

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a Joan García la ayuda que me ha aportado para la realización de este trabajo enfocándolo y guiándolo durante todo el curso. Gracias también por la confianza depositada.

Gracias también a Darma, Rosa y Erian, por abrirme las puertas su casa, por confiar en mí plenamente y por permitir que una idea se hiciera realidad.

Gracias a Omar por meterme la ilusión de este trabajo en la cabeza, sin ti no hubiera llegado tan lejos. Y porque a tu lado todo es mucho más bonito.

Gracias a todos mis compañeros de carrera, mis amigos, por estar ahí siempre, en los contratiempos de la universidad y en los de la vida, sin vosotros todo hubiera sido diferente. Ahora cambiamos de bar pero no de gente.

Gracias a mis amigos del cole, los de toda la vida, por fin acabo la carrera, ya llega la segunda ingeniera.

Y por último agradecer a mis padres todo. Gracias por regalarme los estudios, por apoyarme siempre, por aguantarme y darme fuerzas. Gracias por no dejar nunca de confiar en mí, creíamos que nunca llegaría este momento pero por fin acabamos la carrera

A todos vosotros, gracias.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar desde un punto de vista técnico, económico y ambiental las diferentes tecnologías de Saneamiento Sostenible para aplicar el conocimiento adquirido en el caso práctico de una casa rural en el sur de España.

Primero se han analizado de manera teórica las tecnologías de Saneamiento Sostenible más importantes actualmente clasificadas según el tipo de residuo que recolectan y tratan. Se han estudiado las tecnologías propias de los sistemas que además de ser viables tecnológicamente y económicamente también protegen los recursos naturales y el medio ambiente, como son el alcantarillado por gravedad, el alcantarillado por vacío, los sanitarios de separación de sólido líquido, el retrete seco, la recolección y tratamiento naturales de las aguas grises, la captación de agua de lluvia, el compostaje de materia orgánica y los tratamientos anaeróbicos.

Se han estudiado cuatro casos reales de aplicación de sistemas de Saneamiento Sostenible. Para la elección de estos casos se ha considerado que fueran representativos de las tecnologías de saneamiento sostenible más utilizadas. Se ha estudiado el caso de un sanitario seco con separación de orina, el de la construcción de un humedal artificial para el tratamiento de agua residual, el de una planta de generación de biogás a partir de desechos humanos y el de un sistema de compostaje de lodos fecales y residuos sólidos urbanos.

Teniendo en cuenta el conocimiento adquirido se ha desarrollado una propuesta de implantación de un sistema completo de Saneamiento Sostenible en una casa rural en una aldea de Huelva. El propósito de la incorporación de este tipo de sistemas en la casa es el de disminuir la contaminación de los suelos de la zona y mejorar la calidad de vida de la familia.

El sistema de Saneamiento Sostenible elegido para implantar en la casa del estudio ha sido un baño seco con recolección de orina y un humedal artificial para la recolección y tratamiento de aguas residuales.

Se ha realizado un estudio económico de la propuesta de saneamiento desarrollada comparándola con otras dos alternativas, una fosa séptica con zanjas filtrantes y una conducción de agua hasta el alcantarillado municipal. Se ha considerado tanto la evaluación de los costes como de los beneficios de la construcción de los sistemas de saneamiento.

Se ha llevado a cabo un Análisis de Ciclo de Vida para evaluar los impactos ambientales asociados a la construcción del sistema de saneamiento propuesto. Esto se ha realizado mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados, en la construcción de nuestra propuesta y de las dos alternativas, con el fin de analizar los impactos de estos sobre el medio ambiente, evaluarlos e implementar posibles mejoras. Para obtener los resultados del análisis del impacto se ha utilizado el *software* SimaPro, el cual compara y analiza los datos introducidos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos. Posteriormente se han analizado los resultados obtenidos para las categorías de impacto siguientes: el agotamiento abiótico, la acidificación, la eutrofización, el calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono. Obteniendo como resultado que en el escenario de la conducción de agua el impacto es en todas las categorías significativamente mayor que el obtenido en los otros escenarios. Los valores obtenidos para los escenarios del humedal + UDDT y para la fosa séptica + zanjas filtrantes son muy parecidos en todas las categorías.

PALABRAS CLAVE: análisis técnico, tecnologías de saneamiento sostenible, impacto ambiental, residuos, compostaje, aguas residuales, sanitario, humedal artificial

Resum

El present treball té com objectiu principal avaluar des de un punt de vista tècnic, econòmic i ambiental les diferents tecnologies de Sanejament Sostenible per aplicar els coneixements adquirits en el cas pràctic d'una casa rural al sud d'Espanya.

Primer s'han analitzat de manera teòrica les tecnologies de Sanejament Sostenible més importants actualment classificades segons el tipus de residu que recol·lecten i tracten. S'han estudiat les tecnologies pròpies dels sistemes que a més de ser viables tecnològica i econòmicament també protegeixen els recursos naturals i el medi ambient, com són el clavegueram per gravetat, el clavegueram al buit, els sanitaris de separació de sòlid-líquid, el vàter sec, la recol·lecció i tractament natural d'aigües grises'

S'han estudiat quatre casos reals d'aplicació de sistemes de Sanejament Sostenible. Per a la elecció d'aquests casos s'ha considerat que fossin representatius de les tecnologies de sanejament sostenible més utilitzades. S'ha estudiat el cas d'un sanitari sec amb separació d'orina, el de la construcció d'un aiguamoll artificial pel tractament d'aigües residuals, el d'una planta de biogàs a partir de deixalles orgàniques i el d'un sistema de compostatge a partir de llots fecals i residus sòlids urbans.

Tenint en compte els coneixements adquirits s'ha desenvolupat una proposta d'implantació d'un sistema complet de Sanejament Sostenible a una casa rural a un poble de Huelva. El propòsit de la incorporació d'aquests tipus de sistemes a la casa és el de disminuir la contaminació dels sòls de la zona i millorar la qualitat de vida de la família.

El sistema de Sanejament Sostenible escollit per implantar a la casa d'estudi ha estat un sanitari sec amb recol·lecció d'orina i un aiguamoll artificial per a la recol·lecció i tractament d'aigües residuals.

S'ha realitzat un estudi econòmic de la proposta de sanejament desenvolupada comparant-la amb les altres dues alternatives, una fosa sèptica amb rases filtrants i una conducció d'aigua fins el clavegueram municipal. S'ha considerat tant la avaluació dels costos com dels beneficis de la construcció dels sistemes de sanejament.

S'ha dut a terme un Anàlisi de Cicle de Vida per avaluar els impactes ambientals associats a la construcció del sistema de sanejament proposat. Això s'ha realitzat mitjançant la identificació i la quantificació de la energia i els materials utilitzats, a la construcció de la nostra proposta i de les dues alternatives, per tal d'analitzar els impactes d'aquests sobre el medi ambient, avaluar-los i implementar possibles millores. Per obtenir els resultats de la anàlisi de l'impacte s'ha utilitzat el *software* SimaPro, el qual compara i analitza les dades introduïdes descomposant-les en tots els seus materials i processos. Posteriorment s'han analitzat els resultats obtinguts per a les categories d'impacte següents: l'esgotament abiòtic, la acidificació, la eutrofització, l'escalfament global i l'esgotament de la capa de ozó. Obtenint com a resultat que a l'escenari de la conducció d'aigua l'impacte és en totes les categories significativament més gran que l'obtingut en els altres escenaris. Els valors obtinguts pels escenaris de l'aiguamoll + UDDT y per a la fosa sèptica amb rases filtrants són molt semblants en totes les categories

PARAULES CLAU: anàlisi tècnic, tecnologies de sanejament sostenible, impacte ambiental, residus, compostatge, aigües residuals, sanitari, aiguamoll artificial

Abstract

This thesis is based on the analysis of the Sustainable Sanitation technologies in a technical, economic and environmental way, applying lessons learned from the study case of a rural home in the south of Spain.

Firstly, the most important theoretical Sustainable Sanitation technologies have been analyzed classifying them by type of waste collected and treated method used. The system's technologies have been studied trying to be technologically and economically viable and protecting natural resources and the environment, such as gravity sewers, vacuum sewers, solid-liquid separation toilet, dry toilet, rainwater harvesting, composting organic waste, anaerobic treatment and constructed wetlands.

Four real study applications of Sustainable Sanitation systems have been studied: a dry toilet with urine separation, a constructed wetland to treat wastewater, the biogas plant from human waste and a composting system faecal sludge and urban solid waste.

After the results obtained, a proposal to implement a complete system of Sustainable Sanitation in a country house in a village in Huelva has been developed. The purpose of incorporating such systems in the house is to reduce the contamination of soils in the area and improve the quality of family life.

The Sustainable Sanitation system chosen to implement in the house of study was a dry toilet with urine collection and a constructed wetland to collect and treat the wastewater.

We carried out an economic study of the proposed sanitation and compared to other two alternatives, a septic tank with filter ditches and a wastewater pipe to the municipal sewer. Both, the assessment of costs and benefits of constructing sanitation systems, have been considered.

A Life Cycle Analysis has been used to evaluate environmental damages associate with the construction of the proposed sanitation system. This analysis is done by identifying and quantifying energy and materials used in the construction of our proposal and the alternatives, in order to analyze the impacts of these on the environment, evaluate and implement improvements. The software *SimaPro* has been used for the results of impact analysis, which compares and analyzes the data entered by breaking them in all their materials and processes. Subsequently we have analyzed the results for the following impact categories: abiotic depletion, acidification, eutrophication, global warming and the depletion of the ozone layer. With the result that on the alternative of a wastewater pipe to the municipal sewer, the impact in all categories is significantly higher than that obtained in the others. The values obtained for the scenarios of the wetland + UDDT and a septic tank with filter ditches are very similar in all categories.

KEY WORDS: technical analysis, sustainable sanitation technologies, environment impact, waste, composting, wastewater, toilet, constructed wetland

Índice

Resumen	III
Resum	V
Abstract.....	VII
Índice	IX
Lista de Tablas	XII
Lista de Figuras	XIII
Lista de Ilustraciones.....	XIII
1 Introducción y objetivos	15
1.1 Introducción	15
1.2 Objetivos.....	16
2 Análisis sobre las Tecnologías de Saneamiento Sostenible	19
2.1 Tipos de tecnologías	19
2.1.1 Alcantarillado por gravedad	19
2.1.2 Alcantarillado por vacío	21
2.1.3 Separación sólido-líquido	23
2.1.4 Sanitarios de compostaje	27
2.1.5 Recolección separada de aguas grises.....	28
2.1.6 Captación de agua de lluvia.....	29
2.1.7 Almacenamiento prolongado.....	31
2.1.8 Tratamiento anaeróbico.....	35
2.1.9 Sistemas naturales de tratamiento	39
4 Casos Estudiados	49
4.1 Sanitarios secos con separación de orina en un área rural, Tututepec, Oaxaca, México	49
4.1.1 Objetivos del proyecto	49
4.1.2 Localización y condiciones generales	49
4.1.3 Historia del proyecto	50
4.1.4 Tecnología utilizada.....	50
4.1.5 Información del diseño.....	51
4.1.6 Tipo y nivel de reutilización	51
4.1.7 Otros componentes.....	54
4.1.8 Costes	56
4.1.9 Operaciones y mantenimiento	56
4.1.10 Experiencia práctica y lecciones aprendidas	57
4.1.11 Criterio de sostenibilidad y saneamiento.....	58

4.2	Tratamiento del agua residual usando humedales construidos. Tirana, Albania	59
4.2.1	Objetivos del proyecto	59
4.2.2	Localización y condiciones generales	59
4.2.3	Historia del proyecto	61
4.2.4	Tecnología utilizada	61
4.2.5	Información del diseño	63
4.2.6	Tipo y nivel de reutilización	65
4.2.7	Otros componentes del proyecto.....	65
4.2.8	Costes	65
4.2.9	Operaciones y mantenimiento	66
4.2.10	Experiencia práctica y lecciones aprendidas	66
4.2.11	Criterios de sostenibilidad del saneamiento	66
4.3	Aseo público con planta de biogàs y centro de distribución de agua. Naivasha, Kenya.....	68
4.3.1	Objetivo del proyecto	68
4.3.2	Localización y condiciones.....	68
4.3.3	Historia del proyecto	70
4.3.4	Tecnología aplicada	71
4.3.5	Información de diseño.....	74
4.3.6	Tipo de reutilización	75
4.3.7	Otros componentes del proyecto.....	75
4.3.8	Costes	75
4.3.9	Operaciones de mantenimiento.....	76
4.3.10	Experiencia práctica y lecciones aprendidas	77
4.3.11	Asentamientos sostenibles e impacto a largo plazo	78
4.4	Co-compostaje de lodos fecales y residuos sólidos orgánicos. Kumasi, Ghana.....	80
4.4.1	Objetivo del proyecto	80
4.4.2	Localización y condiciones.....	80
4.4.3	Historia del proyecto	81
4.4.4	Tecnología aplicada	81
4.4.5	Información de diseño.....	82
4.4.6	Tipo de reutilización	84
4.4.7	Otros componentes del proyecto.....	84
4.4.8	Costes	85
4.4.9	Operaciones de mantenimiento.....	85
4.4.10	Experiencia práctica y lecciones aprendidas	86
4.4.11	Asentamiento sostenible e impacto a largo plazo	86

5	Propuesta de Saneamiento Sostenible	89
5.1	Área y localización del proyecto	89
5.2	Situación actual	89
5.3	Objetivos del proyecto	90
5.4	Introducción al proyecto	90
5.5	Implantación de las tecnologías EcoSan óptimas para este proyecto	90
5.5.1	Recolección, tratamiento y utilización de los desechos orgánicos	91
5.5.2	Recolección, tratamiento y utilización de excrementos y orina	91
5.5.3	Recolección, tratamiento y utilización de aguas grises	92
5.6	Diseño del baño seco y el humedal artificial	92
5.6.1	Diseño del baño seco	92
5.6.2	Diseño del tratamiento de aguas grises	96
6	Análisis económico	105
6.1	Evaluación de los costes	105
6.2	Evaluación de los beneficios	105
7	Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	107
7.1	Normativas	107
7.2	Objetivo y alcance del estudio	107
7.2.1	Unidad funcional	108
7.3	Análisis del inventario	108
7.3.1	Estructura del baño seco y el sistema de humedales construido	108
7.3.2	Estructura de la fosa séptica y el sistema de zanjas filtrantes	110
7.3.3	Estructura de la conducción de agua	112
7.4	Análisis del impacto	113
7.4.1	Metodología	113
7.4.2	Resultados	113
7.4.3	Interpretación de los resultados	116
8	Conclusiones	117
8.1	Recomendaciones y líneas futuras	118
9	Bibliografía	119
ANEXOS		123
	ANEXO I: BALANCE HÍDRICO	123
	ANEXO II: Planos	125
	ANEXO III: Presupuestos	128

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Resumen de las Tecnologías de Saneamiento Sostenible	19
Tabla 2.2. Tabla comparativa del alcantarillado por gravedad y el alcantarillado por vacío.	23
Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la utilización de un UDDT.	25
Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de la utilización de un urinario.	26
Tabla 2.5. Ventajas y desventajas de la utilización de un retrete seco.	28
Tabla 2.6. Relación carbono/nitrógeno de varios subproductos	32
Tabla 2.7. Composición típica del biogás.	35
Tabla 2.8. Tabla comparativa de los tipos de biodigestores.	38
Tabla 2.9. Principales contaminantes del agua y sus posibles efectos en la salud.	45
Tabla 4.1. Tabla con el desglose de costes del proyecto en EUR.	56
Tabla 4.2. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible	58
Tabla 4.3. Resumen de los logros del tratamiento.....	62
Tabla 4.4. Suposiciones básicas de diseño	63
Tabla 4.5. Dimensionamiento considerado en la construcción de los humedales de la Aldea.	65
Tabla 4.6. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible	66
Tabla 4.7. Promedio de costes de operación por año para el operador	76
Tabla 4.8. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible	78
Tabla 4.9. Criterios de diseño e hipótesis utilizadas.....	83
Tabla 4.10. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible	87
Tabla 5.1. Balance Hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009.	90
Tabla 5.2. Balance Hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009.	97
Tabla 5.3. Coeficientes de temperatura y constantes de reacción para 20°C.	97
Tabla 5.4. Composición típica de las aguas grises.	98
Tabla 5.5. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas mediante tratamiento secundario.	98
Tabla 5.6. Los valores típicos de sustratos de humedales construidos.....	99
Tabla 5.7. Resumen de los resultados obtenidos.	100
Tabla 6.1. Coste total de las diferentes alternativas	105
Tabla 7.1. Dimensiones cámaras del baño seco	108
Tabla 7.2. Material utilizado en la construcción de las cámaras de recolección del baño seco.	109
Tabla 7.3. Dimensiones del sistema de humedales artificiales construidos	109
Tabla 7.4. Material utilizado en la construcción del sistema de humedales artificiales.	110
Tabla 7.5. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción del sistema de humedales construidos.	110
Tabla 7.6. Dimensiones de la fosa séptica	110
Tabla 7.7. Material utilizado en la construcción de la fosa séptica.....	111
Tabla 7.8. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción de la fosa séptica.	111
Tabla 7.9. Dimensiones de las zanjas filtrantes.....	111
Tabla 7.10. Material utilizado en la construcción de las zanjas filtrantes	111
Tabla 7.11. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción de las zanjas filtrantes.	112
Tabla 7.12. Dimensiones de la conducción de agua.....	112
Tabla 7.13. Material utilizado en la construcción de la conducción de agua.....	112
Tabla 7.14. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción del sistema de conducción de agua.....	113
Tabla 7.15. Resultados del agotamiento abiótico.	114
Tabla 7.16. Resultados de la acidificación	115
Tabla 7.17. Resultados de la Eutrofización.....	115
Tabla 7.18. Resultados del calentamiento global (GWP100)	115

Tabla 7.19. Resultados del agotamiento de la capa de Ozono	116
--	-----

Lista de Figuras

Figura 2.1. Sistema de alcantarillado por vacío.....	22
Figura 2.2. Perfil diente de sierra. Pendiente requerida en un sistema de alcantarillado por vacío.	22
Figura 2.3. Esquema de un UDDT.	24
Figura 2.4. Esquema de un urinario. IZQ: masculino, DCHA: femenino	26
Figura 2.5. Esquema de un retrete seco.....	28
Figura 2.6. Esquema de un sistema de captación de agua pluvial en techos.	31
Figura 2.7. Evolución del pH durante el proceso de maduración.	33
Figura 2.8. Evolución de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración.)	33
Figura 2.9. Esquema de un sistema de humedal artificial.....	40
Figura 4.1. Plano conceptual de los compartimentos para deshidratación de las heces fecales de un UDDT individual.	50
Figura 4.2. Plano conceptual de los compartimentos para la recolección de orina de un UDDT individual. ...	51
Figura 4.3. Comparación de planta en surco y planta en cama doble excavada.	53
Figura 4.4. “Cerrar el Ciclo”. <i>Ecosan - Closing the loop</i>	54
Figura 4.5. Material didáctico para promocionar el buen uso de los UDDTs.....	55
Figura 4.6. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	62
Figura 4.7. Dibujo técnico de la Planta de Biogas.....	74
Figura 4.8. Principio estructural de un lecho de secado	83
Figura 5.1. Detalle del plano del baño seco proyectado	93
Figura 5.2. Detalle del plano del humedal propuesto	102

Lista de Ilustraciones

Ilustración 2.1. Taza de un inodoro con separación de orina	24
Ilustración 2.2. Sistema Windrow.....	34
Ilustración 2.3. Sistema de pilas estáticas aireadas.....	35
Ilustración 2.4. Espadaña.....	46
Ilustración 2.5. Juncos	47
Ilustración 2.6. Carrizo.....	47
Ilustración 4.1. Situación de la Aldea Infantil SOS en Albania.....	60
Ilustración 4.2. Tuberías de recolección perforadas y colocadas en la parte inferior del humedal.	64
Ilustración 4.3. Imagen de la estación de autobuses de Naivasha.	69
Ilustración 4.4. Usuarios del centro de distribución del agua	72
Ilustración 4.5. Izquierda: Urinario de pared. Derecha: Letrina de cerámica con cisterna.....	73
Ilustración 5.1. Localización del proyecto	89
Ilustración 5.2. Interior y exterior de la letrina usada por la familia antes del proyecto.....	92
Ilustración 5.3. Ejemplo de colocación del tubo para la ventilación del compartimento.....	94
Ilustración 5.4. Ejemplo de tubería para la orina en el interior de un compartimento.	94
Ilustración 5.5. Ejemplo de diseño de un UDDT de fosa alterna en Perú.	95
Ilustración 7.1. Límites de los procesos planetarios definidos, en rojo los que ya se han traspasado.....	114

1 Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El principal objetivo de un sistema de saneamiento es promover y proteger la salud humana suministrando un medio ambiente limpio y rompiendo el ciclo de enfermedades. (International Water Association, 2003) Para que sea sostenible, un sistema de saneamiento no debe ser únicamente viable económicamente, aceptable socialmente y tecnológica e institucionalmente apropiado, sino que también debe proteger los recursos naturales y el medio ambiente.

