

El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales generadas por las urbanizaciones impactan considerablemente las corrientes fluviales y las zonas costeras¹. A comienzos del siglo XX, se comenzó a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios siendo necesaria la construcción de instalaciones de depuración.^{2,3}

En Cuba se aprecia un deterioro de la calidad de las corrientes fluviales y zonas costeras cercanas a las zonas periurbanas, debido a la insuficiente cobertura de saneamiento, que se traduce en una incorrecta disposición y tratamiento de las aguas residuales. A pesar de ello se han desarrollado soluciones para la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, a partir de sistemas de tratamientos basados en tanques sépticos y lagunas de estabilización como los más empleados⁴, pero estas tecnologías no han sido del todo efectivas.

Paralelamente a este avance han surgido y desarrollado otras variantes tecnológicas con un enfoque más sostenible de mejora de la calidad de vida de las personas, mediante la disminución de la contaminación y aplicación de medidas de reutilización del residuo, en beneficio social y económico, en combinación armónica con la protección del medio ambiente; de modo que se satisfacen las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.⁵

Los tratamientos descentralizados de aguas residuales ofrecen la oportunidad de tratar las aguas residuales domésticas cerca de su fuente de origen, en zonas rurales y pequeñas comunidades ubicadas en la periferia de los grandes asentamientos humanos (zonas periurbanas), con menores costos de inversión, con bajos costos de operación, mantenimientos y bajos consumos de energía, lo cual representan alternativas muy atractivas para países como Cuba.

Resumen / Abstract

En Cuba el tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en zonas periurbanas es insuficiente y a pesar de que está demostrado que constituye una alternativa sostenible de saneamiento, la mayoría de estas tecnologías funciona ineficientemente debido a problemas de diseño y operación. El objetivo de este trabajo es destacar a través de un análisis bibliográfico las ventajas para Cuba del tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas. Se analizan tecnologías comúnmente empleadas, indicándose las más apropiadas para zonas periurbanas de Cuba. Los resultados de este trabajo permitieron definir varias tecnologías para el tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas en zonas periurbanas; que permitan altas remociones de materia orgánica, sólidos, nutrientes y organismos patógenos, hasta los niveles exigidos en la Norma Cubana de Vertimiento NC-27:99.
Palabras clave: aguas residuales domésticas, alternativa sostenible, tratamiento descentralizado, zonas periurbanas.

In Cuba the decentralized treatment of domestic wastewater in periurban areas is insufficient and although it has been demonstrated to be a sustainable alternative of sanitation, most of the technologies work inefficiently due to design and operation problems. The aim of this work is to highlight through a bibliographical analysis the advantages of the decentralized domestic wastewater treatment in Cuba. The technologies commonly used are analyzed, indicating the most suitable for periurban areas in Cuba. The results of this work allowed defining several technologies for the decentralized treatment of domestic wastewater in periurban areas; these technologies permit high removals of organic matter, solids, nutrients and pathogen organisms, until the levels demanded in the regulatory discharge standard NC-27:99.

Keywords: domestic wastewater, sustainable alternative, decentralized treatment, periurban areas

El objetivo de este trabajo es destacar a través de un análisis bibliográfico las ventajas para Cuba del tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas. Para ello se analizan tecnologías comúnmente empleadas, indicándose las más apropiadas para zonas periurbanas de Cuba.

TECNOLOGÍAS PARA TRATAMIENTO DESCENTRALIZADO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

Antecedentes

Es común que las aguas residuales domésticas generadas por comunidades periurbanas no reciban ningún tratamiento. Esto se debe en gran medida a la escasez de recursos financieros para la construcción, operación y mantenimiento de grandes sistemas de tratamiento centralizados, a la subestimación de los riesgos a la salud y la suposición de que el vertimiento no ocasionará daños inmediatos al medio ambiente⁶. No obstante, con vista a reducir o evitar el deterioro de las condiciones medioambientales en estos países, las aguas residuales domésticas tienen que ser tratadas, pero las tecnologías empleadas requieren el cumplimiento de requisitos estrictos y soluciones sostenibles, como pueden ser: bajo costo de inversión y mantenimiento, bajo consumo de energía, de operaciones sencillas y que sean aceptados por los usuarios y los órganos de control de la contaminación. Las tecnologías basadas en sistemas de tratamiento descentralizados permiten cumplir muchas de estos requisitos⁷.

del residual⁸⁻¹⁰ aplicando los siguientes principios: requisito de tierra limitado, bajo requerimiento de energía, fácil operación, no degradación del ambiente local, producir un efluente de calidad y reducción de costos globales eliminando la necesidad de grandes sistemas de colección y transporte del residual, que representaría un elevado costo.^{11,12}

