obtengan son claves para conocer como las personas y las comunidades caribeñas tienden a considerar el reuso y sus diferentes alternativas de aplicación.

### NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO Y MATERIA ORGANICA EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las carga diaria por habitante de nutrientes y materia orgánica en las aguas residuales domésticas no son valores fijos. Ellas varían de acuerdo a las áreas geográficas y los hábitos alimentarios. La Tabla 3 muestra la carga promedio, en g/hab/d, de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica (DBO5) en Cuba según (Gutiérrez, 1998.)

Tabla3. Carga de nutrientes y materia orgánica (DBO5) en aguas residuales domésticas (Gutiérrez, 1998.)

Contaminantes	Carga (g/hab/d)
DBO5	44
N Total	8
P Total	1.6
Potasio	4

Es fácil calcular los beneficios económicos de los nutrientes aportados en el reuso agrícola utilizando aguas residuales domésticas. Esto es posible si se tienen los datos de la concentración de nutrientes en el agua residual cruda, los % de remoción del sistema de tratamiento y la tasa anual de aplicación de aguas residuales tratadas al cultivo (volumen del agua de riego). Por ejemplo, si asumimos que la concentración de nutrientes en el agua residual domestica cruda es: nitrógeno 40 mg/l, fósforo 10 mg/l y potasio 20 mg/l; y la remoción de nitrógeno y fósforo en el sistema de tratamiento alcanza el 30%, común en un tratamiento secundario; y el volumen de agua residual aplicada es de 5 000 m3/ha/año. La contribución de nitrógeno al suelo será:

$$\text{Contribución de nitrógeno} = (40\text{g/m}^3)(5\ 000\ \text{m}^3/\text{ha/año})(0.7) = 140\ (\text{kg}/\text{ha/año})$$

Considerando el potasio como un elemento conservativo en el sistema de tratamiento los valores que se obtienen para el (P) y (K) son los siguientes: 35 (P) kg/ha/año y 100

(K) kg/ha/año. Luego, en general, todo el nitrógeno y buena parte del fósforo normalmente requerido para los cultivos será suministrado por las aguas residuales provenientes de un sistema de tratamiento secundario. En adición otros valiosos microelementos y materia orgánica serán también aportados causando beneficios adicionales. Por supuesto estas asunciones y estimados deben ser llevados a cabo en las investigaciones preliminares anteriormente mencionadas.

### **DILEMA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL REUSO DE NUTRIENTES**

El dilema que se presenta en el tratamiento de aguas residuales donde se va aplicar el reuso se crea por la contradicción siguiente: si el reuso de las aguas residuales se va a aplicar en la agricultura es conveniente lograr una relativa maximización de la materia orgánica y nutrientes. El tratamiento debe producir un efluente que cumpla con las guías de calidades microbiológicas y químicas, así como el cumplimiento de todos los aspectos considerados. En este caso un tratamiento extensivo de remoción de nutrientes (tratamiento avanzado o terciario) disminuiría el valor del agua reclamada.

El cumplimiento con las regulaciones significa, en primera instancia, cumplir con la calidad del agua tratada para el uso previsto con la eliminación o reducción de los impactos ambientales. Luego, la calidad esperada del efluente nos daría los requerimientos del tratamiento a llevar a cabo.

Adicionar un sistema de reuso a una planta de tratamiento de aguas residuales en operación puede no ser una opción factible dado por los costos de adición de nuevas facilidades para garantizar una mejor calidad del efluente. También, la situación contraria puede pasar con los mismos resultados, por ejemplo cuando un reuso en la agricultura es intentado en una planta de tratamiento con un sistema extendido de remoción de nutrientes, donde cantidades importantes de nitrógeno y fósforo fueron perdidas.

El reuso de agua y nutrientes es una actividad económica y ambiental, que crea beneficios; un beneficio económico por el reciclaje de residuos incrementando la producción agrícola, y también, un beneficio al medio ambiente por ejemplo al disminuir la carga de nutrientes y los riesgos de eutrofización a un cuerpo de agua de uso recreativo.