Cuando se mejora un sistema ya existente o se diseña uno nuevo se deben tener en cuenta los criterios de sostenibilidad relacionados con los siguientes aspectos:

- Salud e higiene

El riesgo de exposición a los agentes biológicos patógenos y sustancias peligrosas que pueden afectar a la salud pública en todos los puntos de un sistema de saneamiento: desde el inodoro, pasando por la recolección y el sistema de tratamiento, hasta el punto de reutilización. En este punto también se incluyen los aspectos de higiene, nutrición y mejora de la calidad de vida debidos a la implantación de un sistema de saneamiento adecuado.

- Medio ambiente y recursos naturales

La energía, el agua y otros recursos naturales necesarios para la construcción, operación y mantenimiento del sistema de saneamiento. Este criterio también incluye el grado de reciclaje y la protección de otros recursos no renovables a través de la producción de energías renovables, como por ejemplo el biogás.

- Tecnología y operación

La facilidad con la cual el sistema completo (se incluyen las etapas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final) puede ser construido, operado y monitoreado por la comunidad local y/o el equipo técnico. Otros aspectos importantes también a tener en cuenta son la solidez del sistema, su vulnerabilidad a los cortes de energía, escasez de agua, inundaciones y la flexibilidad y adaptabilidad de sus elementos técnicos a las infraestructuras ya existentes y a los desarrollos demográficos y socio-económicos.

- Aspectos económicos y financieros

La capacidad de los hogares y/o comunidades a pagar por el saneamiento, incluyendo la construcción, la operación, el mantenimiento y las reinversiones necesarias para el sistema. Además de evaluar estos costes directos, también se deben considerar los beneficios directos del reciclaje de productos.

- Aspectos socio-culturales e institucionales

Se debe evaluar la aceptación socio-cultural, la adaptación del sistema a la comunidad.

Actualmente, el Saneamiento Ecológico Sostenible surge como una alternativa en un planeta donde 2.600 millones de personas no tienen acceso al saneamiento básico y ello se convierte en una de las principales causas de enfermedad y muerte en los países en vías de desarrollo (European Comission, 2010). En contraste, el agua es cada vez más escasa y su aprovechamiento debe priorizarse para usos primarios. Por ello también es una alternativa para países desarrollados.

De hecho, la implantación de Sistemas de Saneamiento Sostenible puede contribuir a alcanzar al menos cuatro de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio acordados para el 2015 impulsados en el año 2000 por las Naciones Unidas (Naciones Unidas , 2008):

Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre

Este objetivo se basa en reducir a la mitad el porcentaje de personas con ingresos inferiores a un dólar, garantizar empleo pleno y productivo para todas las personas, incluidas mujeres y jóvenes, y reducir a la mitad el porcentaje de personas que padezcan hambre.

Objetivo 4: Reducir la mortalidad infantil

Este objetivo se basa en reducir la mortalidad infantil, principalmente reduciendo las enfermedades que son causas principales de muerte de los niños menores de 5 años de países en desarrollo como son el sarampión, el sida, la malaria, la neumonía, enfermedades diarreicas y causas neonatales. Desde 1990, la tasa de mortalidad de niños menores de cinco años en los países en desarrollo disminuyó un 28% (de 100 muertes por cada 1000 niños nacidos vivos pasó a 72 en 2008). Globalmente, la cantidad total de muertes de niños menores de 5 años disminuyó de 12,5 millones en 1990 a 8,8 millones en 2008. Esto significa que en 2008 murieron 10.000 niños menos al día que en 1990.

Objetivo 5: Mejorar la salud materna

Este objetivo se basa en lograr una buena salud materna al contar con servicios de salud reproductiva de alta calidad y con una serie de intervenciones bien sincronizadas para asegurar que la mujer sigue un camino seguro hacia la maternidad. Lo contrario provoca cientos de miles de muertes innecesarias cada año, lo cual recuerda el bajo estatus asignado a las mujeres en muchas sociedades.

Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.

Este objetivo se basa en incorporar los principios de desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente, en haber reducido y ralentizado la pérdida de diversidad biológica, reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso al agua potable y a los servicios básicos de saneamiento y haber mejorado en el 2020 la vida de al menos 100 millones de habitantes de barrios marginales. (Naciones Unidas , 2008)

El saneamiento sostenible plantea el uso responsable del agua, la reutilización de nutrientes en la agricultura y en definitiva prácticas eficientes para aprovechar y generar recursos cada vez más escasos.

En este trabajo se analizarán las diferentes tecnologías de saneamiento sostenible conocidas actualmente de manera técnica, económica y ambiental para su posterior aplicación en un proyecto piloto en una casa rural del sur de España, en una zona con escasez de recursos hídricos en verano.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis técnico, económico y ambiental de las tecnologías de Saneamiento Sostenible existentes actualmente.

Los objetivos específicos son:

- a) Analizar las tecnologías de Saneamiento Sostenible más conocidas de manera teórica y con el estudio de cuatro casos de aplicación real
- b) Realizar una propuesta de implantación de un sistema de Saneamiento Sostenible en una casa rural de Huelva, en el sur de España. Una vez estudiadas las tecnologías escoger las que se adaptan mejor a las necesidades de la zona.

- c) Analizar económicamente la viabilidad del sistema propuesto. Una vez realizada nuestra propuesta de Saneamiento Sostenible se analiza económicamente y se compara con otros dos sistemas.
- d) Realizar un análisis del Ciclo de vida del sistema propuesto. Se evalúan los impactos ambientales asociados a la construcción del sistema de saneamiento en la casa rural. Esto se realizará mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados con el fin de analizar los impactos de estos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.

2 Análisis sobre las Tecnologías de Saneamiento Sostenible

Actualmente existen diferentes tecnologías de Saneamiento Sostenible dependiendo de la etapa del proceso que realicen y el tipo de residuo que tratan. En la Tabla 2.1 se muestra un resumen de las diversas tecnologías dependiendo de si forman parte de la etapa de recolección o tratamiento y clasificadas según el tipo de residuo que tratan. También se muestra el uso que se puede hacer del producto final obtenido.

	DESECHOS ORGÁNICOS	EXCREMENTOS	ORINA	AGUAS GRISES	AGUA DE LLUVIA
RECOLECCIÓN	Alcantarillado por gravedad				Recolección de agua de lluvia
	Alcantarillado por vacío				
	Separación sólido-líquido		Recolección separada de aguas grises		
	Sanitarios de deshidratación	Diversificación de la orina			
TRATAMIENTO	Sanitarios de compostaje				Tratamiento del agua de lluvia
	Almacenamiento prolongado		Construcción de humedales, lagunas, biotratamientos...		
	Compostaje	Procesado de la orina			
	Tratamiento anaeróbico				
UTILIZACIÓN	Acondicionamiento del suelo con excrementos y desechos orgánicos tratados		Fertilizar con orina o derivados		(Re)Utilizar el agua como agua de servicio o en agricultura, acuicultura, recarga de agua subterránea...
	Biogás usado para cocinar, electricidad, alumbramiento...				

Tabla 2.1. Resumen de las Tecnologías de Saneamiento Sostenible

2.1 Tipos de tecnologías

En los siguientes apartados se analizan las diferentes tecnologías de Saneamiento Sostenible.

2.1.1 Alcantarillado por gravedad

La red de alcantarillado es un sistema de estructuras y tuberías que se usa para la recogida y transporte de aguas residuales, y en ocasiones también del agua de lluvia, de una comunidad desde el lugar donde se generan hasta el lugar donde se tratan o se vierten al medio natural.

La red de alcantarillado se considera un servicio básico en los países desarrollados. Durante muchos años en los países subdesarrollados se ha dado mucha más importancia a la red de agua potable que a la red de alcantarillado, lo cual ha ocasionado muchos problemas sanitarios. Actualmente los sistemas de alcantarillado

son uno de los requisitos necesarios para que se apruebe la construcción de nuevas urbanizaciones en la mayoría de los países.

Los sistemas de alcantarillado por gravedad son estructuras hidráulicas que funcionan a presión atmosférica. Normalmente están constituidas por canales de sección circular y están enterrados en las vías públicas.

2.1.1.1 Sistemas de alcantarillado por gravedad

Hay dos grandes tipos de sistemas:

- Redes unitarias: las que se proyectan y construyen para recibir un único conducto, mezclando tanto aguas residuales como pluviales.
- Redes separativas: constan de dos canalizaciones totalmente independientes, una que conduce las aguas residuales domésticas (y en algunos casos también las industriales) hasta la estación depuradora, y otra para el agua de lluvia.

Los sistemas de alcantarillado por gravedad son el método más popular para la recolección y conducción de aguas residuales. Está constituido por redes recolectoras que son construidas, generalmente, en la parte central de las calles y avenidas e instaladas en pendiente, permitiendo que se establezca un flujo por gravedad desde las viviendas hasta la planta de tratamiento. Unos de los componentes más importantes de estos sistemas son los pozos de inspección que se ubican principalmente en la intersección de los colectores. La principal función de estas cámaras es la limpieza de los colectores para evitar su obstrucción (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

2.1.1.2 Ventajas e inconvenientes de esta tecnología

Las ventajas de las redes separativas respecto a las unitarias son las siguientes:

- El hecho de separar las aguas residuales de las de lluvia reduce los costes de depuración y simplifica los procesos dado que el caudal es menor y constante.
- Se reduce la carga contaminante vertida al medio receptor por los episodios de rebosamiento de la red unitaria debidos al agua de lluvia.

Los inconvenientes de las redes separativas respecto las unitarias son los siguientes:

- Es necesario un estricto control de los vertidos para evitar que las aguas residuales pasen a la canalización de aguas pluviales ya que irían directamente al medio natural sin depurar.
- El coste de instalación es unas dos veces mayor al de una instalación unitaria.
- El agua de lluvia urbana no es agua limpia ya que está muy contaminada por lo que su vertido directo al cauce del río puede generar una contaminación nada despreciable.
- La canalización de aguas residuales no se beneficia de la limpieza extra en tiempos de lluvia, como lo haría si se tratara de una red unitaria, con lo cual se puede llegar a necesitar una descarga de caudales de agua limpia por la red, lo que anularía parte de sus ventajas de ahorro y eficiencia.

Existen unas desventajas generales de los sistemas de alcantarillado por gravedad cuando se proyectan en zonas rurales que son las siguientes:

- Los colectores se deben instalar varios metros bajo tierra, a grandes profundidades, y eso incrementa bastante los costes de construcción.

- Es necesario que se instalen cámaras de inspección también profundas. El coste de construcción de estas es elevado ya que es necesaria una mayor excavación, un mayor uso de encofrados y el uso de bombas para bajar el nivel freático.
- Las viviendas que se sitúan por debajo de la cota de la calle tendrán problemas para descargar las aguas residuales por gravedad.

2.1.2 Alcantarillado por vacío

Los sistemas de alcantarillado por vacío usan para el transporte de agua el diferencial de presión existente entre la presión atmosférica y un vacío parcial mantenido en la red de tuberías y la estación central de vacío. Este diferencial de presión permite recolectar el agua residual de varias casas, dependiendo del terreno y la situación local.

2.1.2.1 Funcionamiento

La tecnología de vacío se basa en la diferencia de presión de aire. Las bombas de vacío generan una presión de funcionamiento de unos 60 kPa por debajo de la presión atmosférica en la estación central de vacío (DWC DecRen Water Consult, 2010). La estación de vacío es el único elemento del sistema que requiere alimentación eléctrica.

Las aguas residuales se recolectan por gravedad en los canales de desagüe de cada casa (Figura 2.1) Cuando el colector (*interface valve pit*) alcanza un cierto nivel de llenado la válvula se abre. El impulso para abrir la válvula lo controla la unidad de control (*controller*) y se transfiere neumáticamente (la presión neumática se crea por la presión de llenado) (DWC DecRen Water Consult, 2010).

Mientras la válvula está abierta la presión diferencial resultante entre la atmósfera y el vacío se convierte en el motor y transporta las aguas residuales hacia la estación de vacío (*Vacuum station*).

Estos sistemas no requieren pozos de inspección ni tanques para el lavado del agua. Las altas velocidades del flujo en las tuberías del alcantarillado mantienen el sistema libre de cualquier obstrucción o sedimentación.

Estos sistemas se consideran libres de problemas de infiltraciones y olores, ya que no generan peligro de contaminación de suelos son permitidos incluso en zonas protegidas (DWC DecRen Water Consult, 2010). Debido a su seguridad frente infiltraciones y exfiltraciones se podrían colocar, en principio, en la misma zanja que el agua potable, pero depende de las normativas de cada zona.

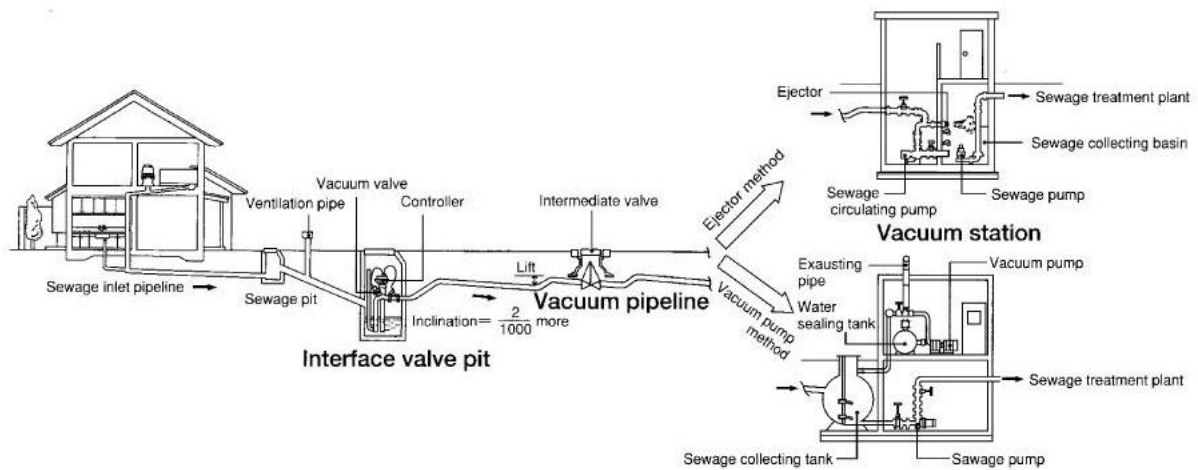


Figura 2.1. Sistema de alcantarillado por vacío (DWC DecRen Water Consult, 2010)

La válvula y el sumidero de aguas residuales deberán estar separados físicamente, en diferentes cámaras, para proteger al personal del contacto directo con las aguas residuales y para asegurar un mayor ciclo de vida ya que el agua de vertido se considera corrosiva.

La relación aire-líquido se suele gestionar desde unidades que controlan las válvulas y ajustan sus tiempos de apertura en función de la presión del sistema. Si el sistema está bien diseñado las alcantarillas sólo contendrán pequeñas cantidades de aguas residuales.

Como la idea de vacío depende de la energía externa para el transporte de líquidos, las alcantarillas se pueden colocar en terreno plano y en algunos casos hasta en contrapendiente.

Este sistema se debe montar en perfil diente de sierra (Figura 2.2) ya que eso ayuda a acompañar el terreno y a salvar obstáculos ya existentes. (DWC DecRen Water Consult, 2010)

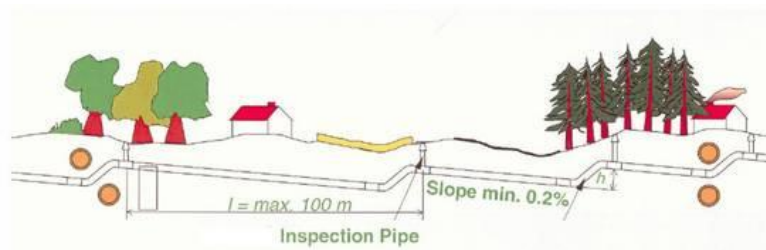


Figura 2.2. Perfil diente de sierra. Pendiente requerida en un sistema de alcantarillado por vacío. (DWC DecRen Water Consult, 2010)

Una vez en el tanque de recogida, en la estación central de vacío, el agua residual es bombeada al punto de descarga, que podría ser un drenaje por gravedad o una estación de tratamiento.

Como el tiempo de permanencia de las aguas residuales es muy corto y estas aguas se mezclan continuamente con el aire, el agua residual se mantiene fresca y se evita la suciedad dentro del sistema, excepto del ácido sulfhídrico (H_2S). El H_2S es un gas inflamable, incoloro y con un olor característico a huevos podridos. Se le conoce comúnmente como ácido hidrosulfúrico o gas de alcantarilla. A partir de 0.0047 ppm empieza desprender olor. (DWC DecRen Water Consult, 2010)

Un ejemplo de alcantarillado por vacío en España lo encontramos en el municipio de Santa Pola, provincia de Alicante. Santa Pola cuenta con tramo de alcantarillado por vacío en la zona del paseo marítimo, donde el nivel freático es más alto y eso hace adecuada la utilización de este sistema (Aquagest Levante, 2010).

2.1.2.2 Comparación entre el alcantarillado por gravedad y el alcantarillado por vacío.

Alcantarillado por Gravedad	Alcantarillado por Vacío
La obra a realizar es mayor: <ul style="list-style-type: none"> - Más volumen de obra. - Tuberías más grandes. - Menor rapidez de construcción. - Coste elevado. 	La obra a realizar es menor: <ul style="list-style-type: none"> - Menos terreno excavado. - Tuberías más pequeñas. - Mayor rapidez de construcción. - Menor coste.
Costes muy elevados en: <ul style="list-style-type: none"> - Suelos inestables. - Terreno llano. - Zonas con el nivel freático alto. - Suelos rocosos. - Ecosistemas sensibles. - Lugares con acceso difícil debido a construcciones ya existentes. 	Máximo rendimiento en: <ul style="list-style-type: none"> - Suelos inestables. - Terreno llano. - Zonas con el nivel freático alto. - Suelos rocosos. - Ecosistemas sensibles. - Lugares con acceso difícil debido a construcciones ya existentes.
Se precisa energía eléctrica excepto en los tramos en que el agua fluye por gravedad.	Sólo precisa electricidad en la estación central de vacío.
Necesita bombas a motor en muchos puntos.	Al funcionar al vacío no precisa bombas de motor en toda la red de alcantarillado.
Existe la posibilidad de reflujos fecales en las casas en caso de obstrucción en las tuberías.	No se contempla la obstrucción de las tuberías, pero en tal caso imposibilidad de reflujo de aguas fecales a las casas.
Se necesitan pozos de control para la inspección periódica.	No requiere pozos de inspección.
No se ha conseguido la eliminación de olores.	Se han eliminado prácticamente todos olores.
No se detectan fácilmente casos de infiltraciones o exfiltraciones en las tuberías, con lo cual hay peligro de: <ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del subsuelo. - Contaminación de aguas subterráneas. - Coste económico derivado de la localización de la fuga. 	Detección inmediata de posibles accidentes en casos de: <ul style="list-style-type: none"> - Infiltraciones o exfiltraciones. - Destrucción por parte de terceros.

Tabla 2.2. Tabla comparativa del alcantarillado por gravedad y el alcantarillado por vacío.

2.1.3 Separación sólido-líquido

2.1.3.1 Baño seco con separación de orina (UDDT¹)

2.1.3.1.1 Descripción

El UDDT es un inodoro que funciona sin agua y tiene dos compartimentos separados, uno posterior y otro frontal, para almacenar las heces y la orina respectivamente. La orina, en la parte frontal, es drenada a través de un tubo o tubería fuera del retrete, mientras que las heces se almacenan directamente debajo de la parte posterior del urinario.