La idea básica es tratar el agua residual en el-sitio en zonas periurbanas haciendo uso directo de los subproductos del tratamiento (el agua, lodos y biogás) permitiendo un manejo de aguas residuales más sostenible para países en vías de desarrollo, donde el agua y los problemas de higienización están volviéndose un problema importante.¹³

Las tecnologías de tratamiento descentralizados se aplican generalmente en comunidades con una Población Equivalente (PE) menor de 2000 habitantes y sus procesos asociados son complejos, existiendo en un mismo sistema varias operaciones unitarias como sedimentación, filtración, flotación y oxidación biológica. Algunos de estos sistemas son: tanques sépticos, tanques aireados, filtros percoladores, lagunas de estabilización y otros procesos combinados^{7,14}:

- Tratamiento primario en lagunas de sedimentación, tanques sépticos, tanques Imhoff o lagunas anaeróbicas profundas;
- Tratamiento secundario en filtros de cama fija o tanques sépticos con baffles deflectores;
- Tratamiento secundario y terciario, aerobio/anaerobio en humedales construidos o en lagunas de pulimento de baja profundidad y otros.

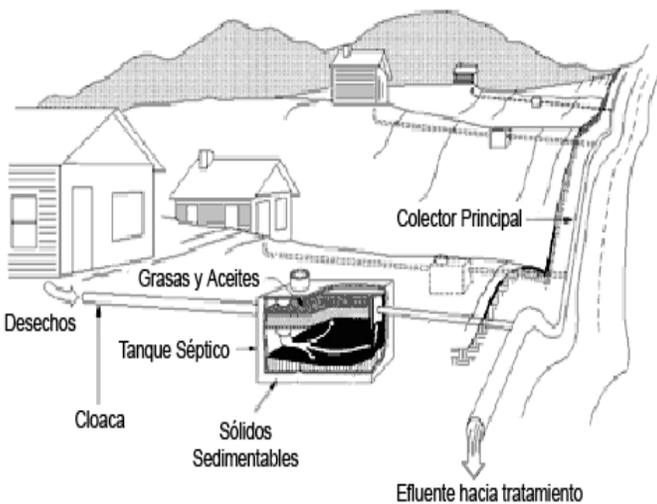


Figura 1. Esquema de un sistema descentralizado básico.

El manejo descentralizado de aguas residuales (Figura 1), puede definirse como la colección, tratamiento y reuso o disposición de las aguas residuales de las casas individuales, grupos de casas, o comunidades aisladas, industrias, o los organismos institucionales cerca del punto de la generación

Objetivos de Tratamiento → Criterios de Descarga

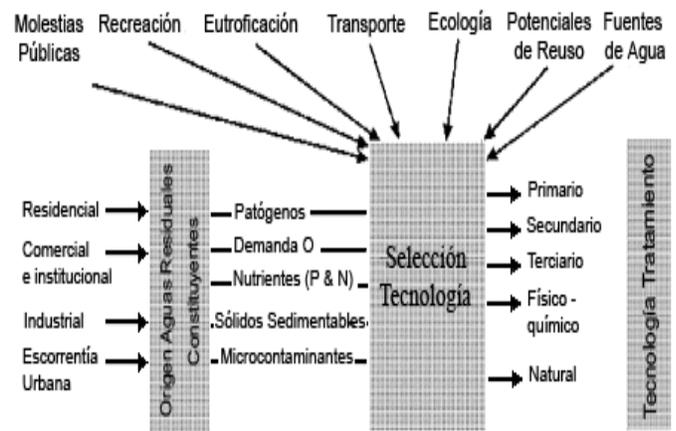


Figura 2. Selección de las tecnologías de tratamiento en relación con el origen de las aguas residuales.

Selección de la tecnología

Cuando se concibieron los grandes sistemas centralizados para la colección, tratamiento y disposición de las aguas residuales domésticas, la elección de la tecnología

de tratamiento se hacía sobre bases técnicas y económicas, mayormente. Con el incremento de los problemas ambientales y la aprobación de leyes y normas internacionales, surge la necesidad de incluir el tema ambiental en el proceso de elección de tecnologías. Por tal motivo, la elección de la mejor tecnología para el tratamiento de aguas residuales depende de tres factores esenciales:¹⁵⁻¹⁷ técnico, económico y ambiental. Luego, al concatenar estos tres factores en un análisis de criterios y objetivos múltiples con la ayuda de matrices de decisión¹⁸, se pueden obtener resultados que permiten un mayor acercamiento holístico al problema de elegir la mejor variante tecnológica para el tratamiento de aguas residuales.

Desde el punto de vista técnico las características del agua residual, los objetivos del tratamiento y las normas de descarga fijadas por cada país ayudan a definir tecnologías apropiadas teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y culturales, enfermedades predominantes, riesgos y desarrollo tecnológico particulares, que se traducen en sostenibilidad y desarrollo (Figura 2).

Las naciones en vías de desarrollo se encuentran bajo constante presión, de un lado intentando seguir las tendencias internacionales para disminuir las concentraciones límites de las normas, y del otro lado tratando de revertir la continua degradación medioambiental. Para solucionar estos conflictos realizaron propuestas de sistemas de tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta las limitaciones típicas que se presentan en países en desarrollo, las tecnologías disponibles y las características del efluente¹⁹. Algunas de estas variantes se muestran en la Tabla 1. Como se observa en la Tabla 1 las variantes de tanques sépticos combinados con filtros anaerobios (FA) o infiltración rápida (IR) en el suelo, alcanzan eficiencias de remoción de materia orgánica, nutrientes y organismos coliformes relativamente altas en comparación con el resto de las variantes estudiadas por Von Sperling and Chernicharo (2002)¹⁹.

Nota: La tabla 1 anterior ha sido adaptada de Von Sperling and Chernicharo (2002)¹⁹.

LF1-Laguna Facultativa; LM-Laguna de Maduración; TS-Tanque séptico; FA-Filtro anaerobio; IR-Infiltración Rápida en el Suelo; HC- Humedales construidos (Lechos de turba y de juncos); ARDC-Agua residual doméstica cruda (típica)

Todos los valores están dados en mg/L excepto CF.

¹Valores de Coliformes Fecales (CF) en ulog del NMP/100 ml.

% Rem. Por ciento de remoción del constituyente.

*Norma Cubana NC-27-1999. Niveles máximos permisibles para la descarga de aguas residuales en cuerpos receptores Clase C.

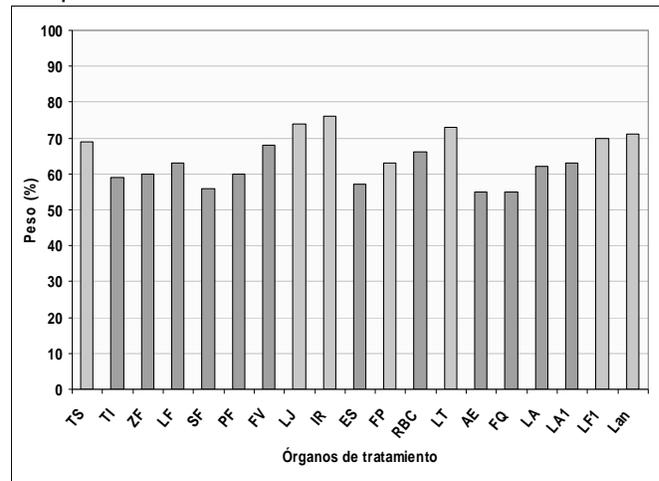


Figura 3. Porcentajes de peso asignados a diferentes órganos de tratamiento en una matriz de decisión de variantes.

Adaptado de Collado (1992)²⁰

Procesos: TS Tanque séptico, TI Tanque Imhoff, ZF Zanja filtrante, LF Lecho filtrante, SF Filtro de arena, PF Pozo filtrante, FV Filtro verde, LJ Lecho de junco, IR Infiltración rápida, ES Escorrentía superficial, FP Filtro percolador, RBC Contactor biológico rotatorio (biodiscos), LT Lecho de turba, AE Aireación extendida, FQ Físico químico, LA Laguna aireada, LA1 Laguna aerobia, LF1 Laguna facultativa, Lan Laguna anaerobia.

Tabla 1. Porcentaje de remoción de los constituyentes en diferentes sistemas de tratamiento.

Sistema	DBO	% Rem.	DQO	% Rem	SS	% Rem	N-Total	% Rem.	P-Total	% Rem.	CF ¹	Rem.
ARDC	150	-	300	-	200	-	30	-	10	-	9	-
LF1	80	47	200	33	90	55	-	-	-	-	6	3
LF+LM	60	60	200	33	90	55	20	33	-	-	3	6
TS + FA	60	60	100	66	60	70	-	-	-	-	6	3
TS + IR	20	86	100	66	30	85	10	67	-	-	3	6
HC	60	60	200	33	90	55	-	-	-	-	5	4
FP	60	60	100	66	30	85	-	-	-	-	-	-
NC:27-99*	60	-	120	-	-	-	20	-	4	-	3	-

No obstante, las lagunas y humedales construidos también son eficaces en la remoción de estos constituyentes. Este estudio se basó en criterios conservadores asumidos a partir de fuentes bibliográficas de varios países de América, por lo que estos datos pudieran ser utilizados como primer acercamiento en la selección de variantes de tratamiento descentralizado en países como Cuba.

Existen también métodos de análisis de decisión con objetivos y criterios múltiples que permiten un tratamiento holístico de la selección tecnológica, mediante matrices de decisión.²¹

Las matrices de decisión permiten ponderar criterios técnicos (eficiencia de remoción de los procesos, requerimientos de área, diseño y construcción, operación, energía consumida, etc.), económicos (costo de inversión, operación y mantenimiento, vida útil, etc.) y ambientales (subproductos generados y su posible reutilización Ej. agua residual y biosólidos, aceptación de la comunidad, ruidos, malos olores, vectores, etc.).^{18,22} La Figura 3 muestra los resultados de la aplicación de una matriz de decisión para comparar 19 procesos independientes de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades según Collado (1992)²⁰. Los procesos que recibieron mayor ponderación fueron los naturales (Infiltración rápida, lechos de turba y de junco, filtros verdes, lagunas) y el tanque séptico, aunque algunos otros como filtros percoladores y biodiscos (procesos de biopelícula) también alcanzan ponderaciones relativamente altas.

Propuesta de tecnologías más apropiadas para zonas periurbanas en Cuba.

En Cuba las soluciones de saneamiento de comunidades periurbanas deben ir encaminadas fundamentalmente a la disminución de las concentraciones de los contaminantes hasta niveles que se correspondan con los de la Norma Cubana NC 27:1999 y las tecnologías de tratamiento deben tener bajos consumos energéticos, bajos costos de operación y mantenimiento, y la posibilidades de reutilizar las aguas residuales adecuadamente tratadas, biosólidos y biogás. En este sentido, las plantas pequeñas de tratamiento descentralizado de aguas residuales son las más atractivas. Estas plantas son más fáciles de construir y encuentran financiamiento rápidamente porque sus costos de construcción no son tan altos en comparación con los de grandes plantas centralizadas para PE > 2000 habitantes²³. También existe el aspecto social de la vinculación de la comunidad en las soluciones de los problemas que les afectan y es el hecho de esa beneficiosa reutilización del efluente, que se traduce en un mayor ahorro al aplicar el concepto descentralizado. El agua depurada se haría disponible más cercana a los puntos potenciales de reutilización, disminuyendo el costo del sistema de redistribución y los otros subproductos del tratamiento (biosólidos y biogás) se pueden utilizar en beneficio de las comunidades en los cultivos como fertilizantes orgánicos y la mejora de suelos agrícolas y en la producción de energía limpia. También, podrían servirse

las demandas de agua no-potables como la irrigación del paisaje, descarga de retretes, torres de enfriamiento y recarga de acuíferos. En muchas áreas, ésta podría ser una contribución significativa a la economía de agua regional, un factor que se pondrá más importante probablemente cuando se agrave la disponibilidad de fuentes de agua fresca²⁴.

Tabla 3. Eficiencias de tratamiento de sistemas in - situ.

Parámetro	Efluente de:					
	ARC	TS	0.3 m CI	0.9 m CI	FIA	FGR
DBO	210-630	140-200	0	0	<10	<15
Sólidos Sedimentables	237-600	50-90	0	0	<10	<15
Nitrógeno total	35-80	25-60	-	-	-	-
NH ₄ ⁺	7-40	20-60	20 ¹	-	<0,5	<0,5
NO ₃ ⁻	<1	<1	40 ¹	40 ¹	25	25
Fósforo total, mg/l.	10-27	10-30	10	1		
CF	10 ⁶ -10 ¹⁰	10 ³ -10 ⁶	-	0	10 ² -10 ⁴	10 ² -10 ⁴

Todos los valores están dados en mg/L excepto CF.

ARC-Agua Residual Cruda, TS-Tanque Séptico, CI-Debajo del fondo del campo de infiltración, FIA-Filtro Intermitente de arena, FGR-Filtro de medio granular con recirculación, CF-Coliformes fecales NMP/100 mL.

¹ Valores que varían hasta el valor indicado.

El caso de los sistemas de lagunas por ejemplo: los humedales construidos (HC), pueden servir de hábitat a especies de aves y peces y al mismo tiempo proporcionar espacios abiertos y verdes a una comunidad con fines estéticos como controlador/regulador en una comunidad de sus preocupaciones estéticas asociadas con el tratamiento de las aguas residuales, por tanto aumentan los beneficios ecológicos y sociales. Atendiendo a esto las tecnologías empleadas en Cuba deben ser diseñadas sobre estas consideraciones.

Algunos de los tratamientos más comúnmente empleados en países en vías de desarrollo y que pueden tener un impacto ambiental, económico y social a partir de un manejo adecuado son: tanques sépticos con y sin deflectores, tanques Imhoff, filtros percoladores, humedales construidos, lagunas⁷ y otros como filtros intermitentes de arena, filtros de medio granular con recirculación y sistemas de infiltración al terreno⁶.

Los tanques sépticos han tenido un papel importante en el saneamiento en comunidades periurbanas en Cuba. Hasta 1995 cerca del 56 % de las aguas residuales domésticas en zonas urbanas y el 67% en zonas rurales en Cuba, se trataba mediante tanques sépticos²⁵.

Los tanques sépticos son capaces de proporcionar una eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del 80 y 90%, respectivamente, en climas cálidos y con un correcto diseño y operación²⁷. Sin embargo, el contenido de microorganismos patógenos es virtualmente igual al de las aguas residuales que ingresan en él, requiriendo que el efluente sea tratado posteriormente. Para ello, se utilizan tratamientos posteriores como los campos de infiltración, filtros intermitentes de arena y filtración en medio

granular con recirculación, que producen efluentes de excelente calidad⁶.

La filtración con arena ha representado un barato y efectivo medio para la purificación de efluentes de tanques sépticos²⁷. En la actualidad, la aplicación de filtros de arena intermitentes o con recirculación, seguidos de infiltración subsuperficial y desinfección, ha permitido mejorar la eficiencia de remoción de materia orgánica, sólidos sedimentables, nutrientes y patógenos de efluentes de tanques sépticos²⁸. La concentración esperada de DBO₅ y SST en estos sistemas es de 3-30 y 10-40 mg/L, respectivamente, además de una reducción de coliformes fecales (CF) en 2-3 u-log, pero la adición de floculantes además de la recirculación implica gastos adicionales en estos sistemas.

Los filtros de arena con recirculación, aunque alcanzan remociones de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Sedimentables (SS) y Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄⁺) por encima del 90%, presentan severos problemas de tупición ante sobrecargas orgánicas ocasionadas en aguas residuales de restaurantes. Al incorporar el post-tratamiento aerobio basado en filtros de arena con recirculación + zanjas de infiltración y filtros percoladores + filtros de arena sin recirculación, se ha logrado incrementar la eficiencia de remoción de DQO, DBO₅ y nitrógeno total hasta 85-95% y hasta 70-80% para cada caso, respectivamente.

Los Filtros Anaerobios (FA) son otras de las tecnologías que cada día adquiere mayor importancia. Ellos son capaces de remover nutrientes y materia orgánica del agua residual²⁹⁻³¹. En los años 80 se realizaron varios estudios en los cuales se demostró que el FA era capaz de remover más del 70% de la DQO contenida en aguas residuales^{32,33}. Además, presenta gran versatilidad de diseño y operación, una gran su capacidad de resistir sin detrimento sustancial de su eficiencia altas sobrecargas orgánicas e hidráulicas, paradas temporales y variaciones de parámetros fundamentales como pH y temperatura.

Algunos autores han encontrado ventajas con el empleo de los FA para el tratamiento de efluentes de tanques sépticos, logrando reducir costos y elevando la calidad del efluente. Vieira and Sobrinho (1983)³⁴ utilizaron un tanque de digestión-sedimentación acompañado de un FA para tratar efluentes de tanques sépticos, logrando efluentes con concentración de DBO₅ y SST de 13-38 y 12-80 mg/L, respectivamente. Si bien los porcentajes de remoción de materia orgánica son importantes, no son eficientes en la remoción de nutrientes y patógenos. La remoción de nitrógeno es muy baja debido al poco crecimiento bacteriano y al hecho de que el amoníaco es conservativo en ambientes sin oxígeno y a pH menores a 8 y en la remoción de patógenos solo se logra una unidad logarítmica³⁵.

Los sistemas naturales y entre ellos los humedales construidos, incluyen procesos altamente complejos que separan y transforman los contaminantes por mecanismos físicos, químicos y biológicos entre las plantas, el medio del humedal y la comunidad bacteriana³⁶, que pueden ocurrir simultáneamente, o secuencialmente con la interacción del suelo, las plantas y el agua³⁷. Estos siste-

mas naturales son usados para el tratamiento de aguas residuales con bajas concentraciones de SST y DQO por debajo de 500 mg/L por lo que son una tecnología excelente como post-tratamiento de tanques sépticos y reactores anaerobios de alta velocidad⁷ y en combinación con otras tecnologías de tratamiento secundarias como un sistema de infiltración, o podrían descargar su efluente secundario en otro humedal para su mejora³⁸.