La remoción de nutrientes posee usualmente un beneficio ambiental pero asociado a un incremento de costos por encima del tratamiento convencional de las aguas residuales. La remoción de nutrientes es recomendada para minimizar los riesgos de eutrofización cuando efluentes pobremente tratados y sin posibilidades de reuso se disponen a cuerpos de aguas protegidos. En el manejo apropiado de las aguas residuales el reuso de agua y nutrientes es la primera opción a analizar, si el reuso no es factible y el efluente puede causar problemas de eutrofización se considera entonces la remoción de nutrientes.

### **GUIAS PARA EL REUSO EN LA AGRICULTURA**

Los criterios de calidad para la irrigación con aguas residuales en la agricultura dependen del tipo de reuso agrícola a utilizar de acuerdo al cultivo.

- Reuso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente. Ej. Hortalizas frescas.
- Reuso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente. Ej. Tomate enlatado.
- Reuso agrícola en cultivos que no se consumen Ej. Pastos.

Hay muchas guías y criterios desarrollados para la calidad de las aguas residuales utilizadas en el reuso agrícola. Como un importante componente ambiental cada país debería tenerlas. El diseño e implementación de estas regulaciones necesitan de incluir las características específicas de cada país. Sin embargo, muchos países en vías de desarrollo solo copian la mejor regulación internacional a mano. Este procedimiento puede ser erróneo y causar un costo extra en el tratamiento de las aguas residuales haciendo el reuso no factible.

Tabla 4: Guías sugeridas para aguas tratadas en el reuso agrícola y sus requerimientos de tratamiento (FAO, 1999, modificada)

Tipos de reuso agrícola	Calidad del agua reclamada	Opción de tratamiento
Reuso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	pH= 6.5-8.4 10 mg/l DBO 2 UNT 14 NMP fecal coli/100ml (*) 1 huevos/ litro (nematodos intestinales) SDT 800 mg/l 0.7 RAS Boro 0.7 mg/l >CL2 1 mg/l residual	Secundario Filtración Desinfección
Reuso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	pH= 6.5-8.4 30 mg/l DBO 30 mg/l SS 200 NMP coli fecali/100ml SST 800 mg/l 0.7 RAS Boro 0.7 mg/l >CL2 1 mg/l residual	Secundario Desinfección
Reuso agrícola en cultivos que no se consumen	pH= 6.5-8.4 30 mg/l DBO 30 mg/l SS 200 NMP coli fecal/100ml SST 800 mg/l 0.7 RAS Boron 0.7 mg/l >CL2 1 mg/l residual	Secundario Desinfección

Notas explicatorias:

- SST= Sales solubles totales.
- SS= Sólidos suspendidos.
- UNT= Unidades nefelométricas de turbidez
- (\*) Coliformes fecales NMP/100ml = Media geométrica de más de 10 muestras por mes, ninguna muestra debe ser mayor de 200 NMP/100.
- RAS= Radio de Absorción del Sodio.
- Tratamiento secundario: incluye lodo activado, filtros percoladores, bio-rotos, reactores anaeróbicos de flujo ascendente de manto de lodo, lagunas de estabilización, entre otros.

- Filtración: Se entiende el paso del agua residual a través del suelo o un medio filtrante de arena o antracita.
- Desinfección: significa la destrucción, inactivación o remoción de los organismos patógenos por medios químicos, físicos o biológicos, tales como la cloración, ozonización, radiación ultravioleta, procesos de membranas, entre otros.
- Cloro residual después de un tiempo de contacto no menor de 30 minutos.

### REQUERIMIENTOS DE TRATAMIENTO

El tratamiento convencional de aguas residuales es una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas bien establecidas en la práctica de la ingeniería sanitaria, las que remueven sólidos, materia orgánica, bacterias y en algunos casos apreciables cantidades de nutrientes del agua residual cruda. Los términos generales para describir los diferentes grados o niveles de tratamiento, en orden ascendente son:

- Preliminar
- Primario
- Secundario
- Terciario o tratamiento avanzado
- Desinfección para la remoción de patógenos como última etapa del tratamiento

Un diagrama generalizado de las alternativas de tratamiento de aguas residuales se muestra en la Fig.2 (Pettygrove and Asano, 1985, traducido.)