¹ Urine diversion dehydration toilets, en español :sanitarios secos con separación de orina



Ilustración 2.1. Taza de un inodoro con separación de orina (Autor: Sustainable Sanitation)

Dependiendo de la tecnología utilizada posteriormente para la recolección, el almacenamiento y el tratamiento de las heces, productos de secado tales como la cal, ceniza o tierra seca, deben añadirse al mismo recipiente después de la defecación, estos elementos controlan el olor y la humedad. (Tilley, et al, 2008)

2.1.3.1.2 Diseño

Este tipo de inodoros son fáciles de construir utilizando materiales como el cemento, cerámica, madera pintada o plástico duro. Es importante que la superficie sea suave y resistente. Debido a que la orina tiende a oxidar la mayoría de los metales debería evitarse su uso en la construcción y en las tuberías del UDDT (Netherland Water Partnership, 2006)

El diseño puede variar dependiendo del tipo de población al que vaya destinado, si son niños, zonas rurales, zonas urbanas, etc. Es apropiado para todo tipo de climas.

En el caso de que la orina no fluya a través de una tubería si no que se almacene en un recipiente debajo del inodoro, es muy importante que los dos compartimentos (el de materia líquida y el de materia sólida) estén suficientemente separados para que las heces no caigan dentro del área de recolección de la orina y que la orina no salpique en el área seca del retrete.

La limpieza con agua del inodoro es un poco más complicada que en otro tipo de retretes debido a que se debe vigilar que el agua no se mezcle en el compartimento de las heces. (Tilley, et al, 2008)

En la Figura 2.3 se esquematiza el funcionamiento de un UDDT.

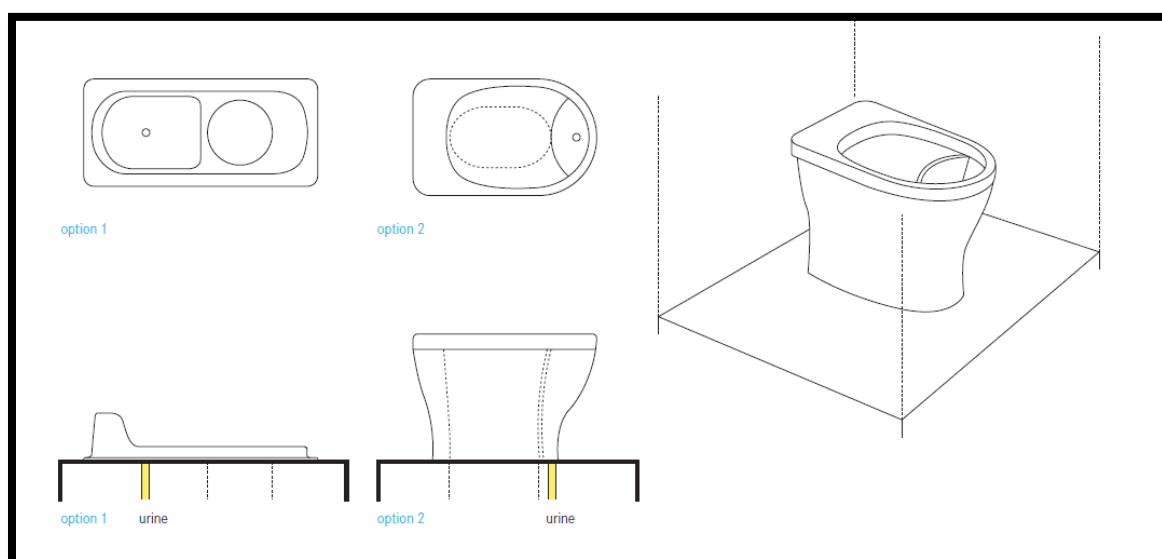


Figura 2.3. Esquema de un UDDT. (Tilley, et al, 2008)

2.1.3.1.3 Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - No requiere disponer de una fuente de agua constante. -Se puede usar en el interior de las edificaciones. -Si se usa y se mantiene correctamente no hay problemas de olores o insectos voladores. -El riesgo de enfermedades se reduce al realizarse una manipulación adecuada de las heces. 	<ul style="list-style-type: none"> -Para los niños siempre se deben construir UDDT especiales, más pequeños. -Requiere de instrucciones claras para usarlo y mantenerlo correctamente. -Es propenso a obstruirse por el uso inadecuado. -Se requiere una recolección regular de la orina y las heces.

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas de la utilización de un UDDT.

2.1.3.1.4 Impacto ambiental

- Sanidad y aceptación (Impacto cultural)

La utilización del UDDT no es intuitiva para algunos de sus usuarios, con lo cual debe haber una educación previa para evitar los errores de utilización y potenciar una mejor aceptación. Los proyectos de educación, incluyendo demostraciones de uso y mantenimiento, son esenciales para el pleno funcionamiento de este sistema.

El hecho que en este tipo de urinarios los hombres, como las mujeres, deben sentarse mientras orinan para asegurar que ésta se vierte en el canal adecuado, también puede suponer algún que otro problema de aceptación (Netherland Water Partnership, 2006).

Como este tipo de sanitarios se pueden construir en el interior de los edificios se aumenta en seguridad para las mujeres y los niños en países con zonas conflictivas ya que por la noche pueden evitar hacer sus necesidades en el exterior.

Con este sistema se obtiene una mejora en la salud pública debido a que se obtiene una manipulación controlada de las heces y la orina disminuyendo así el riesgo de contraer enfermedades.

- La importancia en el medio rural

Los UDDT son adecuados en las zonas rurales o suburbanas, ya que en estas zonas la orina y las heces pueden ser utilizadas en la agricultura sin necesidad de grandes desplazamientos.

2.1.3.2 Urinario

2.1.3.2.1 Descripción

El urinario es un útil especialmente diseñado para la recolección de la orina. Por lo general están destinados sólo para hombre aunque también se han desarrollado urinarios femeninos. (Tilley, et al, 2008)

En muchos casos los urinarios sirven para asegurar el buen funcionamiento de los sistemas secos como por ejemplo el UDDT.

2.1.3.2.2 Diseño

Un urinario masculino es generalmente un elemento que está colocado verticalmente en la pared, en algunos casos se trata de losas de letrina situadas en el suelo. En el caso del urinario para mujeres consta de

unos escalones levantados para colocar los pies y una rampa o canal de captación que conduce la orina directamente hacia las tuberías de recolección (Tilley, et al, 2008).

Los urinarios pueden usarse con o sin agua. Si se usa agua, generalmente es para la limpieza posterior al uso y para la limitación de los malos olores que se puedan ocasionar. Los urinarios comunes (Figura 2.4) suelen gastar entre 6 y 10 litros de agua en cada deyección los de bajo consumo de agua usan sólo 4 litros (Tilley, et al, 2008). Como el urinario es de uso exclusivo para orinar es importante proporcionar otro servicio destinado a las defecaciones.

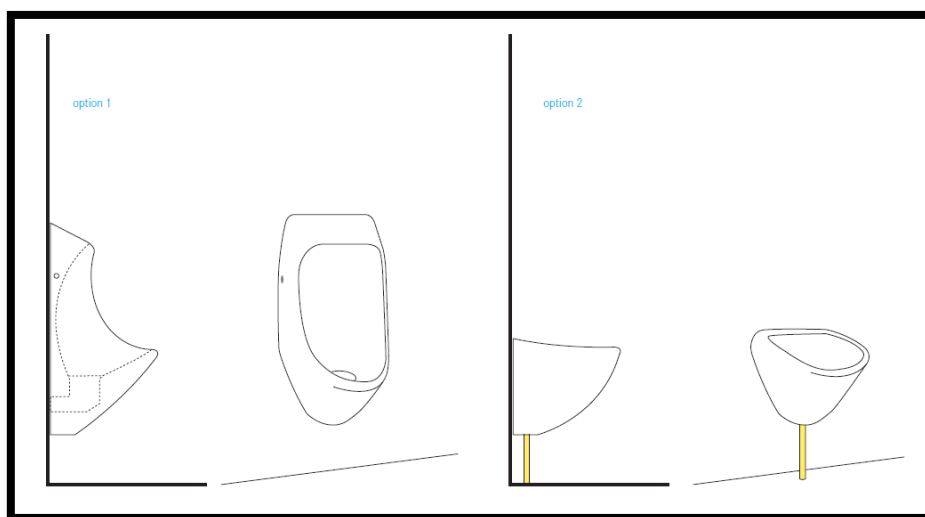


Figura 2.4. Esquema de un urinario. IZQ: masculino, DCHA: femenino (Tilley, et al, 2008)

Actualmente se han desarrollado urinarios portátiles sin agua para festivales o conciertos multitudinarios para facilitar la salubridad de los lugares. También, de esta manera la orina queda recolectada y no se descarga de manera incontrolada en lugares inapropiados. Estos urinarios portátiles permiten además reducir el uso del resto de sanitarios portátiles (para heces y orina).

El mantenimiento de los urinarios es simple pero debe realizarse con frecuencia. Algunas sales o minerales pueden quedar retenidas en las tuberías o en los lugares en constante contacto con la orina. Para su disolución es necesario utilizar agua algo ácida o/y agua caliente (Tilley, et al, 2008). Todas las superficies que forman parte del urinario deben limpiarse regularmente para evitar los malos olores y las formaciones de elementos sólidos.

2.1.3.2.3 Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
-No requiere disponer de una fuente de agua constante. -Se puede fabricar y reparar con materiales disponibles en la misma zona de uso. -Se necesita un bajo capital inicial y los costes de operaciones son también bajos.	-Si se usa y se mantiene correctamente no hay problemas de olores o insectos voladores.

Tabla 2.4. Ventajas y desventajas de la utilización de un urinario.

2.1.3.2.4 Impacto ambiental

- Sanidad y aceptación (Impacto cultural)

Los urinarios son aceptados sin problemas en la mayoría de los casos. Por su construcción y diseño simple siempre suelen tener un gran impacto positivo en el bienestar de las comunidades en las que se implanta.

En el caso de las comunidades más desfavorecidas si los hombres tienen a su disposición urinarios se sienten alentados a no orinar en público y de esta manera se evitan olores indeseados y las mujeres se sienten más cómodas.

- La importancia en el medio rural

Los urinarios sin agua son una opción muy adecuada para lugares sin suministro de agua o con un suministro poco fiable. Son una opción de bajo coste sobretodo en lugares públicos donde la gente utiliza más el baño para orinar que para defecar.

2.1.4 Sanitarios de compostaje

2.1.4.1 Retrete Seco (Dry toilet)

2.1.4.1.1 Descripción

El retrete seco es un sanitario que funciona sin agua. El retrete seco puede estar construido con un pedestal dónde los usuarios pueden sentarse para hacer sus necesidades o puede tratarse simplemente de una letrina dónde deben ponerse de cuclillas. En ambos casos, la orina y las heces caen conjuntamente a un agujero en el suelo.

Se debe tener en cuenta que este apartado se refiere al retrete seco sólo como al útil en que los usuarios deben sentarse en un pedestal o hacer sus necesidades de cuclillas, realmente este sistema debe estar combinado con una tecnología de recolecta (generalmente fosas especiales).

2.1.4.1.2 Diseño

En general los retretes secos son fáciles de usar para la mayoría de la población. El hecho de que no sea necesario separar las heces de la orina hace que este sistema sea la opción físicamente más natural y más confortable.

El pedestal, o la losa de la letrina, debe estar bien dimensionado dependiendo del tamaño de la fosa de recolección de forma que garantice la seguridad del usuario y evite la infiltración de aguas fluviales en el pozo.

Los pedestales o losas de letrina pueden fabricarse localmente con hormigón (con arena y cemento también da el mismo resultado). También se pueden utilizar moldes de madera o de metal para una fabricación más rápida (Tilley, et al, 2008). Al poderse construir en la misma zona de uso la fabricación se hace a medida y se pueden adecuar los pedestales a las diferentes necesidades de los usuarios (p.e: fabricar letrinas más pequeñas para las escuelas de los niños). También se pueden usar materiales como fibra de vidrio, porcelana o acero inoxidable. Estos son aptos para casi todos los tipos de climas.

Para el mantenimiento del retrete seco, es importante que el asiento o superficie de la letrina se mantenga limpio y seco para evitar enfermedades contagiosas o malos olores. Como este diseño no incluye partes mecánicas, no es necesario ningún tipo de reparación a la estructura a no ser que se parta.

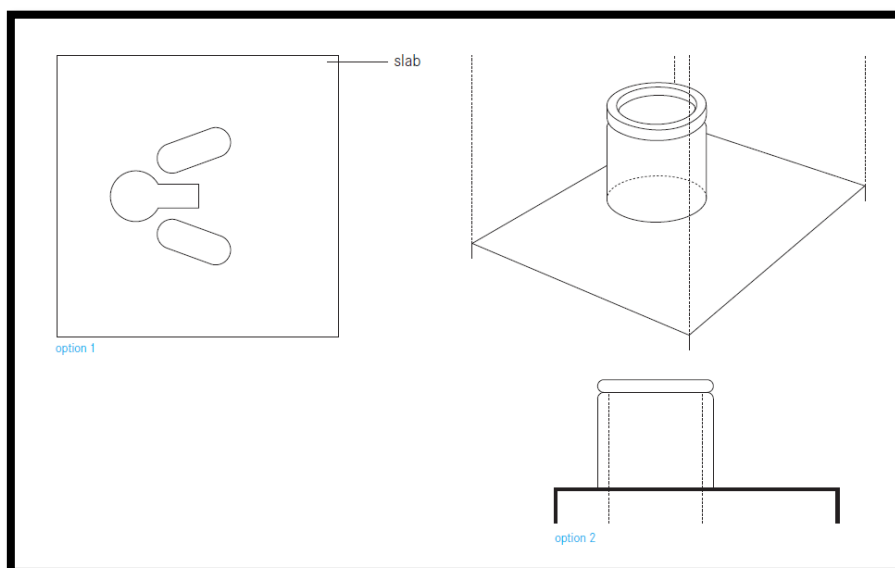


Figura 2.5. Esquema de un retrete seco. (Tilley, et al, 2008)

2.1.4.1.3 Ventajas/Desventajas

Ventajas	Desventajas
-No requiere disponer de una fuente de agua constante. -Se puede fabricar y reparar con materiales locales. -Se necesita un bajo capital inicial y los costes de operaciones son también bajos. -Es apto para todo tipo de usuarios.	-Los olores que desprende son notables. -Normalmente la acumulación de los excrementos está visible, excepto cuando se usa un agujero profundo para su recolecta.

Tabla 2.5. Ventajas y desventajas de la utilización de un retrete seco.

2.1.4.1.4 Impacto ambiental

- Sanidad y aceptación (Impacto cultural)

El retrete seco es, en general, bien aceptado por la población. Para muchas personas el hecho de ponerse de cuclillas para hacer sus necesidades es natural, con lo cual una losa de letrina bien cuidada puede ser en algunos casos la opción más aceptada (Tilley, et al, 2008).

Como después de su uso no se utiliza agua el mal olor suele ser el mayor problema para su aceptación, pero esta cuestión depende en su mayor parte del sistema de almacenamiento que se utilice después de su uso.

- La importancia en el medio rural

Los retretes secos son adecuados en zonas rurales, ya que en estas zonas la orina y las heces pueden ser utilizadas en la agricultura sin necesidad de grandes desplazamientos.

2.1.5 Recolección separada de aguas grises

Las aguas grises son aguas que provienen de la cocina, del cuarto de baño, de los lavabos, del fregadero, etc. Es el agua que a primera vista puede no tener ningún valor pero que con su reutilización estamos alargando su ciclo de vida añadiendo valor a su uso.

Reutilizar las aguas grises generadas en nuestros hogares se corresponde a una nueva forma de pensar en el agua, en lugar de tener un agua residual pasamos a obtener una fuente de recursos hídricos. Reutilizando aguas grises, protegemos las reservas de aguas, reducimos la carga de las aguas residuales y conseguimos una disminución importante en el gasto de agua potable.

Al reutilizar las aguas grises para las cisternas conseguimos un ahorro de unos 50 litros por persona y día. Si consideramos una familia media de 4 personas, esto supondría un ahorro de unos 200 L/día, es decir, aproximadamente el 25 % del consumo diario de la vivienda. Si este sistema se implanta en hoteles, campings o instalaciones deportivas, estaríamos hablando de cifras aún más importantes, en torno al 30% de ahorro de agua potable (Vivanco Rodríguez, 2009).

Los sistemas para la reutilización de las aguas grises son muy demandados para su uso en viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, instalaciones deportivas como campos de fútbol o piscinas, hoteles y universidades. Estas instalaciones constan de unas tuberías independientes por donde circulan las aguas grises hasta llegar a unos depósitos, donde se lleva a cabo un tratamiento de depuración. Gracias a la depuración, el agua se puede reutilizar para alimentar las cisternas de los inodoros, para el riego del jardín o la limpieza de los exteriores.

2.1.6 Captación de agua de lluvia

En las zonas con escasez de agua el agua de lluvia debería recolectarse a nivel de hogar o comunidad. En algunos casos el agua de lluvia puede ser la única disponible o la fuente de agua más económica.

Los sistemas de recolección de agua de lluvia se pueden construir fácilmente con materiales locales de bajo coste y en la mayoría de lugares habitables. El agua de lluvia se acumula y almacena en cisternas de recolección.

El agua recolectada se puede utilizar como agua para el ganado, para riego, para agua de servicio, para recargar acuíferos en un proceso de recarga de aguas subterráneas y, en algunos casos, incluso como agua potable (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

Los sistemas de recolección son apropiados en zonas donde la precipitación media anual es superior a los 200mm (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001) y las otras fuentes de obtención de agua son inexistentes o poco accesibles.

2.1.6.1.1 Funcionamiento

Hay varios sistemas para la recolección del agua de lluvia, desde muy simples hasta sistemas industriales más complejos. La velocidad a la cual se recoge el agua en uno o en otro depende del área de recolección del sistema, de su eficiencia y de la intensidad de la lluvia. (p.e. precipitación anual (mm/año) * m² de superficie de recolección= litros por año) (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001)

La recolección del agua de lluvia se hace a partir de un sistema de canaletas instaladas en el techo de la vivienda que conducen el agua por canales y tuberías hasta sistema de almacenamiento.

Las canaletas deben estar construidas con la pendiente suficiente para evitar el agua estancada. También deben tener tamaño y consistencia suficientemente para resistir los caudales máximos estimados.

Los tanques de almacenamiento deben estar cubiertos para evitar criaderos de mosquitos, reducir pérdidas por evaporación, crecimiento de algas y contaminación.

Los sistemas de recolección requieren un mantenimiento y limpieza regular para mantener la higiene en todo el circuito.

Las primeras lluvias deben utilizarse para limpiar los canales del sistema de los posibles residuos acumulados durante la temporada seca. Por lo tanto las aguas recogidas durante las primeras lluvias deben tratarse con las aguas residuales ya que pueden estar contaminadas de polvo, heces de animales, pesticidas...

Es importante que se haya dimensionado el sistema para satisfacer la demanda de agua durante la estación seca. El tamaño del tanque de almacenamiento debe ser lo suficiente grande para responder al abastecimiento diario durante la estación seca. Además el tamaño del área de recolecta o del techo de la vivienda debe ser lo suficientemente grande para llenar el tanque.

2.1.6.1.2 Componentes del sistema

Un sistema de captación y recolección de agua de lluvia está formado por los siguientes componentes:

- Área de captación

El área de captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001). También se suelen utilizar como áreas de captación invernaderos o laderas revestidas o tratadas con materiales que las impermeabilizan. Es muy importante que los materiales con los que están construidas estas superficies no desprendan olores, pigmentos o sustancias que puedan alterar la eficiencia del sistema. Además, la superficie debe tener el tamaño suficiente para satisfacer la demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción.

- Sistema de conducción

El sistema de conducción del agua de lluvia es el conjunto de canaletas o tuberías de diversos materiales que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento.

Las canaletas se instalan en los bordes más bajos del techo donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí, no contaminante con compuestos orgánicos o inorgánicos, por lo es recomendable que se instalen mallas para que detengan los posibles sólidos o hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción y realizar en el techo labores de limpieza en el inicio de la época de lluvias (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

- Estructuras de almacenamiento

Son tanques o cisternas donde se almacena el agua de lluvia recolectada, que posteriormente, con un tratamiento previo, puede utilizarse para uso doméstico durante todo el año.

