

# IDEASS

Innovaciones para el desarrollo y la cooperación sur-sur

## INFORME

### SISTEMAS DE FITODEPURACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS EN LA PROVINCIA DE GUANTÁNAMO

- CUBA -

DEPURACIÓN NATURAL DE LAS AGUAS

Elaborado n° 1	Fecha: Enero 2005	Revisión n° 1
----------------	----------------------	---------------

#### ASESORAMIENTO Y APOYO TÉCNICO:

ARPAT: Agencia Regional para  
la Protección del Medio  
Ambiente de Toscana



El programa APPI (Anti-poverty Partnership Initiatives) del PNUD es un instrumento destinado a brindar ayuda a los gobiernos y a los actores sociales para la definición y aplicación de políticas nacionales de reducción de la pobreza y de la exclusión social, en base a prácticas de desarrollo local integrado y participativo.

#### COORDINADOR:

Lic. Marco Mazzoni



Los Programas de desarrollo humano y lucha a la pobreza realizados por UNDP, IFAD, ILO y UNOPS, promueven procesos de desarrollo local integrado y participativo, enmarcados en las políticas nacionales, con el apoyo de los actores públicos, privados y de la sociedad civil. Estos programas constituyen un marco en el cual pueden colaborar, en forma ordenada, diferentes países donantes y comunidades de los países industrializados, a través de la cooperación descentralizada. Es en este marco que serán realizados los proyectos de cooperación sur-sur, realizados a través de la Iniciativa.

#### REFERENTE TÉCNICO

Lic. Beatrice Pucci



El programa OIT/Universitas (trabajo decente a través de la formación y la innovación) promueve la aplicación de soluciones innovadoras a los problemas de desarrollo humano, sobre todo en el mundo laboral. A tales efectos, lleva a cabo actividades de investigación-acción, de formación a favor de los responsables de las decisiones y del personal que opera en los procesos del desarrollo local.



ARPAT

REGIONE  
TOSCANA



**INFORME**  
**Sistemas de Fitodepuración para el Tratamiento**  
**de las Aguas Negras en la Provincia de Guantánamo - Cuba**

**ÍNDICE**

<b>1. PREMISA.....</b>	<b>2</b>
1.1 ARTICULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
<b>2. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>5</b>
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROVINCIAS DE GUANTÁNAMO .....	5
2.1.1 Marco climático .....	7
2.2 MARCO LEGAL .....	8
<b>3. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE DEPURACIÓN.....</b>	<b>12</b>
3.1 TÉCNICAS NATURALES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	12
3.1.1 Sistema de tratamiento secundario: SFS-h Subsurface Flow System – horizontal....	15
3.1.2 Sistema de tratamiento secundario: SFS-v Subsurface Flow System – vertical.....	16
3.1.3 Sistema de tratamiento secundario: FWS Free Water System .....	17
3.2 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA FITODEPURACIÓN.....	18
3.3 CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS .....	19
<b>4. DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS INVESTIGADAS Y HIPÓTESIS DE PROYECTO...21</b>	
4.1 HOSPITAL RURAL RAFAEL TEOPE FONSECA.....	21
4.1.1 Descripción de la situación actual.....	21
4.1.2 Análisis de los usuarios .....	23
4.1.3 Propuesta Projectual.....	23
4.2 ESCUELA ESBEC “JUAN AMEJEIRA”.....	26
4.2.1 Descripción de la situación actual.....	26
4.2.2 Análisis de los usuarios .....	29
4.2.3 Propuesta de Proyecto.....	29
4.3 COMUNIDAD BAYATE ABAJO.....	31
4.3.1 Descripción de la situación actual.....	31
4.3.2 Análisis de los usuarios .....	33
4.3.3 Propuesta de Proyecto.....	33
4.4 COMPLEJO ALIMENTICIO (BEBIDAS Y GALLETAS) .....	34
4.4.1 Descripción de la situación actual.....	34
4.4.2 Propuesta de Proyecto.....	38
4.5 COMUNIDADES DE LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO .....	40
4.5.1 Descripción de la situación actual.....	40
4.5.2 Análisis de los usuarios de los sitios estudiados .....	42
4.5.3 Propuesta de Proyecto.....	43
<b>5. PLAN DE MONITOREO DE LOS SISTEMAS.....</b>	<b>46</b>
<b>6. RESUMEN DE LAS PROPUESTAS DE PROYECTO.....</b>	<b>47</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>48</b>

## 1. PREMISA

Los proyectos preliminares de fitodepuración aquí propuestos, nacen en el ámbito de la iniciativa **IDEASS** (Innovations for development and south-south cooperation) promovida por los Programas Internacionales OIT/Universitas, PNUD/APPI y PNUD/IFAD/UNOPS. Tales programas, encuadrados en las políticas nacionales, favorecen los procesos de desarrollo local mediante un enfoque integrado y participativo, con el apoyo de los actores públicos, privados y de la sociedad civil.

El objetivo principal de **IDEASS** es de promover tecnologías innovadoras que han demostrado contribuir al desarrollo humano, a la reducción de la exclusión, el desempleo y la pobreza.

En este caso el primer paso es realizar sistemas piloto/demostrativos para la depuración de las aguas residuales en modo de:

- demostrar que los sistemas de fitodepuración representan una tecnología sostenible, sea desde el punto de vista económico que ambiental, y apropiada a los países en vías de desarrollo;
- verificar su adecuación a las condiciones del ambiente local, en modo de optimizar los recursos económicos necesarios para la construcción del sistema a gran escala.
- favorecer acciones que estimulen el ahorro y la reutilización de las aguas residuales depuradas;
- promover iniciativas dedicadas a la formación de técnicos locales.

El logro de estos objetivos podrá verificarse mediante un programa de monitoreo (Cap. 5) efectuado principalmente por la Universidad y las Instituciones locales, y será coordinado por la ARPAT (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Regione Toscana), y a través del intercambio de conocimientos técnicos con expertos en el campo de la depuración natural de las aguas residuales y de la tutela de la contaminación de las aguas, pertenecientes al ARPAT.

Las zonas analizadas, 11 en total, se encuentran en los municipios de El Salvador y Guantánamo en la Provincia de Guantánamo (Figura 1). Todas ellas se encuentran una situación higiénico-sanitaria y ambiental crítica tal, que hace necesaria la realización de sistemas apropiados de tratamiento de aguas residuales y además, en algunos casos, de apropiados sistemas de alcantarillas (Tabla 1).



Figura 1 – Encuadramiento geográfico de las zonas eligidas

En esta fase, en la cual se quieren proponer nuevas tecnologías para los procesos de depuración, comprobadas en Italia y en Europa, consideramos oportuno individuar, entre los sitios analizados, aquellos para los cuales, debido a su peculiaridad, la aplicación de estas tecnologías pudiera ser particularmente significativa: l'Hospital rural y el complejo alimenticio de bebidas y galletas.

Municipio	Comunidad	Instalación
<b>El Salvador</b>	<b>Bayate</b>	<b>Hospital "Rafael López Fonseca"</b>
	Bayate Abajo	ESBEC "Juan Amejeiras"
	Bayate Abajo	Asentamiento "Bayate Abajo"

Tabla 1 – Sitos analizados en la Provincia de Guantánamo

Esa selección fue hecha a través evaluaciones técnico-científicas (tipología de los usuarios, diseño de las instalaciones apropiado y con bajos costos de gestiones) y además. Esta selección fue hecha en base a evaluaciones técnico-científicas (tipología de los usuarios, diseño apropiado de las instalaciones y bajos costos de gestión) y además sobre los datos objetivos relativos a las características de cada sitio: nivel de impacto higiénico sanitario de las descargas de la población, impacto ambiental, morfología de las áreas, posibilidad de reutilizar las aguas depuradas, etc.

En el presente informe serán referidos además los resultados de todas las visitas realizadas a los distintos lugares y también las hipótesis de proyecto.

Los datos obtenidos y elaborados nos han permitido escoger la forma de tratamiento más adecuada y sugerir una zona apta para su realización.

## **1.1 ARTICULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En esa primera fase el trabajo se ha desarrollado en varias etapas:

- presentación de la tecnología a niveles institucionales varios;
- individuación de los sitios adecuados a la aplicación de la tecnologías y visitas a los lugares;
- recogida de los datos;
- análisis de los datos;
- elaboración de las hipótesis de proyecto;
- individuación de la prioridad de intervención.

Las estructuras locales interesadas han sido principalmente las siguientes: CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente), PDHL (La Secretaría Técnica y de Cooperación Internacional), SANITEC (Appropriate Technology Centre for Sanitation) y el Centro de Investigación y Desarrollo de la Montaña.

## **2. ASPECTOS GENERALES**

### **2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROVINCIA DE GUANTÁNAMO**

En la parte más oriental de la República de Cuba, a raíz de la división político – administrativa de 1977 surgió la provincia de Guantánamo, que adquiere su nombre del municipio cabecera, el cual fuera nombrado así por los autóctonos del lugar, en cuya lengua significa “tierra de los ríos”. En realidad su territorio se encuentra adornado con las aguas transparentes de más de 600 ríos, arroyos y afluentes, distribuidos a todo lo largo y ancho de sus 6 186 Km<sup>2</sup>, los cuales muestran una de las más peculiares geografías del territorio nacional, al estar conformado irregularmente por pintorescos valles –24%- y vigorosas montañas –75%-. Entre los principales ríos se encuentran: el Toa, Guantánamo, Yateras y Guaso; y se destacan por su belleza natural, las alturas del Yunque de Baracoa y la Loma del Gato, que es, a su vez, la mayor altitud del territorio, con 1.181 m sobre el nivel del mar.

Esta provincia, que ocupa el 4,6% de la superficie del territorio nacional, limita al norte con Holguín, al sur con el Mar Caribe, al oeste con Santiago de Cuba y al este con el Paso de los Vientos.

Por su extensión, la bahía de Guantánamo está considerada como la tercera del mundo, pero su utilidad real para el territorio es muy poca, porque a ambos lados de su entrada, ocupando 117,5 Km<sup>2</sup>, se encuentra enclavada de manera ilegal una Base Naval de Estados Unidos.

Posee 400 asentamientos, 16 urbanos y 384 rurales concentrados; la densidad poblacional es de 82,5 Km<sup>2</sup> por habitante y el índice de urbanización es de 61,3%, considerando que su población alcanza los 510.255 habitantes; de ellos el 49,7% corresponden al sexo femenino, para una relación de masculinidad de 1.010 varones por mil hembras, además la población en edad laboral es de 297.490 habitantes.

Guantánamo es la provincia más montañosa del país, sólo el 23% de su territorio es llano, el 43,3% del cual se considera como fondo de tierra para uso agrícola y de ellas sólo el 50% son cultivadas actualmente, en lo fundamental de caña, café, cacao, cultivos varios y también se realizan importantes producciones de madera y coco.

En los valles de Guantánamo, Imías, Caujerí y Niceto Pérez se encuentran las zonas agrícolas más importantes. Estas producciones se ven afectadas o beneficiadas, según su situación geográfica, por una característica muy peculiar del territorio, en él se puede observar la zona más húmeda del país, en el macizo montañoso Sagua - Baracoa y la zona más seca, localizada en la franja costera sur desde Maisí hasta Guantánamo.

En el Valle de Guantánamo, el proceso de salinización se ha desarrollado de manera notable y perjudicial, a pesar de que en los últimos años se han realizado trabajos de mejoramiento agro-técnico a estos suelos que han permitido en parte su recuperación.

El proceso revolucionario cubano ha logrado en esta provincia significativas transformaciones en el entorno natural y social, lo cual se puede constatar a través de los datos que se muestran a continuación.

En el territorio funcionan un total de 300 entidades estatales, distribuidas de la siguiente forma: 99 Empresas, 33 Organizaciones Económicas Estatales, 29 Unidades Básicas Económicas, 97 Unidades Presupuestadas y 42 establecimientos extraterritoriales.