Luego, la selección de los requerimientos para el tratamiento de las aguas residuales en el reuso agrícola, o cualquier otro tipo de reuso, debe cumplir con los criterios de calidad establecidos para el efluente, por ejemplo Tabla 4. También, hay otros aspectos importantes involucrados en la correcta selección de una planta de tratamiento de aguas residuales, como:

- La escala de la planta: que puede ser dividida en diferentes categorías atendiendo al flujo de aguas residuales, tipo de recolección y transporte (alcantarillado), así como la población servida: ciudad o pueblo, comunidad local, barriada o hogar.
- Costo de inversiones: Minimizando las construcciones civiles y la importación de materiales.
- Costo de mantenimiento y operación: Minimización de los consumos de energía, equipos, partes de repuesto, compuestos químicos y personal calificado.
- Aspectos culturales: Minimización de instalaciones no estéticas, olores y la proliferación de vectores. La tecnología del tratamiento utilizado debe ser compatible con los hábitos, costumbres y cultura local.

Una opción recomendada para países en vías de desarrollo es un sistema con un costo razonable de energía que posea un bajo costo de mantenimiento y una operación poco compleja. En los países en vías de desarrollo es conocido que los sistemas de tratamiento a menudo fallan por causa del pobre conocimiento ingeniero en la operación y mantenimiento, así como en dificultades en la obtención partes de repuesto y productos químicos. También, la reposición de equipos ha sido identificada como causa de problemas.

El requerimiento de tierra para ubicar la planta de tratamiento puede ser un problema crítico en algunos países del Caribe, el área de tratamiento puede tener un alto peso específico en la decisión final sobre el tipo de tratamiento a seleccionar.

La tecnología actual en el tratamiento de aguas residuales permite seleccionar desde el proceso ingeniero más complejo y costoso hasta el más simple, el tratamiento

natural.

En el contexto caribeño actual el reuso de aguas residuales puede llevarse a cabo mediante: tratamiento preliminar seguido de un tratamiento secundario utilizando un proceso anaeróbico y un wetland subsuperficial con desinfección como última etapa. Esta opción puede catalogarse de razonable. Existen muchas configuraciones semejantes que pueden obtener los mismos niveles de tratamiento que el seleccionado. Una alternativa de la propuesta se muestra en la Fig.3.

El corazón del sistema es un reactor anaeróbico de flujo ascendente de manto de lodo (UASB) acoplado a un tanque séptico. Este reactor difiere del diseño de la fosa séptica convencional en la posición de la entrada del residual. El reactor es de flujo ascendente y está diseñado para la acumulación y digestión de los lodos. El reactor es un sistema continuo con respecto al líquido y un sistema en "batch" con respecto a los sólidos, donde el tiempo de retención de lodo (SRT) es mucho mayor que el tiempo de retención hidráulico (HRT)

Como alternativa de un mejor acondicionamiento del efluente antes de su entrada al wetland el UASB-Tanque séptico puede incorporar a su salida una torre de aeración o canal de roca calcárea, que removerá algo de SH<sub>2</sub> con la incorporación de oxígeno disuelto al agua residual.

Un tanque séptico convencional con un filtro anaeróbico puede ser equivalente al UASB-Tanque séptico. La flexibilidad del sistema recae en las dimensiones de diseño del wetland subsuperficial, la que puede variar según el caso. Un UASB o fosa séptica convencional con un filtro percolador de alta tasa también es una alternativa a considerar, pudiendo adicionarse el wetland.

El wetland de tipo subsuperficial consiste en un canal de base impermeable que soporta una cama, de dimensiones variables, de un material poroso, usualmente roca, grava o arena gruesa. El medio de soporte sostiene la estructura de las raíces de la vegetación emergente sembrada. El diseño de este tipo de sistema asume que el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de la roca o grava. El flujo a través del wetland es horizontal y subsuperficial. El diseño de este tipo de sistema puede ser llevado a cabo utilizando las guías recomendadas por EPA (1992).