Estos tanques o cisternas se suelen construir con materiales plásticos, metálicos u hormigón.

Es importante que antes del almacenaje en la cisterna se idee un sistema de filtración del agua de lluvia para evitar la contaminación de dicha agua con hojas secas, arenas u otros elementos (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001).

- Interceptor de primeras aguas

Es un dispositivo en el que descargaran las aguas provenientes del lavado del techo y que contienen todos los materiales que se encontraban en él al inicio de la lluvia. Este sistema minimiza la contaminación del agua ya almacenada evitando que materiales no apropiados entren en la cisterna de almacenamiento.

El diseño de este dispositivo debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para el lavado de techo que se estima en 1 litro por m² de techo (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001)

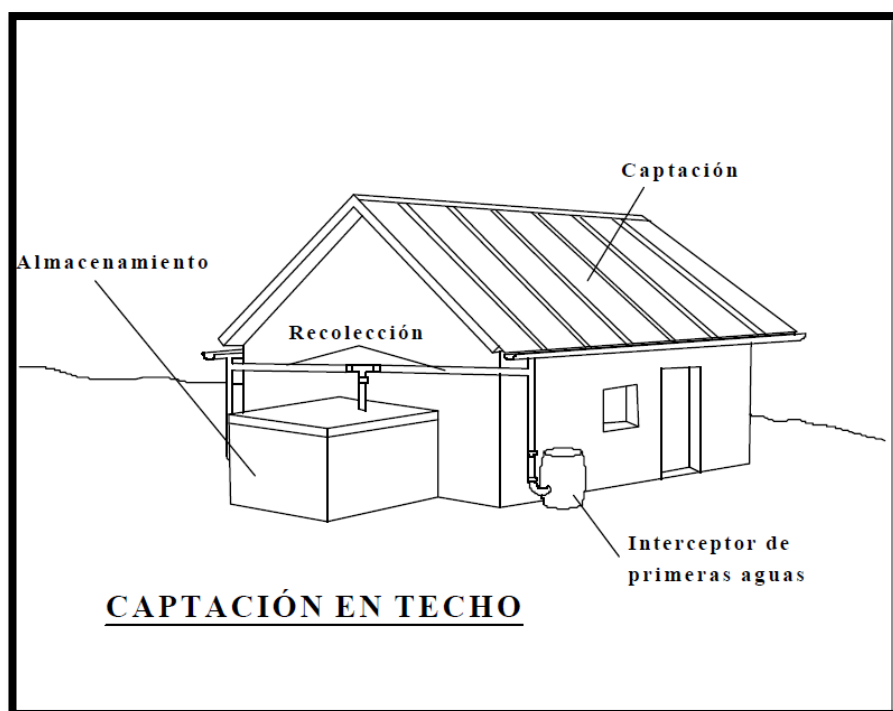


Figura 2.6. Esquema de un sistema de captación de agua pluvial en techos.
(Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, 2001)

2.1.6.1.3 Ventajas y desventajas

La captación de agua de lluvia para el consumo humano presenta las siguientes ventajas:

- Es un sistema independiente y por lo tanto es válido para comunidades dispersas y alejadas.
- No requiere energía eléctrica para el funcionamiento del sistema
- Se puede construir con materiales locales
- Fácil de mantener

A su vez tiene las siguientes desventajas:

- Tiene un alto coste inicial que puede impedir su implementación en familias con pocos recursos.
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

2.1.7 Almacenamiento prolongado

2.1.7.1 Compostaje

El compostaje es un proceso de fermentación, principalmente aeróbica, de residuos orgánicos realizada por microorganismos, bajo condiciones controladas y aceleradas. En el compostaje, la materia orgánica de fácil descomposición fermenta produciendo CO₂ y agua y desprendiendo calor. A partir de esta degradación de la materia se producen materiales húmicos muy estables que captan los minerales liberados durante el proceso de compostaje y que atribuyen unas buenas propiedades a los suelos donde se aplican. (Unión Agrarias - UPA, 2006)

2.1.7.1.1 Calidad del compost

Para poder obtener un compost eficiente la mezcla de materiales debe cumplir una serie de requisitos:

- 1) La relación carbono/nitrógeno debe ser de 30/1 aproximadamente para que se produzca una buena fermentación (Rodríguez, 1993). Si esta relación es menor el proceso de fermentación se ralentiza, no se produce calor suficiente y el compost resultante es de peor calidad. Si la cantidad de nitrógeno es elevada se produce una gran cantidad de amoníaco y en consecuencia hay grandes pérdidas de nitrógeno. A continuación en la se presentan las relaciones adecuadas de carbono/nitrógeno mezclando varios productos.

PRODUCTO	RELACIÓN C/N
Serrín y virutas	150-500/1
Paja de maíz	150/1
Paja de trigo y cebada	100/1
Paja de avena y centeno	60/1
Abonos verdes y césped	10-20/1
Leguminosas	10-15/1
Estiércol de bovino con paja	15-30/1
Purín de bovino	2-3/1
Estiércol ovino	15-20/1
Estiércol porcino	4-7/1
Gallinaza	10-15/1
Harina de sangre	10-15/1
Alpechín	12-19/1
Alperujo	37/1

Tabla 2.6. Relación carbono/nitrógeno de varios subproductos (Rodríguez, 1993)

- 2) El tamaño de los materiales compostados debe estar entre 1-5 cm, ya que ese tamaño permite actuar bien a los microorganismos, facilita el mezclado y da suficientes condiciones de porosidad para el buen aireado de la mezcla (Rodríguez, 1993). Si las partículas tienen un tamaño inferior las mezclas resultan muy compactas y no se produce un buen aireado.
- 3) Durante el compostaje los materiales deben tener una humedad del 60%, aunque al final del proceso ésta quede reducida a un 40% solamente. Si no hay suficiente humedad se reduce la capacidad de los microorganismos fermentadores, y si la humedad es mayor se reduce la aireación del sistema provocando fermentaciones anaeróbicas que pueden producir sustancias fitotóxicas (Álvarez de la Puente, 2006). Para mantener la humedad se debe poder regar los materiales antes del proceso de maduración, una vez terminado este proceso se debe proteger de las lluvias.
- 4) Para garantizar una buena aireación de la mezcla una opción es voltearla con una frecuencia de 15-30 días (Álvarez de la Puente, 2006). Si no se produce una buena aireación pueden darse fermentaciones anaeróbicas, pérdidas de nitrógeno y carbono y generación de malos olores.

2.1.7.1.2 Fases de la fermentación del compost

Durante el proceso de fermentación se llevan a cabo diferentes fases que se diferencian por el tipo de organismo presente, el pH, la demanda de oxígeno, los materiales que se descomponen y los nuevos materiales que aparecen.

Fase I: (Fase mesófila) Esta fase tiene lugar al inicio del proceso. La masa vegetal está a temperatura ambiente y los organismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de esta actividad metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH hasta 5,5 aproximadamente.

Fase II: (Fase termófila) Cuando se alcanza la temperatura de 40°C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60°C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos organismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

Fase III: (Enfriamiento) Cuando la temperatura es menor de 60°C, reaparecen los hongos termófilos que vuelven a invadir el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de los 40°C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

Fase IV: (Maduración) Es un proceso que requiere meses a temperatura ambiente. El inicio de la maduración del compost se caracteriza por la incorporación de animales del suelo y el aumento de las materias húmicas, mientras que el final se caracteriza por la textura del material, suelta, de color oscuro y temperatura estabilizada. Si la temperatura no varía después de un volteo significa que el compost está maduro. Otra manera de comprobar si ya ha acabado el proceso es poner a germinar una semilla de judía o cebada en un lecho del compost, las semillas deben nacer en un plazo de 5-7 días y desarrollarse adecuadamente. (Álvarez de la Puente, 2006)

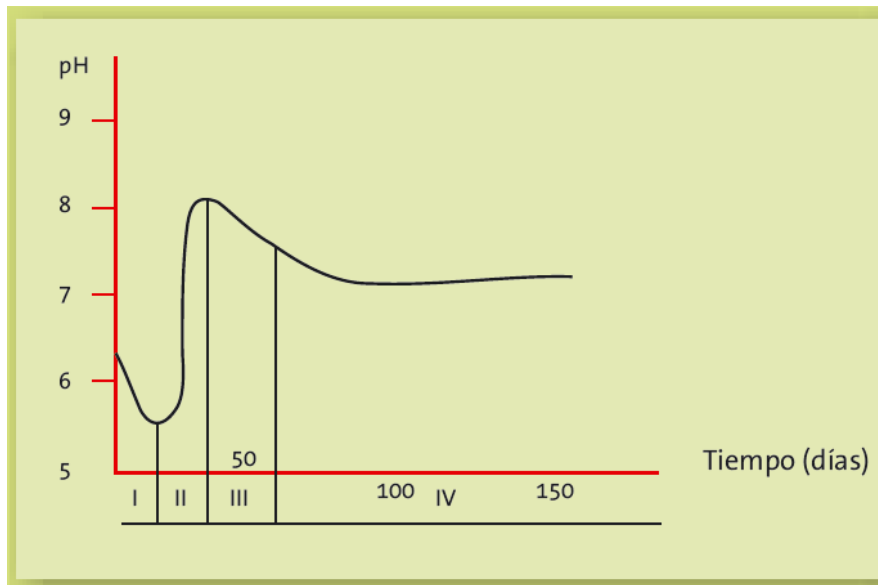


Figura 2.7. Evolución del pH durante el proceso de maduración (Mustin, 1987).

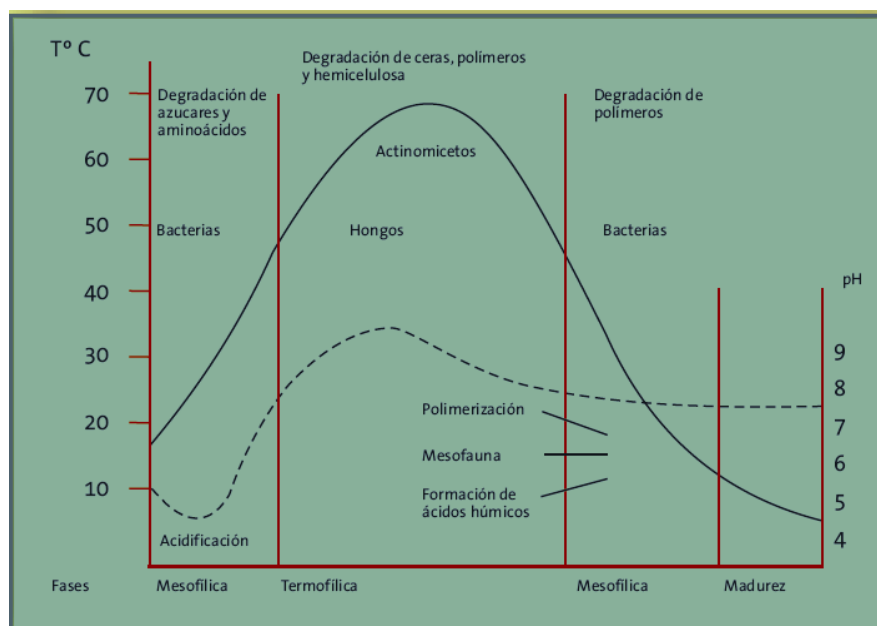


Figura 2.8. Evolución de la temperatura (-) y el pH (--) durante el proceso de maduración (Mustin, 1987)

Durante el proceso de fabricación del compost el volumen de éste se reduce un 50-55% y su masa alrededor de un 65% debido a las pérdidas de CO₂, agua y sustancias volátiles. Durante todo el proceso también varía su composición. (Unións Agrarias - UPA, 2006)

2.1.7.1.3 Sistemas de compostaje

Existen muchos métodos para transformar materiales orgánicos mediante el compostaje, casi todos se basan en el control de la aireación ya que su mayor control acelera el proceso.

- **Pilas o montones dinámicos (windrow)**

El material se dispone en largas pilas o montones de 2 a 4 metros de altura (Álvarez de la Puente, 2006), que pueden estar cubiertas o no. La aireación se lleva a cabo por convección natural ayudada por volteos periódicos. La frecuencia de los volteos depende de la humedad, textura y estabilidad de la mezcla y se realiza para controlar la aireación. Estos volteos se realizan con varios objetivos: control del olor, mayor velocidad de transformación y control de insectos. Es el método más económico en cuanto a consumo de energía.



Ilustración 2.2. Sistema Windrow (Álvarez de la Puente, 2006).

- **Pilas estáticas aireadas por insuflación (static pile system)**

Es un sistema donde la pila de compost permanece estática a lo largo del proceso de compostaje. El aire se introduce a través de un sistema situado en el suelo, bajo la pila. Con este sistema se eliminan las condiciones anaeróbicas ya que se asegura un volumen constante de aire que además puede regularse a través de controladores según las necesidades de la masa.

La corriente de aire puede ser positiva (insuflación) o negativa (aspiración), esta última se suele utilizar en situaciones en las que es necesario controlar el olor del compost. (Álvarez de la Puente, 2006) En otras ocasiones la aireación sólo se realiza durante la etapa termófila. Las combinaciones que se pueden hacer dependen del tipo de material, de las condiciones de partida, de los plazos para la finalización del compostaje, etc. El proceso requiere una inversión y mantenimiento mayores que en el sistema anterior pero el coste de mano de obra es más bajo.



Ilustración 2.3. Sistema de pilas estáticas aireadas (Álvarez de la Puente, 2006)

- **Reactores o contenedores (in-vessel system)**

Este sistema se aplica cuando se requieren tasas elevadas de transformación y condiciones muy controladas. (Álvarez de la Puente, 2006) Son sistemas más complejos y son más costosos de construir, operar y mantener. Su funcionamiento es del tipo reactor y frecuentemente el producto fresco entra por un lado y sale procesado por el otro. Su utilización está indicada en el caso de mezclas complejas con algún tipo de dificultad. La finalidad de este método es acelerar el proceso de transformación. Se consiguen tasas de procesado de hasta una semana frente a los sistemas tradicionales que duran entre uno y tres meses. En casi todos los casos la fase de maduración o estabilización del producto se lleva a cabo en el exterior del reactor y normalmente utilizando el sistema de pilas y se realiza algún volteo de homogeneización final.

Entre estos sistemas de compostaje el más implantado para la transformación de residuos agroindustriales es el de pilas o montones dinámicos debido a la menor inversión inicial. Sin embargo, siempre es conveniente realizar un estudio previo comparativo, a nivel técnico y económico, sobre los distintos sistemas de compostaje susceptibles de ser implantados, para elegir el más adecuado en cada situación específica.

2.1.8 Tratamiento anaeróbico

2.1.8.1 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica que da como resultado energético el biogás y tiene lugar en ambientes anaeróbicos, en ausencia de oxígeno. El biogás es una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, pero también contiene otros gases en proporciones más pequeñas, como el ácido sulfúrico o el hidrógeno.

La composición típica del biogás suele ser la que se muestra en la Tabla 2.7.

Componente	%
CH ₄	50-70
CO ₂	30-50
H ₂ S	0-3
H ₂	0-1

Tabla 2.7. Composición típica del biogás (Kossmann, 2002).

El producto base de este proceso es, normalmente, una mezcla de excrementos de origen animal y agua u orines. Habitualmente esta mezcla se produce con una relación excrementos-líquido de 3:1 o 4:1, en función

de la cantidad de sólido total y de la sequedad de los excrementos. Se debe tener en cuenta que en el resultado final la concentración de sólidos total ha de estar alrededor del 6-8% (Werner, et al., 1989).

Desde el punto de vista energético, éste es un proceso muy eficiente, ya que el 90% de la energía química que contienen las materias primas del proceso queda retenida en los enlaces químicos del metano, y el 10% restante es consumido por el crecimiento de los microorganismos. Si comparamos este proceso con la degradación de materia orgánica aeróbica, donde el 60% de la energía oficial se consume en el crecimiento celular y el otro 40% se transforma en calor, se observa el potencial que tiene la digestión anaeróbica en la recuperación energética de los residuos orgánicos (Werner, et al., 1989).

Además, del biogás, la digestión anaeróbica genera otro producto, que consiste en un efluente líquido muy rico en nutrientes pero con una carga orgánica menor a la del producto base inicial y con un número de agentes patógenos muy reducido. Este efluente, llamado *biol*, al tener todos los nutrientes perfectamente hidrolizados, es un fertilizante perfecto para los cultivos, ya que las plantas los absorben con mayor facilidad que si, por ejemplo, se abonan los campos con heces directamente. A veces, debido a que la generación de este efluente puede superar su consumo se produce una descompensación que puede traer problemas a la hora de deshacerse de estos lodos.

La digestión anaeróbica es el resultado del trabajo de un grupo de bacterias que trabajan simbióticamente.

Este tipo de fermentación la podemos encontrar de manera natural en diferentes situaciones. Esta reacción, por ejemplo, es la responsable del gas de los pantanos donde se producen estas reacciones en los ambientes anaeróbicos del interior de los fangos del pantano. También se da en el interior del estómago de los rumiantes, en los sedimentos marinos y hasta en el suelo de los bosques con ambientes microanaeróbicos.

2.1.8.2 Tecnología de biodigestores (Diseño de biodigestores)

Los biodigestores son reactores naturales donde se provoca de manera controlada la digestión anaeróbica de las bacterias para obtener biogás y biol. En el reactor se introduce una mezcla de estiércol y agua donde se mantiene a una cierta temperatura y con un cierto tiempo de retención. La composición y naturaleza del sustrato condiciona los parámetros de funcionamiento del digestor (Gunnerson, et al., 1986).

La mayoría de estos reactores son del tipo continuo de mezcla perfecta (CSTR: continuous stirred-tank reactor), pero existen también de flujo pistón así como configuraciones más complejas como reactores en serie. En los últimos años se han ideado nuevos tipos de reactores que trabajan con biomasa fija y no en suspensión como el UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Estos nuevos tipos de reactores reducen el tiempo de digestión de 20-30 días como los digestores usuales a unas pocas horas (Burke, 2001).

Los biodigestores para la producción de biogás a nivel doméstico o rural deben ser más sencillos. La mayoría no tienen agitación mecánica ni control o regulación de la temperatura interior, ya que así se reduce el coste de la instalación y por la ausencia de energía eléctrica en muchos otros casos. Siempre se trabaja con biomasa en suspensión. Los biodigestores rurales más comunes son el tanque de mezcla perfecta y el de flujo pistón.

Los biodigestores rurales se pueden clasificar de dos formas:

Por el **método de carga**, donde se encuentran tres subclasificaciones (Gunnerson, et al., 1986):

- Discontinuo o "batch": se alimenta tan sólo una vez y se deja que se produzca biogás hasta que se agote el sustrato. Se vacía entero el digestor y se rellena de nuevo.
- Continuo: el biodigestor se alimenta regularmente, diaria o semanalmente, y se vacía a la misma velocidad, automáticamente.

- Semi-discontinuo o “semi-batch”: se alimenta en periodos de tiempo muy largos, por ejemplo cada mes, a la vez que se vacía.

El tipo de digester escogido depende del régimen de generación del sustrato.

Según el **tipo de construcción del biodigestor** (Gunnerson, et al., 1986):

- Biodigestor de cúpula fija

El biodigestor de cúpula fija (llamado comúnmente *tipo chino*) consiste en una cámara enterrada construida con ladrillos o con hormigón, con un orificio de salida y otro de entrada, y con una obertura superior por donde se puede entrar para vaciar el reactor y donde está adaptada la salida del gas. En el interior, en un ambiente sin oxígeno, es donde se produce la fermentación. Su forma cilíndrica y las sacudidas que suponen cada vaciado hacen que la mezcla sea bastante homogénea. La característica principal de estos reactores es que la presión del gas en su interior varía según la producción y el consumo del mismo.

- Biodigestor de cúpula flotante

El biodigestor de cúpula flotante, llamado modelo hindú, es muy parecido al modelo chino, pero con la diferencia que la cúpula es móvil. Esta movilidad permite que en el interior se mantenga siempre una presión aproximadamente constante sobre el gas generado. Cuando se genera gas la cúpula se eleva y cuando se consume baja. El hecho de que la presión del gas no fluctúe hace que su posterior combustión sea más eficiente. La hermeticidad del almacenaje se consigue con un sello hidráulico. Como contra a este sistema de biodigestor se encuentra el alto coste que supone la cúpula móvil, que suele ser de acero inoxidable para evitar la corrosión. Por eso normalmente se repara y/o sustituye periódicamente.