Entre las industrias más importantes se encuentran: Fundición de Hierro Gris y Maleable, Válvulas Industriales, Acopio y Beneficio de Café, Herramientas de Mano Agrícolas e Industriales, Bicicletas, Muebles Imperio, Combinado Lácteo, Combinado Alimenticio, Bebidas y Refrescos, Combinado Cárnico, Combinado de la Pesca, Confecciones Textiles, Complejo Azucarero y Empresa Salinera.

Mantener y preservar la salud del pueblo es una tarea permanente en el territorio, los avances alcanzados en esta esfera se reflejan en la tasa de mortalidad infantil, que alcanza en el año un índice de 8,6 por cada mil nacidos vivos, la mortalidad materna es de 3,8 y el índice de bajo peso al nacer se encuentra en cero. Como elemento complementario de ese trabajo se logra elevar la esperanza de vida hasta los 77,59 años en las mujeres y 74,13 en los hombres.

Se alcanza una relación de 209 habitantes por médico y 1.256 habitantes por estomatólogo.

Para la atención a la salud de la población se cuenta con 17 Hospitales, 16 Hogares Maternos, 4 Clínicas Estomatológicas, 2 Bancos de Sangre, 7 Hogares de Ancianos, 1 Hogar de Impedidos Físicos y 19 Policlínicos.

Durante los últimos años la economía guantanamera ha registrado incrementos en sus niveles de actividad, evidenciado por el crecimiento sostenido de la producción mercantil, siendo el ritmo promedio anual del último quinquenio del 8,25%. Se destacan en este último año los sectores Comunicaciones, Silvicultura y Construcción.

Las ventas de mercancías en el último quinquenio han crecido a un ritmo promedio anual del 6,75% a pesar de que en el año 2003 las ventas decrecen con relación al año anterior en 0,7%. El fondo de salario en la esfera productiva creció en un 7% mientras que la productividad lo hace en 5,1%.

La intensidad energética ha disminuido en comparación con el año anterior en 6,7%, lo que demuestra que se sigue elevando la eficiencia en la producción de bienes y servicios.

El mejoramiento de los indicadores en el sector Educación es otra de las conquistas alcanzadas y a la que se le dedican cuantiosos recursos y esfuerzos.

En el curso escolar 2002 - 2003 se graduaron en los diferentes tipos de enseñanza, un total de 23.789 alumnos. El 50,3% corresponde a las hembras.

La relación de alumnos por maestro es 9 en la enseñanza primaria y de 10 en la educación media. La Tasa de Escolarización de 6 – 14 años es de 96%.

Para desarrollar esta importante tarea funcionan 37 Círculos Infantiles, 800 Escuelas Primarias, 53 Secundarias Básicas, 24 Preuniversitarios, 24 Escuelas Técnicas, 3 Escuelas de Oficios, 24 Escuelas de Educación Especial, 49 Escuelas de Adultos y 3 Centros de Enseñanza Superior.

Las actividades deportivas y culturales se han incrementado, así como los participantes en las mismas, para ello se dispone de 172 instalaciones deportivas, 4 estadios de béisbol, 18 pistas de atletismo y 143 canchas de baloncesto y un personal deportivo pedagógico ascendente a 986 personas; las actividades culturales se desarrollan en 10 Bibliotecas, 1 Sala de Teatro, 21 Casas de Cultura, 2 Casas de la Trova, 4 Galerías de Arte, 12 museos, 10 Cines de 35 mm, 24 Cines de 16 mm, 26 Salas de Video, 4 Emisoras radiales y 1 Telecentro.

Otras actividades de beneficio social muestran también el sostenido empeño de mejorar los indicadores de vida de la población. Muestra de ello es que en el territorio existen 47.210 jubilados y pensionados a través de la Seguridad Social y otros 20.071 beneficiados por la Asistencia Social.

El Programa de Empleo ha generado en el último año 12.770 nuevos empleos, con lo que se ha logrado disminuir la tasa de desempleo hasta 2,9.

En sentido general los gastos estatales para las diferentes actividades de la esfera de los servicios sociales han crecido en más de un 40% respecto al 2000, siendo los destinos fundamentales Educación, Salud y la Asistencia Social.

### **2.1.1 Marco climático**

El clima se caracteriza por una gran variabilidad especial, determinada fundamentalmente por la extensión del relieve montañoso que presenta clima de montaña, además se encuentra permanentemente bajo la influencia de los vientos alisios del nordeste y el Macizo Montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, que se encuentra al norte de la provincia, y se extiende de oeste a este, por lo que se interpone a los vientos alisios. Como resultado de esta barrera montañosa al paso de estos vientos, se produce una ascensión de ellos, lo cual provoca grandes condensaciones del vapor de agua dando lugar a grandes lluvias de tipo orográficas en las alturas y toda la vertiente norte del macizo montañoso; mientras que hacia el sur, como el aire pasa seco o con muy pobre humedad, la precipitación es muy baja o escasa.

La gran diferencia de precipitación entre las vertientes norte y sur, así como la diferencia de humedad del aire, provocan también gran diferencia en otros elementos meteorológicos como son: temperatura, nubosidad, evaporación y otros.

De manera que hacia las elevaciones y muy especialmente en la vertiente norte, se registran elevados acumulados de lluvia, temperaturas frescas y baja tasa de evaporización, en tanto que hacia el sur (Cuenca de Guantánamo, Valles interiores y Franja Costera Sur) se presenta un bajo acumulado de precipitación anual, elevadas temperaturas y alta tasa de evaporación.

Guantánamo es la única provincia en Cuba que presenta tres tipos de clima, según la clasificación de Koppen:

- **Clima Tropical Lluvioso o de Selva Tropical (AF)** - Este se localiza en las elevaciones y vertiente norte, con precipitaciones altas y estables durante todo el año, las que alcanzan un acumulado anual medio superior a los 2 200,0 mm.



- **Clima Tropical de Sabana (AW)** - Se presenta en la mayor parte de la Cuenca de Guantánamo y en valles interiores como el de Caujerí, con un promedio de lluvia media anual generalmente inferior a los 1.200 mm de distribución estacional. Con una estación lluviosa comprendida entre mayo y octubre y una estación seca o poco lluviosa entre noviembre y abril, que sólo registra entre el 20 y el 40 por ciento del total de lluvia anual.
- **Clima Semidesértico o de Estepa (BS)** - Se presenta en toda la Franja Costera Sur con un promedio de precipitación media anual inferior a los 600 mm y una tasa de evaporación que supera varias veces a la precipitación media anual.

Otro aspecto significativo es que Guantánamo presenta la zona más lluviosa del país: El Aguacate, en la cuenca del río Toa, Baracoa, con 3.600 mm promedio anual, y la zona menos lluviosa: entre Baitiquirí y el poblado de San Antonio del Sur, con sólo 400 mm promedio anual.

Las fuentes de la información que se ofrece en este capítulo proceden del Centro Meteorológico Provincial y las Direcciones Provinciales de Planificación Física, Recursos Hidráulicos y la Estación de Suelos Salinos y del Anuario Estadístico de Guantánamo del 2003.

## **2.2 MARCO LEGAL**

### NC 1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado

Esta norma se aplica a todas las aguas residuales generadas en los procesos domésticos, sociales, industriales y de cualquier otro tipo de actividad socioeconómica en que se viertan residuales líquidos a las aguas terrestres.

El objetivo principal de la norma es el de proteger el ambiente a través de la preservación de la contaminación y el saneamiento de las aguas terrestres, la protección de las fuentes de abasto, los cursos naturales de aguas, las aguas subterráneas y obras e instalaciones hidráulicas.

La norma subdivide las descargas en tres grupos y los reglamenta en modos distintos:

1. descargas de aguas residuales en la red de alcantarillado;
2. descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores;
3. descargas de aguas residuales producidas por actividades y procesos industriales que generan altas cargas contaminantes;

Los residuales líquidos a verter al sistema de alcantarillado deben cumplir las concentraciones siguientes:

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Limite Máximo Permissible Promedio</b>
<b>Temperatura</b>	Grado Celcius	< 50
<b>Ph</b>	Unidades	6-9
<b>Sólidos Sedimentables</b>	ml/L	<10
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	<50
<b>Conductividad</b>	microsiemens/cm	<4000
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	<300
<b>DQO (Dicromato)</b>	mg/L	<700
<b>Fenoles</b>	mg/L	<5
<b>Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)</b>	mg/L	<25
<b>Aluminio</b>	mg/L	<10.0
<b>Arsénico</b>	mg/L	<0.5
<b>Cadmio</b>	mg/L	<0.3
<b>Cianuro</b>	mg/L	<0.5
<b>Cobre</b>	mg/L	<5.0
<b>Cromo hexavalente</b>	mg/L	0.5
<b>Cromo total</b>	mg/L	2.0
<b>Mercurio</b>	mg/L	0.01
<b>Plomo</b>	mg/L	1.0
<b>Cinc</b>	mg/L	5.0
<b>Sulfuros</b>	mg/L	5.0

Tabla 2- Límites para las aguas residuales en el sistema de alcantarillado (del NC, año 1999, sección 4, Tabla1)

Además la Ley prohíbe la descarga directa de sustancias como: Gasolina, Benceno, Naftaleno, Petróleo, Aceites, Fuel-oil y de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas de tipo inflamable o explosiva, en el sistema de alcantarillado.

Respecto al segundo punto, esta norma clasifica cualitativamente los cuerpos receptores, según su uso, de la forma siguiente

**Clase (A):** *Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica*

**Clase (B):** *Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica .que los comprendidos en la Clase (A)*

**Clase (C):** Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso, como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros.

		Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
Parámetros	UM	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
<b>pH</b>	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
<b>Conductividad eléctrica</b>	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
<b>Temperatura</b>	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
<b>Materia flotante</b>	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
<b>Sólidos Sedimentables Totales</b>	ml/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0.5	1,0	5,0
<b>DBO5</b>	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
<b>DQO (Dicromato)</b>	mg/L	70	90	120	70	160	250	90	140	250
<b>Nitrógeno total (Kjd)</b>	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
<b>Fósforo total</b>	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

Tabla 3– Límites de emisión para las aguas residuales en cuerpos receptores.  
(de NC, año 1999, sección 5, Tabla 3)

Además, las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores superficiales de categorías A, B y C, a valores menores de 4, 3 y 2 mg/L, respectivamente.

En lo que se refiere a la contaminación microbiológica las descargas de aguas residuales no podrán producir un aumento de la media geométrica del Número Más Probable de Coliformes Totales y Fecales en 100 mL (NMP/100mL) que supere los valores dados en la siguiente tabla:

<b>Categoría del cuerpo receptor</b>	<b>NMP/100 ml Coliformes totales</b>	<b>NMP/100 ml Coliformes fecales</b>
A (superficial)	10 00	200
A (subterráneo)	100	20
B (superficial)	5000	1000
B (subterráneo)	250	50
C (superficial)	(1)	(1)
C (subterráneo)	(1)	(1)

Tabla 4– Indicadores de contaminación fecal máxima admisible en los cuerpos receptores (del NC, año 1999, sección 5, Tabla 4)

Para la descargas de tipo industrial con altas cargas contaminantes (industria azucarera y sus derivados, industria papelera, industria alimenticia, industria metalúrgica, industria del petróleo y sus derivados etc.) la norma pone una atención especial y un control muy severo (sección 6).

### **3. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE DEPURACIÓN**

#### **3.1 TÉCNICAS NATURALES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

De un punto de vista cultural, las zonas húmedas naturales han sido consideradas ambientes poco saludables y por cierto no la más apropiadas para a la vida humana. Solamente en los pasados treinta años, un análisis más crítico y más profundo ha permitido revalorizar tales áreas en términos de recursos naturales a proteger y, al mismo tiempo, explotar con el propósito de mejorar la calidad de las descargas, provenientes de las instalaciones urbanas, en los cuerpos hídricos receptores.