Una opción para mejorar la calidad del efluente del wetland es la incorporación de un filtro intermitente de arena el que puede tener vegetación o no. La desinfección es siempre la última etapa del tratamiento de los sistemas descriptos.

Los sistemas aeróbicos intensivos también pueden ser utilizados con los mismos propósitos y resultados pero los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como el tratamiento de lodos es mucho más alto que los procesos anaeróbicos recomendados. Variantes de sistemas de lodo activado en plantas empacadas, que incluyen la desinfección y filtración, pueden ser la mejor alternativa de solución cuando existen circunstancias relacionadas con la limitación del área disponible para el tratamiento.

Los efluentes de los sistemas propuestos pueden cumplir con las exigencias de las guías de calidad para reuso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente, y reuso agrícola en cultivos que no se consumen. Las guías para el reuso en hoteles como irrigación de áreas verdes, jardines, campos de golf, entre otras también pueden cumplirse.

## **LODOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO**

Por miles de años la disposición de excretas animales y humanas en el suelo ha sido practica común. Los problemas sanitarios que este tipo de disposición de sólidos ocasiona han sido exacerbados en las ultimas décadas por la intensificación de la agricultura, el crecimiento de la población humana y el costo creciente de los fertilizantes químicos, lo que hace a los lodos un producto secundario de alto valor. Los lodos provenientes de albañales tratados son productos finales del tratamiento de las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos el lodo albañal consiste en sólidos removidos del agua residual cruda mediante sedimentación (tratamiento primario) y un exceso de bacterias y otros microorganismos que han digerido la materia orgánica disuelta durante el tratamiento secundario en las plantas biológicas. El lodo producido en el tratamiento de aguas residuales domésticas (lodo crudo) contiene materia orgánica, macro y micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, sin embargo también contiene organismos patógenos. Compuestos orgánicos e inorgánicos y metales (como metales pesados) suelen estar potencialmente presentes, debido a que los sistemas de alcantarillado transportan no solo albañal a la planta de tratamiento, sino también acarrear residuales industriales y drenajes provenientes de escorrentías que suelen estar contaminados.

Una de los riesgos potenciales asociados con la aplicación de lodos albañales en las actividades agrícolas es la posibilidad de la exposición humana a los organismos patógenos, tales como: virus, bacterias, protozoos, así como otros parásitos intestinales (helmintos). Por esa razón, el lodo albañal se suele tratar adicionalmente con el fin de estabilizarlo y desinfectarlo.

Los riesgos a la salud de los patógenos presentes en lodos albañales aplicados al suelo como reuso en la agricultura identifican a Salmonella, Ascaris y Taenia como los de mayor preocupación.

Ejemplos de procesos efectivos en el tratamiento de lodos para su acondicionamiento y remoción de patógenos son los siguientes:

- Pasteurización de lodos
- Digestión anaeróbica (Mesofílica)
- Digestión Aeróbica (Termofílica)
- Pilas aireadas (Compost)
- Estabilización con cal
- Almacenamiento líquido
- Secado y almacenado

Sin embargo, antes que el lodo pueda ser usado en aplicaciones agrícolas debe cumplir con los criterios de calidad establecidos. Una completa caracterización del lodo es requerida para realizar una correcta evaluación de comparación entre los valores obtenidos y los criterios de la regulación vigente. La concentración de elementos potencialmente tóxicos y organismos patógenos en el suelo después de las aplicaciones no deben de exceder ciertos limites prudentes. Las aplicaciones de lodos líquidos o aguas residuales provenientes de carros fosas (septage) deben de seguir el mismo procedimiento.

Los pasos involucrados en el desarrollo de un sistema de aplicación de lodos albañales en la agricultura debe incluir lo siguiente (Metcalf and Eddy, 1991):

- Caracterización del lodo en cantidad y calidad
- Revisión de las regulaciones nacionales y locales
- Evaluación y selección del sitio y las alternativas de disposición
- Determinación de los parámetros de diseño del proceso: tasa de aplicación, área de

aplicación, métodos de aplicación y fechas de aplicación.