- Biodigestor tubular de plástico

El biodigestor tubular de plástico (PTD, Plastic Tubular Digester) está formado por una manguera, que suele ser de polietileno, atada herméticamente a unos tubos, que suelen ser de PVC que funcionan como entrada y salida del digester. Es muy importante la colocación del tubo de salida, ya que el nivel de líquido en el interior del reactor será el nivel máximo del tubo de salida, de manera que elevando o bajando este tubo se puede controlar el nivel interno de líquido. El biogás se extrae desde un orificio en la parte superior. En el interior de este biodigestor se pueden distinguir tres estratos: un estrato inferior donde se acumulan los sedimentos, una fase líquida donde tiene lugar la fermentación, y un estrato superior que sirve como almacén del biogás generado. La principal ventaja de este tipo de biodigestores es su bajo coste. Esta especialmente recomendado en climas tropicales.

2.1.8.3 Análisis comparativo de los biodigestores (Ventajas /Desventajas)

En la Tabla 2.8 se presentan las principales ventajas e inconvenientes de los biodigestores presentados hasta ahora.

	Ventajas	Inconvenientes
Biodigestor de cúpula fija (hindú)	-Bajo coste -Enterrado (no ocupa mucho espacio) -No hay partes susceptibles a la corrosión -Vida útil: 20 años	-Necesita mano de obra experta -Problemas de fugas -Presión de salida del gas variable -Si el suelo es rocoso tiene problemas al ser excavado
Biodigestor de cúpula flotante (chino)	-Presión de salida del gas constante -Se ve fácilmente el gas almacenado -Vida útil: 15 años	-Coste elevado debido a la cúpula móvil -Elevado coste de mantenimiento debido a la corrosión.
Biodigestor tubular de plástico (PDT)	-Bajo coste -No necesita mano de obra experta -Se puede construir con materiales de los mercados locales	-Vida útil máxima: 5 años -Fácil rotura del plástico

Tabla 2.8. Tabla comparativa de los tipos de biodigestores.

Es importante recordar que la vida útil nombrada en la tabla anterior se refiere a la vida de los materiales, normalmente los biodigestores suelen durar algo menos de lo dicho en la tabla debido a razones constructivas, culturales, sociales...

2.1.8.4 El biogás como fuente de energía

El biogás es una energía renovable ya que sus emisiones de CO₂ son neutras al tratarse de un combustible que proviene de la biomasa. Se trata de una tecnología de ciclo cerrado, donde los residuos se utilizan como materias primas encajando en el concepto de desarrollo sostenible. Por tanto es también un proceso de revalorización y reciclaje de residuos.

Con los biodigestores se evita la contaminación del agua y los suelos por los lixiviados. También se evita en gran medida la contaminación del aire, ya que si la digestión anaeróbica tuviera lugar en condiciones no controladas se emitiría metano, que es altamente más contaminante que el CO₂ (hasta 21 veces) con respecto al Efecto Invernadero (Moss, et al., 2000).

También en zonas donde el combustible principal es la leña, el biogás evitaría la deforestación.

Con este sistema también se contribuye al balance ecológico, ya que los nutrientes son devueltos a la tierra, cosa que no pasa si los excrementos o residuos vegetales son incinerados. (Gunnerson, et al., 1986)

El biogás descentraliza la generación de energía.

Los biodigestores se pueden ubicar en casi cualquier sitio sin necesidad de grandes infraestructuras, siempre que dispongan de suficiente materia prima. Así se puede generar energía en el mismo punto de consumo evitando su transporte, y con ello las pérdidas de energía que ello conlleva. Se gana autonomía y autosuficiencia.

2.1.8.5 La importancia del biogás en el mundo rural

Dado que la principal materia prima (heces de animales), se encuentra en zonas rurales, los biodigestores son apropiados sobretodo en ese tipo de zonas.

Además, muy habitualmente, en las zonas rurales suele haber problemas de escasez de recursos energéticos, con lo cual, la producción de biogás puede solucionarlos.

2.1.8.6 Mejora de la salud y la higiene

Con respecto a los usuarios de la tecnología de los biodigestores, uno de los aspectos más positivos a tener en cuenta son las mejoras que experimentan en salud e higiene. El hecho de gestionar mejor los excrementos de los animales reduce la posibilidad de infecciones y contagios.

2.1.8.7 Aspectos económicos

El impacto económico de un biodigestor también es importante. Si bien es cierto que es necesaria una inversión inicial para su construcción, posteriormente representa un ahorro en la compra de combustible. Además, la posibilidad de usar el biol en lugar de fertilizantes químicos artificiales, también disminuye los gastos de los consumidores de este tipo de productos.

También en el caso que se utilizaran combustibles como leña o excrementos secos, se debe tener en cuenta el ahorro de tiempo que supone el no tener que ir en busca de leña o recolección de excrementos y secarlos. Con el uso del biogás ese tiempo se puede utilizar, por ejemplo, en un trabajo más productivo que aumente los ingresos de la familia.

Si se realiza una implantación masiva de biodigestores también puede haber un impacto en la macroeconomía.

La mejora en la higiene y salubridad de las zonas rurales se traduce en menos enfermedades y por lo tanto menos gasto en sanidad.

La propia generación de energía provoca menos demanda de combustibles y así se pueden reservar las divisas del país para adquirir otros bienes que no se puedan fabricar en el propio país.

Se debe destacar que el beneficio económico no suele ser el punto más favorable en la creación de un programa de implantación de biodigestores, ya que prevalecen otros valores como el sanitario o el ambiental.

2.1.9 Sistemas naturales de tratamiento

Los sistemas naturales de tratamiento son aquellos procedimientos o técnicas que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni aditivos químicos. (García, et al., 2008) En la literatura científica estos tratamientos también son conocidos como tecnologías no convencionales, sistemas de bajo coste, sistemas verdes...

Los sistemas naturales de tratamiento se caracterizan, en general, por su escasa necesidad de personal de mantenimiento, su consumo energético reducido y su baja producción de fangos.

Uno de sus factores limitantes, sobretodo en España, es que necesitan más superficie de terreno que los métodos convencionales (entre 4 y 40 m²/habitante equivalente) lo que limita su uso a pequeños núcleos de población. (García, et al., 2008) Otro factor limitador es que estos sistemas sólo pueden ser empleados con éxito en vertidos totalmente degradables. Si las sustancias vertidas o productos de degradación dejan restos tóxicos o peligrosos en el suelo o el agua deben ser eliminados antes del proceso de depuración natural, de no ser así se corre el peligro de inducir un proceso de envenenamiento del sistema depurador con la consiguiente contaminación del medio receptor.

2.1.9.1 Humedales artificiales

Los humedales artificiales son sistemas de depuración formados por lagunas o canales poco profundos (menos de 1 m) plantados con vegetales de zonas húmedas y en los que el proceso de descontaminación se produce mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación y la fauna. (García, et al., 2008)

Los humedales tienen tres funciones básicas que les permiten ser un buen sistema para el tratamiento de aguas residuales:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos
- Lograr niveles de tratamiento con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

Los humedales artificiales se clasifican de flujo superficial o libre y de flujo subsuperficial dependiendo del tipo de circulación del agua.

En los humedales artificiales de flujo superficial el agua está directamente en contacto con la atmósfera y circula entre los tallos y las hojas de las plantas. Estos humedales son similares al lagunaje natural con una profundidad de lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m y con plantas (García, et al., 2008). Se pueden aplicar para mejorar la calidad de afluentes que hayan sido previamente tratados en una depuradora.

En los sistemas de flujo subsuperficial el agua circula subterráneamente a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9m (García, et al., 2008). La biopelícula que se adhiere al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene el papel fundamental en el proceso de descontaminación del agua.

Las principales diferencias de los sistemas de flujo subsuperficial respecto a los superficiales son: mayor capacidad de tratamiento (admiten mayor carga orgánica), bajo riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos, y menor utilidad para proyectos de restauración ambiental debido a la falta de lámina de agua accesible (García, et al., 2008).

2.1.9.1.1 Humedales de flujo superficial o libre

A estos humedales normalmente se les aplica agua pretratada en forma continua y el tratamiento se produce cuando el agua circula a través de los tallos y las raíces de la vegetación emergente. Muy frecuentemente reciben efluentes de depuradoras ya tratados y que requieren de un afino.

Esta clase de sistemas suele ser una combinación de espacios abiertos y zonas vegetales e islotes con la vegetación adecuada.

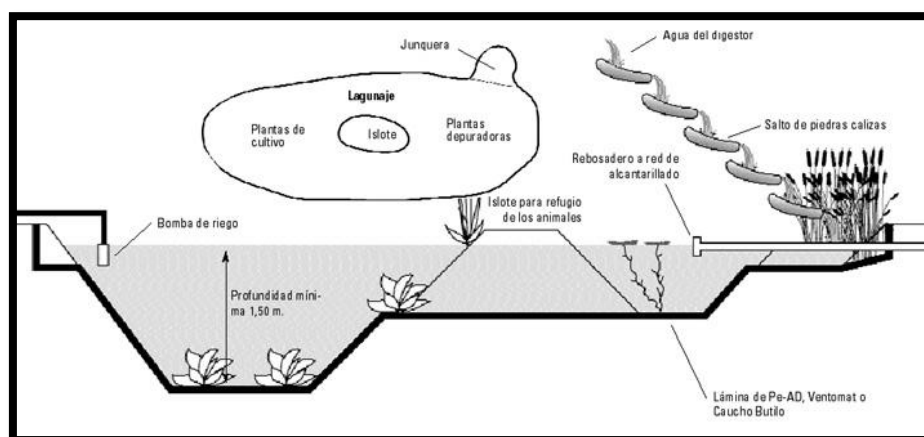


Figura 2.9. Esquema de un sistema de humedal artificial (Caballero, 2004).

Los sistemas de humedales de flujo superficial o libre también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y la flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales cercanos.

2.1.9.1.2 Humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial están diseñados para dar un tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava donde el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie. Se utilizan las mismas especies vegetales en los dos tipos de humedales.

Los humedales de flujo subsuperficial se pueden clasificar dependiendo del sentido de circulación de las aguas en humedales de flujo horizontal o de flujo vertical.

2.1.9.1.3 Humedales de flujo horizontal

En los humedales de flujo horizontal el agua circula en sentido horizontal a través del medio granular y las raíces de las plantas. La profundidad del agua es de 0,3 a 0,9m y se caracterizan por funcionar siempre inundados (el agua suele estar entre 5 o 10 cm por debajo de la superficie). Con cargas de 6 g DBO/m²*día. (García, et al., 2008)

Es importante construir una barrera impermeable para aislar el sistema y así evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones de la zona sólo será necesaria una buena compactación del terreno o por el contrario se deberán hacer aportaciones de láminas de arcillas o utilizar láminas sintéticas.

2.1.9.1.4 Humedales de flujo vertical

Esta tecnología fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales de flujo horizontal para producir efluentes nitrificados. Normalmente se combinan los sistemas horizontales y verticales para que se sucedan alternativamente procesos de nitrificación y desnitrificación y así conseguir eliminar el nitrógeno.

Cuando el agua circula en sentido vertical el medio granular no está permanentemente inundado ya que la circulación del agua tiene lugar a pulsos. La profundidad del medio granular debe ser de entre 0,5 y 0,8 m. Operan con cargas de alrededor de 20 g DBO/ m²*día. (García, et al., 2008)

Los sistemas de flujo vertical requieren menos superficie de terreno para el tratamiento de una determinada carga orgánica que los sistemas de flujo horizontal. Por otra parte tienen más problemas con la colmatación.

De la misma forma que en los sistemas de flujo horizontal en los de flujo vertical también es muy importante crear una barrera impermeable para aislarlos del suelo y evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas.

2.1.9.1.5 Comparación de humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial

Como las reacciones biológicas en ambos tipos de humedales se deben al crecimiento de los organismos, en principio los humedales de flujo subsuperficial con un lecho de grava mayor tendrán mayores tasas de reacción y por lo tanto pueden tener un área menor. Además, como el agua circula por debajo de la superficie del medio granular se evitan diversos problemas con los mosquitos u otros insectos que pueden presentarse en los humedales de flujo superficial en según qué zonas. Además también se evitan los problemas si el proyecto se construye en un clima frío ya que hay una mayor protección térmica (Lara, 1999).

Aunque el área requerida en un sistema de flujo subsuperficial es menor la viabilidad del proyecto dependerá del coste a conseguir y poner el material granular en el lecho. Es importante que un sistema de flujo subsuperficial sea compatible en costes respecto a uno de flujo superficial para pequeñas comunidades y cauda-

les, pero esto siempre dependerá de los costes de la tierra, del tipo de impermeabilización que se requiera, y el tipo y disponibilidad del material granular empleado.

En cuanto al rendimiento de los humedales se puede decir que pueden tratar con eficiencia niveles altos de DBO, sólidos en suspensión y nitrógeno (rendimientos superiores al 80%), así como niveles significativos de metales, trazas orgánicas y patógenos. La eliminación de fósforo en cambio es mínima en estos sistemas. (Ronald, et al., 1998)

2.1.9.1.6 Componentes de los humedales artificiales

Los componentes de los humedales artificiales son los siguientes:

- El agua

Si se dan las circunstancias de que se acumula una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y casualmente la capa del subsuelo es lo suficientemente impermeable para prevenir la filtración del agua es probable que se forme un humedal natural.

Estas condiciones se pueden reproducir en prácticamente cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que recolecte agua y impermeabilizando el fondo para retener el agua.

La hidrología en un humedal construido es el factor de diseño más importante, ya que en muchos casos de ella depende el éxito o el fracaso del proyecto (Lara, 1999). La hidrología en un humedal construido no dista mucho de la de otras aguas superficiales o cercanas a la superficie, pero tiene algunos aspectos diferentes.

Debido al área superficial del agua y a su poca profundidad, el sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración. También se debe tener en cuenta que la densidad de vegetación también afecta a la hidrología del humedal, ya que el agua debe pasar por entre los tallos y raíces y no se ve expuesta ni al sol ni al viento.

- Medio granular

El medio granular debe ser duro, durable y capaz de mantener su forma a largo plazo (Lara, 1999).

El conjunto del medio granular, la biopelícula y la vegetación se consideran el elemento principal de los humedales.

En el medio granular se llevan a cabo diferentes procesos como la retención y sedimentación de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la transformación y asimilación de los nutrientes, y la inactivación de los microorganismos patógenos. La acumulación de restos vegetación en el medio granular aumenta la materia orgánica en el humedal. Esta materia orgánica da lugar a un intercambio de materia, la fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las reacciones más importantes que suceden en el humedal.

También se almacenan en el medio granular muchos contaminantes.

Una característica muy importante del medio granular es su conductividad hidráulica, ya que de ella depende la cantidad de flujo que puede circular a través de él (Lara, 1999). En el diseño se debe tener en cuenta que esta propiedad disminuye a lo largo del tiempo.

En los sistemas de flujo subsuperficial con circulación de flujo vertical el medio granular debe ser de tipo heterogéneo con tres capas horizontales de distinta granulometría, la cual aumenta con la profundidad del lecho. La capa más superficial es de arena gruesa, la intermedia de grava y en el fondo hay una capa de grava gruesa. Esta granulometría controla que el paso del agua no sea demasiado rápido o demasiado lento (Lara, 1999).

En los sistemas con circulación de flujo horizontal el medio granular debe estar exento de finos, ser duro, durable, capaz de mantener su forma a largo plazo y sobretodo permitir el buen crecimiento de la vegetación y de la biopelícula. Una granulometría media de 5-8 mm es la ideal (García, et al., 2008).

Las características físicas del medio granular se alteran cuando se inundan. En un medio granular inundado el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución del oxígeno en la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un suelo anóxico, lo cual será importante para eliminar contaminantes como el nitrógeno o metales (Lara, 1999).

- Vegetación

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio granular y transporta el oxígeno de manera más profunda de lo que llegaría naturalmente.

En los humedales de flujo superficial ocurre que los tallos y las hojas sumergidas se degradan y se convierten en restos de vegetación que sirven para el crecimiento biopelícula responsable de gran parte del tratamiento que se lleva a cabo en el humedal (Lara, 1999).

Las especies de plantas que se suelen utilizar en los humedales son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites australis*), la espadaña (*Typha*) o los juncos (*Scirpus holoschoenus*) (García, et al., 2008). En Europa las especies dominantes en los humedales construidos son los carrizos.

Todas estas plantas están adaptadas para vivir en ambientes permanente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora.

En los humedales las raíces y rizomas proporcionan una buena superficie para el crecimiento de la biopelícula. La biopelícula se adhiere a las raíces de las plantas y al medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde se llevan a cabo procesos microbianos que usan el oxígeno, como puede ser la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación.

Cuando las plantas ya han crecido lo suficiente se reduce la intensidad de la luz que incide sobre el medio granular y de esta manera se evitan altas temperaturas en profundidad que pueden afectar al proceso de depuración. Si el clima es frío la vegetación también protege frente a la congelación (Lara, 1999).

En aguas residuales urbanas estas plantas tienen una contribución pequeña a la eliminación de nutrientes (eliminan un 10% de N y un 20% de P). Si las aguas residuales están diluidas tienen una contribución de más del 50% (Lara, 1999).

En el momento de seleccionar la vegetación para usar en el humedal se deben tener en cuenta la región en la que se realice el proyecto.

- Microorganismos

Las funciones principales de los humedales están reguladas por los microorganismos y su metabolismo. El conjunto de los microorganismos está formado por las bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes (Lara, 1999).

En los humedales los microorganismos transforman muchas sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles, alteran el potencial redox del sustrato afectando así la capacidad del proceso del humedal y son uno de los factores más importantes en el reciclaje de los nutrientes.

En general las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se extienden rápidamente cuando tienen suficiente energía. Si las condiciones ambientales no son propicias muchos de estos microorganismos se inactivan y pueden permanecer durante años desactivados (Lara, 1999).

Se debe tener especial cuidado en que sustancias tóxicas como pesticidas y metales pesados no se introduzcan en cantidades perjudiciales en las cadenas tróficas de los humedales ya que la población microbiana puede verse afectada.

- Animales

Los humedales artificiales pueden resultar un nuevo hábitat para gran cantidad de especies invertebradas y vertebradas.

Los animales invertebrados, tales como insectos y gusanos, contribuyen de forma activa al tratamiento de las aguas residuales en un humedal al consumir materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen durante esa fase bastante volumen de materia orgánica (Lara, 1999).

Los invertebrados son los animales más importantes en el humedal en lo que se refiere a la mejora de la calidad del agua, pero también se debe tener en cuenta que los humedales artificiales también atraen a una gran cantidad de anfibios, mamíferos y aves.

2.1.9.1.7 Impacto ambiental

- Impacto social y sanitario

La meta fundamental de la construcción de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales es principalmente la protección de la salud pública y en segundo término la protección del medio ambiente. Los responsables en asegurar que se alcanza la meta establecida son los ingenieros proyectistas, los investigadores científicos y los gestores públicos involucrados.

Los proyectos de procesos naturales como los humedales están empezando a cobrar importancia dado que la demanda de agua es cada vez mayor y las fuentes económicas están agotadas o cerca de estarlo, también hay un volumen creciente de residuos biológicos y químicos que potencialmente entran en la red de aguas superficiales provenientes de las plantas de tratamiento residual.

Los sistemas más naturales (en el sentido de que les influyen más las condiciones medioambientales naturales) son alternativas útiles a los sistemas convencionales, estos sistemas usan menos energía eléctrica y requieren menos mano de obra para la construcción y mantenimiento.

Desde el punto de vista de la salud pública y medioambiental, los sistemas naturales tienen potencialmente más puntos en contacto con el ambiente y con el público, debido a la gran extensión de terreno que utilizan.

Los principales contaminantes de las aguas residuales son: nitrógeno, fósforo, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, plomo, cromo, mercurio, selenio y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables como los hidrocarburos clorados (Caballero, 2004).

