

## IV-011 - PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES LÍQUIDOS MEDIANTE UN HUMEDAL CONSTRUIDO EN EL ASENTAMIENTO DE MICRO I, DE LA CUENCA CHAMBAS, CUBA

**Diana Enríquez Lavandera<sup>(1)</sup>**

Licenciada Microbiología. Master en Ecología en la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana.

**Pedro Perez Alvarez<sup>(2)</sup>**

Licenciado en Biología, Dr en Ciencias Biológicas en la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Centro de Desarrollo Local y Comunitario, Calle Lombillo 904 - entre Panorama y Bellavista - Nuevo Vedado - Plaza de la Revolución - La Habana - Cuba - Tel: (53) 78836465 - e-mail: diana@cedel.cu

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas Tel (53) 7870 5876 email: ppalvarez@instec.cu

### RESUMO

En Cuba existe un creciente interés por la conservación de los recursos naturales, en particular los recursos hídricos, esto ha motivado el análisis de modelos ecológicos para el tratamiento de residuales líquidos por la necesidad de saneamiento que presentan las redes hídricas y la importancia de aplicar nuevas tecnologías más desarrolladas, económicas y amigables con el medio ambiente. El municipio florencia, al igual que otros municipios del país, presenta una situación crítica con relación a la contaminación de sus aguas, en particular la zona del poblado, ubicado en la parte alta de la cuenca chambas. Con el objetivo de lograr la localización y selección del posible sistema de tratamiento de residuales líquidos, se elaboró una matriz de impactos negativos en el territorio, además se estimaron los valores de caudal, carga contaminante y concentración de la carga contaminante por la metodología del CIGEA. Finalmente y como resultado se determinó la construcción de un humedal subsuperficial en el asentamiento Micro I, opción factible y efectiva en el tratamiento de residuos líquidos para pequeñas comunidades y se ofrece el diseño apropiado para el territorio seleccionado. Este resultado permitirá proteger el recurso agua y por consiguiente contribuir al desarrollo sostenible del poblado de florencia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Municipio de Florencia, residuales líquidos, humedales construidos.

### INTRODUÇÃO

La descarga de aguas residuales en cursos naturales de agua es una práctica antigua, surgida de la necesidad de evacuar dichas aguas fuera de núcleos urbanos. El impacto ambiental que estas descargas causan obligó a considerar que la depuración previa era imprescindible.

Las observaciones realizadas por naturalistas, ecólogos y otros investigadores sobre la capacidad depuradora de los humedales naturales incentivó el desarrollo de los sistemas de depuración basados en humedales artificiales, que en Europa se remonta a los años 50 del siglo XX, y en Estados Unidos a la década de los 60 del mismo siglo. La denominación que se aplica a estos sistemas es la de humedales artificiales, en oposición a la denominación humedales naturales, en los que el hombre no ha influido en su construcción.

Los humedales construidos son esencialmente sistemas biológicos que surgen a partir de la detenida observación de los mecanismos propios que usa la naturaleza para la depuración de las aguas, en donde se combinan los procesos físicos, químicos y biológicos ocurriendo interacciones complejas entre el agua y el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar la ocurrencia de procesos de sedimentación, filtración, absorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación mediante el metabolismo. Las plantas translocan el oxígeno desde las hojas y tallos hasta las raíces, creándose cerca de la rizosfera una zona adecuada para que las bacterias (aeróbicas) puedan oxidar la materia orgánica presente (Reddy et al., 1989; Langergraber et al. 2008.).

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales (Kivaisi, 2001; García *et al.*, 2004):

- Aguas domésticas y urbanas
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras
- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan

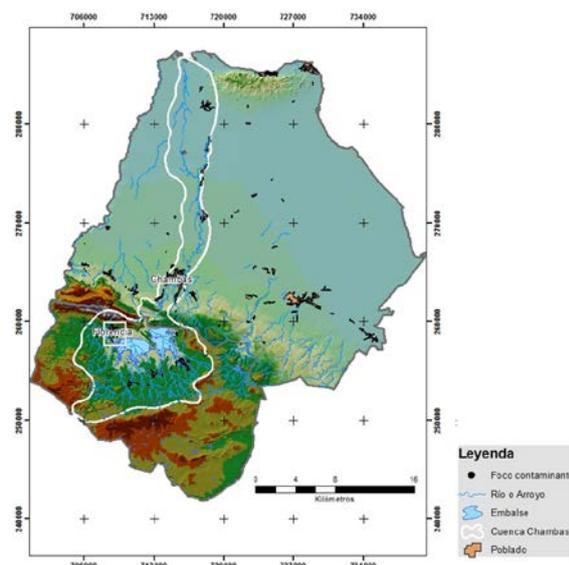
En Cuba el problema del recurso hídrico, es básicamente la pérdida de la calidad del agua, por este motivo la mayoría de propuestas ambientales futuras deberían ser encausadas a recuperar las fuentes hídricas contaminadas. A consecuencia de esta problemática ambiental se han fomentado distintos tipos de tratamiento de las aguas residuales, entre los cuales se encuentran desde sencillos procesos físicos, como el desbaste y cribado de los contaminantes, hasta complicados procesos químicos y biológicos.

El territorio seleccionado en este estudio, es el poblado de Florencia, perteneciente al municipio del mismo nombre, que presenta diversas problemáticas ambientales que inciden negativamente en la calidad de las aguas de la cuenca Chambas, donde está enclavado, se hace necesario ejecutar acciones ecológicas que faciliten su saneamiento y puedan ser aplicadas como un aspecto central del manejo integral de cuencas, con énfasis en la protección ambiental y, en particular, en el mejoramiento de la calidad base de sus aguas tanto superficiales como subterráneas.

La novedad de este estudio consiste, en el desarrollo de acciones que permitan la extensión a comunidades del país de la aplicación de sistemas de tratamiento de humedales construidos, como destino final de los residuales líquidos y considerar esta alternativa dentro de la estrategia a desarrollar en el manejo de cuencas hidrográficas, con el fin de garantizar la conservación del recurso agua y contribuir a alcanzar un desarrollo sostenible. El objetivo reside en la formulación de una propuesta de diseño de un humedal construido para el tratamiento de los residuales líquidos en un sector del poblado de Florencia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

El territorio seleccionado fue el poblado de Florencia, con una población de 6 914 habitantes, una extensión aproximada de 15 km<sup>2</sup>. Dicho territorio se encuentra ubicado en la parte alta de cuenca de Chambas, la cual posee una extensión de 160,30 km<sup>2</sup> y se extiende a lo largo de los municipios de Florencia y de Chambas y abastece dos embalses, el Cañada Blanca y Chambas II (Rodríguez, 2013) como se puede apreciar en la siguiente figura.



**Figura 1: Poblado de Florencia ubicado en la cuenca Chambas**

Determinación de cargas de focos contaminantes

La medición de carga contaminante generada en los vertimientos del asentamiento Micro I fue estimada siguiendo la metodología descrita por el CIGEA (2000). En Cuba la norma estimada de agua servida asciende a una dotación por habitante por día de 150 L d<sup>-1</sup> y el asentamiento cuenta con un total aproximado de 2 000 habitantes. Con estos datos se puede realizar el cálculo estimado del Volumen o Caudal (Q) del agua residual que produce la población vinculada según la siguiente expresión.

$$Q = \text{población vinculada} * \text{contribución percapita}$$

Como resultado se obtiene una Q de 3,0 L s<sup>-1</sup>.

En la tabla se reflejan las contribuciones per cápita utilizadas en el ámbito nacional para la determinación de la carga contaminante generada por el sector doméstico.

**Tabla 1: Carga per cápita recomendada**

Parámetro / Indicador	g/hab/día	Valor recomendado
<b>DBO</b>	30—45	42
<b>DQO</b>	80—120	100
<b>NT</b>	1,5—2,2	2
<b>Pt</b>	0,5—1,0	0,8

Con el dato de la población vinculada y el indicador en cuestión se puede calcular la carga contaminante a través de la siguiente relación:

$$\text{DBO (kg)} = \text{población vinculada} * \text{contribución per cápita recomendada}$$

Para la población considerada, entonces la DBO resulta de 84 kg día<sup>-1</sup>

De acuerdo con el caudal calculado (Q) la [DBO] resultante se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{DBO} = [\text{DBO}] / Q$$

Por lo que resulta ser de 280 mg L<sup>-1</sup>

Dado estos resultados, se propone diseñar un sistema natural de tratamiento (SNT) para un gasto de 3,5 L s<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS

### Determinar la localización del humedal a construir en el poblado de Florencia

La localización del humedal a construir en el poblado de Florencia fue resultado del análisis de la problemática ambiental existente, del análisis la matriz de impactos ambientales y de la propuesta de ordenamiento territorial de la cuenca Chambas. Al mismo tiempo se realizaron consultas a funcionarios del CITMA del municipio Florencia y se tuvo en cuenta el asesoramiento de los especialistas e ingenieros del Gran Parque Metropolitano de La Habana.

En el plan de ordenamiento territorial de la cuenca Chambas se propone la incorporación de acciones concretas y funcionales, que aunque están dirigidas a los recursos hídricos mantienen sinergia con otros componentes del medio físico y socioeconómico, las que se resumen a continuación.

Propuesta de acciones de protección del recurso hídrico en la cuenca Chambas

- ✓ Incorporar en los planes de inversión de la localidad, la ejecución de un acueducto y el alcantarillado del poblado de Florencia.
- ✓ Aplicar sistemas de tratamientos a los residuales líquidos provenientes de la fábrica de conservas y del poblado de Florencia, en particular el asentamiento Micro I.

- ✓ Aplicar sistemas de tratamientos a los convenios porcinos que permitan generar biogás y compost a partir de los residuales.
- ✓ Fortalecer el monitoreo de la calidad de las aguas en la cuenca Chambas.
- ✓ Mantener el control de la explotación de las aguas subterráneas.
- ✓ Ejecutar los proyectos de reforestación establecidos en la cuenca y embalses para la recuperación de la faja forestal.
- ✓ Cumplir los requisitos establecidos en las zonas de protección de los pozos de abasto a población.

En la siguiente tabla se expone la clasificación de los impactos ambientales con un enfoque hacia los recursos hídricos.

**Tabla 2. Matriz para la clasificación de los impactos ambientales en el poblado de Florencia**

<b>Impactos negativos</b>	<b>Impacto físico</b>	<b>Impacto químico</b>	<b>Impacto biológico</b>	<b>Impacto sociocultural</b>	<b>Impacto económico</b>
Deterioro de la calidad del agua y los suelos	Afectaciones del pH, color, turbidez	Incremento de las concentraciones de fósforo y nitrógeno	Incremento de microorganismos patógenos en las aguas y los suelos	Ocurrencia de enfermedades gastrointestinales Afectaciones al cuerpo de agua y a la paisajística del lugar.	Gastos médicos Elevados gastos en el tratamiento del agua
Pérdida de la capa de suelo por erosión	Cambios temporales en la calidad del aire	Incremento de la contaminación de los suelos por el uso de fertilizantes	Pérdida de la diversidad biológica asociada	Disminución de las producciones agrícolas Disminución de la cobertura vegetal	Gastos en fertilizantes Gastos en reforestación
Pérdida de la cobertura vegetal	Disminución de la calidad del aire		Pérdida de la diversidad biológica asociada	Disminución de los servicios de la diversidad	Disminución de los servicios de la diversidad Gastos en reforestación
Deterioro de los suelos por fertilizantes y pesticidas.		Incremento de sustancias químicas al suelo	Pérdida de la diversidad biológica asociada	Disminución de las producciones agrícolas	Gastos en la Descontaminación de los suelos

La elaboración de la matriz permitió visualizar y clasificar los impactos ambientales que afectan los recursos hídricos en el poblado de Florencia, que no quedan solamente en el impacto físico y químico de la calidad del agua sino que trascienden y alcanzan a perjudicar seriamente la salud, la diversidad biológica y la economía.

Según el Centro Meteorológico y Ministerio de Salud Pública de la provincia de Ciego de Ávila. En Florencia durante el verano las temperaturas registran valores que oscilan entre 26 y 32 °C. Estas altas temperaturas asociadas a periodos lluviosos facilitan la proliferación de microorganismos patógenos y la contaminación por los residuales líquidos que persiste en el poblado de Florencia, lo cual conlleva a la frecuente aparición de enfermedades diarreicas agudas.

Para realizar el diseño de un humedal artificial, es crucial conocer la problemática asociada, es decir: origen, calidad y volumen del agua a tratar; destino, volumen y calidad de agua que se desea producir; espacio disponible; características del terreno susceptibles de ser empleado (topografía, mecánica de suelos, tipo de suelo, etc.) (Langergraber, 2008).

Condiciones del área seleccionada para una mayor eficiencia del sistema ecotecnológico a construir:

- La existencia de un tanque séptico que funciona como tratamiento primario para los residuales líquidos del asentamiento.
- Existe espacio suficiente para la construcción
- Terreno con ligera pendiente que facilita la conducción y vertimiento de las aguas residuales por gravedad lo cual disminuye considerablemente los gastos de consumo de electricidad.
- El predominio de suelos arcillosos en el poblado de Florencia favorece la construcción de humedal ya que disminuye la permeabilidad y por consiguiente los gastos adicionales en la compactación del suelo.
- La especie propuesta para el sistema es *Hedyhium coronarium* (Mariposa), que no solo facilitará las funciones en el humedal, sino que igualmente responde a: rápido crecimiento en las condiciones ambientales del sistema proyectado, posee elevada productividad, tolera los contaminantes presentes en las aguas residuales, posee valor ornamental y puede representar un aporte económico
- La existencia de la cañada del poblado facilita el vertimiento final de los residuales tratados.

El área propuesta para la construcción del humedal es el asentamiento Micro I, compuesta por 9 edificios y el número de habitantes de aproximadamente 1 300 personas, estos edificios vierten sus desechos líquidos en un tanque séptico que a su vez descarga directamente hacia una cañada que atraviesa el poblado y finalmente estos residuales sin tratamiento tributan al embalse cercano según se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 2. Asentamiento Micro I, área seleccionada para la construcción del humedal



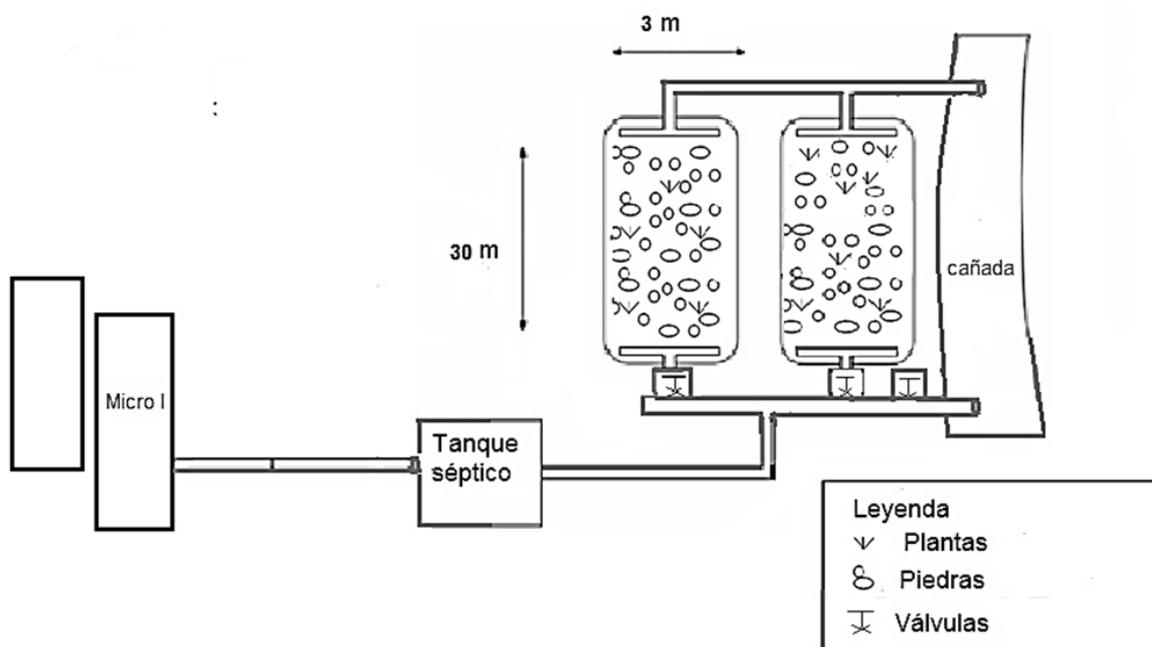
**Figura 3. Área seleccionada para la construcción del humedal y la cañada cercana donde se vierten las aguas residuales.**

### **Protipo de humedal a construir**

Para lograr obtener un diseño óptimo del humedal propuesto, se tuvo en cuenta que el agua a depurar por el sistema es generada por la comunidad residente en el asentamiento Micro I, lo que la enmarca dentro de la clasificación de residual social, y llegará al humedal de forma continua después de ser sometido a un tratamiento primario en el tanque séptico, el cual además de actuar como unidad primaria de tratamiento para el residual líquido brinda tratamiento a los lodos que en él se sedimentan. Este tanque debe estar ubicado a una altura superior a la del humedal, lo que facilita la entrada del residual a las celdas reactores sin necesidad de equipos de bombeo, lo cual hace más económico el sistema.

La tubería encargada de conducir las aguas residuales hacia el sistema de tratamientos en paralelo cuenta con 3 válvulas, la primera con el fin de impedir que el agua sea vertida directamente a la cañada de Florencia o en su defecto para evacuar todo el volumen residual directo hacia el vaso de la presa en caso de mantenimiento general y las otras dos regulan el gasto de entrada a cada celda además de facilitar el mantenimiento independiente de las mismas.

En el área seleccionada no existe alcantarillado por lo que no es posible realizar mediciones de caudales y de concentración de residuales contaminantes. Por esta razón se realizaron estimaciones del caudal, los kg de DBO y la concentración de DBO que tiene el agua residual a tratar en el asentamiento Micro I, dichas estimaciones fueron anteriormente presentadas en materiales y métodos. La realización de las estimaciones facilitó los cálculos para proponer el diseño del humedal y construir dos celdas con las siguientes medidas 30 x 3 m. Los detalles descritos se observan en la siguiente figura:



**Figura 4. Diseño del prototipo de humedal de flujo subsuperficial (FSS)**

Posteriormente, una vez que el agua sea sometida a este tratamiento secundario, mediante el humedal, puede ser vertida hacia la cañada de Florencia, que se comunica directamente con el embalse, además se propone que estas aguas tratadas pueden ser reutilizadas en el riego de las especies de la faja reguladora de la cuenca Chambas

**Tabla 3. Características generales del humedal a construir**

Nombre	Humedal del poblado Micro I Florencia
<b>Población que tributa</b>	2 000 habitantes
<b>Flujo <math>L s^{-1}</math></b>	3,5
<b>Tipo de Flujo</b>	Sistema en paralelo horizontal
<b>Sistema primario</b>	Tanque séptico
<b>Vegetación</b>	Emergente <i>Hedyhium coronarium</i> (Mariposa)
<b>Punto de vertimiento</b>	Afluente de la cuenca Chambas
<b>Costo de inversión estimada</b>	4 000 pesos
<b>Profundidad</b>	25-50 cm

Los beneficios ambientales por la construcción del humedal en el poblado de Florencia.

- Remoción de la carga orgánica DQO y DBO entre el (92-98%)
- Ahorro energético por la construcción del humedal de gravedad
- Reuso de las aguas tratadas

Los sistemas de tratamiento ecotecnológicos ofrecen la posibilidad, atendiendo a la disponibilidad de terreno, de ser construidos en el lugar donde se produzca el vertimiento, propiciar el incremento de la biodiversidad al ser considerados como parches verdes, permitir su inserción dentro de la urbanización, mejorar la paisajística local y facilitar sitios para la recreación al prever dentro del proyecto espacios donde se logra la perfecta inserción de, por ejemplo un parque infantil. Esto es se puede concebir no solo como sistema para tratar residuales líquidos sino como una intervención de reanimación urbanística al prever dentro del área la construcción de tramo de malecón, puente sobre el humedal y parque para el descanso, la contemplación y el recreo de los habitantes locales.

## **CONCLUSÕES**

- ✓ Se estableció un procedimiento sencillo, fácilmente replicable para la construcción de humedales, que puede servir como modelo para pequeñas comunidades urbanas, semiurbanas o rurales a lo largo del país.
- ✓ El humedal a construir en el asentamiento de Micro I, debe ser un diseño subsuperficial, con las dimensiones 30 m x 3 m y una profundidad aproximada 0.45 m.
- ✓ Minimiza impactos ambientales por el aprovechamiento del agua en el concepto de riego y el empleo de fertilizantes orgánicos para la agricultura.

## **RECOMENDAÇÕES**

- ✓ Proponer al Consejo de Cuenca de Chambas la inclusión de los humedales construidos para el tratamiento de los residuales líquidos en pequeños asentamientos.
- ✓ Promover la reutilización del agua para reducir el consumo de agua potable y, de esta manera, contribuir con la preservación del ambiente.
- ✓ Proponer el empleo del sedimento que se acumula en el tanque séptico y analizar si se puede reutilizar como abono en la agricultura.
- ✓ Efectuar análisis de calidad (físico, químico y bacteriológico) al efluente del sistema natural. Esto permitirá analizar las normas de calidad de agua y determinan de fin de reuso del agua tratada (riego, recreación, mini-industrias de la construcción, etc).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CIGEA. Metodología para la estimación de cargas. La Habana. Cuba. p 67. 2000.
2. GARCÍA J., AGUIRRE P., MUJERIEGO R., HUANG Y., ORTIZ L. Y BAYONA, J. M. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Wat. Res.*, 38, p 1669-1678. 2004.
3. KIVAISI, A. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering* 16, p 545-560. 2001.
4. LANGERGRABER, G., LEROCH, K., PRESSL, A., ROHRHOFER, R. AND HABERL, R. A. Two-stage subsurface vertical flow constructed wetland for high-rate nitrogen removal. *Water Science and Technology*. v. 57(12), p. 1881-1887. 2008.
5. REEDY K. R, D' ANGELO, E M AND DE BUSK T. A. Oxygen Transport through macrophytes: its role in wastewater treatment. *J Environ Qual*. v.19, p. 261. 1989.
6. RODRÍGUEZ, M. Ordenación Territorial del Municipio Florencia. Provincia Ciego de Ávila. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) 84 p. 2013.