Experimentos realizados que han demostrado adecuadas remociones en el tratamiento para la mayoría de los constituyentes, entre los que se destacan DBO₅ (78 y 90 %), SST (50 %) y CF semejante a las obtenidas en lagunas³⁹. La remoción de nitrógeno total (NT) es del orden de 66 a 73 %. Similarmente Laber *et al.*, (1997)⁴⁰ reporta remociones medias de 82 % para nitrógeno inorgánico y de 78 % para el NT en sistemas de humedales construidos de flujo vertical.

Quando no han existido limitaciones de espacio y los suelos han sido apropiados para su anegación con aguas residuales, se han construido sistemas naturales de lagunas, humedales, plantas flotantes, terrenos inundados con plantas⁴¹⁻⁴³, infiltración en el suelo y flujo subsuperficial^{44,45}, para el tratamiento de efluentes de tanques sépticos y así reducir la carga de contaminantes hacia los campos de absorción^{46,47}, obteniéndose efluentes con concentraciones de DBO₅ < 4 mg/L y SS < 17 mg/L⁴⁸, el área ocupada y la operación siguen siendo limitantes para su aplicación.

En realidad una combinación de los procesos biológicos enunciados en este trabajo (tanques sépticos, filtros de arena, filtros anaerobios, humedales construidos y lagunas de estabilización), en conjunto con procesos físico químicos, permitiría brindar soluciones más sostenibles para el saneamiento en zonas periurbanas de Cuba. La Tabla 4 presenta algunos ejemplos de órganos de tratamiento susceptibles de ser utilizados en Cuba para este fin. Se puede asegurar que en la mayoría de los casos se pueden obtener tecnologías que combinen algunos de estos órganos de tratamiento, pudiendo cumplir con los requisitos antes planteados.

Tabla 4. Tecnologías a ser aplicadas en Cuba para el saneamiento de zonas periurbanas.

Distribución de órganos de tratamiento en diferentes niveles o etapas				
Preliminar	Primario	Secundario	Terciario	Manejo de lodos
Rejas + Desarenador + Trampa de grasas	<ul style="list-style-type: none"> Tanque Imhoff Tanque séptico Sed. Primario Laguna anaerobia 	<ul style="list-style-type: none"> Filtro percolador + SSec. Biodiscos + SSec. Aireación extendida + SSec. Laguna aireada + SSec. Laguna facultativa RAAV (filtro anaerobio, UASB, otros) 	<ul style="list-style-type: none"> Zanja filtrante Laguna maduración Lecho filtrante Filtro de arena Pozo filtrante Filtro verde Humedal construido (lecho de juncos o de turba) Infiltración rápida Escomentía superficial 	<ul style="list-style-type: none"> Lecho de secado al Sol Relleno Sanitario

RAAV Reactor anaerobio de alta velocidad., SSec. Sedimentador secundario.

CONCLUSIONES

- El tratamiento de las aguas residuales domésticas en Cuba en zonas periurbanas es insuficiente lo que implica un incremento del vertimiento de las aguas residuales domésticas y con ello una mayor insalubridad.
- Los constituyentes de las aguas residuales domésticas impactan negativamente sobre los cuerpos de agua, por lo que deben ser eliminados eficientemente.
- Los sistemas descentralizados para el tratamiento de las aguas residuales domésticas son técnica, económica y ambientalmente más factibles.
- Las tecnologías basadas en procesos naturales y simples, son más atractivos y sostenibles para los países en vías de desarrollo.
- Las tecnologías propuestas permiten altas remociones de materia orgánica, sólidos, nutrientes y organismos patógenos, hasta niveles compatibles con los exigidos en la Norma Cubana NC-27:99.

REFERENCIAS

1. **HERNÁNDEZ, C. O.:** «Situación actual de los desechos y residuos peligrosos en Cuba». CICA, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ciudad de La Habana, Cuba, 1999.
2. **TCHOBANOGLIOUS, G. AND F. L. BURTON:** *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Metcalf and Eddy Inc, 3rd ed., McGraw-Hill Co. Inc. New York, USA, 1991.
3. **CUÉ, A. AND E. RODRÍGUEZ:** «Estudio de alternativas para el tratamiento de residuales líquidos». Trabajo de diploma, Facultad de Ingeniería Química, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 2002.
4. **NODAL, E.:** «Procesos biológicos aplicados al tratamiento de agua residual». *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 22, No. 4, pp. 52-56, 2001.
5. **CITMA:** LEY No. 81. DEL MEDIO AMBIENTE. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Consejo de Estado. (1997).
6. **CUBILLOS, A., C. ESPINOSA, G. RIVERA, AND J. SANABRIA:** *Reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. CIDIAT. Mérida, Venezuela, 2003.
7. **GATE:** «Decentralised wastewater treatment methods for developing countries». Technical Information. gtz, Frankfurt. Germany, 2001.
8. **TCHOBANOGLIOUS, G.:** «Decentralised Systems for Wastewater Management». Paper Presented at 24th Annual WEAO Technical Symposium, Toronto, Canada, 1995.
9. _____: «Appropriate Technologies for Repurification of Wastewater from Decentralised Systems for Reuse Applications», Presented at the South-west On – Site Wastewater Conference and Exhibit, Laughlin, NV, 1998.
10. **HEERENKLAGE, J., M. RITZKOWSKI AND R. STEGMANN:** «Concepts for a decentralized treatment of waste and wastewater». *Proceedings of the 10th International Waste Management and Landfill Symposium* at S. Margherita di Pula, 10 pp, Italy; October, 2001.
11. **U.S. EPA:** «Cost Estimates for Construction of Publicly Owned Wastewater Treatment Facilities, Need Survey», Final Report to Congress, Washington DC, 1975
12. **RISSE, H., J. WERNING AND M. DOHMANN:** Sewage sludge digestion in small wastewater treatment plants. *Hamb. Ber. Siedlungswasserwirtsch.*, Vol. 24, No.8, pp.1-8, 1998
13. **IWA:** «Decentralised wastewater treatment – new concepts and technologies for Vietnamese conditions». Presented in 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Hanoi, Viet Nam, 2003.
14. **CRITES, R. AND G. TCHOBANOGLIOUS:** «Small and Decentralized Wastewater Management Systems». McGraw-Hill Co. Inc., Series in *Water Resources and Environmental Engineering*, New York, 1998.
15. **ROVIROSA, N. et al.:** «An Integrated System for Agricultural Wastewater Treatment». *Water Science & Technology*, Vol. 32, No. 12, pp. 165-171, 1995.
16. **ROVIROSA, N. AND J. M. JUNCO:** «Análisis de variantes para el tratamiento biológico de aguas residuales en zonas urbanas de la Cuenca Almendares-Vento». Trabajo presentado en el Congreso Científico Internacional CNIC 2005, Ciudad de La Habana, Cuba, 2005.
17. **ROVIROSA, N. AND J. F. SANTIAGO:** «The Rapid Infiltration of Biological Effluents as an Alternative in Tourist Poles». Paper Presented at the 3rd International Symposium on Architecture and Engineering at the Service of Environment, ARINSEMA 2004. May 13-15, Camagüey, Cuba, 2004.
18. **GALBÁN, C. Y.:** «Empleo de la matriz de decisión para la elección de variantes en el tratamiento de aguas residuales municipales en la cuenca Almendares – Vento». Trabajo de diploma, Facultad de Ingeniería Hidráulica, ISPJAE, Ciudad de La Habana, 2005.
19. **VON SPERLING, M. AND C. A. L. CHERNICHARO:** «Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries». *Urban Water*, Vol. 4, No.1, pp. 105-114, 2002.
20. **COLLADO, R.:** *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. PARAINFO eds., Madrid, España, 1992.
21. **SOUZA, M. A.:** «Metodología de análisis de decisión para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales». Hoja de divulgación técnica del CEPIS HDT 68, 9 pp., 1997.
22. **MORGAN, J. M., J. LÓPEZ AND A. NOYOLA:** «Tratamiento de aguas residuales. Matriz de decisión para la selección de tecnología». *Vector de la Ingeniería Civil*, No. 31, pp. 7-20, 1999.
23. **WILDERER, P. A. AND D. SCHREFF:**

- «Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers». *Water Science & Technology*, Vol. 41, No. 1, pp. 1-8, 2000.
24. **VENHUIZEN, D.:** «Planning and engineering as if water and environmental values matter». (on line). Germany. Available in <http://www.venhuizen-ww.com>. [Consulted in October 3rd, 2006], 1996.
 25. **INRH:** «Resumen ejecutivo de la reunión internacional en apoyo al sector de agua y saneamiento de la República de Cuba». Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH), Ciudad de La Habana, 4 pp., 1995.
 26. **BITTON, G.:** *Wastewater Microbiology*. John Wiley & Sons. Pub. USA, 1994.
 27. **MAKKONEN, O. H. P.:** «Sand filters for use with septic tanks». In: «Design and Operation of Septic Tanks», WHO Monograph Series No. 18, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1958.
 28. **ANDERSON, D. L., M. B. TYL, T. K. STEVIK, K. M. SHERMAN AND T. MAYER:** Field evaluation of onsite wastewater nutrient reduction systems (OWNRS). *Proceedings of the 9th NW Onsite Wastewater Treatment Short Course* at University of Washington, Seattle, Washington, 1997.
 29. **RAMAN, V. AND N. CHAKLADAR:** «Up-flow filters for septic tank effluents». *Journal WPCF*, Vol. 44, No. 8, pp. 1552-1560, 1972.
 30. **KAMIYAMA, H.:** «Revisao e aperfeicoamento do sistema tanque séptico-filtro anaerobio para o tratamento de esgoto sanitario». *Revista DAE*, No. 169, pp. 1-17, 1993.
 31. **CANO, A. J., R. CREUS AND V. HERNÁNDEZ:** «Evaluación de la eficiencia del módulo tanque séptico-filtro anaerobio en el tratamiento de residuales líquidos urbanos». *Actas del 2do Congreso de la AIDIS de Norteamérica y el Caribe* en Santiago de Cuba, pp. 687-701, 5-9 Junio, 1995.
 32. **KOBAYASHI, H. A., M. K. STENSTROM AND R. A. MAH:** «Treatment of low strength domestic wastewater using the anaerobic filter». *Water Research*, Vol. 17, No. 8, pp. 903-909, 1983.
 33. **YAMAMOTO, Y.:** «Anaerobic filter in series process for domestic sewage treatment». *Water & Wastewater*, Vol. 25, pp. 1045-1052, 1983.
 34. **VIEIRA, S. AND P. A. SOBRINHO:** «Resultados de operação e recomendações para o projeto de sistema de decanto-digestor e filtro anaeróbico para o tratamento de esgotos sanitários». *Revista DAE*, Vol. 43, No. 135, pp. 51-57, 1983.
 35. **GIRALDO, G. E.:** «Perspectivas del tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas en Colombia». Presentado en XV seminario Latinoamericano de Digestión anaerobia. Bucaramanga, Colombia, 1996.
 36. **WOOD, A.:** «Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding». *Water Science & Technology*. Vol. 32 No. 3, pp. 21-29, 1995.
 37. **NERALLA, S., R. W. WEAVER AND B. J. LESIKAR:** «Plant selection for treatment of septic effluent in subsurface wetlands». *Proceedings of the Eighth National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems* in Orlando, Florida, pp. 247-253, 1998.
 38. **U.S EPA:** «Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters». National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1999.
 39. **JUWAKAR et al.:** «Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India». *Water Science & Technology*. Vol. 32 No. 3, pp. 291-294, 1995.
 40. **LABER, J. R. PERFLER AND R. HABERL:** «Two strategies for advanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands». *Water Science & Technology*. Vol. 35 No. 5, pp. 71-77, 1997.
 41. **GREEN, M., A. MELS, O. LAHAV AND S. TARRE:** «Biological-ion exchange process for ammonium removal from secondary effluent». *Water Science & Technology*, Vol. 34, No. 1-2, pp. 449-458, 1996.
 42. **TYLOR, C., D. JONES, J. YANHER, M. OGDEN AND A. DUNN:** «Individual residence wastewater wetland construction in Indiana. Constructed Wetland Design Manual». Agronomy and Agricultural and Biological Engineering, Purdue University, USA, 1998.
 43. **MARA, D.:** «Unsewered communities in the United Kingdom: innovative solutions for the millennium». *European Water Management*, Vol. 2, No. 1, pp. 46-48, 1999.
 44. **REED, SC. C., E. J. MIDDLEBROOKS AND R. W. CRITES:** *Natural systems for waste management and treatment*. McGraw-Hill Co. Inc., New York, 1988.
 45. **NETTER, R.:** «Planted soil filter-a wastewater treatment system for rural areas». *Water Science & Technology*, Vol. 28, No. 10, pp. 133-140, 1993.
 46. **NETTER, R., E. STUBNER, P. A. WILDERER AND I. SEKOULOV:** «Treatment of septic tank effluent in a subsurface biofilter». *Water Science & Technology*, Vol. 28, No. 10, pp. 117-124, 1993
 47. **PERFLER, R. AND R. HABERL:** «Actual experiences with the use of reed bed systems for wastewater treatment in single households». *Water Science & Technology*, Vol. 28, No. 10, pp. 141-148, 1993.
 48. **GERBA, C. P., T. M. STRAUB, J. B. ROSE, M. M. KARPISCAK:** «Water quality study of graywater treatment systems». *Water Resources Bulletin*, Vol. 31, No. 1, pp. 109-116, 1995.