Contaminante		Efecto potencial
Nitrógeno	Salud	Suministro de agua a niños pequeños
	Medio ambiente	Eutrofización
Fósforo	Salud	No tiene impacto directo
	Medio ambiente	Eutrofización
Patógenos	Salud	Formación de aerosoles en el suministro de agua para cultivos
	Medio ambiente	Acumulación en el terreno y contaminación de la vida salvaje
Metales	Salud	Suministro de agua a cultivos y animales en la cadena alimenticia humana
	Medio ambiente	A largo plazo daños en el terreno y son tóxicos para plantas y animales
Elementos traza orgánicos	Salud	Suministro de agua para plantas y animales en la cadena alimenticia humana
	Medio ambiente	Acumulación en el terreno

Tabla 2.9. Principales contaminantes del agua y sus posibles efectos en la salud (Caballero, 2004)

2.1.9.1.8 Construcción

Los aspectos más importantes en la construcción de un humedal son la impermeabilización de la capa superficial del terreno, la selección y colocación del medio granular (sobre todo en los sistemas subsuperficiales), la selección y plantación de la vegetación y las estructuras de entrada y de salida.

También pueden ser necesarias en algunos casos estaciones de bombeo, tuberías de conducción, instalaciones de desinfección, etc. En estos casos la construcción e instalación se haría igual que para otros sistemas (Sánchez, 2010).

En algunos casos puede ser necesaria la instalación de unas tuberías de aireación para airear el lecho en profundidad y de esta manera favorecer los procesos de degradación aeróbica y la nitrificación, puesto que los niveles de oxígeno disueltos pueden llegar a ser bajos. La construcción de una pequeña caída en cascada puede ser válida.

- Impermeabilización

En la construcción de los humedales es muy importante que se tenga en cuenta la impermeabilización del suelo para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o las aguas subterráneas.

En algunos casos ya existe una barrera impermeable de arcilla in-situ o el terreno se puede compactar hasta un estado cercano al impermeable, en otros casos son necesarios tratamientos químicos, una capa de bentonita u de asfalto, o algún tipo de membrana (Lara, 1999).

El humedal debe ser construido con una pequeña pendiente para asegurar el drenaje y de forma que se aseguren las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.

El gradiente hidráulico que se requiere y el nivel del control del agua en cada celda debe ser regulable con el dispositivo de salida (Lara, 1999).

Es muy importante que se mantenga la superficie de diseño durante las siguientes actividades de construcción. Se debe evitar que el humedal construido tenga un flujo preferencial debido a errores en esta parte de la construcción. En el caso de humedales de gran superficie se debe tener cuidado, por ejemplo, con los camiones de transporte de grava para el medio granular ya que la marca de las ruedas en el fondo del lecho puede generar flujos preferenciales permanentes en todo el sistema. Por lo tanto el tráfico pesado por el fondo del lecho debe restringirse cuando el ambiente sea especialmente húmedo (Lara, 1999).

En el caso de los humedales de flujo subsuperficial si se coloca una membrana impermeabilizante debe hacerse en la totalidad de la celda, después debe colocarse directamente el medio granular. Es muy importante que la membrana tenga las propiedades mecánicas suficientes para soportarlo sin perforarse (Lara, 1999).

En el caso de humedales de flujo superficial o libre se coloca una capa de suelo sobre la membrana que servirá como base para las raíces de la vegetación.

- Vegetación

En la construcción de los humedales tiene mucha importancia establecer la vegetación con la densidad adecuada (Lara, 1999). Si es posible, es preferible utilizar plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del lugar del proyecto.

Cada tipo de vegetación tiene unas características determinadas:

Espadaña

Es capaz de crecer en diversas condiciones medioambientales y se propaga fácilmente, con lo cual es ideal para la plantación en un humedal construido.

Los rizomas de la espadaña plantados cada 0.5m en menos de un año pueden producir una cobertura densa.

Tiene baja penetración en grava, sobre unos 0.3m, por lo que no es recomendable para los humedales con flujo subsuperficial (Lara, 1999).



Ilustración 2.4. Espadaña (Autor: infojardín)

Juncos

Son capaces de crecer bien en agua de 5cm a 3m de profundidad. Son perfectos para condiciones de temperatura de 16-27°C.

Con separaciones de aproximadamente 0.3m se consigue un buen cubrimiento en un año.

Penetra en grava aproximadamente 0.6m con lo cual es recomendable para humedales de flujo subsuperficial (Lara, 1999).



Ilustración 2.5. Juncos (Autor: infojardín)

Carrizo

Con separaciones de aproximadamente 0.6m se obtiene un buen cubrimiento en un año.

Los sistemas con carrizo pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque los rizomas penetran verticalmente y a una profundidad de aproximadamente 0.4m.

Son muy utilizados en humedales artificiales ya que tienen un bajo valor alimenticio y por lo tanto no se ven atacados por animales como otras plantas (Lara, 1999).



Ilustración 2.6. Carrizo (Autor: infojardín)

Lo más aconsejable es la plantación directamente del rizoma previamente tratado al lecho. También existe la opción de realizar la siembra a partir de semillas, pero este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua, además del posible problema adicional de que algunas aves se puedan comer las semillas.

- Estructuras de entrada y de salida

En los humedales las estructuras de entrada y de salida son muy importantes ya que permiten una buena repartición y recogida de aguas que es muy importante para el buen rendimiento del sistema. Es importante que estas estructuras estén bien diseñadas y construidas. Es importante que la distribución y recogida de aguas del sistema sea lo más homogénea posible (Lara, 1999).

Para la distribución se disponen redes de tuberías sobre la superficie, de forma radial o a lo largo del lecho. Si el proyecto se realiza en un clima frío la red de tuberías se suele colocar enterrada en el lecho entre 5 y 10 cm por debajo de la superficie para evitar la congelación (Lara, 1999).

La recogida del agua se realiza mediante tuberías perforadas situadas sobre el fondo y a lo largo del lecho.

El agua residual se hace circular hasta una arqueta donde se divide el caudal en partes iguales y mediante tuberías se vierte al lecho. También se puede hacer llegar el agua residual a un canal con vertedero que la distribuya de manera homogénea por todo el sistema.

La recogida del agua efluente se realiza mediante una tubería en forma de “L” invertida con altura regulable, de esta manera se puede controlar y modificar el nivel del agua (Lara, 1999).

2.1.9.1.9 Ventajas y desventajas

Los humedales artificiales presentan las siguientes ventajas:

- Se eliminan los elementos patógenos de las aguas residuales
- El agua que se obtiene al final del proceso se puede usar para irrigación
- El tratamiento no presenta consumo de energía eléctrica o se reduce a los bombeos de cabecera
- El coste de inversión suele ser competitivo
- Se requiere poco personal para su mantenimiento
- No se generan grandes cantidades de lodos

También tienen las siguientes desventajas:

- Se necesita una mayor superficie para el tratamiento que en un sistema convencional.
- En la mayoría de los casos, si el agua resultante del tratamiento se utiliza para riego de cultivos comestibles, se necesita un post tratamiento.

4 Casos Estudiados

4.1 Sanitarios secos con separación de orina en un área rural, Tututepec, Oaxaca, México

Se ha decidido estudiar como un proyecto de sanitario seco con separación de orina el Caso de estudios de saneamiento sostenible: “Sanitarios secos con separación de orina en un área rural, Tututepec, Oaxaca, México” presentado por la asociación *Sustainable Sanitation Alliance*. (Ysunza, et al., 2010)

4.1.1 Objetivos del proyecto

Objetivo general:

- Implantar un programa de saneamiento en México, para conseguir un uso racional del agua, mejorar la producción de alimentos, evitar la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas y superficiales y con ello mejorar la salud de la comunidad.

Objetivos específicos:

- Llevar a cabo un proceso de sensibilización en la población antes de la construcción de los sanitarios secos con separación de orina (UDDT²) a través de la difusión de material didáctico.
- Estudiar el impacto en la salud y la nutrición de la población usuaria de los sanitarios secos con separación de orina (UDDT) en comparación con las familias que no los usan.
- Aumentar la disponibilidad de alimentos utilizando como abono los desechos humanos reciclados.

4.1.2 Localización y condiciones generales

Oaxaca es una entidad federativa al sur de México. Dentro de su territorio se encuentran el 35% de los grupos étnicos existentes en todo el país. Se encuentra entre 0 y 3500 m sobre el nivel del mar lo cual propicia 15 diferentes tipos de climas.

El estado de Oaxaca presenta los índices de desnutrición y mortalidad materno-infantil más altos de México, con predominio de causas evitables de muerte como infecciones respiratorias agudas, enfermedades diarreicas, parasitosis, desnutrición, etc. También presenta índices de desempleo agrícola, narcotráfico, deterioros ambientales irreversibles y conflictos sociopolíticos permanentes. La escasez de agua representa uno de los problemas más prioritarios en México, como también lo son el abastecimiento de alimentos y la seguridad nacional.

En el caso de Oaxaca los principales problemas son que sólo el 40% de la población tiene acceso a agua potable y 80% de la población indígena está en los niveles de pobreza extrema³.

La red de suministro de agua funciona a través de tuberías con agua no potable en el interior de los domicilios.

2 UDDT: Urine Diversion Dehydration Toilets (Sanitarios Secos con Separación de Orina).

3 La **pobreza extrema** es el estado más severo de pobreza. Cuando las personas no pueden satisfacer varias de las necesidades básicas para vivir como alimento, agua potable, techo, sanidad y cuidado de la salud.

4.1.3 Historia del proyecto

La institución ejecutora del proyecto es el Centro de Capacitación Integral para Promotores Comunitarios (CECIPROC), una asociación civil sin ánimo de lucro, creada en el año de 1996 y que tiene como referente institucional al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán” (NNSZ).

Este programa de Saneamiento Ecológico Rural en Oaxaca se inició en 2003 con la construcción de 50 UDDTs en la comunidad de Río Grande (en dos de sus colonias: Cuauhtémoc y Loma Bonita), posteriormente en el 2005 el programa se extendió a tres comunidades más de la misma región (La Luz, Palma Sola y Charco Redondo), donde se construyeron 110 UDDTs más. En el año 2007 se inició la construcción de 35 UDDTs en la Sierra Norte de Oaxaca, un contexto ecológico diferente que varía del de la costa, básicamente por la altitud de más 1800 metros. Desde 2009 se está llevando a cabo el seguimiento y monitoreo de los huertos familiares y su producción de alimentos. Se prevé la implantación total del Saneamiento Ecológico Rural en todo el estado de Oaxaca para el 2012.

4.1.4 Tecnología utilizada

Los sanitarios secos con separación de orina tienen dos compartimentos ventilados para la deshidratación de las heces fecales. Inmediatamente después del uso del sanitario se aplica sobre las heces una mezcla de tierra, ceniza y cal en partes iguales para que las heces permanezcan en el compartimento cubiertas de esa mezcla.

Cuando uno de los compartimentos está lleno (suele tardar aproximadamente un año) se cierra. El contenido debe seguir en el compartimento durante un año más para su completa deshidratación.

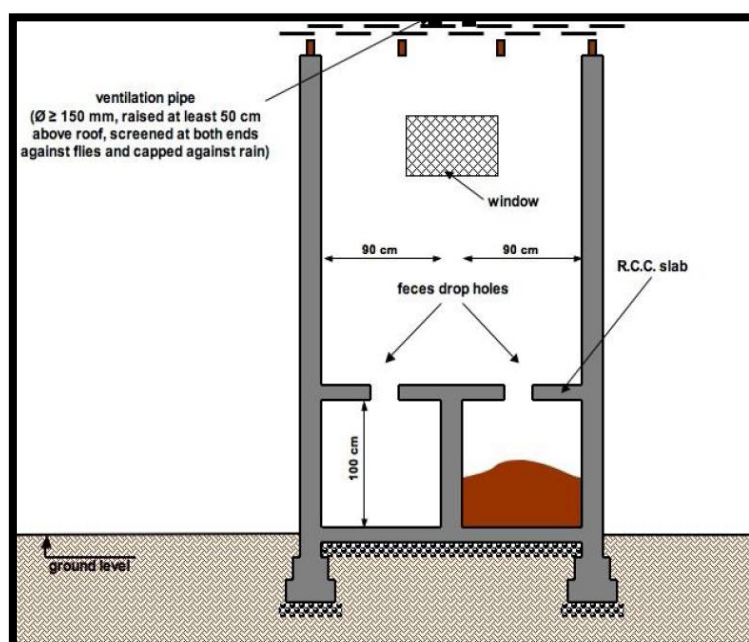


Figura 4.1. Plano conceptual de los compartimentos para deshidratación de las heces fecales de un UDDT individual. (Panse, et al., 2009)

El compostaje se da en el interior de los compartimentos del sanitario ecológico que se mantienen a una temperatura de entre 36 y 38 °C; además con la mezcla de cal, tierra y ceniza se logra evitar la humedad, los malos olores y la presencia de insectos, parásitos o bacterias.

La taza con el separador de orina, está conectada por un sistema de tubos para la recolección de la orina a un bidón de plástico de 20 litros. El urinario masculino también está conectado por la red de tuberías al

mismo bidón. La orina recolectada se almacena después en un tanque a la sombra a temperatura ambiente durante 30 días para lograr el proceso de disminución de carga microbiana y el desdoblamiento de los minerales convirtiéndolos en biodisponibles y asimilables.

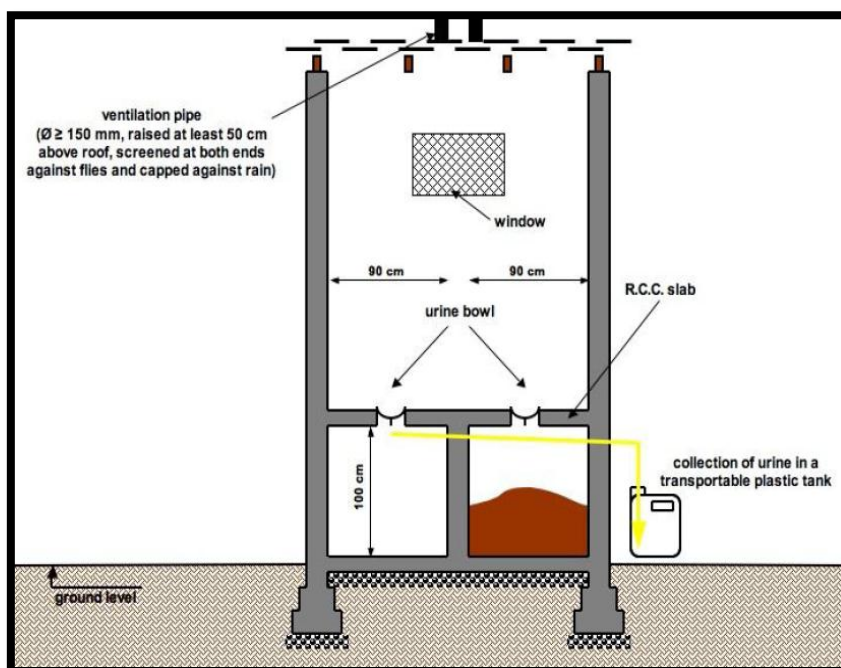


Figura 4.2. Plano conceptual de los compartimentos para la recolección de orina de un UDDT individual. (Panse, et al., 2009)

En este proyecto las tazas y los urinarios están contruidos de cerámica y producidos por una compañía privada llamada Anfora.

4.1.5 Información del diseño

El UDDT consta de una base de 2,40 x 1,20 m a partir de la cual se levantan dos cámaras (de 80 cm de alto y 120 x 120 cm de perímetro) donde se recolectan las heces. El volumen de las cámaras (1,15 m³) está diseñado para que el UDDT sea utilizado por 4 o 5 personas al día. Encima de estas dos cámaras se construye una losa de cemento, arena, grava y alambrión y sobre ésta se coloca la cabina de 1.70 m de altura y dentro de ésta, la taza con separador de orina y el urinario masculino. (Las tazas son de cerámica fabricada por la empresa Anfora al igual que los urinarios).

La orina se recolecta a través de un bidón de plástico de 20L colocado en el exterior de la caseta.

4.1.6 Tipo y nivel de reutilización

La orina se recolecta y se almacena por separado en un bidón durante 30 días.

Una vez transcurridos estos días se utiliza una concentración de 1 litro de orina por cada 5 de agua y se riegan las plantas. El riego se aplica alrededor de la planta, no sobre las hojas o el tallo. Se recomienda regar con la disolución de orina cada 15 días.

Para reutilizar las excretas humanas (orina y heces) de los 195 UDDTs implantados en Oaxaca se han llevado a cabo huertos comunitarios y huertos biointensivos a nivel familiar.

El huerto comunitario es un espacio experimental y demostrativo que tiene como propósito motivar a la gente en la utilización de excretas humanas para mejorar la producción de alimentos. Una de las técnicas

utilizadas fue la de técnica de las camas biointensivas cuyo objetivo es realizar un cultivo sostenible que mantiene e incrementa la fertilidad del suelo generación tras generación, lo que se traduce a la vez en beneficios alimentarios, ambientales y económicos.

4.1.6.1 Implantación de 3 huertos comunitarios con carácter experimental

Estos huertos se introdujeron en la comunidad de La Luz, con la participación de 30 familias; en Charco Redondo con la participación de 32 familias y en Palma Sola con la participación de 15 familias, siendo un total de 77 familias las involucradas en el proyecto.

El objetivo de la introducción de estos huertos fue experimentar a nivel comunitario diferentes mezclas y diluciones de composta y orina respectivamente. Así como que las familias participantes observaran directamente el proceso de mejora en la producción de alimentos.

Se montaron cuatro lechos de siembra:

- Uno con sólo el abono obtenido en las cámaras de los UDDTs.
- Otro sólo con tierra.
- Otro preparada con 5 carretillas de tierra y 5 carretillas de abono de las cámaras de los UDDTs⁴.
- Y un último preparado con 2 carretillas de abono de las cámaras de los UDDTs, 2 carretillas de estiércol y 5 carretillas de tierra.

En el cuarto lecho fue donde se obtuvieron los mejores resultados de desarrollo de plantas y donde se obtuvo la mejor cosecha.

4.1.6.2 Creación de 95 huertos biointensivos a nivel familiar, con sistemas de riego por goteo

En los 95 huertos biointensivos creados a nivel familiar se utilizaron los fertilizantes naturales obtenidos de los UDDTs. En los huertos se aplicó una mezcla con tierra y follaje seco, y se regó con una dilución de orina al 1:5 cada 15 días y con agua por goteo diariamente.

Para mantener el funcionamiento de los huertos familiares, el equipo de CECIPROC elaboró un manual "El Huerto Familiar: Manual de Producción de Hortalizas de Traspatio sin Agroquímicos" (Instituto nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán", 2009), dónde se explican las técnicas de sembrado, riego por goteo, cosecha y control de malezas.

La cama biointensiva es una técnica que permite aprovechar los recursos locales como los desechos vegetales o el estiércol, para asegurar un sustrato donde se puedan estar cultivando las hortalizas familiares de manera casi permanente; siempre y cuando se aporten nutrientes al suelo (Álvarez de la Puente, 2006).

En una cama biointensiva se deben plantar diferentes especies de hortalizas con el fin de proporcionar biodiversidad y para que la absorción de nutrientes sea homogénea (Instituto nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán", 2009). De esta manera también la familia beneficiaria puede obtener diferentes productos y diversificar su dieta.

La cama biointensiva se prepara con unos 60 cm de profundidad, la primera capa de 30cm es retirada y los siguientes 30cm de tierra de fondo son removidos. La tierra extraída se puede utilizar después para hacer la composta. Posteriormente se rellena el lecho con cuatro capas alternando follaje seco y fresco (Instituto nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán", 2009). La tierra que se retiró al inicio se mezcla

⁴ La cantidad de material de una carretilla es equivalente a 60 kg

con dos carretillas de abono de los compartimientos del UDDTs y se coloca encima de las capas de follaje. Se riega y se deja reposar dos días. Pasado ese tiempo ya se pueden trasplantar las hortalizas.

Las plantas cultivadas en los huertos biointensivos de este proyecto fueron: cebollas, chile, cilantro, tomates, pepino, lechugas, rábanos, calabazas, ejote, col, coliflor, zanahorias, betabel y acelgas.

La preparación de estas camas da suficientes nutrientes para poder sembrar en ellas durante un año todas las hortalizas necesarias (Instituto nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán", 2009).

En función de los resultados de los análisis de nutrientes y de los análisis microbiológicos y parasitológicos de las compostas, se pudo constatar que éstas son buenas en calidad de nutrientes, inclusive más allá de los estándares. La composta resultó ser segura para su manejo, ya que está totalmente libre de patógenos. Esto fue demostrado por un análisis de diferentes patógenos como *Klebsiella Sp.*, *Shigella* y *Enterobacter Sp* en nueve muestras tomadas. En este caso la mejor mezcla de composta y tierra obtenida fue la de una parte de la composta natural por diez partes de tierra local. Así mismo la dilución de orina que resultó más adecuada fue la dilución 1:5 (orina : agua).

En la actualidad las familias beneficiarias han extendido el uso de estos fertilizantes no sólo en sus huertos, sino también en los campos de cultivo como el maíz, frijol, calabaza, etc.

Las ventajas de esta reutilización son:

- Hay una mayor disponibilidad y variedad de alimentos y en consecuencia, hay una mayor diversificación en la dieta de las familias.
- Los escolares beneficiados presentan un mejor estado nutricional que los no beneficiados.
- Existe un ingreso extra por venta de productos excedentes que beneficia la economía familiar.

La técnica de las camas biointensivas permite la generación natural de nutrientes (Na, K, S, P, etc.) que facilitan que el huerto tenga una producción continua durante al menos dos años, retienen el agua y mantienen la humedad, mejoran la oxigenación del sustrato y se produce un mejor arraigo de las plantas cultivadas.

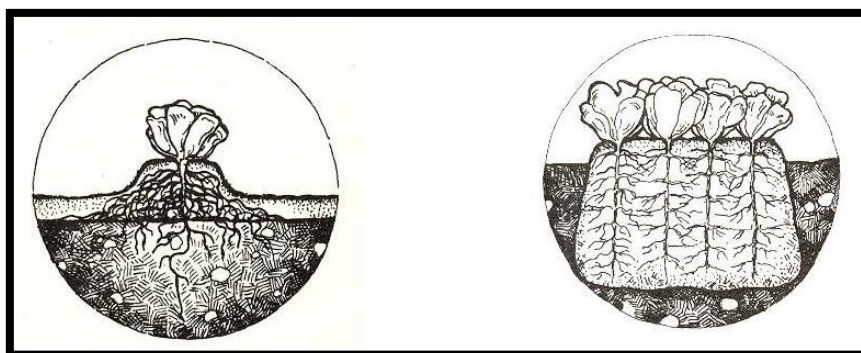


Figura 4.3. Comparación de planta en surco y planta en cama doble excavada. En la primera las raíces no pueden crecer sanamente y se debe plantar más espaciado, en la segunda las raíces de las plantas crecen con más facilidad y en profundidad, se puede plantar con una distancia menor entre plantas. (Centro Agroecológico-Las cañadas, 2008)

4.1.7 Otros componentes

4.1.7.1 Capacitación para los huertos comunitarios

La metodología interactiva que se utilizó dentro de los talleres resultó ser idónea, ya que las familias beneficiarias entendieron las virtudes de este enfoque ecológico para la producción de alimentos y el ahorro de agua.

Los talleres fueron organizados del personal del CECIPROC.

Los participantes entendieron claramente el concepto EcoSan de “Cerrar el Ciclo” (*Ecosan-Closing the loop*); las excretas ya no significaron un desperdicio contaminante, sino más bien un recurso natural para producir alimentos. También entendieron que si las excretas son manipuladas adecuadamente no implican ningún riesgo para la salud humana.

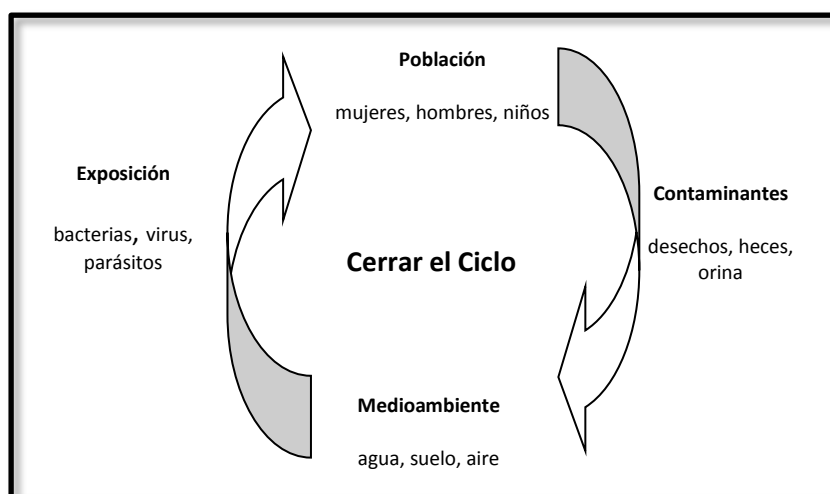


Figura 4.4. “Cerrar el Ciclo”. *Ecosan - Closing the loop*

4.1.7.2 Sensibilización y material de educación

La propuesta metodológica original requirió de un proceso de sensibilización de la comunidad previa a la construcción de los UDDTs.

En una primera fase se elaboró y se probó a nivel comunitario el material didáctico dirigido a las diferentes comunidades donde se iban a construir los UDDTs. Ese material tenía como objetivo sensibilizar a la población beneficiaria de la importancia de la utilización de los UDDTs para la salud de la comunidad, la importancia de que se construyeran adecuadamente, su buen uso y su adecuado mantenimiento.

Se diseñó un material didáctico sencillo, fácil de entender para toda la población, con pocas palabras y muchas imágenes. También se diseñó un póster plastificado para colocar dentro de los propios UDDTs explicando el uso correcto de los mismos.



Figura 4.5. Material didáctico para promocionar el buen uso de los UDDTs. Póster colocado dentro de los sanitarios. En una segunda fase se seleccionó a las familias beneficiarias para iniciar la construcción de los UDDTs.

Después se inició la fase para promocionar el adecuado uso y mantenimiento de los UDDTs una vez ya construidos. Para ello se realizó una encuesta dirigida a las familias usuarias de los UDDTs para conocer las condiciones de uso y mantenimiento de los mismos.

Al mismo tiempo se realizó otra encuesta para comprobar posibles efectos en la salud y en la nutrición comunitaria, comparando las familias beneficiarias con las no beneficiarias. Los parámetros que se utilizaron para medir este efecto fueron:

- Presencia de parásitos en escolares y preescolares.
- Frecuencia de diarreas en cada familia.
- Estado nutricional de preescolares y escolares, con medidas antropométricas peso/edad y peso/talla.

Después de la aplicación de estas encuestas se realizó otro estudio más preciso para conocer con más detalle la percepción de la comunidad sobre el uso y manejo de la excreta humana, se pudo comprobar una resistencia de las familias hacia el uso de la orina y la composta humana como fertilizantes.

El siguiente paso fue llevar a cabo observaciones en el domicilio de cada una de las familias beneficiarias. El objetivo de esto fue el de verificar las condiciones reales de uso y mantenimiento del UDDTs, así como el destino final de las excretas.

Conclusiones finales del estudio:

- La población beneficiaria se ha apropiado de la tecnología que inicialmente era rechazada.
- Existe una mayor disponibilidad de alimentos durante todo el año.
- Existe una tendencia a la disminución de obesidad infantil en las familias beneficiarias. En un estudio realizado entre la población beneficiaria y la no beneficiaria para medir impacto en la nutrición sobre la producción de huertos familiares, se encontró una tendencia estadísticamente significativa de ni-

ños menos obesos entre los beneficiarios; aunque no se pudo comprobar un mejor estado nutricional desde el punto de vista de la desnutrición entre ambas poblaciones.

- Hay cambios culturales para la utilización de abono orgánico.

4.1.8 Costes

Aproximadamente los costes de construcción de los 195 UDDTs que se han construido hasta la fecha de redacción del proyecto del Caso de estudios de saneamiento sostenible: “Sanitarios secos con separación de orina en un área rural, Tututepec, Oaxaca, México” presentado por la asociación *Sustainable Sanitation Alliance*, incluidos todos los costes de operación del programa, ascienden a 900,000 pesos mexicanos (MXN) (equivalente a unos 54,900 euros (EUR) aproximadamente⁵). A esto se debería agregar el coste de la mano de obra que en este caso correspondió a las mismas familias beneficiarias.

El precio de un UDDT es de: taza 1200 MXN (aproximadamente unos 73,20 EUR) y urinario 800 MXN (unos 49 EUR); todo fabricado por Anfora.

En el caso de los 3 huertos comunitarios experimentales y los 95 huertos familiares, los costes aproximadamente ascienden a 640,000.00 MXN (equivalentes a unos 39,000 EUR), sin tener en cuenta la mano de obra y el coste de algunos materiales de la región (arena, grava, madera, etc.).

Los costes incluyen los siguientes materiales: malla cerca, malla de alambre, malla protectora, charola de germinación, semillas, mochilas aspersores, regaderas de mano, tinacos de 450 L, manguera de riego, cintilla e riego, carretillas, palas y picos.

TABLA DE COSTES		
INSTALACIÓN	COMPONENTES	COSTE (€)
UDDT	Taza	73.20
	Urinario	49
	Caseta	159.34
TOTAL x 1		281.54
TOTAL x 195		54900
Huerto	Comunitario	5820
TOTAL x 3		17460
	Biointensivo	226.74
TOTAL x 95		21540
TOTAL PROYECTO		93900

Tabla 4.1. Tabla con el desglose de costes del proyecto en EUR.

4.1.9 Operaciones y mantenimiento

En este caso se determinó que el uso y mantenimiento de cada UDDTs era responsabilidad absoluta de los beneficiarios; y la participación de CECIPROC se reduce a la supervisión y asesoramiento al respecto.

La operación y mantenimiento de los huertos familiares es también responsabilidad de las familias beneficiarias y la participación de CECIPROC se reduce a la donación de semillas, supervisión y asesoramiento.

La participación de las mujeres en los huertos ha sido clave para su éxito, ya que en el 90% de los casos son ellas las responsables, aunque más recientemente la participación de los padres de familia y los niños se ha ido incrementando.

⁵ Cambio 1 euro (EUR) = 16,3938 pesos mexicanos (MXN) a fecha de 3 Enero 2011.

El transporte del abono de los compartimentos se realiza a través de sacos para su mejor almacenamiento y su eventual utilización en los huertos familiares. Por su parte la orina se colecta en los bidones de 20 L; y en los mismos se transporta a los tanques de almacenamiento de 200 L para su utilización en los huertos.

4.1.10 Experiencia práctica y lecciones aprendidas

Debido a que se detectaron ciertas contradicciones en las encuestas realizadas se optó por hacer visitas domiciliadas para contrastar información.

Los resultados de este ejercicio llevaron a las conclusiones siguientes:

- El total de observaciones domiciliarias fue de 75 familias, de las cuales el 50.6% obtuvieron observaciones negativas en relación a sus UDDTs. De las observaciones negativas, el 34.6% aún tenían en uso los UDDTs y el 16% restante estaban ya fuera de uso.

De los UDDTs que aún estaban en uso pero cuyas condiciones fueron consideradas negativas, el 5.3% se debió a que la construcción de los UDDTs no estaba concluida, el 24% tenía problemas técnicos, tales como tuberías rotas, dobladas, desconectadas, etc.; y un 5.3% decidió transformar sus UDDTs en fosas sépticas.

Los UDDTs que ya no estaban en uso fueron abandonados por causa de emigración de los dueños y otros transformados en bodegas y hasta en cocinas.

Lo anterior llevó a ratificar la incoherencia entre la información recopilada a través de la encuesta familiar y las observaciones directas que se hicieron a las familias beneficiarias.

A pesar del esfuerzo para sensibilizar a la población a través del material didáctico, se observa que existe aún una resistencia hacia el uso de los UDDTs que probablemente tenga su origen en aspectos socioculturales y/o educacionales que requieren ser estudiados más a fondo y durante un proceso longitudinal a través de una metodología más cualitativa.

Los UDDTs en los que no se había concluido su construcción se debió a una falta de supervisión y monitoreo durante el proceso.

Las soluciones tomadas por los integrantes del equipo CECIPROC para resolver estos problemas fueron:

- La reparación y/o la finalización de la construcción de los UDDTs que aún estaban en uso.
- Se inició una nueva estrategia socio antropológica, con objeto de dar respuesta a la resistencia que persiste dentro de la población en la utilización de los UDDTs; esta metodología formará parte del monitoreo y evaluación sistemática que se realizará dentro de los próximos 2 años.

Por otro lado, estas observaciones directas concluyeron que casi el 50% de las familias beneficiarias ya habían iniciado la recolección de su orina y de la composta.

Las lecciones aprendidas a partir de esta experiencia son las siguientes:

- Es necesario llevar a cabo un proceso continuo de sensibilización de la comunidad beneficiaria a través de la elaboración de materiales didácticos, así como el monitoreo continuo y sistematizado de la construcción, del uso y del mantenimiento de los sanitarios a través de visitas domiciliarias.
- Se puede concluir que es posible realizar esta experiencia nuevamente en otras zonas, siempre y cuando se realicen las adaptaciones correspondientes a las condiciones socioculturales y económicas de la zona donde se pretenda realizar el proyecto.
- En este caso, el uso correcto de los UDDTs en el medio rural mexicano, promueve no sólo el uso racional del agua en un contexto de crisis del agua a nivel mundial, sino también promueve el reciclado

de las excretas humanas, evitando de esta manera la contaminación del agua y del suelo, así como sus consecuencias negativas sobre la salud de la población.

4.1.11 Criterio de sostenibilidad y saneamiento

Se ha realizado una evaluación básica para indicar en cuál de los cinco criterios de sostenibilidad⁶ este proyecto sus puntos fuertes y sus puntos débiles.

Criterio de sostenibilidad	Reolección y transporte			Tratamiento			Transporte y reutilización		
	+	0	-	+	0	-	+	0	-
Salud e higiene	X				X		X		
Medio ambiente y recursos naturales	X			X			X		
Tecnología y mantenimiento	X				X		X		
Financiamiento y economía			X		X			X	
Socio-cultural e institucional	X				X			X	

Tabla 4.2. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible (+: punto fuerte, 0: punto medio, -: punto débil)

El mayor impacto del proyecto ha sido que aproximadamente el 80% de las familias beneficiarias se ha apropiado de la tecnología del reciclaje de las excretas humanas para mejorar la producción alimentos, lo que se ha traducido en una producción local de alimentos a nivel familiar que ha permitido a las familias diversificar su dieta y mejorar su estado nutricional. También les ha permitido obtener un ingreso extra por la venta de sus productos.

También se ha podido observar una disminución de obesidad y de la presencia de parásitos en los niños escolarizados de las familias beneficiarias.

Desde el punto de vista ambiental se ha conseguido la reducción del uso de productos químicos para la agricultura, el uso racional del agua y una mayor concienciación sobre el uso adecuado de esta.

CECIPROC tiene planeado continuar con el monitoreo nutricional de los escolares de las comunidades de este proyecto.

⁶ Para más detalles ver el documento "Towards More Sustainable Solutions" (www.susana.org) también disponible en Español "Hacia Soluciones de Saneamiento más Sustentables".

4.2 Tratamiento del agua residual usando humedales construidos. Tirana, Albania

Se ha decidido estudiar como un proyecto de sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales el Caso de estudio de saneamiento sostenible: “Tratamiento del agua residual usando humedales construidos. Tirana, Albania” presentado por la asociación *Sustainable Sanitation Alliance*. (Gjinall, et al., 2010)

4.2.1 Objetivos del proyecto

Actualmente las normas ambientales en el sector de agua y alcantarillado están ganando en importancia, en particular con la Directiva Marco del Agua⁷. Con la potencial candidatura de Albania a unirse a la Unión Europea⁸ el país requiere de reformas jurídicas y políticas en el sector, acompañadas de la implantación de las tecnologías apropiadas.

Dentro del proyecto “Consejos sobre la descentralización del sector de agua y alcantarillado en Albania” financiado por el Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) y el Ministerio Albano de Trabajos Públicos y Transportes (MPWT) iniciaron en Albania un proyecto piloto de humedales construidos para aumentar la conciencia por las tecnologías de bajo coste y para promover el saneamiento adecuado y descentralizado de acuerdo con las normas de la Unión Europea (EU).

El objetivo del proyecto es que sea utilizado como una planta modelo de tratamiento para la formación, demostración, investigación y la futura reproducción en las zonas peri-urbanas y rurales de Albania.

Para este primer sistema de humedal construido en Albania se ha utilizado una combinación de humedal vertical y horizontal de flujo subsuperficial.

4.2.2 Localización y condiciones generales

A pesar de los procesos de reforma en el sector de agua y del alcantarillado, el país sigue teniendo grandes problemas para dar acceso al agua potable y a los servicios de tratamiento de aguas residuales en muchas zonas.

En su Estrategia Nacional para el Desarrollo e Integración el gobierno de Albania tiene como objetivo alcanzar que el 98% de la población tenga acceso al agua en el 2015 (en 2007 tenía acceso un 73% de la población). En el mismo período se pretende mejorar la tasa de conexión a los sistemas de aguas residuales pasando de un 43% a un 80% y el tratamiento de aguas residuales de prácticamente 0% al 50%.

⁷ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

⁸ Albania solicitó oficialmente su candidatura a la UE el 28 de abril de 2009, antes de las elecciones legislativas nacionales.



Ilustración 4.1. Situación de la Aldea Infantil SOS en Albania. PEQUEÑO

En Tirana, la capital de Albania, las aguas residuales no tratadas se vierten al río Lana. Hasta ahora, el sistema de alcantarillado público no cubría las áreas suburbanas. Tanto en las zonas peri-urbanas como en las zonas rurales los medios para la eliminación de aguas residuales son pozos de infiltración. En este tipo de instalaciones los sólidos quedan retenidos, mientras los residuos líquidos se infiltran en la tierra donde el agua subterránea se contamina por los nutrientes y patógenos.

La Aldea Infantil SOS, donde se localiza este proyecto, se encuentra en Sauk, un suburbio de Tirana donde no hay acceso al sistema de alcantarillado municipal. La Aldea Infantil SOS es una organización benéfica internacional que se encarga de ayudar a niños huérfanos y abandonados, proporcionándoles alojamiento y educación a los que viven dentro del propio centro y en los alrededores de la comunidad. La Aldea Infantil SOS en Tirana tiene trece edificios donde alojar a los niños. Cada edificio acoge de 5 a 7 niños y a un adulto que realiza las funciones de tutor. Esta aldea también acoge a los niños que vienen a diario a la guardería infantil o a la escuela primaria pero que no duermen en la Aldea. En total hay alrededor de 500 personas que viven, visitan o trabajan en la Aldea.

Tirana tiene un típico clima mediterráneo, con veranos calurosos y secos, e inviernos fríos y húmedos. La temperatura media anual es de 16 °C y la precipitación anual de 1.200 mm. La ciudad se encuentra en una llanura con una altitud media de 110 metros junto al Monte Dajti. La distancia hasta el mar Adriático es de aproximadamente 30 km.

En Albania, la Tasa de Mortalidad de Niños Menores de Cinco Años⁹ en 2008 era de 14 niños por cada 1000 nacidos vivos, la cual es baja.

⁹ La Tasa de Mortalidad de Niños Menores de Cinco Años es la probabilidad (expresada como tasa por cada 1000 nacimientos vivos) de que un niño nacido en un año específico muera antes de los cinco años sujeto a la tasa de edad de mortalidad de ese año. (www.childmortality.org)

Antes del proyecto, la Aldea Infantil SOS contaba con un sistema de alcantarillado de recogida de aguas residuales hacía una fosa séptica con tres cámaras, después la descarga se realizaba en un arroyo natural junto a la propiedad. Esto tuvo efectos negativos sobre el medio ambiente.

4.2.3 Historia del proyecto

Para actualizar la unidad de tratamiento de aguas residuales existente, la GTZ, la Aldea Infantil SOS y el Ayuntamiento de Tirana se pusieron de acuerdo para construir un sistema de humedales construidos en la Aldea bajo la dirección técnica de ÖKOTEC Anlagenbau GmbH y la colaboración de la Universidad Politécnica de Tirana. El objetivo fue mejorar la situación medioambiental de la Aldea, y al mismo tiempo aumentar la sensibilización sobre las tecnologías de saneamiento descentralizado a las partes interesadas y a la población en general de Albania.

La fase de planificación se inició en septiembre de 2008, seguida de la fase de implementación que comenzó en septiembre de 2009 y finalizó en diciembre de 2009. La planta de tratamiento comenzó a operar el 29 de enero de 2010.