Las búsquedas llevada a cabo en los pasados quince años, particularmente por parte de universidades y instituciones Gubernamentales en Europa han identificado los varios beneficios propios de las zonas húmedas naturales. Entre ellos la posibilidad de abastecimiento hídrico (recarga de los acuíferos, para el uso potable y para riego), la buena funcionalidad para el control hídrico (cajas de expansión para los eventos aluviales), la explotación para la actividad de extracción (canteras de arena, de grava y de turba), el uso de las plantas allí presentes (materias primas para productos alimentarios, cosméticos y farmacéuticos, forraje, leña, la producción de papel y cartón, material para cobertura, fertilizantes), la presencia de animales para al estado libre (refugio para aves acuáticos emigrantes, abrevadero natural para muchas especies), la presencia de peces y invertebrados (camarones, cangrejos, ostras, mejillones), la posibilidad de usarlas para producciones integradas (por ejemplo piscicultura combinada al cultivo del arroz). El control de los fenómenos de erosión y desertificación y la gran contribución para el biodiversidad, la posibilidad del uso como fuente de energía (bombas hidroeléctricas, solares, bombas de calor, la producción de gas y de combustibles líquidos y sólidos), y para finalizar las actividades educativas y recreativas (Mitsch & Gosselink 1986, Sather et aa.vv. 1990, Whigham & Brinson 1990).

El histograma reproducido en la Figura 2 muestra de que forma estas tecnologías están siendo utilizadas en Europa.

A frente de estas innumerables ventajas, no es posible cuantificar la verdadera capacidad depurativa de estos sistemas naturales, siendo difícil prever como los diferentes factores permiten los procesos químicos, físicos y biológicos, como la sedimentación, precipitación, absorbimiento, asimilación de las plantas y la actividad microbiana. Por esta razón surgió la necesidad de realizar sistemas artificiales de tratamiento de las aguas residuales, diseñados y construidos para reproducir los procesos naturales autodepurativos en un ambiente controlable con respecto a los niveles de los flujos hidráulicos, a los tiempos de retención y por lo tanto a la efectividad del sistema, basándose en los conocimientos de la naturaleza del substrato, de las tipologías de las especies vegetales y de los caminos hidráulicos.

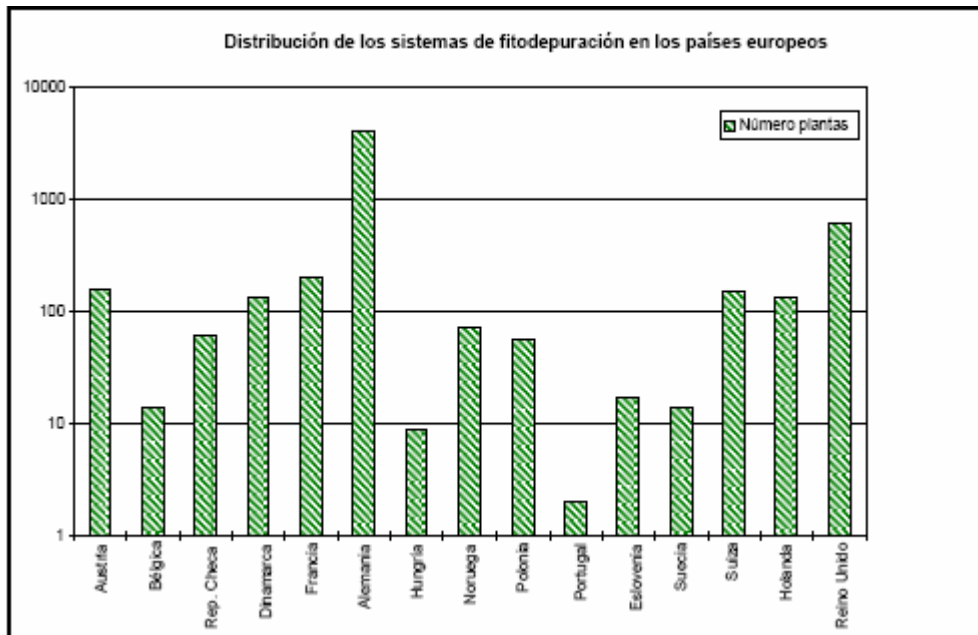


Figura 2 - Distribución de los sistemas de fitodepuración en Europa

Tales sistemas ingenierizados, comúnmente llamados Constructed Wetlands (en Italia sistemas de fitodepuración) tuvieron un desarrollo notable en los últimos años especialmente en los países industrializados, pero tomando en cuenta que las ventajas de que en términos de ahorro energético, gastos de funcionamiento reducidos, los excelentes rendimientos depurativos y el bajo impacto ambiental se considera aconsejable su aplicación especialmente en los países en vías de desarrollo.

Las fitodepuración pueden ser clasificadas en dos grandes grupos según el tipo de especie vegetal que se utiliza: sistemas con macrofitas flotantes y sistemas con macrofitas arraigadas; estos últimos pueden ser divididos en función de los flujos hidráulicos en:

- ❖ **Sistemas con macrofitas sumergidas**
- ❖ **Sistemas con macrofitas emergentes**
  - con flujo sub-superficial (**SFS**)
    - horizontal (**SFS-h**)
    - vertical (**SFS-v**)
  - con flujo libre (**FWS**)

Las tipologías de plantas más aplicadas en Italia y Europa son aquellas con macrofitas arraigadas emergente, particularmente las a flujo sub-superficiales a flujo horizontal como hacen ver las porcentajes de la Figura 3.

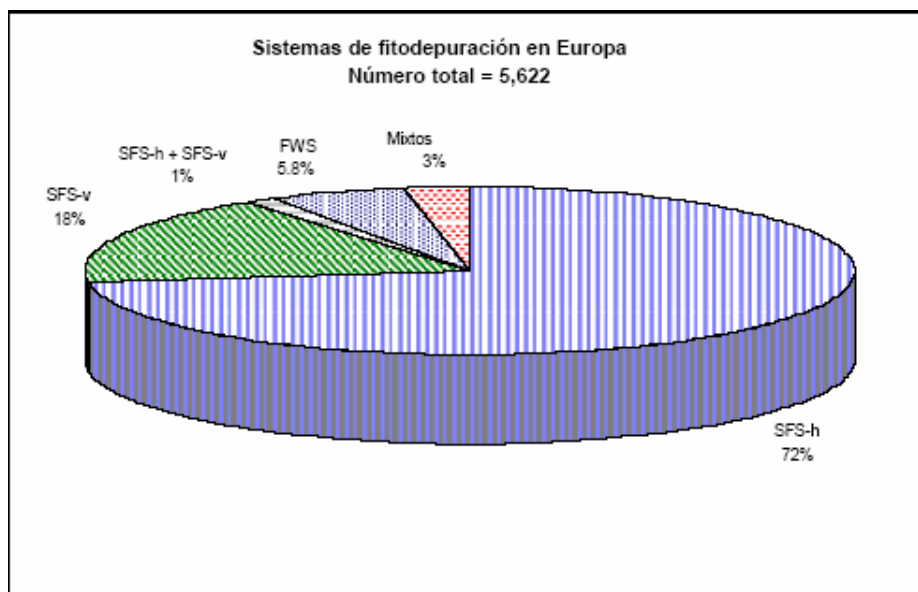


Figura 3 - Distribución en porcentaje de las distintas tipologías de sistema (1998)

La elección del sistema a utilizar, en el contexto de la depuración natural, para el tratamiento secundario de las aguas residuales contaminadas depende de los siguientes factores:

- Naturaleza de las aguas residuales a tratar en términos químicos-físicos
- Objetivos de depuración establecidos
- Disponibilidad del suelo
- Inserción ambiental
- Simplicidad constructiva
- Gastos de realización
- Reutilizo

Con respecto a los sistemas convencionales presentan las ventajas indicadas en la siguiente tabla:

ELEMENTOS DE COMPARACIÓN	SISTEMAS NATURALES	SISTEMAS CONVENCIONALES
<i>Simplicidad en al construcción</i>	+++	--
<i>Consumos energéticos</i>	+++	---
<i>Inserción ambiental</i>	+++	---
<i>Controles analíticos</i>	+	-
<i>Simplicidad de gestión y manutención</i>	++	---
<i>Gastos de gestión</i>	+++	--
<i>Abatimiento de la DBO, DQO, MSS y carga bacteriana</i>		
<i>Area ocupada</i>	---	+
<i>Regulación del proceso</i>	---	++
<i>Gastos de inversión</i>		
<i>Remoción de los nutrientes</i>		++(con terciario)
<i>Alcance de las condiciones de funcionamiento a régimen</i>	-	++
<i>Efectividad en los meses invernales</i>	-	+

Tabla 5 - Comparación entre los sistemas de depuración tradicionales y los naturales

En los siguientes párrafos serán descritas en términos generales las tipologías de sistemas más aplicadas en Italia y en Europa.

### 3.1.1 Sistema de tratamiento secundario: SFS-h Subsurface Flow System – horizontal

Los sistemas sub-superficiales a flujo horizontal son constituidos por fosas cuyo fondo esta debidamente impermeabilizado para prevenir las pérdidas de aguas residuales en el suelo subyacente (generalmente se utiliza una capa de arcilla si se dan las condiciones hidrogeológicas apropiadas, pero más a menudo se utilizan membranas sintéticas hecha por PEAD de 2 mm de grosor).

El interior de tales fosas es llenado con material árido con granulometría selecta con el propósito de garantizar una conductibilidad hidráulica apropiada: los más usados son arena, grava y escombros; el material del llenado constituye el soporte para las especies vegetales que allí desarrollan sus raíces.

La circulación del agua funciona a pistón con alimentación continua y está constantemente garantizado bajo la superficie de la bandeja absorbente, fluyendo en el sentido horizontal gracias a la pendiente del fondo de la cama realizado con una capa de arena subyacente al manto impermeabilizante.

El régimen hidráulico en estos sistemas es definido por a la ley de Darcy que regula la circulación del agua basándose en la conductibilidad hidráulica del medio y al gradiente hidráulico del sistema; la velocidad del flujo es función de la inclinación, mientras que el nivel hidráulico resulta ser controlado por la posición de los tubos en la entrada y en la salida.

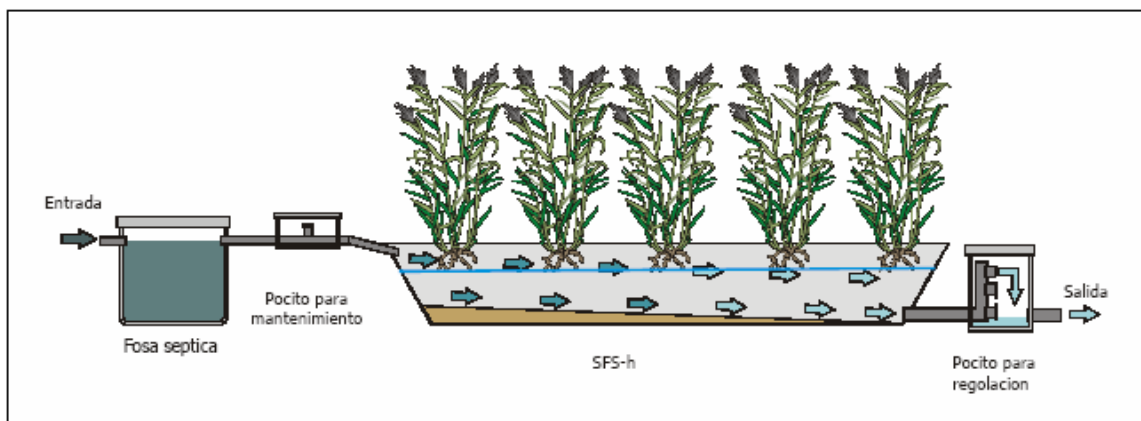


Figura 4 – Esquema de los sistemas subsuperficiales a flujo horizontal

El factor fundamental, que gobierna la actividad depurativa del sistema, es representado por las plantas, entre las cuales resultan más adecuadas y eficaces las *Phragmites australis*.

Tal contribución consiste por un lado en el desarrollo de una eficiente población microbiana aeróbica en las más cercanas a las raíces de las plantas y por otro lado por la acción de bombeo de oxígeno atmosférico de la parte externa de la vegetación; con la ventaja de una mejor oxigenación del líquido y la creación de zonas aeróbicas alternadas a zonas anaeróbicas con el consiguiente desarrollo de las correspondientes bacterias especializadas y la desaparición casi total de los patógenos que no pueden sobrevivir a los rápidos cambios en la concentración del oxígeno disuelto.



Durante el pasaje de las aguas entre las raíces los principales procesos depurativos son:

- La descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos
- La reducción a nitritos, si hay bastante sustancia orgánica
- El absorbimiento sobre el material de llenado del fósforo y de los metales pesados

### 3.1.2 Sistema de tratamiento secundario: SFS-v Subsurface Flow System – vertical

Constructivamente tales tipos de sistemas son muy similares a éstos a flujo horizontal, pero los diferencia de los anteriores la dirección del flujo del agua: el lodo es metido al interior de la fosa con alternancia muy precisa para admitir el desecamiento del sustrato superficial, mientras que la parte húmeda, drena verticalmente en el medio de llenado y es lanzado en las fosas hasta el llenado completo de las mismas, con recarga alterna discontinua con el propósito de que la fase de vaciamiento de una fosa coincida con la fase de llenado de la otra.

Esta metodología con flujo intermitente (reactores batch) requiere por lo tanto un mínimo de dos fosas paralelas con el propósito de regular los periodos de re-oxigenación de la cama con relación a la variación de la frecuencia y de la carga de sustancia orgánica en la entrada.

La característica peculiar de estos sistemas es una mejor y más rápida difusión del oxígeno en el sistema filtrante y la capacidad de alternar los períodos en que las condiciones son predominantemente aeróbicas con otros principalmente anaeróbicos.

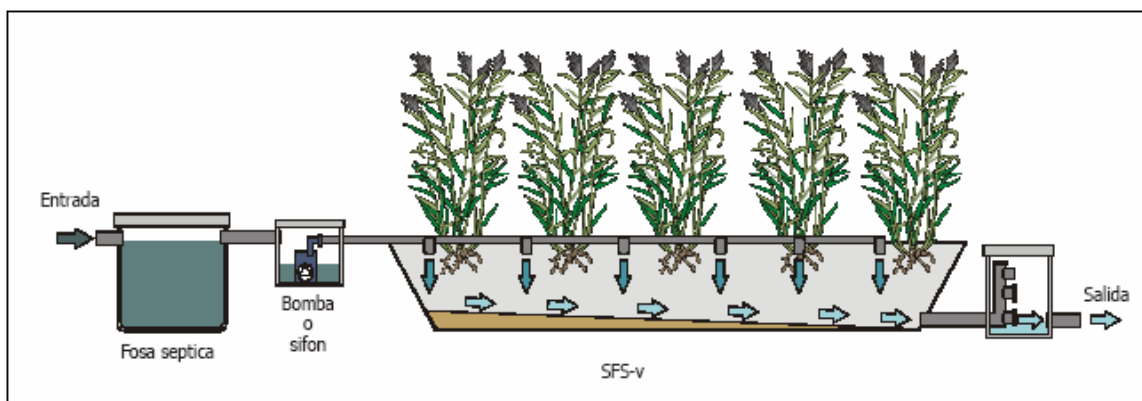


Figura 5 – Esquema de los sistemas subsuperficiales a flujo vertical

Tales condiciones, junto a una reducción de la velocidad del flujo provocada por la capa superficial de arena que favorece sea la desnitrificación que la absorción del fósforo por parte de la masa filtrante, permiten rendimientos notables relativamente a la reducción de nitrógeno y el fósforo.

Las especies vegetales empleadas son las mismas de los sistemas con flujo horizontal.

Los lodos podrán ser removidos una vez desecado y luego ser empacado y vendido como abono orgánico.

Las camas que funcionan con este criterio tienen que tener bordes muy altos para que el sistema se llene de aguas sin permitir que la misma salga de su lugar.

### 3.1.3 Sistema de tratamiento secundario: FWS Free Water System

Los sistemas con flujo libre generalmente son constituidos por canales o embalses, cuyo fondo impermeable es recubierto por una capa inorgánica de grosor escaso (20-30 cm) sobre cuál crece la vegetación; estos materiales de llenado consisten en grava piedras pequeñas o arena.

Los FWS en general son aislados del sistema ambiental circundante a través de oportunas vainas de plástico impermeables o por arcilla. Las especies vegetales comúnmente usadas son éstas que viven en las zonas húmedas naturales como por ejemplo Phragmites, Typha, Scirpus, Iris, Juncus, Nymphaea, Botulus, Ranunculus, Carex, etc.

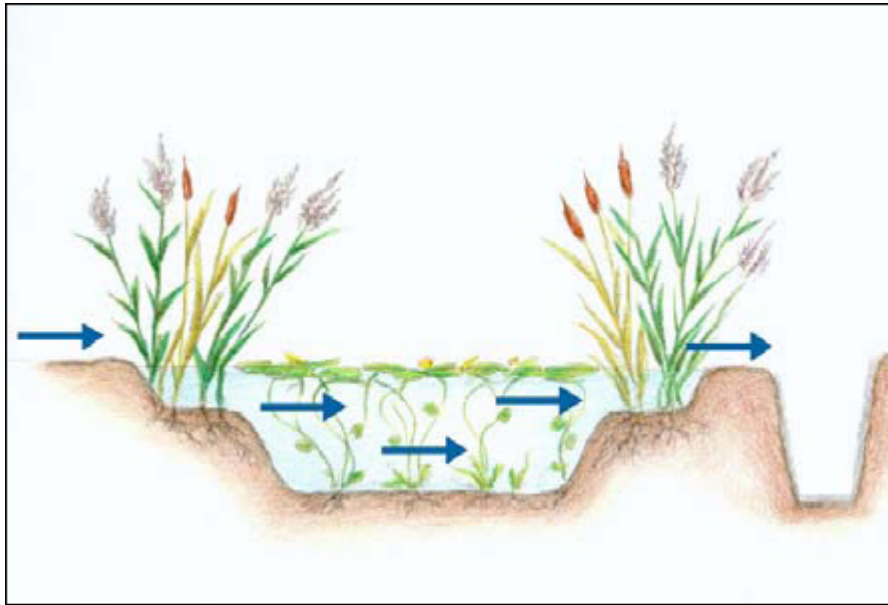


Figura 6 – Esquema de los sistemas subsuperficiales a flujo libre

En la elección y en la distribución de las especies vegetales dentro del FWS se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- La distribución geográfica, prefiriendo especies vegetales autóctonas o espontáneas de la zona;
- Características del hábitat (la profundidad del agua, la exposición a la radiación solar, etcétera)
- Características funcionales (oxigenantes, nitrófilas, etcétera)
- Objetivos de depuración
- Características decorativas
- Gastos de compra y de colocación

En estos sistemas, los mecanismos de abatimiento reproducen exactamente todos los factores que juegan un papel fundamental en la capacidad autodepurativa de las zonas húmedas naturales; la acción de los microorganismos adheridos a las partes sumergidas de la vegetación condiciona la remoción de la DBO y de los nutrientes. Para tales

reacciones, la transmisión a través de la superficie del agua y el transporte de oxígeno desde las hojas hacia las raíces representan las principales fuentes de oxígeno.

### 3.2 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA FITODEPURACIÓN

En Italia y en Europa, tomando en cuenta las leyes vigentes, la fitodepuración constituye una solución ideal para satisfacer la necesidad por un lado de garantizar una cobertura más amplia del servicio de depuración, por otro de adecuar las plantas existentes para el logro de los nuevos objetivos de calidad a través de sistemas que no requieran inversiones y gastos de gestión elevados.

En esta perspectiva, los sistemas de depuración natural, tanto para el tratamiento secundario que terciario (afinación) de las aguas residuales, representan validas soluciones técnicas capaces de excelentes rendimientos depurativos (sobre todo para parámetros como DQO, DBO, los sólidos suspendidos y sedimentables, nitrógeno y la carga microbiana) con un impacto ambiental y un consumo energético decididamente reducidos en comparación a otros sistemas de depuración.

Además, los sistemas de depuración naturales de las aguas residuales pueden ser utilizados para tratar tipologías de desechos líquidos muy diversificadas, como es posible observar en la siguiente tabla:

<b>Tipología de agua residual</b>	
<b>TRATAMIENTOS SECUNDARIOS Y TRATAMIENTOS TERCIARIOS</b>	Descargas civiles Descargas mixtas Descargas industriales Lixiviado de un relleno sanitario

Tabla 6. Aplicación de la fitodepuración

Los tratamientos terciarios son aplicados a las aguas residuales, anteriormente tratadas con plantas de tipo químico-físicas y/o planta a oxidación (plantas a lodos activos, plantas a biomasa adheridas), cuyas características no satisfacen los límites impuestos por las normas nacionales o europea. Sus principales objetivos:

- Abatimiento del fósforo
- Abatimiento del nitrógeno
- Abatimiento de los metales pesados
- Abatimiento de sustancias orgánicas que necesitan tiempos de biodegradabilidad lentos y entonces mayores tiempos de retención
- Asegurar una acción tampón para eventuales malfuncionamientos de las plantas convencionales
- Afinación de la calidad microbiológica y química de las aguas

Si luego se toman en cuenta las reales dificultades, operativas y gestionales, de los sistemas "tradicionales" de depuración debidas a las variaciones, a menudo notables, en las cargas hidráulicas y orgánicas que ocurren durante los períodos de intensas

precipitaciones y de mayor flujo turístico, se comprenderá como los tratamientos terciarios pueden representar una papel de zonas tapónes capaces de minimizar (amortiguar) los efectos negativos (reducción de la efectividad depurativa) producidos por estos factores.

### **3.3 CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS**

Los costos manejados se refieren a los materiales para la realización de la obra. No están incluidos los gastos de alquiler de la maquinaria necesaria para la ejecución de las obras (excavadoras, grúas etc.), la mano de obra, los dispositivos de seguridad, los gastos generales.

Algunos precios de materiales han sido obtenidos directamente de entes locales cubanos, mientras otros, mediante la extrapolación basada en el análisis de los costos de instalaciones ya realizadas en América Central.

#### **Materiales inertes:**

La voz comprende el la grava y las arenas necesarias para la realización de una instalación de fitodepuración. En particular se considera un costo de la grava fina utilizada en los sistemas SFS-h di 8,80 USD/mc, para la grava más gruesa un costo de 6,6 USD/mc mientras para la arena utilizada en los verticales se evalúa el mismo costo de la grava fina (no teniendo a disposición otros precios). Tales costos no comprenden el precio del transporte del material a la obra.

#### **Materiales de construcción:**

La voz comprende el material de construcción necesario para la realización de todas las obras previstas en cemento y/o hormigón armado (caja de alimentación, caja de de registro y regulación de nivel, tratamientos primarios, etc.). Como se ha verificado que el costo del cemento es comparable al costo italiano, se han utilizado los costos medios de las obras deducidos de los índices de precios italianos, y sobre éstos se ha obtenido el porcentaje de material necesario (cal, hierro para las armaduras, etc.)

#### **Geomembrana y geotextiles:**

En esta voz está comprendido el costo de una geomembrana (tela) impermeabilizante en PVC (14,97 USD/mq) y del geotextil tejido no tejido necesario para proteger la membrana (1,17 USD/mq).