Un proyecto de disposición de lodo albañal en el reuso agrícola, incluyendo el reuso en áreas verdes de hoteles, parques, entre otros, debe considerar el uso de las mejores prácticas agrícolas, donde el sitio y las restricciones del suelo y los cultivos deben ser claramente identificados. El análisis del costo-beneficio es fuertemente recomendado.

Después de definir todos los pasos involucrados en el proyecto es necesario ejecutar un estudio de impacto ambiental, el cual identifica todos los aspectos ambientales vinculados a cada actividad. De igual forma se identifican los beneficios sociales y económicos a nivel local incluyendo la participación pública.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Las Región del Caribe ha identificado problemas de eutrofización en cuencas hidrográficas y zonas costeras como resultado de la excesiva disposición de nutrientes debido a un pobre o ausente tratamiento de aguas residuales domestica y reuso.
- El tratamiento de las aguas residuales domésticas aplicando tecnologías de remoción de nutrientes y el reciclado a través del reuso se identifican como los elementos claves a implementar para dar solución al problema.
- El planeamiento del reuso tiene que llevarse a cabo como un proceso integral a través de un enfoque sistemático. El cual debe tener en consideración: la identificación y caracterización de la demanda potencial del agua tratada, los requerimientos del tratamiento, las facilidades de almacenaje y las redes de distribución, los impactos negativos potenciales que crea la reclamación de agua y lodos, entre otros elementos.
- Los países del Caribe necesitan desarrollar sus propias guías y criterios para el tratamiento de aguas residuales domésticas y su calidad ha utilizar en el reuso.
- El tratamiento secundario con desinfección final es un nivel razonable de tratamiento para los tipos más comunes de reuso a implementar.
- La selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el Caribe apunta hacia tecnologías que tengan un consumo razonable de energía con un bajo costo de mantenimiento y con una operación lo más sencilla posible. La selección de alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el Caribe apunta hacia tecnologías que tengan un consumo razonable de energía con un bajo costo de mantenimiento y con una operación lo más sencilla posible.
- Una tecnología apropiada para la aplicación de lodos albañales en la agricultura o en el sector urbano, como el uso en áreas verdes de hoteles, siempre estará relacionada al tratamiento de las aguas residuales. Una tecnología apropiada para la aplicación de lodos albañales en la agricultura o en el sector urbano, como el uso en áreas verdes de hoteles, siempre estará relacionada al tratamiento de las aguas residuales.
- Los países del Caribe pueden luchar contra los problemas de eutrofización desarrollando un programa integrado para el reuso de agua y nutrientes.
- Se recomienda fuertemente el desarrollo de proyectos pilotos integrales sobre el reuso de agua y nutrientes en el Caribe. El sector clave es el turismo a través de sistemas completos de reuso en hoteles seleccionados. Estos proyectos pueden dar a nivel regional resultados y recomendaciones importantes dirigidas a la comunidad científica y publico involucrado.

## Bibliografía:

Bruvold, W. H. (1972). Public Attitudes Toward Reuse of Reclaimed Water. University of California Water Resources Center.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (1979). State and Local Assistance, Grants for Construction of Treatment Works. Federal Register, Vol. 44, No. 34, Part VI, 10300-10304.

EPA (U. S. Environmental Protection Agency), (1992). Manual. Guidelines for Water Reuse.

FAO prepared by Pescod M. B. (1992). Wastewater Treatment and Use in Agriculture.

Gutiérrez, J. (1998). Curso-Taller sobre Manejo de la Calidad de las Aguas en Cuencas Hidrográficas. Universidad de Chihuahua, México.

Grietji, Z.; Van Lier, J. B. and Lettinga, G. (2000). Technical Expert Consultation on Appropriate and Innovative Wastewater Management for Small Communities in EMR Countries. WHO

Heilman, C. B. (1979). Join Forces with John Q. Public. Water & Waste Engineering.

Lettinga, et al. (1993). Anaerobic Treatment of Domestic Sewage and Wastewater. Wat. Sci. Tech., Vol27 (9): 67-73.

Metcalf & Eddy: Wastewater Engineering (1991). Treatment, Disposal and Reuse. Third Edition. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series.

Pettygrove, G. S. and Asano, T. (1985). Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater- A Guidance manual. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan.