

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 GRANMA

- CUBA -

DEPURACIÓN NATURAL DE LAS AGUAS



Elaborado n° 1	Fecha: Febrero 2005	Revisión n° 1

ASESORÍA Y APOYO TECNICO:

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

COORDINADOR:

Lic. Marco Mazzoni

REFERENTE TÉCNICO

Lic. Beatrice Pucci



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.



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.

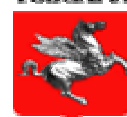


El programa OIT/Universitas (trabajo decente a través de la formación y la innovación) promueve la aplicación de soluciones innovadoras a los problemas de desarrollo humano, sobre todo en el mundo laboral. A tales efectos, lleva a cabo actividades de investigación-acción, de formación a favor de los 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 Residuales en la Provincia de Granma
- Cuba -

1. PREMISA.....	3
1.1 ARTICULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2. ASPECTOS GENERALES.....	6
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROVINCIA DE GRANMA.....	6
2.1.1 <i>Situación geográfica</i>	6
2.1.2 <i>Recursos naturales y medio ambiente</i>	6
2.1.2.1 Marco climático	6
2.1.2.2 Hidrografía.....	6
2.1.2.3 Suelos.....	7
2.1.2.4 Biodiversidad. Áreas protegidas y humedales	8
2.1.2.5 Áreas protegidas.....	8
2.1.2.6 Inundaciones.	8
2.1.2.7 Inundaciones costeras.	9
2.1.2.8 Sequía.....	9
2.1.2.9 Riesgo sísmico	9
2.1.2.10 Recursos Minerales.....	10
2.1.2.11 Yacimientos de Aguas minero-medicinales.....	10
2.1.2.12 Aguas termales.....	10
2.1.2.13 Contaminación	11
2.1.2.14 Ecosistema de montaña.....	11
2.1.2.15 Ecosistema seco	11
2.1.3 <i>Estructura político administrativa</i>	12
2.2 MARCO LEGAL	12
3. ELECCIÓN DE LA TIPOLOGIA DE DEPURACIÓN.....	16
3.1 TÉCNICAS NATURALES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	16
3.1.1 <i>Sistema de tratamiento secundario: SFS-h Subsurface Flow System – horizontal</i>	19
3.1.2 <i>Sistema de tratamiento secundario: SFS-v Subsurface Flow System – vertical</i>	20
3.1.3 <i>Sistema de tratamiento secundario: FWS Free Water System</i>	21
3.2 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA FITODEPURACIÓN.....	22
3.3 CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE LOS COSTOS	24
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREA INVESTIGADAS Y HIPÓTESIS DE PROYECTO.....	26
4.1 COMUNIDAD ECOLÓGICA LA PLATICA.....	26
4.1.1 <i>Caracterización del área</i>	27
4.1.2 <i>Descripción de la situación actual</i>	30

4.1.3 <i>Análisis de los usuarios</i>	31
4.1.4 <i>Propuesta de proyecto</i>	32
4.1.4.1 Descripción de la hipótesis de proyecto 1.....	32
4.1.4.2 Descripción de la hipótesis de proyecto 2.....	35
4.2 COMUNIDAD LAS NOVILLAS.....	38
4.2.1 <i>Descripción de la situación actual</i>	38
4.2.2 <i>Análisis de los usuarios</i>	40
4.2.3 <i>Propuesta de proyecto</i>	40
5. PLAN DE MONITOREO DE LOS SISTEMAS.....	43
6. RESUMEN DE LAS PROPUESTAS DE PROYECTO.....	44
7. BIBLIOGRAFIA.....	45

1. PREMISA

Los proyectos preliminares de fitodepuración presentados en el informe, se enmarcan en la Iniciativa IDEASS, promovida por los Programas Internacionales OIT/Universitas, PNUD/APPI y PNUD/IFAD/UNOPS. Estos programas, enmarcados en las políticas nacionales, favorecen procesos de desarrollo local a través de 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, del desempleo y de la pobreza.

En ese caso, el primer paso es realizar sistemas piloto para la depuración de las aguas refluentes, que permitan:

- demostrar que los sistemas de fitodepuración representan una tecnología sustentable, desde el punto de ver económico y del medioambiente, y apropiada a los países en desarrollo;
- verificar las oportunas dimensiones en las condiciones del ambiente local, de manera que se pueda optimizar los recursos económicos que necesitan para la construcción del sistema a ancha escala;
- favorecer acciones que estimulen el ahorro y la reutilización de las aguas refluentes depuradas;
- promover acciones dedicadas a la formación de técnicos locales.

El conseguimiento de esos objetivos será verificado a través de un programa de monitoreo (Cap. 5) hecho principalmente por Universidades y Instituciones locales, y coordinado por ARPAT (Agencia Regional para la Protección del Medio Ambiente de Toscana), y también a través del intercambio de conocimientos técnicos con profesionales de ARPAT, acerca de la depuración natural de las aguas refluentes y de la tutela de las aguas de la contaminación.

Las zonas investigadas, 11 en total, se encuentran en los municipios de Bartolomé Masó y Manzanillo en la Provincia de Granma (Figura 1)

Todas estas áreas presentan una situación igienico-sanitaria y ambiental crítica y necesitan de sistemas apropiados de tratamiento de aguas residuales.



Figura 1 – Encuadramiento geográfico de las zonas elegidas

En esta fase, para proponer nuevas tecnologías de depuración, bien averiguadas en Italia y en Europa, el CITMA, de acuerdo con las autoridades locales, decidió dar prioridad a dos sitios: la Comunidad Ecológica La Platica y la Comunidad Las Novillas (Tabla 1).

Municipio	Comunidad	Instalación	Personas beneficiadas	Tipo de tratamiento	
				Latrina	Tanque Septico
Bartolomé Maso	Parque Nacional Turquino	Comunidad Ecológica La Platica	100 y beneficio ambiental	Si	/
Manzanillo	Las Novillas	Asentamiento "Las Novillas"	2000 y beneficio ambiental	/	/

Tabla 1 – Sitos analizados en la Provincia de Granma

La primera se encuentra a lo interior del Parque Nacional Turquino, área con grande valor natural e histórico. La segunda es una comunidad que pone su presión ambiental directamente sobre cuerpos hídricos de superficie que alimentan una zona húmeda de la costa, cercana a un área de importancia turística.

Realizar dos sistemas pilotas de fitodepuración en condiciones de ambiente tan diferentes permite el control de la tecnología, a través de un atento plano de monitoreo, para poder optimizar el rendimiento de la depuración en relación a los costos. Eso representará el conocimiento básico para tomar las decisiones del porvenir.

Los datos colectados y elaborados han permitido identificar la forma de tratamiento mas adecuada y sugerir una zona apta para su realización.

1.1 ARTICULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la 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;
- recolección 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), el Parque Nacional Turquino y el Municipio de Manzanillo.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROVINCIA DE GRANMA

2.1.1 Situación geográfica

La Provincia Granma se encuentra localizada en la región Sur Oriental de Cuba, a una distancia de 800 kilómetros desde la cabecera provincial (ciudad de Bayamo), hasta la capital del país (ciudad de La Habana).

Granma tiene como límites físicos por el Norte a las provincias de Holguín y Las Tunas, por el Este a la Provincia de Santiago de Cuba, por el Sur está rodeada por el Mar Caribe y el extremo occidental de la Provincia de Santiago de Cuba, y por el Oeste el Golfo de Guacanayabo.

Su extensión territorial es de 8 379.8 Km², lo que representa el 7.5 % de la superficie nacional. Se encuentra dividida en 13 municipios, de los cuales sólo dos cuentan con ciudades mayores de 100 000 habitantes (Bayamo y Manzanillo).

El relieve se caracteriza por estar estructurado en dos regiones naturales de grandes atractivos, la llanura del Cauto una de las más extensas del país que ocupa el 75 % del territorio con el río más largo de Cuba, y el grupo orográfico Sierra Maestra, el más notable de la isla con numerosas elevaciones superiores a los 1000 metros, y la meseta de Cabo Cruz, cuyas terrazas marinas aparecen entre las mejores conformadas del orbe.

Cuenta además con las costas del pronunciado Golfo de Guacanayabo con 360 kilómetros.

El 74 % del área geográfica del territorio pertenece a la inmensa llanura, la cual a su vez se subdivide en dos zonas ecológicas que son: la baja costera, y la llana.

2.1.2 Recursos naturales y medio ambiente

2.1.2.1 Marco climático

Los vientos predominantes son del noreste o rumbos aproximados. La temperatura media anual oscila entre 25,8 y 27,7 grados Celsius.

El régimen de lluvia está dado por dos períodos húmedo y seco, siendo la media de 1368 milímetros, ocurriendo las mayores precipitaciones en la zona montañosa.

2.1.2.2 Hidrografía

El potencial hidráulico de la provincia es de 1726.00 Hm³. De este potencial 1263.00 Hm³ corresponden a las aguas superficiales y 463.00 Hm³ a las aguas subterráneas. Son aprovechables 1330.18 Hm³, el 77.0%.

Grado de explotación:

Aguas reguladas.....	100%
Aguas no reguladas.....	5%
Aguas subterráneas.....	28%

Con el rescate de la voluntad hidráulica en el período 1988-1991 se incrementó el ritmo de construcción de obras hidráulicas lográndose alcanzar un volumen de embalse de 4.1 veces superior al alcanzado en los diez años anteriores.

En esta etapa se terminaron las presas Corojo, Cautillo, Cauto del Paso y Cilantro en el año 2001, con un volumen de embalse por encima de los 500.00 Hm³ al año. Actualmente se cuenta con una capacidad de embalse de 945.12 Hm³

Con la construcción de la Presa Cauto del Paso y su puesta en explotación se ha logrado mejorar sustancialmente la composición de las aguas en cuanto a contenidos de SST en valores promedios inferiores a los 600 ppm, las mismas se utilizan para el riego de cultivos varios, caña y arroz en zonas aguas abajo del embalse. El grado de satisfacción de las aguas superficiales y subterráneas es del 100% para todos los usuarios, dando prioridad a la población y a la industria, aunque en el caso de la población, existe déficit por capacidad en el acueducto y pésimo estado de las redes.

2.1.2.3 Suelos

Predominan los vertisuelos, principalmente en la zona llana, caracterizados por ser suelos de baja fertilidad natural de difícil manejo por ser muy plásticos, adhesivos, de alta contracción - dilatación y gran retención de humedad, le siguen en extensión los aluviales, pardos con y sin carbonatos y los fersialíticos. En la zona montañosa predominan los suelos esqueléticos afectados por diferentes grados de erosión.

El 59% (310299 ha) del área agrícola en la provincia poseen mal drenaje; esta característica es propia de los suelos vérticos. Los municipios más afectados son: Río Cauto, Cauto Cristo, Bayamo y Yara.

Alrededor de 152314 ha, están afectados por la salinidad, representando el 27.6 % del área agrícola de la provincia; las mayores afectaciones se presentan en los cultivos de caña, arroz y pastos. Los municipios más afectados son: Río Cauto, Jiguaní y Cauto Cristo.

Se encuentran erosionadas 446294 ha (80%) de suelos, de ellas 17.5% presentan erosión fuerte; erosión media el 8.9% y 73.6% erosión leve. Los municipios más afectados son: Pílon, Bartolomé Masó, Buey Arriba y Guisa; los que se caracterizan por tener suelos con pendientes muy pronunciadas.

Los suelos de la provincia clasifican como de categoría III (150749 ha), existiendo un predominio de la categoría IV (560718ha), que indica cuan afectados se encuentran estos y las limitaciones que poseen para el uso agropecuario.

Las áreas que poseen limitaciones para la producción agropecuaria están afectadas por factores limitantes, ya sea de forma aislada o combinada, entre los que se destacan por su magnitud y nivel de incidencia: baja fertilidad natural, mal drenaje, erosión, baja retención de humedad, salinidad, poca profundidad efectiva, alto grado de pendiente y compactación incidiendo estos de forma negativa en los rendimientos de los cultivos.

Para dar solución y mitigar los efectos de la degradación de los suelos se ha aprobado un programa de recuperación y protección de los mismos, este programa consiste en la producción de abonos orgánicos, humus, corrección de cárcavas en ríos y otros.

2.1.2.4 Biodiversidad. Áreas protegidas y humedales

En la provincia los procesos de carácter antrópico han sido causa evidente de la degradación de la diversidad biológica, la progresiva transformación del paisaje, el desmonte de extensas áreas, la deforestación en la zona llana y principalmente en la montaña, la vegetación protectora de riveras y márgenes de los ríos, la introducción de especies de la flora y la fauna de forma voluntaria e involuntaria, el desarrollo agrícola, el represamiento de los ríos, la urbanización incontrolada, excesiva ha reducido críticamente las poblaciones de animales silvestres lo que ha traído como consecuencia alteraciones en los ecosistemas.

En la Flora existen 22 especies en peligro de extinción o amenazadas en nuestra región, de ellos 12 son endémicas.

Dentro de la fauna terrestre se registran 25 especies amenazadas:

Aves ----- 13

Reptiles ----- 8

Moluscos ----- 3

Mamíferos ---- 1

2.1.2.5 Áreas protegidas

El 18% del territorio de la provincia se maneja como áreas protegidas.

En la provincia existen tres áreas protegidas aprobadas nacionalmente pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).

Parque Nacional Desembarco del Granma

Parque Nacional Turquino

Refugio de fauna Delta del Cauto

Las áreas antes mencionadas cuentan con sus Planes de Manejo donde se desarrollan varios proyectos de conservación, permitiendo la recuperación de los suelos, bosques, especies en peligro de extinción, así como el desarrollo de programas de Educación Ambiental, logrando una mayor cultura conservacionista en las comunidades que se encuentran en estas áreas.

Áreas propuestas para su aprobación por parte del Consejo de Ministros y que tienen un nivel de aprobación del Consejo de la Administración de la Provincia:

Parque Nacional La Bayamesa

Reserva Natural Cupeynicú

Refugio de Fauna Monte Palmarito

Reserva Florística El Macío

Reserva Ecológica El Gigante

Reserva Natural Pico Caracas ambiental vigente.

2.1.2.6 Inundaciones

Teniendo en cuenta las características del relieve en el territorio, con una gran llanura surcada por una extensa red hídrica, aunque de poco caudal y causes sedimentados por la fuerte erosión pero con gran velocidad de sus aguas, dada la gran diferencia de pendientes y una

zona montañosa donde nacen los principales ríos, lo que unido a la falta de drenaje y obras hidrotécnicas que al llegar a la zona llana provocan grandes inundaciones donde el 62.4% del área total del territorio es afectada(266146 ha), principalmente en las zonas de cultivos y asentamientos poblacionales.

2.1.2.7 Inundaciones costeras

En nuestro territorio se considera de alto peligro por penetración del mar el tramo costero correspondiente a la costa del Golfo de Guacanayabo desde el límite con la provincia de Las Tunas hasta Cabo Cruz y de bajo peligro la costa sur de la provincia.

En estos dos tramos se encuentran 26 asentamientos, 5 cabeceras municipales, 2 asentamientos de base urbanos y 19 rurales; de estos 7 se encuentran por debajo de la cota 1.0 msnm con más de 23 mil habitantes y aproximadamente 6 mil viviendas, instalaciones, viales, redes de acueducto y alcantarillado, áreas de cultivos, playas instalaciones turísticas y manglares.

2.1.2.8 Sequía

El fenómeno de la sequía por sí mismo, genera consecuencias muy perjudiciales sobre numerosas actividades socioeconómicas, conjuntamente con otros procesos antrópicos, contribuye a que en amplias zonas costeras y tierras secas de nuestro país se experimenten significativos síntomas de desertificación, llamadas zonas de ambientes secos o sub-húmedas.

En los últimos 15 años ha habido un aumento en el éxodo de la población hacia otros asentamientos con mejores condiciones de vida, fundamentalmente urbanos, lo que conlleva a la disminución de la fuerza de trabajo agrícola y al aumento de los trastornos sociales por mayor concentración en las áreas urbanas.

2.1.2.9 Riesgo sísmico

Nuestro territorio se caracteriza por la complejidad geológico - tectónica resultado de las diferentes etapas de evolución que ha tenido. Desde el punto de vista tectónico existen las fallas siguientes: Cauto - Nipe y Bartle - Caimán que son estructuras tectónicas activas y las máximas responsables de la sismicidad en esta región, junto a otras como Bayamo - Bayamita y Santiago – Bayamo. Además por las características ingeniero geológicas y litológicas de los suelos en el territorio se pueden producir los siguientes fenómenos inducidos por movimientos tectónicos:

- deslizamientos;
- licuación del suelo;
- asentamientos diferenciales del suelo;
- ruptura de cortina de presas.

Según los códigos sísmicos vigentes en Cuba, para la realización de proyectos constructivos y el desarrollo urbano ubica al territorio de la provincia Granma en zonas de moderado y alto riesgo.

El municipio de Pilón, se encuentra en zonas de alto riesgo sísmico, donde se pueden presentar daños en las construcciones y valores de la aceleración horizontal máxima del

terreno de 0.200, es esta la zona donde más sismos han sucedido y con mayor energía en los últimos treinta años, además la elevada vulnerabilidad en las distintas obras y sistemas hacen que esta zona sea catalogada como muy peligrosa.

Los municipios de Bayamo, Masó, Media Luna, Jiguaní, Guisa, Manzanillo y Niquero, se ubican en zonas de moderado riesgo sísmico, con valores máximos de la aceleración horizontal de 0,150. En estos municipios se ubican los mayores asentamientos poblacionales de la provincia, con importantes centros industriales donde se almacenan cantidades considerables de productos químicos que pueden provocar desastres; es importante señalar que en varios de estos municipios el basamento natural está constituido por suelos arcillosos o areno arcillosos, de poca densidad y donde el nivel freático se encuentra por encima de los 10 m de profundidad, situaciones estas que pueden actuar como amplificador de la señal sísmica, elevando el peligro puntual para cada área.

Los restantes municipios, Río Cauto y Cauto Cristo se encuentran en zonas de bajo riesgo sísmico con valores de la aceleración máxima del terreno de 0.10, aunque en estos lugares, debido a las características del basamento natural del terreno se pueden presentar fenómenos asociados a la actividad sísmica como son asentamientos diferenciales, licuefacción de los suelos, ruptura de presas, etc.

2.1.2.10 Recursos Minerales

En la provincia existen 33 yacimientos minerales, de ellos metálicos (oro, plata, cobre, manganeso, etc.) en los municipios de Bartolomé Masó y Buey Arriba, estos yacimientos no se encuentran en explotación. Yacimientos no metálicos; son los que más abundan en el territorio y existen 26 reconocidos. Son de materiales para la construcción y otros usos. De estos se explotan 16, poseen grandes volúmenes de reservas y se encuentran en los municipios de Jiguaní, Guisa, Bartolomé Masó y Río Cauto. Yacimientos de aguas minerales de mesa, minero – medicinales y termales; existen tres en los municipios de Buey Arriba, Pilón y Manzanillo, y en otros municipios que aún no se han estudiado, además de una gran cantidad de manifestaciones minerales que no constituyen yacimientos.

2.1.2.11 Yacimientos de Aguas minero-medicinales

Estas aguas se manifiestan a través de manantiales, son aguas ácidas con un PH bajo (1.5 a 4.0). Existen dos yacimientos en la provincia, en La Cristina y Los Jobos en el municipio de Buey arriba. Se manifiestan en forma de manantiales, tienen altos contenidos de sulfatos, sulfuros, cobalto, hierro, cobre y níquel. Estas aguas tienen propiedades curativas, excelentes para tratamientos de enfermedades de la piel (Psoriasis y dermatitis). Han sido usadas en el Hospital Carlos Manuel de Céspedes con buenos resultados en los pacientes. Estas aguas no tienen estudios terminados.

2.1.2.12 Aguas termales

Son aguas alcalinas, poseen altas temperaturas (38 - .410 C), con propiedades para el tratamiento de las enfermedades reumáticas en forma de baños o hidromasajes. Este yacimiento se encuentra en El Cilantro, municipio de Pilón, tienen estudios terminado. El yacimiento posibilita la formación de balnearios pequeños para el tratamiento in situ o también permiten el traslado de estas aguas a lugares más accesibles.

2.1.2.13 Contaminación

Existen 159 focos contaminantes que depositan los residuales de forma directa o indirecta a la atmósfera, ríos y arroyos que en muchos casos estas corrientes son utilizadas aguas abajo para el abasto a la población, recreación y el riego o en otros casos no se pueden usar para estos fines por el alto grado de contaminación, siendo en ocasiones la causa de EDA, dermatitis, entre otras.

En este período se ha logrado la disminución de 40 focos contaminantes de las aguas con la construcción de sistemas de tratamiento de residuales fundamentalmente a aquellas instalaciones que generan contaminantes más agresivos al medio ambiente (centrales azucareros, industrias químicas, despulpadoras de café, construcción de sistemas de alcantarillado y otras soluciones, lo que ha implicado la reducción de la carga contaminante en la provincia.

2.1.2.14 Ecosistema de montaña

La conjugación de las cualidades físico-naturales del territorio, el empobrecimiento de las variables meteorológicas, el relieve, el estado de conservación de los suelos, la distribución de la vegetación, los recursos hídricos, todos ellos en procesos de interrelación han determinado el surgimiento de diferentes ecosistemas (costas, humedales, montañas y ambientes secos).

La montaña ocupa dentro del territorio nacional el 26 %, donde reside aproximadamente una población de 90475 habitantes. Este territorio presenta un ecosistema muy frágil dado al abrupto relieve, el que ha propiciado conjuntamente con el mal manejo un alto grado de deterioro en su ecosistema donde se puede apreciar una fuerte erosión, deforestación, altas cargas de ganado, tierras en usufructo con prácticas de agricultura no propias de zonas montañosas, sin tener en cuenta además que este ecosistema es el reservorio de todos los ríos de la provincia.

2.1.2.15 Ecosistema seco

Son territorios que debido a la ocurrencia de diversos factores han venido mostrando índices de procesos de desertificación o aridez, el cual tiene un vínculo directo con los factores clima, suelo, geología, tiempo, que unido a un manejo inadecuado de los suelos y las aguas, están incidiendo en el uso agrícola, ganadero y forestal, resultado de un decrecimiento de la agro-productividad y rendimiento de los cultivos.

Se localizan tres zonas de ambiente seco: vertiente Sur de la Sierra Maestra en los municipios de Niquero y Pilón, Noreste de la provincia que incluye el este del municipio de Bayamo y noreste del municipio de Jiguaní, y noroeste del municipio de Río Cauto. Este ecosistema ocupa un área de 116041.0 hectáreas afectadas por un alto grado de erosión, bajo régimen de lluvias, alta evaporación, salinización de los suelos y las aguas, unido a un manejo inadecuado.

Las zonas con ambiente seco presentan una precipitación media anual inferior a los 800 mm, con 9 -11 meses de sequías, evaporación anual de 2000-2400 mm.

En los últimos 15 años ha habido un aumento en el éxodo de la población hacia otros asentamientos con mejores condiciones de vida, fundamentalmente urbanos, lo que conlleva

a la disminución de la fuerza de trabajo agrícola y al aumento de los trastornos sociales por mayor concentración en las áreas urbanas.

2.1.3 Estructura político administrativa

La provincia se constituyó como tal en el año 1976, era hasta esa fecha parte de la antigua Provincia de Oriente. Actualmente la componen 13 municipios: Bayamo, Jiguaní, Guisa, Cauto Cristo, Río Cauto, Buey Arriba, Bartolomé Masó, Manzanillo, Yara, Campechuela, Pilón, Media Luna, Niquero. Cuenta con asentamientos de interés nacional, como son la ciudad de Bayamo, capital provincial y la ciudad de Manzanillo, segundo centro económico del territorio.

La Asamblea Provincial del Poder Popular es el máximo orden de poder estatal y gubernamental en el territorio, con 7 comisiones permanentes de trabajo, 152 Consejos Populares, como estructura de gobierno en la base. El Consejo de Administración Provincial, administra y gestiona programas sociales y planes de desarrollo económico.

2.2 MARCO LEGAL

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

Esta norma es aplicada 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.

La principal finalización de la norma es proteger el medio 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 considera las descargas divididas en tres grupos dando a ellos reglas oportunas:

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:

Parámetro	Unidades	Limite Máximo Permisible Promedio
Temperatura	Grado Celcius	< 50
pH	Unidades	6-9
Sólidos Sedimentables	ml/L	<10
Grasas y Aceites	mg/L	<50
Conductividad	microsiemens/cm	<4000
DBO₅	mg/L	<300
DQO (Dicromato)	mg/L	<700

Fenoles	mg/L	<5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<25
Aluminio	mg/L	<10.0
Arsénico	mg/L	<0.5
Cadmio	mg/L	<0.3
Cianuro	mg/L	<0.5
Cobre	mg/L	<5.0
Cromo hexavalente	mg/L	0.5
Cromo total	mg/L	2.0
Mercurio	mg/L	0.01
Plomo	mg/L	1.0
Cinc	mg/L	5.0
Sulfuros	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 no permite la descarga directa de: Gasolina, Benceno, Naftaleno, Petróleo, Aceites, Fuel-oil y de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas de tipo inflamable o explosiva, en el sistema de alcantarillado.

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.*

		Rios 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)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	ml/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0.5	1,0	5,0
DBO ₅	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

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

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

Por 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:

Categoría del cuerpo receptor	NMP/100 ml Coliformes totales	NMP/100 ml Coliformes fecales
A (superficial)	1000	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 descarga de la industria a altas cargas contaminantes (es. industria azucarera y sus derivados, industria papelera, industria alimenticia, industria metalúrgica, industria del petróleo y sus derivados etc.), la norma pone una atención y un control muy fuerte (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 llevadas 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 acuáticas 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.

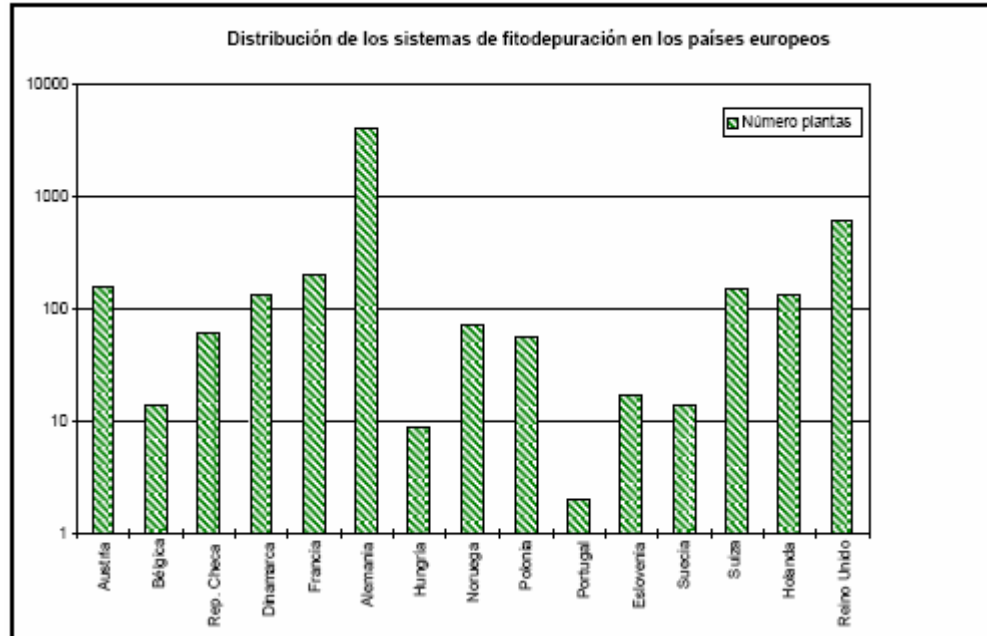


Figura 2 - Distribución de los sistemas de fitodepuración en Europa

Frente de estas innumerables ventajas, no es posible cuantificar la verdadera capacidad depurativa de estos sistemas naturales por la dificultad de prever la incidencia de los diferentes factores que permiten los procesos químicos, físicos y biológicos, como la sedimentación, la precipitación, absorción, la 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 contruidos 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 sustrato, de las tipologías de las especies vegetales y de los caminos hidráulicos.

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

La fitodepuración puede ser clasificada 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 subsuperficial (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 subsuperficiales a flujo horizontal como hacen ver las porcentajes de la Figura 3.

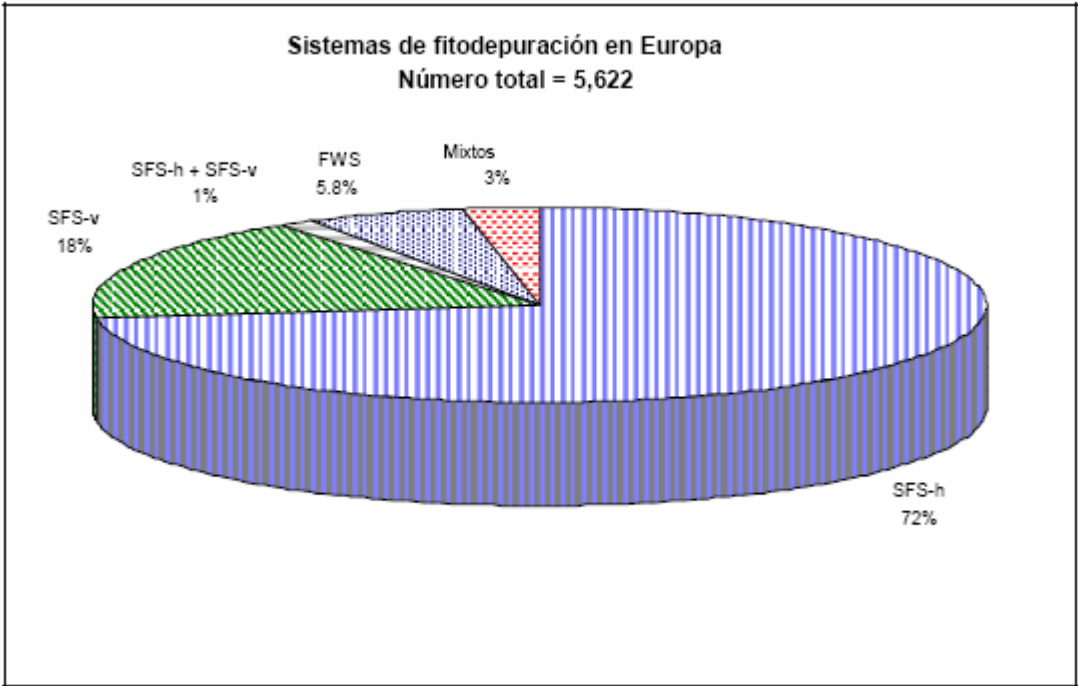


Figura 3 - Distribución en porcentaje de las distintas tipologías de sistema (1998)

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 COMPARACION	SISTEMAS NATURALI	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).

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.

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*.

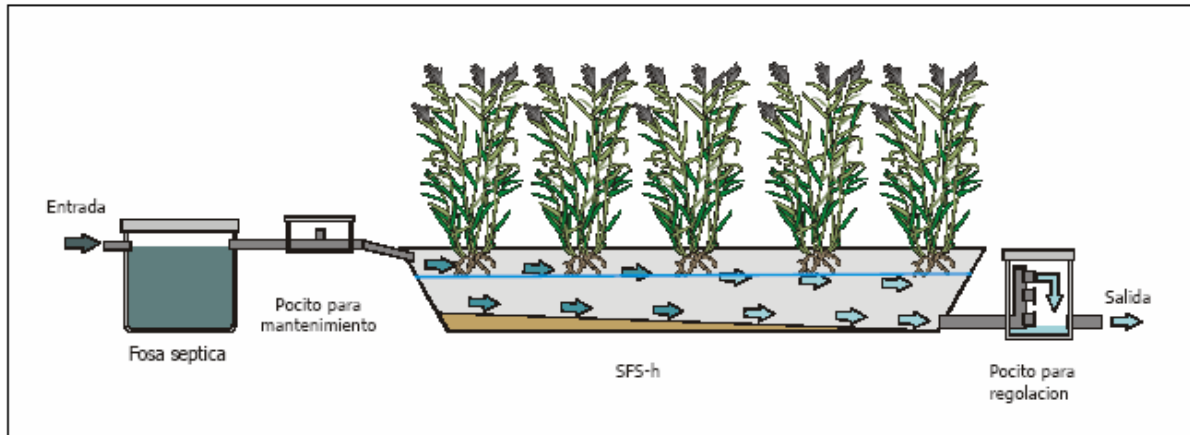


Figura 4 – Esquema de los sistema sub-superficiales a flujo horizontal

La 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 reoxigenación 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.

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.

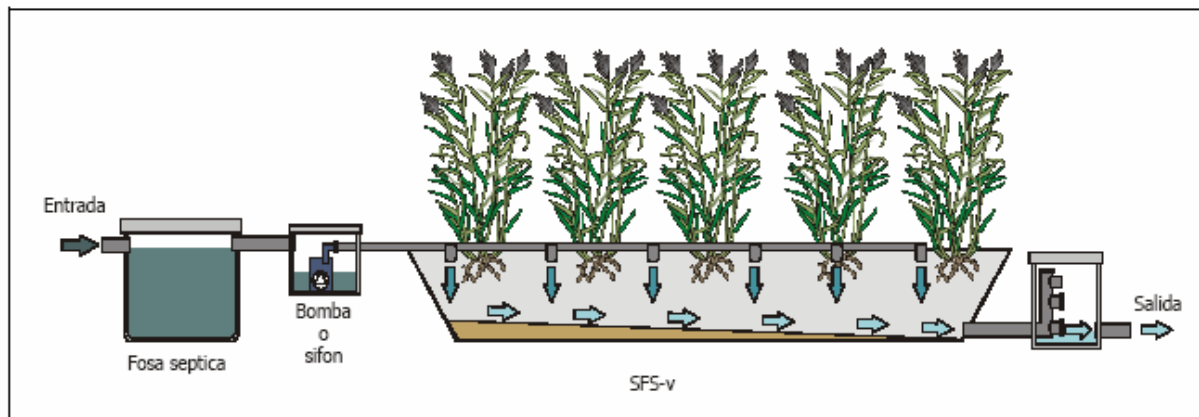


Figura 5 – Esquema de los sistema subsuperficiales a flujo vertical

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.

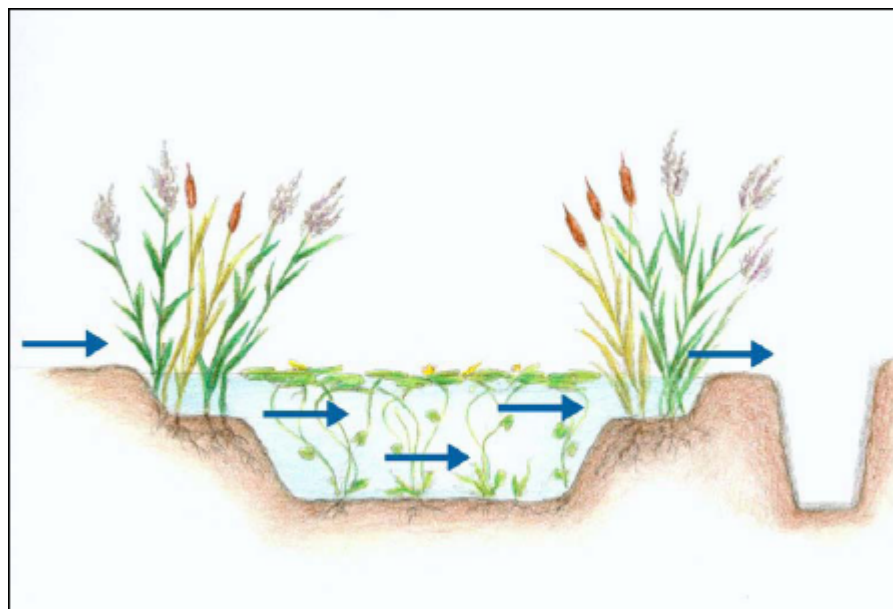


Figura 6 – Esquema de los sistemas subsuperficiales a flujo libre

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.

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:

	Tipología de agua residual
TRATAMIENTOS SECUNDARIOS Y TRATAMIENTOS TERCIARIOS	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
- Afinar 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 tapón 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 ha calculado 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 lineal 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 teniendo a disposición 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.

Para la alimentación de los sistemas SFS-y no se ha considerado la utilizaci de bombas, sino de particulares sifones en PEAD, producidos en Francia y que pueden ser importandos 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).

Los cálculos no incluyen los costos de las esencias vegetales necesarias para la realización de las instalaciones. Las cantidades necesarias son de todas maneras fáciles de deducir de las superficies útiles necesarias, siendo generalmente puestas 4 plantas al metro cuadrado. 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 ÁREA INVESTIGADAS Y HIPÓTESIS DE PROYECTO

Se han visitado los sitios de intervención, para verificar si existen las condiciones adecuadas para el uso de la tecnología que se quiere adoptar. Los datos sobre los usuarios han sido facilitados por las entidades locales, los datos sobre los consumos hídricos han sido facilitados por SANITEC (Appropriate Technology Centre for Sanitation).

4.1 COMUNIDAD ECOLÓGICA LA PLATICA

Esta comunidad se encuentra en un área de relevancia ambiental y natural, es decir el Parque Nacional Turquino.



Figura 7 – Panorámica de la comunidad ecológica La Platica

Las alturas de la Sierra Maestra, que quedan al interior del área del parque, encierran valores naturales significativos que alcanzan importancia peculiar, entre ellos se destacan:

- las dos mayores elevaciones del país (Turquino y Cuba);
- alto endemismo de flora y fauna;
- la existencia de ocho formaciones vegetales, donde sobresalen bosques nublados y húmedos;
- extensos bosques naturales sobre relieves montañosos con cimas culminantes desde las cuales se obtienen hermosas vistas;
- impresionantes valles entre las montañas, donde se combinan con las grutas el caprichoso crecimiento de lianas y otras especies vegetales;
- cauces pedregosos con aguas cristalinas que forman diversas estructuras de balnearios naturales;

- en el Sur existe una estrecha franja costera con arenas gruesas de color oscuro y cantos rodados de diversos tamaños que contrastan con el color azul intenso de las aguas del mar.

En el siguiente párrafo se reporta una breve descripción del área del Parque.

4.1.1 Caracterización del área

El Parque Nacional Turquino está ubicado en el Centro Oeste de la Sierra Maestra, abarca zonas del municipio Bartolomé Masó Márquez, Provincia Granma y del municipio Guamá de la Provincia Santiago de Cuba.

Limita al Norte y al Este con el municipio Bartolomé Masó Márquez, además con el municipio Guamá al Este y al Oeste; al Sur con el Mar Caribe. Ubicado en la hoja Cartográfica 46-6111 y 48 76 111, y en su mayor extensión con escala 1: 50 000.

➤ Relieve

Desde el punto de vista orográfico la zona se encuentra en la Cordillera del Turquino, correspondiente al masizo montañoso Sierra Maestra, constituido por un bloque de montañas jóvenes que experimenta movimientos de ascensos geotectónicos.

Predominan las montañas medias, erosiones denudativas muy diseccionadas. Es un relieve muy complejo con predominio de pendientes superiores al 40%. Profundidad de disección mayor a los 500 metros y densidad de disección de más de 4 km, razón por la cual es el relieve más vigoroso del país.

➤ Clima

Al encontrarse en el grupo orográfico de mayor elevación en el país, esta zona posee un microclima característico, con bruscos cambios en algunas de sus variables meteorológicas en períodos de tiempo relativamente corto.

Las condiciones climáticas responden fundamentalmente a la variación de dos parámetros, la altitud y la exposición, siendo éste el territorio de Cuba donde mejor se manifiesta la zonalidad vertical. Las temperaturas máximas promedio anual del aire disminuyen desde 30°C en la costa hasta 16°C en las partes más altas para el verano, mientras que las mínimas son más bajas en las zonas de mayor altura (Pico Cuba, Pico Real del Turquino y La Aguada del Joaquín), donde se han registrado hasta 5°C en la estación invernal.

Los nublados son abundantes casi todo el año en las zonas de mayor altitud, por lo que la humedad del aire es relativamente alta, registrándose nieblas intermitentes a raíz del suelo a partir de los 1000 metros de altura.

Los vientos locales a superficie manifiestan direcciones muy variables durante el día, mientras que en la atmósfera superior la dirección predominante es de Noreste a

Suroeste por lo que las masas de nubes descargan su mayor cantidad de lluvias en la zona de barlovento (parte Norte del Parque).

Así las precipitaciones se manifiestan con mayor abundancia entre los 600m y 1900m de altura, con una media anual que varía desde 1500ml a 1700ml, siendo la zona de mayor pluviosidad del país.

El promedio anual de días por lluvia aumenta de 70 a más de 140. Climáticamente para la región se han establecido cuatro zonas en orden de altitud, las cuales se clasifican en:

- Muy cálidas y parcialmente secas
- Muy cálidas y húmedas
- Cálidas y húmedas
- Cálidas y muy húmedas

➤ **Hidrología**

El dominio de las fuertes pendientes y abundantes precipitaciones en las cabeceras fluviales así como las rocas impermeables condicionan un elevado drenaje superficial, con los mayores volúmenes en la macropendiente de barlovento Norte.

Por su morfología de cordillera orientada de Este a Oeste se forman dos vertientes fluviales: la Norte, por donde se escurren los ríos Yara, con sus dos afluentes en su nacimiento (Brazo Derecho y Brazo Izquierdo), río Santana de la Maestra y arroyo El Naranjo. La Sur la conforman río Tiopetro (afluente del Magdalena), río La Plata, río Jigüe (afluente de La Plata), río Palma Mocha, arroyo Las Cuevas, arroyo Cabrera, río La Mula, río Turquino(afluente de La Mula) río Brazo Agial (afluente del río Turquino).

De todas estas cuencas hidrográficas las de mayor importancia es la del río Yara que vierte sus aguas al embalse Pasomalo con el doble propósito de uso para regadíos de cultivos y generación de electricidad.

➤ **Vegetación y flora**

De las veintiocho formaciones vegetales definidas para el nuevo Atlas de Cuba (1992) en el Parque existen ocho, ocupando el 25% del archipiélago, dichas formaciones se encuentran poco modificadas, como el bosque nublado (Nb) de Pico Suecia, donde se desarrollan estudios de investigación científica, dado por las características y capacidad de adaptación de las especies, considerándose un rasgo distintivo entre la diversidad existente.

Además el Monte Fresco (Fr), xerófilo típico (Xt), el pinar (Pn) de *Pinus maestrensis*, Semicaducifolio sobre suelo calizo (Scf-c), Semicaducifolio sobre suelo ácido (Scf-a), Pluvsilva de montaña (Pvs-m), Pluvsilva, Matorral xeromorfo costero, además la vegetación cultural (plátano, malanga, ñame, cítricos y frutales).

La flora del área presenta alto endemismo, destacándose varias especies amenazadas, como *Juniperus saxicola*, *Prothium cubensis*, *Tabebuia oligolepis*,

Talauma minor, *Pitecellobium cubensis*, *Magnolia cubensis*, en las que se trabaja mediante proyectos de investigación, donde se conoce la época de floración, maduración de fruto, recolección de semillas, tiempo de germinación y factores abióticos que interfieren su desarrollo. El área de distribución es diferenciada, debido a que sólo se localiza entre el Pico Joaquín, Loma Nevada, Loma Redonda, Pico Turquino y Pico Cuba entre los 1300-1800 msnm.

➤ **Modificación antrópica. Contaminación**

Históricamente el Parque Nacional Turquino sufrió la acción antrópica de forma directa o indirecta, asociada a los poblados de Yara, Manzanillo, Veguitas y Bartolomé Masó, por toda su extensión Norte, de donde se extrajeron grandes volúmenes de madera que se utilizaban en gobiernos pasados como combustible para la industria azucarera, la construcción de viviendas y la mueblería.

Su extensión Sur fue afectada directamente por una intensa tala de árboles para la extracción de madera, vinculada a algunos aserraderos privados que existían en puntos de embarque en la costa, lo cual dejó calveros intensos que en la actualidad presentan secuelas aisladas, a pesar del enorme esfuerzo y dedicación dirigido a la recuperación de los bosques por parte de la empresa de flora y fauna.

La tala no sólo fue utilizada en este sentido, sino para establecer también extensos cafetales y otros cultivos, así como áreas de potreros. Para lograr estas plantaciones se crearon innumerables caminos que sólo tenían como propósito la extracción de riquezas sin cumplir con ningún requerimiento conservacionista.

Lo anterior trajo como consecuencia la existencia de incendios forestales, la desaparición de importantes poblaciones biológicas, el deterioro de la capa vegetal y la introducción de especies de plantas y animales, algunas convertidas en plagas.

➤ **Focos de contaminación**

El Parque se encuentra afectado fundamentalmente por dos fuentes contaminantes: el vertimiento de residuales sólidos de sustancias no biodegradables, con la presencia del turismo en el área y el pastoreo indiscriminado de ganado menor que influye en la erosión de los suelos y el detrimento de especies naturales.

Con el propio desarrollo socioeconómico de la montaña junto con el interés del turismo de naturaleza, histórico y deportivo, vinieron aparejadas de manera fortuita modificaciones antrópicas como la construcción de la carretera Masó-Alto del Naranjo y la Villa turística de Santo Domingo.

➤ **Evaluación de paisajes. Funcionamiento**

Entre las potencialidades más significativas figuran la conservativa, agrícola, hidrológica y turística, sobresaliendo entre las principales limitaciones para la protección los intereses agrícolas y los asentamientos humanos rurales de bajo desarrollo económico localizados en la misma.

La relación uso potencial es compatible y el estado geoecológico de los paisajes es estable. Los principales procesos físico- geográficos degradantes de las pendientes de enlaces muy húmedas son los erosivos de pendiente y los deslizamientos de tierra.

Encontramos valores naturales de gran importancia como los florísticos, faunísticos, climáticos, hidrológicos y paisajísticos, dedicados a la conservación, encontrándose en estado natural.

4.1.2 Descripción de la situación actual

Esta comunidad no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario y las viviendas no poseen inodoros: al exterior existen letrinas comunes; por lo tanto no hay producción de aguas negras.



Figura 8 – Comunidad Ecológica La Platica: letrina

Las aguas grises se descargan directamente en el medio ambiente o en canales de campaña para luego llegar al cuerpo hídrico receptor por escurrimiento superficial



Figura 9 – Vivienda: descarga del lavamanos



Figura 10 – Vivienda: canal receptor de las descargas

Para el abastecimiento hídrico se utiliza una fuente ubicada aguas arriba en relación al pueblo, pero el agua es distribuida solamente en algunas viviendas y muchos habitantes utilizan el agua de “fuentecitas”.

4.1.3 Análisis de los usuarios

Esta pequeña comunidad está compuesta por 23 viviendas que hospedan un promedio de

4-5 personas cada una y por un pequeño establecimiento turístico (dos habitaciones con ocho camas) sumando un total de 100 habitantes equivalentes.

	n°	gDBO ₅ /dia	l/dia	gDBO ₅ /dia	m ³ /dia	mg DBO ₅ /l
n° habitantes equivalentes	100	60	150	6000	15	400

Tabla 7 – Análisis de los usuarios de la comunidad ecológica La Platica

4.1.4 Propuesta de proyecto

Tomando en cuenta la situación actual y el contexto medio ambiental hemos considerado oportuno elaborar dos propuestas proyecto:

1. Hipótesis 1 – instalación de inodoros conectados a un alcantarillado que lleve las aguas servidas (negras y grises) hacia un sistema de tratamiento apropiado;
2. Hipótesis 2 – separación de aguas negras y grises con la realización de un alcantarillado y un sistema de depuración que trate solamente las aguas grises y la instalación de “compost toilet” para las aguas negras.

Dichas hipótesis serán descritas en detalle en los siguientes párrafos.

4.1.4.1 Descripción de la Hipótesis 1

Esta hipótesis prevé el tratamiento de aguas servidas producidas por la comunidad en un sistema de fitodepuración del tipo con flujo subsuperficial vertical, que no prevé el uso previo de un tratamiento de sedimentación primaria.

Semejante tipología de planta ha sido testada en Francia por el Cemagref (el centro de investigación sobre tratamiento de aguas negras más importante del país) en más de 400 plantas de depuración. Además de garantizar excelentes rendimientos depurativos y ser caracterizada por actividades de operación y mantenimiento sencillas, resulta ser ventajosa sea por los bajos índices de superficie útil versus h.a. (lo cual comporta menores áreas a utilizarse y menor costos de inversión) sea por el hecho que no hay producción de lodos.

De hecho el sistema está compuesto por dos etapas de tratamiento con flujo vertical: la primera substituye en la práctica el tratamiento primario de sedimentación (la fosa séptica o Imhoff), permitiendo de tratar directamente los residuales “brutos”. Los materiales sedimentados forman una costra superficial con una tasa de crecimiento anual de 1,5-2 cm la cual viene removida cada 10-15 años, cuando haya alcanzado un elevado grado de estabilización y pueda ser utilizada como abono orgánico.



Figura 11 – Sistema con flujo vertical para el tratamiento de los residuales “brutos” realizado en Francia

La presencia de las plantas, las condiciones aerobias de los residuales y el funcionamiento con flujo sumergido evitan la difusión de malos olores, la cual se da solamente cuando se distribuye el *liquame* y limitadamente a las áreas adyacentes al sistema. En Francia donde las leyes imponen la realización de cualquier planta de tratamiento a 300 m de las viviendas, no se dieron nunca problemas relacionados con la difusión de malos olores, aerosols o insectos en estos sistemas.

El esquema de tratamiento es el siguiente:

- *grigliatura* manual
- cajas de alimentación
- 1era etapa con flujo sumergido vertical para los *liquami grezzi*;
- cajas de alimentación para la alimentación de la segunda etapa;
- 2da etapa con flujo sumergido vertical;
- caja de regulación;
- tubería de by-pass para eventuales intervenciones de mantenimiento
- caja de muestreo;
- descarga al cuerpo hídrico receptor

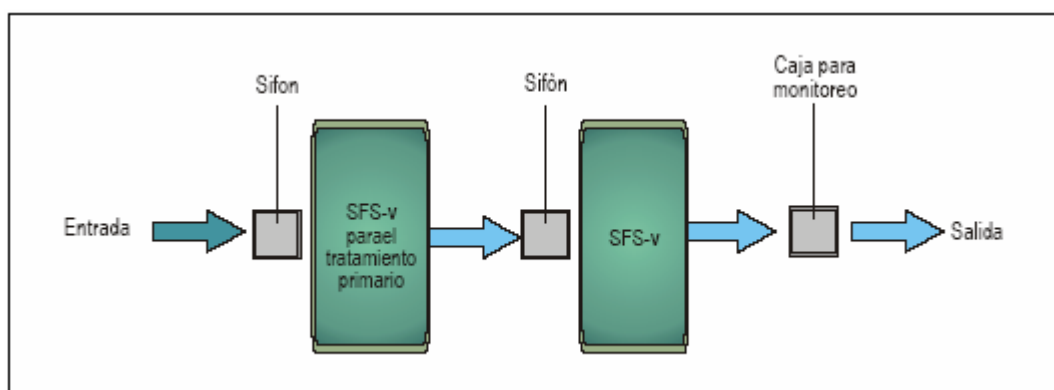


Figura 12 – Sistema depurativo – Hipótesis 1

Parametros	Unidad de medida	
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	100
Caudal medio	m ³ /dia	15
Esquema		
SFS-v para tratamiento primario	m ²	120
SFS-v	m ²	80
Entrada		
DBO ₅	mg/l	400
N total	mg/l	70
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ⁶
Salida		
DBO ₅	mg/l	20
N – NH ₄	mg/l	10
N total	mg/l	20
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ³

Tabla 8 – Datos de proyecto y residuos depurativos de la hipótesis 1

Esta tipología de sistema permite evitar la utilización de sistemas de sedimentación primaria y por ende la formación de lodos; por lo tanto su aplicación puede solucionar el problema de la eliminación de los lodos. En lugares con La Platica eso puede resultar particularmente interesante debido la escasa accesibilidad de la zona.

En la siguiente tabla aparecen los costos para la realización del sistema depurativo propuesto, mientras que los costos de construcción del alcantarillado y de los inodoros serán calculados por las oficinas técnicas locales.

Materiales	Costos
Materiales inertes	€ 1.312,62
Materiales de construcción	€ 826,33
Geomembrana y geotextiles	€ 4.324,92
materiales hidráulicos	€ 8.055,65
	€ 14.519,52

Tabla 9 – Costos para la realización de la hipótesis 1

4.1.4.2 Descripción de la Hipótesis 2

La hipótesis dos prevé la separación de las aguas negras de las aguas grises: las aguas grises serán tratadas en un sistema de fitodepuración con flujo subsuperficial vertical sumergido para ser luego descargadas en el cuerpo hídrico receptor que fluye adyacente al área de la planta (Figura 13). Si se creará oportuno las aguas tratadas podrían ser utilizadas para riego de áreas verdes. Además de eso se prevé el utilizo de “**compost toilet**” (Figura 14), lo cual permitiría no tener que tratar aguas negras con plantas de depuración.

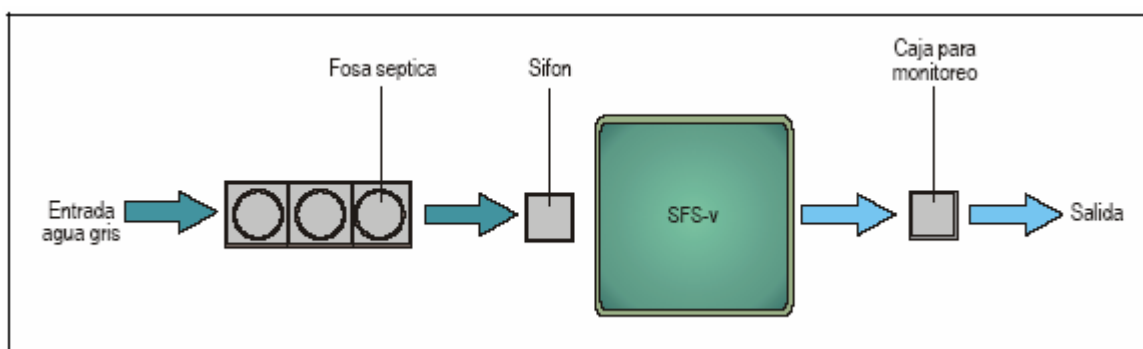


Figura 13 – Esquema de máxima del sistema depurativo relativo a las aguas grises – hipótesis 2

Los “**compost toilet**” son inodoros especiales donde las orinas vienen separadas mecánicamente de la heces: las orinas pueden ser recolectadas en tanques de almacenamiento y luego ser utilizadas como abono, mientras que las heces vienen almacenadas en pequeñas unidades de compostaje, generalmente un contenedor a nivel del piso y más abajo una cámara de acumulación (las orinas también pueden ir directamente a la cámara de compostaje, la cual en ese caso será más grande).

El contenedor tiene que ser suficientemente grande como para tener un volumen mínimo necesario para el compostaje de 1 m³ aproximadamente. Una familia de 6 personas produce cada año aproximadamente 1,4 m³ (más o menos 1000 Kg) de compost: el contenedor tendrá un volumen aproximado de 3-4m³, de esa forma tendría que ser vaciado solamente cada 2-3 años.

Un sistema de aeración integrado hace que la planta no tenga malos olores incluso durante el uso. El contenedor es térmicamente aislado y se instala bajo el tubo de descarga vertical que sale del inodoro (Figura 14). Los “compost toilet” son generalmente construidos de modo que

no sea necesario enjuagarlos con agua, son realizados en plástico, acero o cerámica para sanitarios.

De muchas investigaciones resulta que tales dispositivos permiten ahorrar hasta 20,000 litros de agua potable por persona cada año. Además se producen cerca de 40 litros de tierra fértil por persona cada año, tierra que puede ser utilizada como abono orgánico.

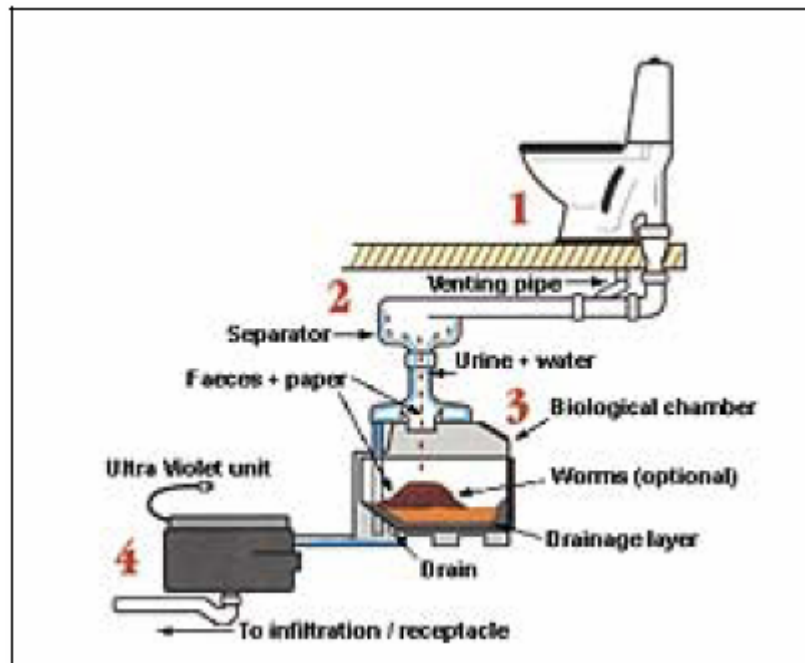


Figura 14 - Schema di un "compost toilet" (hipótesis 2)

Estas hipótesis de proyecto ha sido tomadas en cuenta por no existir un sistema de alcantarillado sanitario y por el hecho que las aguas negras y grises son fácilmente separables (los inodoros ya están separados de los lavamanos).

Ese tipo de enfoque encaja con la filosofía de diseño conocida como "Sustainable Sanitation" que, en los últimos años, se ha difundido ampliamente en Europa y en los países en vía de desarrollo. Se trata de una forma de pensar y diseñar no solamente la depuración sino que todo el ciclo integrado de las aguas, con el fin de reducir los consumos, racionalizar los usos, realizar sistemas eficientes, incluso frente a altas variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas, a través del uso de tecnologías ecosostenibles. Las técnicas propuestas son caracterizadas por bajos consumos energéticos, extrema facilidad en las actividades de operación y mantenimiento, reducida producción de desechos o descargas, utilizzo de materiales no tóxicos y presentes en la zona. Ahorro hídrico, reciclaje, reutilización son palabras claves en esta estrategia de gestión de las aguas, junto al tratamiento de las descargas y la restitución al medio ambiente de aguas no contaminadas.

La separación de las aguas grises de las aguas negras permite, en virtud del menor contenido en patógenos de las aguas grises, el utilizzo de sistemas depurativos de menor tamaño por ser

los proceso degradativos más rápidos. De hecho las aguas negras contienen sustancias orgánicas que han sufrido el más efectivo de los procesos de degradación: la digestión humana. Se comprende por qué los residuos de tal proceso no se puedan descomponer rápidamente en agua, ambiente no apto para la población bacteriana en ellas. En las aguas negras por ejemplo en cinco días de proceso degradativo biológico solamente el 40% de las sustancias orgánicas presentes sufre por completo el proceso de mineralización, mientras que en las aguas grises en el mismo tiempo se consigue la remoción del 90%. Este rápido decaimiento de la sustancia orgánica presente en las aguas grises puede ser explicado con la abundancia de azúcares, proteínas y grasa fácilmente disponibles para la flora bacteriana característica de dichas aguas servidas. Por ende la mayor biodegradabilidad de las aguas grises permite utilizar coeficientes más bajos en el diseño de los sistemas de fitodepuración con la consiguiente reducción de las áreas utilizadas y por ende ahorro de recursos económicos y optimización de las áreas a utilizar.

Considerado que las aguas grises constituyen aproximadamente el 70% de las descargas totales y contienen cerca del 40% de carga orgánica se obtiene lo siguiente:

agua gris	n°	gDBO ₅ /dia	l/dia	gDBO ₅ /dia	m ³ /dia	mg DBO ₅ /l
n° habitantes equivalentes	100	24	105	2400	10,5	230

Tabla 10 – Análisis de los usuarios de los aguas grises producidas por la comunidad ecológica La Platica

<i>Parametros (agua gris)</i>	<i>Unidad de medida</i>	
Habitantes equivalentes (H.E.)	H.E.	100
Caudal medio	m ³ /dia	10,5
Esquema		
tratamiento primario	m ³	10
SFS-v	m ²	150
Entrada		
DBO ₅	mg/l	230
N total	mg/l	10
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ³ – 10 ⁴
Salida		
DBO ₅	mg/l	20
N – NH ₄	mg/l	3
N total	mg/l	5
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ¹ – 10 ²

Tabla 11 – Datos de proyecto y residuos depurativos de la hipótesis 2

Como se puede observar confrontando las Tabla 8 y Tabla 11 los rendimientos depurativos son mayores en la segunda hipótesis, sobre todo a raíz del hecho que los compuestos del nitrógeno vienen reciclados a través del compostaje.

<i>Materiales</i>	Costos
Materiales inertes	€ 1.001,77
Materiales de construcción	€ 1.266,46
Geomembrana y geotextiles	€ 3.040,96
materiales hidráulicos	€ 7.062,90
	€ 12.372,09

Tabla 12 – Costos para la realización de la hipótesis 2

Concluyendo, los costos de la segunda hipótesis son significativamente inferiores, sobre todo considerando que en la primera hipótesis habría que añadir, al gasto por la construcción del sistema de tratamiento, los costos de realización de la red de alcantarillado.

4.2 COMUNIDAD LAS NOVILLAS

4.2.1 Descripción de la situación actual

La comunidad posee alcantarillado y por eso todo el material refluyente esta' colectado a un único punto de descarga. El colector esta' puesto a mas o menos 1-1.2 metros de profundidad, con barro vidrificado (pedazos de 1-1.5 metros, conectados con cemento).



Figura 15 – Descarga del colector de la comunidad Las Novillas



Figura 16 – Cuerpo hídrico receptor cerca de la descarga



Figura 17 – Cuerpo hídrico receptor abajo de la descarga

El cuerpo receptor es un canal (Figura 17 y Figura 18) afluente del Rio Palmas, que es también afluente del Rio Yara. Este ultimo desagua, a 4 km, de distancia, en un área húmeda (humedales) de grande valor natural, al lado de la área costera de Manzanillo. Las aguas contaminadas por eso son con facilidad vehiculadas a áreas de balneación.

El impacto higiénico-sanitario de esos usuarios está bien representado en las figuras siguientes, particularmente en la Figura 18 se ve una fuerte contaminación orgánica y condiciones anoxicas.



Figura 18 – Particular del cuerpo receptor

4.2.2 Análisis de los usuarios

En esta comunidad se encuentran 500 viviendas con un total de cerca 2000 habitantes residentes.

	n°	gDBO ₅ /dia	l/dia	gDBO ₅ /dia	m ³ /dia	mg DBO ₅ /l
n° habitantes	2000	60	120	120000	240	500

Tabla 13 – Análisis de los usuarios de la comunidad Las Novillas

4.2.3 Propuesta de proyecto

En ese caso la propuesta es la realización de un sistema piloto que maneja solo una parte de los residuales, para 250 habitantes. Después de la fase de monitoreo del piloto, examinada y aprobada la solución de la construcción y la oportuna producción de aguas depuradas, será posible construir el sistema para la comunidad entera, dimensionado a través de los resultados obtenidos.

Pero, en consideración del impacto ambiental de las descargas actuales, sería mejor, en esa primera fase, hacer un tratamiento primario para toda la comunidad, de manera que pueda ser garantizado un tratamiento preliminar con una reducción, aunque sea parcial, de la carga de contaminación (reducción del 25-30% de la carga orgánica y del 60% del material sólido suspendido total en ingreso).

El tratamiento primario será hecho a través la realización de un tanque séptica tipo Imhoff. Esta representan un sistema muy bueno para el tratamiento primario de las aguas residuales, particularmente para pequeñas y medias comunidades, en consecuencia de la reducida complejidad de funcionamiento y pues de gestión. Técnicamente los tanques son unidades que unen funciones de separación de los sólidos de sedimentación (sedimentación primaria) y

digestión anaerobia de los fangos de sedimentación. Ulteriores detalles técnicos podrán ser aclarados en la fase del proyecto ejecutivo.

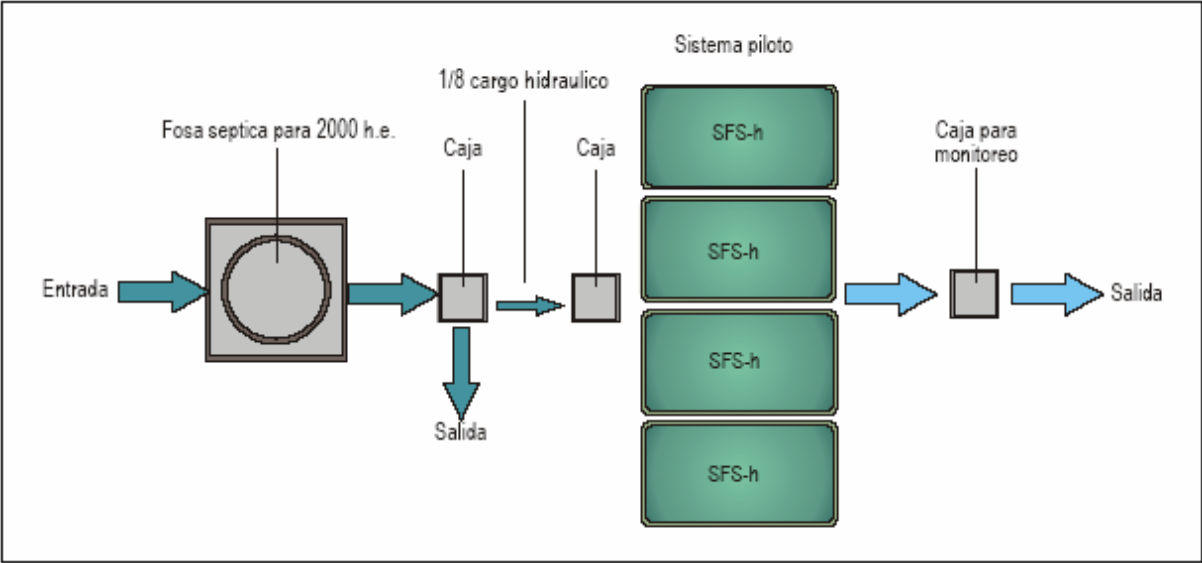


Figura 19 – Esquema de máxima del sistema piloto

Abajo de la Imhoff está pensado utilizar, como tratamiento secundario, un sistema de fitodepuración diseñado para tratar acerca 1/8 del cargo hidráulico en salida da la fosa séptica (eso es decir mas o menos 250 h.e.); el sistema piloto ira' a constituir una línea de tratamiento de la instalación completa.

La estructuración en paralelo de las fosas podría permitir actividades de investigación científica respecto al uso de diferentes plantas.

Parámetros	Unidad de medida	
Habitantes equivalentes (h.e.)	H.E.	2000
Caudal medio (Fosa séptica)	m ³ /dia	240
Caudal medio (Impianto Pilota)	m ³ /dia	30
Esquema		
Fosa séptica (para todos los usuarios)	m ³	60
Impianto Pilota (250 h.e.): SFS-h	m ²	750
Entrada		
DBO5	mg/l	500
N total	mg/l	70
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ⁸
Salida		
DBO5	mg/l	6
N – NH4	mg/l	30
N total	mg/l	31
Escherichia Coli	UFC/100ml	10 ² - 10 ³

Tabla 14 – Datos de proyecto y restos depurativos del sistema piloto

<i>Materiales</i>	Costos
Materiales inertes	€ 4.327,70
Materiales de construcción	€ 14.807,60
Geomembrana y geotextiles	€ 14.650,68
materiales hidráulicos	€ 5.342,01
	€ 39.127,99

Tabla 15 – Costos para la realización del tratamiento primario y del sistema piloto

Para realizar la instalación para la entera comunidad, se calcula un costo mas o menos de € 225.000,00.

5. PLAN DE MONITOREO DE LOS SISTEMAS

Para convalidar la tecnología en Cuba, es necesario efectuar un monitoreo de los sistemas que serán realizados como experiencia piloto.

El monitoreo permitirá valorar los restos depurativos efectivos de los sistemas en función de las condiciones climáticas y ambientales locales y de calcular la dimensión de manera oportuna.

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 por el Centro de la Montaña, que dispone de los laboratorios y del personal técnico adecuado para este tipo de investigación.

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

<i>DCO</i>
<i>DBO₅</i>
<i>Sólidos suspendidos total</i>
<i>Coliformes totales</i>
<i>Coliformes fecales (Escherichia coli)</i>
<i>Streptococchi</i>
<i>Fósforo Total</i>
<i>Amoníaco</i>
<i>Nitratos</i>
<i>Azoto Total</i>
<i>T</i>
<i>O₂ disuelto</i>
<i>pH</i>
<i>Tensoactivos aniónicos</i>
<i>Tensoactivos catiónicos</i>

Tabella 16 – Parámetros de monitoreo

Los datos serán transmitidos, cada 15 días, a ARPAT (Agenzia regionale per la Protezione Ambientale della Toscana) para su elaboración.

Los costos de monitoreo para cada experiencia piloto, para un año, son estimados en 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	Instalación	Esquema	Costos
Bayamo	Comunidad Ecológica	HP1: SFS-v para el tratamiento primario (120 mq) + SFS-v (80 mq)	€ 14.519,52
	La Platica	HP1: Compost toilets y tratamiento agua gris SFS-h (150 mq)	€ 12.372,09
Manzanillo	Las Novillas	Fosa séptica para 2000 h.e. + sistema piloto SFS-h (750 mq) para el tratamiento de 250 h.e.	€ 39.127,99

Tabla 17 – 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

AA.VV., 1997, **Sustainable Housing in Europe**. In: **Sustainable Building, Independent Journal on Building and the Environment**. Special issue: Europe ' October 1997, pp. 8-41

AA.VV, **Acqua. Sistemi e dispositivi per il risparmio e il riuso**, EdicomEdizioni, 2002

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 Cameroni 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.

Cimatti E., **La casa efficiente**, Centro Informazione ENEA Brasimone 2003

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.

Clivus Multrum, Inc.. **When nature calls... it calls Clivus** Clivus Multrum, Inc. Lawrence, Massachusetts, 1994

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.

Crites, R. and G. Tchobanoglous **Small and Decentralized Wastewater Management Systems. The McGraw-Hill Companies.** New York,1998.

Del Porto, D. A. and C. J. Steinfeld.. **The Composting Toilet Book.** Chelsea Green Publishing, Inc. Whiteriver Junction, Vermont,1998

Dixon A., Butler D., Fewkes A. **Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination**, Wat. Sci.Tech, Vol.39, No.5, p.25-32. 1999

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

Fittschen I., and Hahn H.H. (1998). **Human urine – water pollutant or possible resource?**, paper presented at the 19th IAWQ Biennial Conference, Vancouver, 21-26 June 1998.

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

Lens P., Zeeman G. e Lettinga G. – **Decentralised Sanitation and Reuse: concepts, systems and implementation**, IWA Publishing, 2001.

Masi F., Martinuzzi N., Loisel 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 7th 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** 1st. 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.

NSFC, **Composting toilet systems**, Factsheet WWFSO28, National Small Flows Clearinghouse, USA 1998

NSFCH National Small Flows Clearinghouse, **Septage management**, Factsheet WWFSOM311998

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 7th 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: Pattern, 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.