#### **Materiales hidráulicos:**

En esta voz están comprendidas las tuberías necesarias para la realización sea de las conexiones que de los sistemas de entrada y salida de las aguas residuales en los fosas. El precio utilizado como referencia es de 14,97 USD/metro linear para una tubería en Pead DN160: sobre la base de tal precio se extrapolaron los precios para los acordamientos, el corrugado de los drenajes y los otros diámetros utilizados. No disponiendo de los relieves de las áreas de instalación se ha considerado aproximadamente para la conexión 100-150 metros de lineares de tuberías necesarias para las conexiones hidráulicas.

En lo que respecta a la alimentación de los sistemas SFS-y no se ha considerado la utilización de bombas, sino de particulares sifones en PEAD producidos en Francia y que se pueden enviar con facilidad a Cuba, cuyo costo es de 2800 USD cada uno (comprendidos los gastos de envío). Las posibilidades de uso de tales sifones es de todas maneras acorde a las cuotas del terreno y puede ser establecida solo en una etapa de

formulación del proyecto avanzada: la alternativa es el uso de bombas sumergibles para aguas negras (cuya disponibilidad y costos deben ser aún verificadas).

En los cálculos no resultan aún comprendidos los costos de las esencias vegetales necesarias para la realización de la instalación: las cantidades necesarias son de todas maneras fáciles de deducir de las superficies útiles necesarias, en cuanto vienen generalmente dispuestas 4 plantas al metro cuadrado.

Finalmente, los costos son expresados en Euros (€), considerando un índice de cambio con el Dólar Americano (USD) de 1,30 (1 Euro = 1,30 USD).

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS INVESTIGADAS Y HIPÓTESIS DE PROYECTO

Han sido efectuados estudios a fin de verificar si existen las condiciones apropiadas para la aplicación de la tecnología propuesta. En la siguiente tabla se expresa una síntesis de los resultados de las investigaciones realizadas en la Provincia di Guantánamo.

Municipio	Instalación	Tipo de tratamiento			Estado constructivo	Funcionalidad
		Fosa	Tanque	Laguna estab		
El Salvador	Hospital "Rafael López Fonseca"	Si				
	ESBEC "Juan Amejeiras"			Si	Malo	No
	Asentamiento "Bayate Abajo"		Si		Malo	No
Guantánamo	Complejo Alimenticio (Bebidas y Galletas)			Si	Malo	No
	Asentamiento Isleta		Si		Regular	No
	Primero de Mayo 1		Si		Malo	No
	Primero de Mayo 2		Si		Regular	No
	Barrio Militar		Si		Malo	No
	Los Cocos 1		Si		Malo	No
	Los Cocos 2		Si		Regular	No
	Academia de Instructores de Artes Plasticas		Si		Bueno	No

Tabla 7 – Síntesis de los datos recogidos en los relevamientos.

Los datos sobre los usuarios han sido otorgados por los entes locales, mientras los datos sobre el consumo hídrico por la SANITEC (Appropriate Technology Centre for Sanitation).

#### 4.1 HOSPITAL RURAL RAFAEL TEOPE FONSECA

##### 4.1.1 Descripción de la situación actual

Dicho hospital se encuentra situado en la Comunidad de Bayate, Municipio de El Salvador.

El centro hospitalario está dotado de provisión hídrico potable del acueducto.

Actualmente las aguas residuales son eliminadas a través de una red de alcantarillado que las colectan a tres distinguidas fosas sépticas y de allí, con las tuberías, diseminados en suelo.



Figura 7 – Fosas existente

Sea las fosas que el alcantarillado resultan en malas condiciones, con tubos rotos y tapados en varios puntos. Esto determina una presencia de aguas residuales en superficie (por afloración del terreno y escurrimiento) con la consiguiente contaminación del ambiente cercano. En particular, siendo las aguas residuales de origen civil, pero con potencial contenido de una carga microbiológica patógena, el estado crítico higiénico-sanitario es particularmente significativo.



Figura 8 – Tubo particular que alimenta la fosa séptica

### 4.1.2 Análisis de los usuarios

El hospital posee 20 camas de las cuales solamente 10 son utilizadas. Además, diariamente se presenta una afluencia de 90 usuarios, de los cuales 20 como personal médico o para-médico, y unos 70 pacientes en los consultorios. Cruenta con algunas salas para el personal médico, pero actualmente no son utilizadas por su mal estado.

HOSPITAL	n°	gDBO <sub>5</sub> /dia	l/dia	gDBO <sub>5</sub> /dia	m <sup>3</sup> /dia	mg DBO <sub>5</sub> /l
n°tamas	20	160	400	3200	8	400
n°medicos	20	20	50	400	1	400
n° personas para ambulatorio x dia	70	20	50	1400	3,5	400
apartamentos	4	120	200	480	0,8	600
				5480	13,5	410

Tabla 8 – Análisis de los usuarios del Hospital rural

### 4.1.3 Propuesta de Proyecto

Proponemos dos hipótesis de proyecto, en ambas aparece prevista la centralización del sistema depurativo, y por lo tanto la recolección de las aguas residuales en una única fosa séptica y, posteriormente, un tratamiento de oxidación mediante un sistema natural:

1. HIPÓTESIS 1 – sistema de tratamiento primario seguido de un sistema de flujo sumergido horizontal (SFS-h);
2. HIPÓTESIS 2 – sistema de tratamiento primario seguido de un sistema “multi-estado” formado por un sistema de flujo sumergido horizontal (SFS-h) seguido de uno a flujo sumergido vertical (SFS-v).

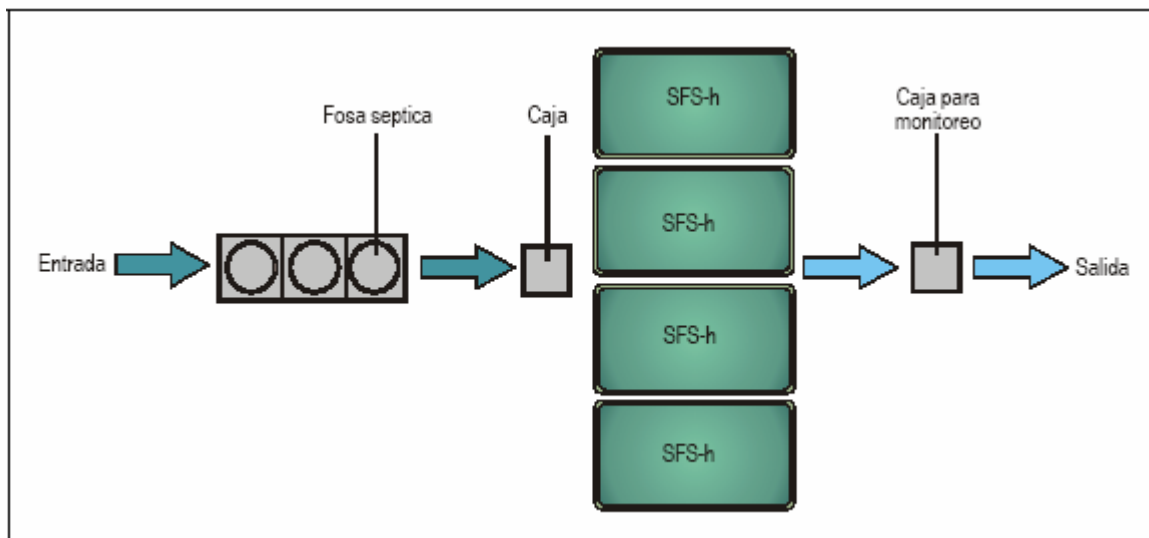


Figura 9–Esquema de bloques del sistema depurativo previsto para el Hospital rural: hipótesis1



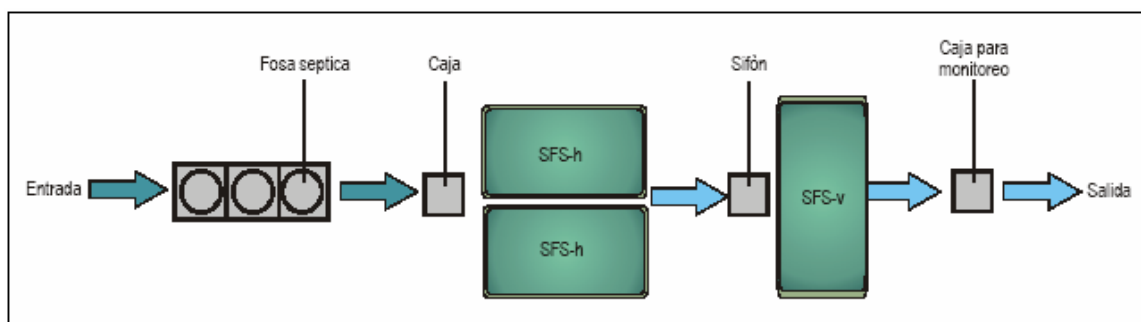


Figura10–Esquema de bloques del sistema depurativo previsto para el Hospital rural: hipótesis 1

En la siguiente tabla aparecen los datos del proyecto y los restos depurativos previstos en las dos hipótesis.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>hipótesis 1</b>	<b>hipótesis 2</b>
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	130	130
Caudal promedio	m <sup>3</sup> /día	13.5	13.5
<b>Esquema</b>			
Fosa séptica	m <sup>3</sup>	19	19
SFS-h	m <sup>2</sup>	600	
SFS-h + SFS-v	m <sup>2</sup>		210+180
<b>Entrada</b>			
DBO <sub>5</sub>	mg/l	400	400
N total	mg/l	70	70
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>
<b>Salida</b>			
DBO <sub>5</sub>	mg/l	5	5
N – NH <sub>4</sub>	mg/l	30	5
N total	mg/l	32	22
Escherichia Coli	UFC/100ml	10-10 <sup>2</sup>	10-10 <sup>2</sup>

Tabla 9 – Datos de residuos depurativos

El área idónea para la realización del sistema de depuración natural ha sido individuada en las proximidades del Hospital (Figura 11); dicha área resulta de propiedad del mismo Hospital.



Figura 11 – Área idónea para la ubicación del sistema depurativo.

El cuerpo receptor final es un río que atraviesa el área bajo la instalación, del cual al momento no tenemos conocimiento de su exacta clasificación.

En este caso sería interesante efectuar el monitoreo, no solo de los parámetros estándar, sino también de algunos patógenos como por ejemplo la Salmonella spp.

Los costos de la realización de las dos hipótesis de proyecto son expresados en las siguientes tablas:

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 3.474,09
Materiales de construcción	€ 2.773,14
Geomembrana y geotextiles	€ 12.163,85
materiales hidráulicos	€ 5.012,46
	<b>€ 23.423,54</b>

Tabla 10 – Costos para la realización de la hipótesis 1

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 2.379,98
Materiales de construcción	€ 2.669,85
Geomembrana y geotextiles	€ 7.663,22
materiales hidráulicos	€ 8.931,36
	<b>€ 21.644,41</b>

Tabla 11 – Costos para la realización de la hipótesis 2

Consideramos ambas hipótesis válidas: en particular, las dos garantizan una elevada disminución del contenido bacétrico y patógeno presente. La segunda solución necesita mucho menos espacio en cuanto la combinación de las dos técnicas (sistema de flujo horizontal seguido de aquél de uso vertical) es mucho más eficaz en la disminución del contenido microbiológico respecto al sistema de flujo sumergido horizontal solamente (el cual, para obtener un índice elevado de disminución requiere tiempos de retención mayores

y de consecuencia, superficies más grandes). La utilización de sistemas de flujo sumergido vertical necesita sin embargo el uso de sifones, o en el caso que los gradientes hidráulicos no fueran suficientes, de sistemas de bombeo: tenemos entonces, a menor superficie y menor costo, una complicación en las instalaciones ligeramente mayor.

La elección definitiva será efectuada en una fase de formulación del proyecto avanzada con instrumentos técnicos básicos más avanzados (relieve topográfico, relación geológica, etc.)

## **4.2 ESCUELA ESBEC “JUAN AMEJEIRA”**

### **4.2.1 Descripción de la situación actual**

La Escuela se encuentra situada en la Comunidad de Bayate, Municipio de El Salvador.



Figura 12 – Vista de la escuela con caja en primer plano.

Actualmente, para el abastecimiento del agua potable, la escuela se sirve del acueducto y de un pozo del cual no se conoce la calidad de las aguas.

Las aguas residuales son canalizadas a través de una red de alcantarillado que confluye en varias cajas, obstruidas y en malas condiciones, (Figura 13 y Figura 14) para después alcanzar, a través de un colector final (Figura 15 y Figura 16), una laguna (Figura 17). Esta última, construida hace unos 25 años, funciona poco y con poca agua en cuanto la alimentación está comprometida por un sistema de alcantarillado obsoleto, con tuberías y cámaras completamente obstruidos y rotos (Figura 16). En particular la rotura del colector final, en pleno campo, crea un escurrimiento superficial, conduciendo las aguas a una zona cercana cultivada y, sucesivamente a unas pocas decenas de metros, a un pequeño lago utilizado para el abastecimiento de uso agrícola y actividades lúdicas.



Figura 13 –Vista de la caja



Figura 14 – Detalle de las caja



Figura 15 – Colector final con caja



Figura 16 – Detalle colector final.



Figura 17 – Vista general de la laguna existente

El impacto higiénico-sanitario es muy fuerte, ya que se ve agravado por la presencia de alumnos que juegan en esa área.

#### 4.2.2 Análisis de los usuarios

Actualmente la escuela cuenta con un total de 612 alumnos y 123 personas entre docentes y personal administrativo.

Los niños están presentes 24 días en un mes, excluyendo los meses de julio y agosto, cuando tienen lugar las vacaciones; en estos meses en la escuela permanece igualmente el personal.

escuela	n°	gDBO <sub>5</sub> /día	l/día	gDBO <sub>5</sub> /día	m <sup>3</sup> /día	mg DBO <sub>5</sub> /l
n°estudiantes	612	20	40	12240	24,48	500
docentes	114	20	40	2280	4,56	500
administración	9	20	40	180	0,36	500
				14700	29,4	500

Tabla 12 – Análisis de los usuarios de la escuela.

#### 4.2.3 Propuesta de Proyecto

En este caso, teniendo en cuenta la situación actual, es necesario reparar el último tramo del alcantarillado, insertar un apropiado tratamiento primario (fosa séptica) y un sistema secundario mayormente oxidante respecto al existente.

En efecto, se prevé de dismantelar totalmente la laguna y realizar un sistema a flujo sumergido horizontal según el esquema de máxima de la Figura 18.

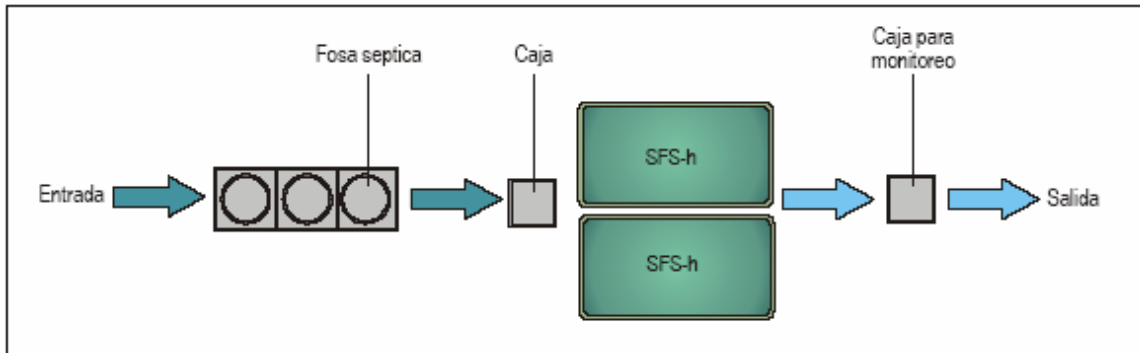


Figura 18 – Esquema de máxima del sistema depurativo al servicio de la escuela.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	245
Caudal medio	m <sup>3</sup> /día	29.5
<b>Esquema</b>		
Fosa séptica	m <sup>3</sup>	40
SFS-H	m <sup>2</sup>	450
<b>Entrada</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	500
N total	mg/l	70
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>6</sup>
<b>Salida</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	6
N – NH <sub>4</sub>	mg/l	30
N total	mg/l	32
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>3</sup>

Tabla 13 – Datos del proyecto y restos depurativos.

Encontrándose en una situación rural con una morfología óptima, no existen dificultades para encontrar áreas adecuadas para la realización del sistema propuesto. El sistema podría ser realizado también en el área de la laguna misma, lo que permitiría por un lado el saneamiento del área, y por otro una optimización de los costos (movimientos de tierra menores). Tal hipótesis deberá ser verificada en la etapa de formulación ejecutiva del proyecto.

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 2.672,29
Materiales de construcción	€ 3.685,98
Geomembrana y geotextiles	€ 8.676,88
materiales hidráulicos	€ 3.341,83
	<b>€ 18.376,97</b>

Tabla 14–Costos de máxima para la realización del sistema depurativo al servicio de la escuela.

### 4.3 COMUNIDAD BAYATE ABAJO

#### 4.3.1 Descripción de la situación actual

Esta comunidad se encuentra en el Municipio de El Salvador.

Actualmente las aguas residuales se recogen a través de una red de alcantarillado que confluye, a través de un colector final superficial (Figura 20) a una fosa séptica (Figura 21) que, por el momento no está en uso, ya que el colector, colocado superficialmente, rebosa en el canal adyacente (Figura 19) que a 200m se introduce en un cuerpo hídrico superficial. También aquí el impacto higiénico-sanitario es elevado, en particular los niños y los animales domésticos corren el riesgo de ser contaminados por las aguas negras.



Figura 19 – Vista general del colector final.





Figura 20 – Colector final.



Figura 21 – Tratamiento primario existente

### 4.3.2 Análisis de los usuarios

En esta comunidad viven 370 habitantes residentes.

	n°	gDBO <sub>5</sub> /día	l/día	gDBO <sub>5</sub> /día	m <sup>3</sup> /día	mg DBO <sub>5</sub> /l
n° habitantes	370	60	150	22200	55,5	400

Tabla 15 – Análisis de los usuarios de la comunidad de Bayate Abajo

### 4.3.3 Propuesta de Proyecto

En este caso la idea de proyecto prevé la instalación de un nuevo tratamiento primario seguido de un sistema a flujo sumergido horizontal. El área a disposición es muy estrecha a causa de una faja de respeto del río, que es necesario dejar por probables crecidas.

En etapa de formulación ejecutiva del proyecto se aconseja una atenta investigación hidráulica sobre el río, a fin de verificar la extensión y la frecuencia de las crecidas. Además la morfología del área pone en evidencia una suave pendiente entre la zona donde está ubicado el sistema primario existente y el área individuada para la ubicación del sistema de fitodepuración, por lo tanto se prevé la necesidad de una alimentación mediante un sistema de bombeo.

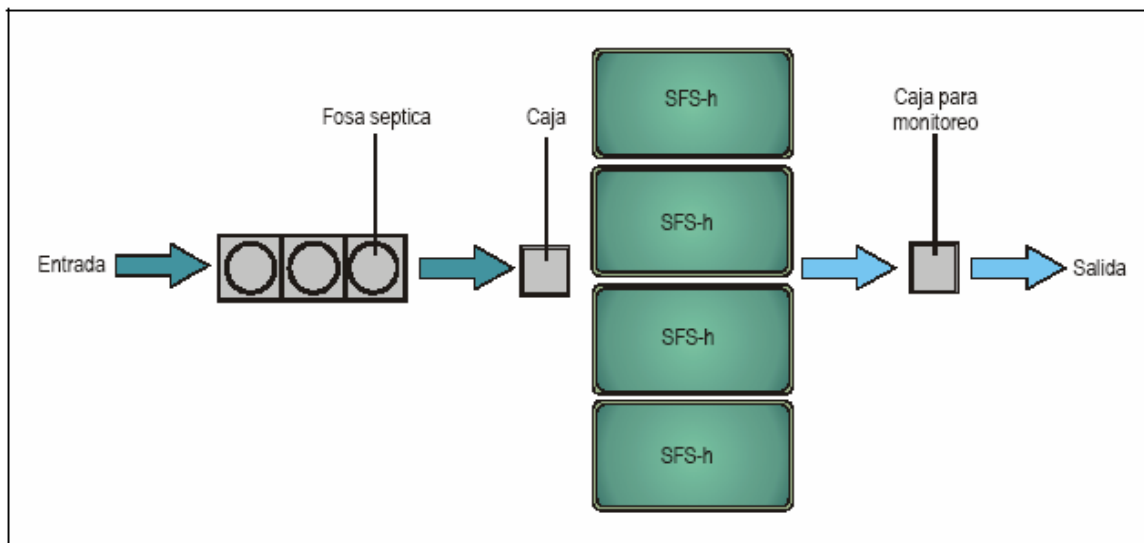


Figura 22 – Esquema de máxima del sistema depurativo al servicio de la comunidad de Bayate Abajo

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	370
Caudal medio	m <sup>3</sup> /día	55
<b>Esquema</b>		
Fosa séptica	m <sup>3</sup>	60
SFS-h	m <sup>2</sup>	900
<b>Entrada</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	380
N total	mg/l	70
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>6</sup>
<b>Salida</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	6
N – NH <sub>4</sub>	mg/l	30
N total	mg/l	31
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>3</sup>

Tabla 16 – Datos del proyecto y restos depurativos.

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 5.275,35
Materiales de construcción	€ 5.347,14
Geomembrana y geotextiles	€ 17.353,75
materiales hidráulicos	€ 5.671,56
	<b>€ 33.647,81</b>

Tabla 17 – Costos para la realización del sistema depurativo al servicio de Bayate Abajo

#### 4.4 COMPLEJO ALIMENTICIO (BEBIDAS Y GALLETAS)

##### 4.4.1 Descripción de la situación actual

La Empresa Bebidas y Refrescos Guantánamo y 4 de sus establecimientos (Taller automotriz, fábrica de: Refresco y Sirope, Fábrica de Hielo y, Embotelladora de Cerveza) se encuentra ubicada en la calle 17 Sur N 4 y 5 Oeste, s/n. A continuación, en la propia calle 17 Sur, existe un establecimiento de la Empresa Provincial de Alimentos, la fábrica de Galletas y Barquillos; ambos centros canalizan sus residuales a través de la misma conductora. El compósito, en cuanto a sustancias, está formado por restos de materiales de limpieza, azúcares, sales, carbohidratos, entre otros y su caracterización físico – química realizada por el laboratorio de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de la provincia, arrojó los siguientes resultados:

Determinaciones	U/M	Resultados
D. Bioquímica de Oxígeno	mg/l	74
Sólidos Totales	mg/l	51,7
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	0,8
Sólidos suspendidos Totales	mg/l	50,90
Sólidos Sedimentables	mg/l	0.3
PH	U	8,59
Amoníaco	mg/l	0,068
Nitritos	mg/l	93,82
Nitratos	mg/l	2,365
Coli Total	/100 ml	2400
Coli Fecal	/100 ml	33
Oxígeno Disuelto	mg/l	0
Conductividad Eléctrica	uS/cm	9032

Tabla 18 – Análisis de las aguas residuales del Complejo Alimenticio

El conjunto de instalaciones de ambas Empresas generan un volumen estimado de agua residual de 17,8 m<sup>3</sup>/h, y se labora, aproximadamente, 10 horas al día, por lo cual se puede considerar que hacia el punto de tratamiento se aportan unos 180 m<sup>3</sup>/día.

Con anterioridad este flujo era tratado en una laguna de estabilización que perdió su valor de uso, la misma se encuentra obstruida totalmente, en su interior presenta lodo y abundante vegetación, razón por la cual actualmente no se realiza ningún tipo de tratamiento al residual (Figura 23 y Figura 24).



Figura 23 – Vista general de la laguna existente.



Figura 24 – Detalle de la laguna existente: entrada de los residuales



Figura 25 – Caja final que rebosa los residuales en la laguna

Además, actualmente el colector final está roto (Figura 26) y el agua residual es desviada en un canal adyacente y utilizada en agricultura da la población rural que vivo en la zona.



Figura 26 – Colector final existente

En la zona, alrededor del área de la laguna, se ha creado paulatinamente un asentamiento poblacional que hoy está formado por 23 núcleos familiares.

Total de personas	59
Total de niños	10
Total de ancianos	1
Total de retrasados mentales	2
Total de hombres	30
Total de mujeres	16

La principal actividad de estos grupos es el trabajo agrícola, entre los productos que cosechan se encuentran:

Plátano burro	Ñame	Yuca
Plátano vianda	Pepino	Árboles frutales
Habichuela	Maní	Verduras
Quimbombó	Maíz	



Figura 27 – Vista de los sembrados

Las aguas residuales no depurada, utilizada para regar los sembrados, comporta un peligro para la salud de los consumidores.

Además, dicha agua y su carga contaminante, engordan la carga total del Río Guaso, punto final de vertimiento.

#### 4.4.2 Propuesta de Proyecto

Sobre la base de múltiples experiencias italianas, la aplicación de los sistemas de depuración natural a las aguas residuales con alto contenido orgánico, provenientes de industrias agroalimentarias, resulta particularmente eficaz en la eliminación de los principales parámetros de contaminación. A título informativo se expresan, en las siguientes tablas, algunos datos extraídos del Convenio Internacional “*La Fitodepurazione: applicazioni e prospettive*”, desarrollado en Volterra (Provincia de Pisa) en Junio del 2003.

Parametro	U.M.	INGRESSO SFS-H	USCITA SFS-H	USCITA FWS	n° analisi
pH		6.1	6.9	7.4	4
TSS	mg/L	213	13	23	5
COD	mg/L O <sub>2</sub>	3906	131	84	10
BOD <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	1833	49	24	9
Azoto totale	mg/L N	18,9	4,8	3,5	6
Fósforo totale	mg/L P	4.7	1.5	1,3	6

Tabla 19 – Valores medios de las concentraciones de los principales agentes de contaminación observados en ingreso y salida de varios puntos de la instalación de la Casa Vinicola Cecchi

Parametro	U.M.	INGR. VF	USCITA VF	USCITA SFS-H	USCITA FWS	n° analisi
pH		6.4	-	-	7.5	10
TSS	mg/L	103	42	24	25	10
COD	mg/L O <sub>2</sub>	1003	690	431	79	10
BOD <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	425	337	286	29	10
Azoto ammon.	mg/L N	26,6	8,7	4,7	2,6	10
Fosforo totale	mg/L P	1,92	0,48	0,30	0,12	10

Tabla 20 – Valores medios de las concentraciones de los principales agentes de contaminación observados en ingreso y salida de varios puntos de la instalación del Establecimiento Vitivinicola Tenuta dell’Ornellaia

El problema de la depuración del residual de elevada carga orgánica y con carga hidráulico variable representa un problema en todo el mundo; efectivamente los sistemas de tipo tradicional no dan a menudo buenos resultados respecto a los altos costos de su gestión.

Los sistemas de fitodepuración representan una válida solución como instalaciones, aunque todavía no completamente comprobados para esta tipología de residuales. Tales sistemas permiten un nivel depurativo tal, de hacer los residuales compatibles con la reutilización de las aguas para el riego.

Por lo tanto, consideramos interesante realizar un sistema piloto que trate solo una pequeña parte del residual (15 m<sup>3</sup>), monitorear por un año aproximadamente el sistema, y posteriormente realizar una instalación en escala real, dimensionado sobre los datos empíricos obtenidos.

El objetivo final debería ser la reutilización de las aguas por parte de las comunidades rurales que viven junto al complejo alimenticio y que actualmente aprovechan las aguas residuales no tratadas como única fuente de abastecimiento para el riego. En tal modo se obtendrían dos resultados: uno de tipo ambiental y otro de tipo social.

Preveamos entonces un sistema piloto por un tratamiento primario, seguido de un primer estado a flujo sumergido horizontal y un tratamiento terciario final mediante un sistema a flujo libre (Figura 28).

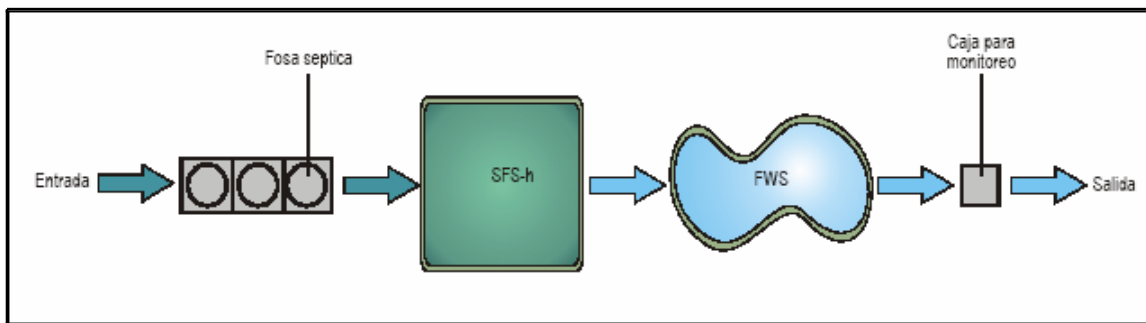


Figura 28 – Esquema del sistema piloto.

Los datos, sobre las características químico-físicas del residual a nuestra disposición, son insuficientes para hacer previsiones atendibles sobre las posibilidades rendimientos depurativos.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	115
Caudal medio	m <sup>3</sup> /dia	15
<b>Esquema</b>		
Fosa séptica	m <sup>3</sup>	15
SFS-h	m <sup>2</sup>	300
FWS	m <sup>2</sup>	100

Tabla 21 – Datos del proyecto del Complejo Alimenticio

Los costos de la realización del sistema piloto son expresados en las siguientes Tabla:

<b>Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 1.973,42
Materiales de construcción	€ 2.333,98
Geomembrana y geotextiles	€ 8.447,12
materiales hidráulicos	€ 3.048,76
	<b>€ 15.803,27</b>

Tabla 22 – Costos para la realización del sistema piloto al servicio del Complejo Alimenticio



La área idónea para la realización del sistema de depuración natural ha sido individuada cerca del Complejo Alimenticio (Figura 29).



Figura 29 – Área para la realización del sistema de depuración

## 4.5 COMUNIDADES DE LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO

### 4.5.1 Descripción de la situación actual

La ciudad de Guantánamo no presenta una red de alcantarillado completa, ni un sistema de depuración adecuado: los residuales son vertidos directamente en el ambiente, muchas veces, sin tratamiento primario, determinando un fuerte impacto higiénico-sanitario y ambiental.

Estos residuales, en general de tipo doméstico, provienen de algunas localidades o aglomerados urbanos de Guantánamo ubicados en la periferia de la ciudad (ver Tabla 23).

De los estudios efectuados en las visitas realizadas, emerge que, los sistemas primarios, aunque cuando resultan en buen estado constructivo, no funcionan (Tabla 7); esto se debe principalmente a una gestión ausente, por lo tanto, a la falta de mantenimiento a través del vaciado periódico de los tanques.

A título indicativo se presentan, en las siguientes imágenes, algunos tratamientos primarios existentes:



Figura 30 – Isleta: tanque existente



Figura 31 – Isleta: caja final para la dispersión de los residuales



Figura 32 – Primero de Mayo 1: tanque existente



Figura 33 – Primero de Mayo 2: tanque existente



Figura 34 – Barrio Militar: tanque existente

#### 4.5.2 Análisis de los usuarios de los sitios estudiados

Se estima la cantidad de habitantes residentes en las distintas comunidades como se expresa a continuación:

Municipio	Comunidad	Instalación	Habitantes
<b>Guantánamo</b>	Sur-Isleta	Asentamiento Isleta	300
	Primero de Mayo	Primero de Mayo 1	100
	Primero de Mayo	Primero de Mayo 2	200
	Jaibo	Barrio Militar	150
	Los Cocos	Los Cocos 1	520
	Los Cocos	Los Cocos 2	250
	Reparto Obrero	Academia de Instructores de Artes Plásticas	170

Tabla 23 – Análisis de los usuarios de las localidades de la ciudad de Guantánamo.

### 4.5.3 Propuesta de Proyecto

Dado que todas las instalaciones tienen características parecidas (tipología de residual civil, pequeñas comunidades, iguales condiciones climáticas), se ha propuesto la misma tipología de instalación, considerada la más adapta para los residuales provenientes de comunidades comprendidas entre 100 y 500 habitantes y se utilizó para todos el mismo coeficiente de dimensión (3mq/ h.e. - habitantes equivalentes)

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ip 1</b>
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	100-520
Caudal medio	m <sup>3</sup> /día	18-60
Caudal medio para persona	l/g	120
<b>Esquema</b>		
Fosa séptica	m <sup>3</sup> /h.e.	0,200
SFS-h	m <sup>2</sup> / h.e.	3
<b>Entrada</b>		
DBO5	mg/l	500
N total	mg/l	80
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>
<b>Salida</b>		
DBO5	mg/l	5
N – NH4	mg/l	26
N total	mg/l	27
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 –10 <sup>2</sup>

Tabla24 – Datos de proyecto y restos depurativos de las fracciones.

Los costos de la realización de todos las sistemas son expresados en las siguientes tablas:

<b>Isleta - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 5.275,35
Materiales de construcción	€ 5.347,14
Geomembrana y geotextiles	€ 17.353,75
materiales hidráulicos	€ 5.671,56
	<b>€ 33.647,81</b>

Tabla 25 – Costos para la realización del sistema depurativo de Isleta

<b>Primero de Mayo 1 - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 1.771,66
Materiales de construcción	€ 2.307,98
Geomembrana y geotextiles	€ 6.081,92
materiales hidráulicos	€ 3.198,20
	<b>€ 13.359,76</b>

Tabla 26 – Costos para la realización del sistema depurativo de Primero de Mayo 1

<b>Primero de Mayo 2 - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 3.474,09
Materiales de construcción	€ 4.099,14
Geomembrana y geotextiles	€ 12.163,85
materiales hidráulicos	€ 5.012,46
	<b>€ 24.749,54</b>

Tabla 27 – Costos para la realización del sistema depurativo de i Primero de Mayo 2

<b>Barrio militar - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 2.622,88
Materiales de construcción	€ 3.229,56
Geomembrana y geotextiles	€ 9.122,88
materiales hidráulicos	€ 4.394,54
	<b>€ 19.369,87</b>

Tabla 28 – Costos para la realización del sistema depurativo de Barrio militar

<b>Los Cocos 1 - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 9.029,26
Materiales de construcción	€ 9.753,68
Geomembrana y geotextiles	€ 29.112,14
materiales hidráulicos	€ 7.451,16
	<b>€ 55.346,24</b>

Tabla 29 – Costos para la realización del sistema depurativo de Los Cocos 1

<b>Los Cocos 2 - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 4.327,70
Materiales de construcción	€ 4.671,14
Geomembrana y geotextiles	€ 14.650,68
materiales hidráulicos	€ 5.342,01
	<b>€ 28.991,53</b>

Tabla 30 – Costos para la realización del sistema depurativo de Los Cocos 2

<b>Academia de Instructores de Artes Plásticas - Materiales</b>	<b>Costo</b>
Materiales inertes	€ 3.020,11
Materiales de construcción	€ 3.722,14
Geomembrana y geotextiles	€ 10.758,25
materiales hidráulicos	€ 4.682,90
	<b>€ 22.183,40</b>

Tabla 31 – Costos para la realización del sistema depurativo de de la Academia de Instructores de Artes Plásticas

En la siguiente Tabla se presentan todas las hipótesis de proyecto de máxima y los relativos costos.

<b>Municipio</b>	<b>Comunidad</b>	<b>Esquema</b>	<b>Costo</b>
<b>Guantánamo</b>	Sur-Isleta	Fosa séptica + SFS-h (900 mq)	<b>€ 33.647,81</b>
	Primero de Mayo	Fosa séptica + SFS-h (300 mq)	<b>€ 13.359,76</b>
	Primero de Mayo	Fosa séptica + SFS-h (600 mq)	<b>€ 24.749,54</b>
	Jaibo	Fosa séptica + SFS-h (450 mq)	<b>€ 19.369,87</b>
	Los Cocos	Fosa séptica + 4 SFS-h (1560 mq)	<b>€ 55.346,24</b>
	Los Cocos	Fosa séptica + 2 SFS-h (750 mq)	<b>€ 28.991,53</b>
	Reparto Obrero	Fosa séptica + SFS-h (510 mq)	<b>€ 22.183,40</b>

Tabla 32 – Resumen de las sistemas antepuestos en la ciudad de Guantánamo

## 5. PLAN DE MONITOREO DE LOS SISTEMAS

A fin de convalidar la tecnología en este país proponemos efectuar un monitoreo de los sistemas que serán realizados como experiencia piloto.

Ello permitirá valorar los restos depurativos efectivos de los sistemas en función de las condiciones climáticas y ambientales locales y de calcular la dimensión en modo oportuno.

El sistema será monitoreado por un año mediante el análisis de las aguas de entrada y salida de la instalación, la actividad de monitoreo será garantizada presumiblemente por el Centro de la Montaña, en cuanto posee los laboratorios y el personal técnico adecuado para este tipo de investigación.

Los parámetros que serán analizados se expresan en la siguiente Tabla:

<i>COD</i>
<i>BOD<sub>5</sub></i>
<i>Solidi Sospesi Totali</i>
<i>Coliformi totali</i>
<i>Coliformi fecali (Escherichia coli)</i>
<i>Fosforo Totale</i>
<i>Ammoniaca</i>
<i>Nitrati</i>
<i>Azoto Totale</i>
<i>T</i>
<i>O<sub>2</sub> disciolto</i>
<i>pH</i>
<i>Tensioattivi anionici</i>
<i>Tensioattivi cationici</i>

Tabella 33 – Parámetros de monitoreo

Los datos serán transmitidos, cada quince días, a la « Agenzia regionale per la Protezione della Regione Toscana » para su elaboración. Los costos de monitoreo para cada experiencia piloto, para un año, son estimados a 6.550,00 € (tres análisis in entrada y tres análisis in salida in un mes, para un total de 72 in un año).

## 6. RESUMEN DE LAS PROPUESTAS DE PROYECTO

Municipio	Instalacion	Esquema	€
El Salvador	Hospital Rural Rafael Teope Fonseca	HP1: Fosa séptica + SFS-h (600 mq)	€ 23.423,54
		HP2: Fosa séptica + SFS-h (210 mq) + SFS-v (180 mq)	€ 21.644,41
	Scuola Esbec "Juan Amejeira"	Fosa séptica + SFS-h (450 mq)	€ 18.376,97
	Comunidad Bayate Abajo	Fosa séptica + SFS-h (900 mq)	€ 33.647,81
	Complejo Alimenticio	Fosa séptica + SFS-h (300 mq) + FWS (100 mq)	€ 15.803,27
Guantánamo			
	Asentamiento Isleta	Fosa séptica + SFS-h (900 mq)	€ 33.647,81
	Primero de Mayo 1	Fosa séptica + SFS-h (300 mq)	€ 13.359,76
	Primero de Mayo 2	Fosa séptica + SFS-h (600 mq)	€ 24.749,54
	Barrio Militar	Fosa séptica + SFS-h (450 mq)	€ 19.369,87
	Los Cocos 1	Fosa séptica + 4 SFS-h (1560 mq)	€ 55.346,24
	Los Cocos 2	Fosa séptica + 2 SFS-h (750 mq)	€ 28.991,53
	Academia de Ins. de Artes Plasticas	Fosa séptica + SFS-h (510 mq)	€ 22.183,40

Tabla 34 – Resumen de las propuestas de proyecto y sus respectivos costos



## 7. BIBLIOGRAFIA

A.A.V.V. **Guida ai processi estensivi di depurazione delle acque reflue specifici per piccoli-medi insediamenti (500-5000 a.e.)**, Ufficio delle Pubblicazioni ufficiali delle Comunità Europee, Lussemb, 2001

Bavor H.J. and Mitchell D.S., (eds.). **Wetland systems in water pollution control**. Water Science and Technology, 29 (4), 1994.

Brix H., **Design Criteria for a two-stage constructed wetland**, in Preprints of Proceedings of the 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, IX/6, 15-19 Sept. 1996, Vienna, Austria.

Brix H., **Use of subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment – an overview**. In Ramadori R., Cingolani L., and Camerini L., (eds.). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment and reuse - experiences, goals and limits. Preprint of the international seminar, 26-28 Oct. 1995, Perugia, Italy, 1995.

Brix H., **The applicability of the wastewater treatment plant in OtSFS-hresen as scientific documentation of the root-zone method**, Water Science and Technology, 19, 19-24, 1987.

Ciupa R., **The experience in the operation of constructed wetlands in north-eastern Poland**, in Preprints of Proceedings of the 5th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, IX/6, 15-19 Sept. 1996, Vienna, Austria.

Conte G., Martinuzzi N., Giovannelli L., Pucci B., Masi F. - **Constructed wetlands for wastewater treatment in central Italy**, Water Science & Technology, vol. 44, n. 11-12 , 339-343, 2001.

Conte G., Bresciani R., Pucci B., Martinuzzi N., **Applicazioni di sistemi a flusso sommerso orizzontale per trattamento secondario di reflui civili e agro-industriali in Italia**, in Atti del Convegno "La Fitodepurazione: Applicazioni e prospettive, Volterra 90- 105, 2003

Cooper P.F.. **The use of Reed Bed Systems to treat domestic sewage: the European Design and Operation Guidelines for Reed Bed Treatment Systems**, in Constructed Wetlands for Water Quality Improvement (Moshiri G.A. Ed.), Lewis Publisher, 1993.

Cooper P.F. and Findlater B.C., (eds.). **Constructed wetlands in water pollution control**. Proceedings of the international conference on the use of constructed wetlands in water pollution control, 24-28 Sept. 1990, Cambridge, UK. Pergamon Press, Oxford, UK, 1990.

EPA, **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**, Cincinnati 1999.

Green M.B., Upton J., **Reed Bed Treatment for Small Communities - U.K. Experience**, in Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Moshiri G.A. Ed., Lewis Publisher, London, p.509-517, 1993.

Haberl R., Perfler R., Seven years of research work and experience with wastewater **treatment by a reed bed system**. In: Constructed wetlands in water pollution control (Cooper, P.F. & Findlater, B.C., eds.), pp. 205-214. Pergamon Press, Oxford, 1990.

Hammer D.A., (ed.). **Constructed wetlands for wastewater treatment**. Municipal, industrial and agricultural. Lewis Publisher, Chelsea, MI, 1-831, 1989.

Kadlec R.H., Knight R.L., **Treatment wetlands**, Lewis, Boca Raton, 1996

Masi F., Martinuzzi N., Loisele S., Peruzzi P., Bacci M. **The tertiary treatment pilot plant of Publisher Spa (Florence, Tuscany): a multistage experience**. Water Science & Technology, vol. 40, n. 3, pp. 195-202, 1999.

Masi F., Bendoricchio G., Conte G., Garuti G., Innocenti A., Franco D., Pietrelli L., Pineschi G., Pucci B., Romagnolli F. - **Constructed wetlands for wastewater treatment in Italy: State-of-the-art and obtained results**, Conference Proceedings of the IWA 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Orlando, 979- 985, 2000.

Masi et al. **Winery High Organic Content Wastewaters Treated By Constructed Wetlands In Mediterranean Climate**, Atti del 8th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, International Water Association, Arusha, Tanzania, pp.274-283, 2002.

Masi F., **Indagine preliminare sui rendimenti degli impianti italiani di fitodepurazione per fonti di inquinamento puntuale**, in Atti del Convegno "La Fitodepurazione: Applicazioni e prospettive, Volterra 90-105, 2003

Masotti L., **Depurazione delle acque, tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto**, Calderini, Bologna 1993

Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G. **Wetlands** Ist. Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.

Moshiri G.A., (ed.). **Constructed wetlands for water quality improvement**. Lewis Publisher, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokio, 1993.

Pucci B., **Le tecniche di fitodepurazione**, Manuale del Centro per l'Educazione Ambientale del Comune di Grosseto, 2002.

Pucci B., Conte G., Martinuzzi N., Giovannelli L., Masi F., **Design and performance of a horizontal flow constructed wetland for treatment of dairy and agricultural wastewater in the "Chianti" countryside**, Conference Proceedings of the IWA 7<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Orlando, 1433-1436, 2000.

Pucci B., Giovannelli L., **The use of constructed wetland system for treating and reusing household wastewater discharged from a small farm in tuscany (Italy)** Conference Proceedings of the 6th International Conference on "Wetland Systems for Water Pollution Control", IAWQ, San Paolo, Brasile, 1998.

Pucci B., Giovannelli L., **Constructed wetland system for an integrated treating and reuse of rural residential wastewater (Tuscany, Italy)**. Conference Proceedings of the IAWQ International Conference on Advanced Wastewater Treatment, Recycling and Reuse, Milano, vol. 2, 1071,1074, 1998.

Reed S.C., Crites R.W., Mittlebrooks E.J., **Natural systems for waste management and treatment**, 2nd Ed. Mc Graw Hill inc., N.Y. 1995

Sather, J.H., Smith, R.D. & Larson, J.S.. **Natural values of Wetlands**. In: Patten, B.C. (ed.), *Wetlands and Shallow Continental Water Bodies*. Vol. 1. Pp 373-387. SPB Academic Publishing, The Hague, 1990.

Steiner G.R., Watson J.T., Choate K.D., **General design, construction and operation guidelines for small constructed wetlands wastewater treatment systems**, in *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Moshiri G.A. Ed., Lewis Publisher, London, p.499-508, 1993.

Steiner G.R., Combs D.W., **Small Constructed Wetlands Systems for domestic wastewater treatment**, in *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*, Moshiri G.A. Ed., Lewis Publisher, London, p.491-498, 1993.

USEPA **Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment**. EPA 832-R-93-001, U.S. EPA Office of Water (WH547), 1993.

Vymazal J., Brix H., Cooper P.F., Green M.B., Haberl R., **Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe**. Backhuys publ. Leiden 1998.

Whigham, D.F. & Brinson, M.M. **Wetland value impacts**. In: Patten, B.C. (ed.), *Wetlands and Shallow Continental Water Bodies*. Vol. 1. pp. 401-421. SPB Academic Publishing, The Hague, 1990.

Williams M., **Understanding wetlands**. In: Williams, M. (ed.), *Wetlands: A Threatened Landscape*. Pp. 1-41. Basil Blackwell, Oxford, 1990.

WRc. **Reed Beds & Constructed Wetlands for wastewater treatment – Database**. Severn Trent Water – WRc Plc. Medmenham, 1996.