La construcción y puesta en marcha fue supervisada científicamente y monitorizada por la Universidad Politécnica de Tirana (Departamento de Ingeniería Ambiental), y se puso en marcha por primera vez en Albania una tesis doctoral en el área del tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales para las pequeñas comunidades.

4.2.4 Tecnología utilizada

Utilizando la red de alcantarillado existente en la Aldea, el sistema de humedales construidos contiene los siguientes componentes:

- Un tanque de decantación para la separación de los sólidos en suspensión.
- Una cámara de bombeo para el transporte de las aguas residuales a los lechos de filtración.
- Una cama de compostaje de lodos.
- Camas de filtros de tierra de dos etapas para optimizar el tratamiento de saneamiento.
- Un depósito para las aguas residuales tratadas para facilitar su posterior reutilización en las parcelas de riego con un drenaje especial para aguas pluviales.

Las aguas residuales generadas por los sanitarios, las duchas y los fregaderos de las cocinas de las casas, la escuela, la guardería, la oficina de administración y el comedor, se tratan primero en el tanque de sedimentación, que reduce tanto la DBO¹⁰ como los Sólidos en Suspensión. Los lodos recogidos en el tanque fluyen hasta una cama de secado de lodos. Desde el tanque de sedimentación el líquido efluente fluye dentro de la cámara de bombeo, desde la que se bombea a una serie de dos sistemas de humedales construidos verticales y horizontales. La superficie de las camas del filtro se planta con una variedad local de caña.

Al pasar por las capas de filtrado, el agua no es sólo tratada por la actividad microbiana, sino también por procesos de adsorción. En este sistema combinado de filtros verticales y horizontales la extracción y la descomposición tardía de los compuestos orgánicos persistentes, así como la eliminación de patógenos es óptima, y esto produce una gran mejora en la calidad del agua.

¹⁰ DBO (Demanda Biológica de Oxígeno): es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

El flujo a través de la cámara de bombeo se distribuye por la superficie hacia un lecho de filtrado por medio de tuberías de distribución perforadas.

Se han construido dos filtros verticales (Sistema de Humedales Construidos Vertical), que se alternan diariamente (F_Ia y F_Ib). En estos sistemas el afluente se distribuye a través de la superficie de entrada y las aguas residuales se infiltran verticalmente hacia abajo a una capa de recogida en la parte inferior del lecho. Desde uno de estos filtros el flujo pasa por gravedad a un segundo lecho de filtrado (F_II) en el que el flujo entra a través de una capa de grava, y se filtra horizontalmente a través de la arena y raíces medias del humedal.

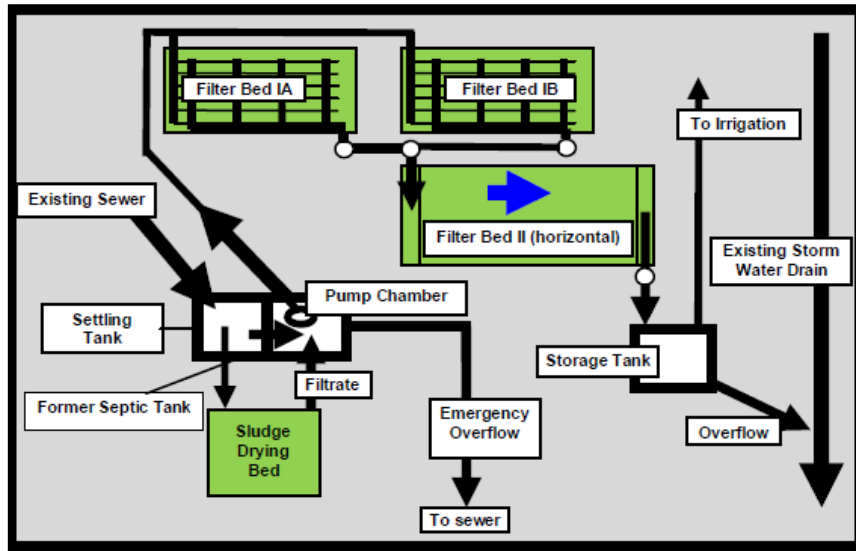


Figura 4.6. Diagrama de flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales (los lechos de filtrado F_Ia y F_Ib son de flujo vertical, el lecho de filtrado F_II es de flujo horizontal, subsuperficial)

El agua residual tratada se recoge en el extremo del lecho a través de una capa de grava con descarga en un pequeño eje de control colocado en una esquina de la celda de los humedales. A través de este conducto, el agua residual se transfiere por la gravedad a un tanque de recogida y puede ser reutilizada para el riego del jardín o para la cisterna del inodoro en la escuela.

Los logros del tratamiento se encuentran dentro de las normas internacionales de la OMS para la calidad de las aguas residuales.

Concentración	Flujo de entrada (mg/L)	Flujo de salida (mg/L)
Sólidos en suspensión	400	2
DBO	300	5
CDO	600	30
NH ₃ -N	60	3
NO ₃ -N	0	57
P	10	6

Tabla 4.3. Resumen de los logros del tratamiento.

En la actualidad las aguas residuales de cerca de 471 personas equivalen a las generadas por 218 habitantes equivalentes. El caudal total de aguas residuales generado es de 16800 L/día, con una tasa de generación de 76 L/ persona/día.

4.2.5 Información del diseño

- Sistema de Tratamiento Primario

Para la primera etapa del tratamiento se utiliza un tanque de sedimentación. Este dispositivo se ha reconstruido a partir de la antigua fosa séptica de 3,36 m³. La instalación principal está construida con forma de un cono inverso para ayudar a concentrar los sólidos en un punto de la parte inferior del tanque, donde fácilmente puedan ser extraídos a través de una válvula y, mediante una tubería, colocados sobre el lecho de secado de lodos. La entrada del agua residual se realiza en la parte central del tanque, 10 cm por debajo de la superficie del agua, dentro de un cilindro de metal, lo que obliga a que el agua fluya hacia abajo. Esto aumenta la sedimentación de los sólidos. Un deflector en el punto de entrada del agua residual evita el desbordamiento por la espuma del tanque.

La salida para la extracción de lodos se instala 20 cm por debajo de la superficie del agua. Mediante la apertura de una válvula colocada en la tubería de extracción, el lodo es forzado a salir por la presión de agua y desemboca en el lecho de secado de lodo, por lo tanto, no hay necesidad de bomba para realizar este proceso.

El líquido en exceso del tanque de sedimentación entra en la segunda cámara de la antigua fosa séptica, donde se ha instalado una bomba para alimentar los lechos de filtrado F_I y F_II. La bomba puede bombear 60 m³/h. Este valor se deriva de la porosidad de la capa de filtro. Se ha utilizado un diámetro de 100mm para la tubería principal y de 65mm para las tuberías de distribución. En la tubería principal, cerca de la cámara de bombeo, hay dos válvulas que se utilizan para alimentar el lecho de filtrado F_la y, alternativamente, el lecho de filtrado F_lb.

La bomba está controlada por un interruptor de nivel. El volumen de agua que se bombea cada vez es de 5 m³ y el volumen del tanque de sedimentación, limitado por el sobreflujo de emergencia del alcantarillado, es de 35 m³. El tanque ha sido diseñado de manera que pueda albergar el volumen de afluente acumulado de dos días, por si se produjeran fallos en las bombas o cortes de alimentación eléctrica.

Base de cálculo de la Aldea Infantil SOS en Tirana				
Número de personas	Categoría	Duración de la presencia en la Aldea	Factor	Habitantes equivalente
70	Niños en la Aldea	24h	1	70
21	Tutores	24h	1	21
2	Familiares de los técnicos	24h	1	2
110	Niños externos de la guardería	8-15 (17)h	0.33	36.3
10	Tutores de la guardería	8-15 (17)h	0.33	3.3
2	Limpiadores	8-15 (17)h	0.33	0.66
223	Alumnos externos	8-15h	0.33	73.59
23	Profesores	8-15h	0.33	7.59
10	Apoyo en el comedor	8-15h	0.33	3.3
471	Total			217.74

Tabla 4.4. Suposiciones básicas de diseño

- Lechos de filtrado F_la y F_lb (flujo vertical)

El lecho de filtrado I está dividido en dos compartimentos separados, que pueden funcionar de forma independiente. Cada lecho tiene una superficie de 165 m².

En cada humedal se han plantado carrizos en la capa primaria de arena, con una red de tuberías de recolección perforadas colocada en la parte inferior y cubiertas de grava. La profundidad de cada cama es de 0,60 m. Además, se ha dejado unos 0,3m de pared libre. El lecho está impermeabilizado con una geomembrana de polietileno. Las capas de grava en el lecho están protegidas por la geotextil.



Ilustración 4.2. Tuberías de recolección perforadas y colocadas en la parte inferior del humedal.

La distribución de las aguas residuales se lleva a cabo por las tuberías de distribución perforadas con orificios de 10 mm de diámetro y espaciados a un metro de distancia. Las tuberías de distribución de 65 mm de diámetro se fijan con losas de piedra y se colocan con una separación de 2 metros entre ellas. El sistema de recolección situado en la parte inferior del lecho está compuesto por tuberías de PVC perforadas cubiertas de grava y todas descargan en el colector de salida. Los extremos de las tuberías perforadas están en contacto con la atmósfera, en cada celda, para el lavado en caso de obstrucción y para evitar condiciones de vacío en la capa inferior.

- Lecho de filtrado II (flujo horizontal)

El lecho de filtrado II tiene un área de superficie de 220 m² y está también impermeabilizado con una geomembrana y tiene un geotextil de protección como el F_I. En el humedal se han plantado carrizos en la capa primaria de arena. El nivel de la superficie de carrizos es ligeramente inferior a la tubería de salida del F_I, por lo que el efluente del F_I puede fluir hasta el F_II por gravedad.

A un lado del F_II, el que está cerca del F_I, hay una capa de grava de 60cm de ancho que sirve como zona de entrada del flujo. Al otro lado del F_II, hay una capa de grava similar que sirve como área de salida. El agua residual fluye horizontalmente desde la zona de entrada hacia la zona de salida. El lecho de filtrado tiene una ligera pendiente de un 1% en la base mientras que es exactamente horizontal en la superficie. Por lo tanto la profundidad del lecho va desde 0,60 m a 0,83 m, dejando también unos 0,3m de pared libre.

Población total en educación física ocupación total	220	P.E.
Caudal total de aguas residuales generado	16.8	m ³ /d
Caudal de aguas residuales generado por cápita	76.36	L/cáp/día
Diseño hidráulico de carga	80	l/hab.equivalente
Concentración DBO (estimada)	300	mg/L
Carga DBO total	5.04	kg/día
Área F_I	330	m ²
Área F_II	220	m ²
Área por población equivalente	2.5	m ²
Carga hidráulica F_I	50.91	L/m ²
Carga hidráulica F_II	76.36	L/m ²
Carga DBO F_I	15.27	g/m ²

Tabla 4.5. Dimensionamiento considerado en la construcción de los humedales de la Aldea.

- Lecho de secado de lodos

El lecho de secado de lodos tiene una superficie de 72m² y es similar al F_I, pero con capas más finas, tienen sólo 15 cm de espesor. La entrada de los lodos se realiza por una tubería flexible y abierta, que se puede mover manualmente para una distribución uniforme de los lodos. El filtrado se produce en la capa de arena y se recoge mediante unas tuberías de drenaje, similar al F_I. El efluente se canaliza a la cámara de bombeo y es tratado en el F_I junto con el resto de las aguas residuales.

4.2.6 Tipo y nivel de reutilización

En un futuro próximo la Aldea Infantil SOS comenzará a hacer uso de las aguas residuales tratadas para el riego del jardín. Otro punto importante de uso, previsto para el futuro, es que esta agua residual tratada se utilice para las cisternas de los baños de la escuela y la guardería y su lavado. El lodo seco proveniente del lecho de secado se tiene previsto utilizar como abono natural para el jardín.

4.2.7 Otros componentes del proyecto

Al ubicar el humedal construido en la Aldea Infantil SOS el proyecto combina el acceso a servicios de saneamiento sostenible con la enseñanza práctica a los niños. La planta piloto sirve como ayuda práctica e ilustrativa a las escuelas para que los niños comprendan mejor los procesos naturales y biológicos y que se sensibilicen con la protección del medio ambiente y el ecosistema. Especialmente la reutilización de las aguas residuales tratadas en el jardín debería motivar la participación de los estudiantes en el proyecto. Además, los diferentes actores (responsables políticos del sector, directores de obras sanitarias, los miembros del consejo de vigilancia de los servicios públicos de agua) utilizan el área del proyecto para formación, para demostración y como plataforma de promoción para la incorporación del tratamiento de aguas residuales sostenible a las comunidades pequeñas y medianas empresas.

El plan de la GTZ, el MPWT y la Universidad Politécnica de Tirana para integrar tecnologías descentralizadas y de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales en los programas de capacitación, prácticas de estudiantes y talleres con el fin de promover la réplica adecuada de este proyecto en las zonas periurbanas y las áreas rurales de Albania.

4.2.8 Costes

El coste de construcción de la planta de tratamiento fue de alrededor de 60.000 EUR. El mayor presupuesto se destinó al material y los servicios de construcción, unos 50.000 EUR. Las grandes categorías de gastos que

ello se destinaron para el servicio de material y construcción. Para la supervisión y formación se destinaron unos 5.000 EUR, y para temas de documentación 3.000 EUR. El resto del presupuesto se utilizó para los permisos necesarios y otros gastos administrativos.

El humedal construido trata las aguas residuales de 500 habitantes con el bajo coste de operación de alrededor 500 EUR por año, el cual es cubierto en su totalidad por la Aldea Infantil SOS.

La gestión requiere una bomba y sólo una persona a tiempo parcial para la supervisión y operación.

4.2.9 Operaciones y mantenimiento

El técnico de la Aldea Infantil SOS, que fue entrenado para la operación y el mantenimiento de la planta es el encargado de llevar a cabo las operaciones rutinarias del sistema. Esto incluye las inspecciones semanales y la regulación de la salida de los lodos del tanque de sedimentación, el bombeo diario de las aguas residuales en el lecho F_1a y F_1b alternativamente, así como la eliminación de malas hierbas. La recolección de los carrizos así como la reutilización del agua tratada para el riego del jardín es realizada por los niños de la escuela. Para aumentar la información a la comunidad, se llevan a cabo campañas de comunicación y educación para garantizar que se está utilizando el humedal construido correctamente y que las aguas negras generadas son equilibradas en cantidad y calidad (es muy importante evitar productos químicos, aceites y sales).

4.2.10 Experiencia práctica y lecciones aprendidas

Como la planta de tratamiento y reutilización lleva funcionando relativamente poco tiempo (empezó a funcionar en enero de 2010) se han documentado pocas experiencias prácticas. A la ceremonia de inauguración de la planta asistió el Ministro del MPWT de Albania y hubo una gran difusión en los medios de comunicación nacionales, lo cual indica un gran interés en el primer humedal construido en Albania. Se cree que esto ayudará a promover este tipo de tecnología.

4.2.11 Criterios de sostenibilidad del saneamiento

Se ha realizado una evaluación básica para indicar en cuál de los cinco criterios de sostenibilidad¹¹ tiene este proyecto sus puntos fuertes y sus puntos débiles.

Criterio de sostenibilidad	Recolección y transporte			Tratamiento			Transporte y reutilización		
	+	0	-	+	0	-	+	0	-
Salud e higiene	X			X				X	
Medio ambiente y recursos naturales		X		X			X		
Tecnología y mantenimiento		X			X		X		
Financiamiento y economía		X				X	X		
Socio-cultural e institucional	X					X		X	

Tabla 4.6. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible (+: punto fuerte, 0: punto medio, -: punto débil)

¹¹ Para más detalles ver el documento "Towards more sustainable solutions" (www.susana.org) también disponible en Español "Hacia soluciones de saneamiento más sustentables".

En cuanto a los impactos a largo plazo del proyecto, el principal impacto esperado es la contribución a una mejora del saneamiento en las zonas rurales y peri-urbanas mediante la introducción y adaptación de tecnologías descentralizadas de tratamiento de agua de acuerdo con las normas de EU. El sistema de humedales construidos para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales demuestra lo conveniente de esta tecnología en el contexto de Albania.

4.3 Aseo público con planta de biogás y centro de distribución de agua. Naivasha, Ken-ya

Se ha decidido estudiar como un proyecto de aplicación de la tecnología de biogás el Caso de estudio de saneamiento sostenible: “Aseo público con planta de biogás y quiosco de distribución de agua. Naivasha, Kenya” presentado por la asociación Sustainable Sanitation Alliance. (Rieck, et al., 2010)

4.3.1 Objetivo del proyecto

El Proyecto de Saneamiento Ecosan en Naivasha tuvo los siguientes objetivos:

- Mejorar las condiciones de vida de los residentes y de los turistas ofreciendo soluciones de saneamiento seguro y respetuoso con el medio ambiente con un enfoque a la revalorización de los desechos producidos por los seres humanos.
- Encontrar una solución que incentive económicamente a las instituciones del sector del agua para que invirtieran en saneamiento y que genere ingresos para los operadores privados.

El objetivo general de este proyecto es lograr la sostenibilidad mediante la capacitación de las instituciones del sector institucional del agua en profesionalismo, eficiencia y comercialización. Este proyecto está centrado en la realización de un aseo público, el sistema de almacenamiento de agua también se describe brevemente.

4.3.2 Localización y condiciones

Naivasha es una pequeña ciudad situada a orillas del lago Naivasha a unos 80 km al norte de Nairobi. La ciudad cubre un área de 30 km² y tiene una población de aproximadamente 70.000 personas. El sistema de gestión de las excretas en la ciudad se basa principalmente en pozos letrina. Menos del 5% de los hogares y las empresas están conectados a la red de alcantarillado, la cual está conectada a una pobre planta de tratamiento de aguas residuales.

La ciudad cuenta con cinco aseos públicos (en los mercados y en las paradas de autobús) con inodoros y conexiones al alcantarillado. Están gestionados por el Ayuntamiento y se encuentran en mal estado ya que:

- No se realiza ninguna operación de mantenimiento o gestión de estos baños.
- El suministro de agua a los baños es irregular.
- Los baños se obstruyen con frecuencia y se llenan de desechos.
- El entorno y la propia cabina del baño no se mantiene limpia.
- El Ayuntamiento no muestra ningún interés en estas instalaciones ya que no generan ingresos para cubrir los costes de su mantenimiento (son de uso gratuito).

Para hacer frente a los problemas de agua y saneamiento en Naivasha, el proveedor de servicios de agua, que en este caso es La Compañía de Aguas, Alcantarillado y Saneamiento de Naivasha S.L. (Naivasha Water, Sewerage and Sanitation Company Ltd.), se formó hace unos años en el marco del Programa de Reforma del Sector de Agua del Ministerio de Agua e Irrigación. La responsabilidad del agua y del alcantarillado pasó de los Consejos Municipales a los Servicios de Agua Regionales que delegaron la gestión a los proveedores de servicios de agua locales.

Los baños públicos siguen siendo una responsabilidad de los consejos municipales de acuerdo con las regulaciones del gobierno local, pero pueden hacerse cargo los Servicios de Agua Regionales o los proveedores de agua locales.

El Ministerio de Agua e Irrigación se ha comprometido a través del Programa de Reforma del Sector Agua a facilitar la mejora del abastecimiento de agua, el alcantarillado y la prestación de servicios de saneamiento en Kenya. La Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) apoya el Programa de Reforma del Sector Agua en Kenya a través de su Programa de Agua que tiene cinco componentes. Uno de los componentes es el EUSAID / GTZ Ecosan Promotion Project (EPP)¹².

El EPP, que se extendió desde finales de 2006 hasta mediados de 2010, es un proyecto financiado por la ACP-UE Water Facility¹³ (1.734.137 EUR) y cofinanciado por la Agencia Suiza de Desarrollo Internacional (SIDA¹⁴) (815.842 EUR), la GTZ-Programa de Aguas en Kenya (100.000 EUR) y la GTZ- Programa de Agricultura en Kenia (100.000 EUR). Se realizaron proyectos piloto de saneamiento sostenible en hogares de zonas rurales, en lugares públicos y en instituciones públicas.

La estación de autobuses de Naivasha fue seleccionada para un proyecto piloto de saneamiento público combinado con un centro de distribución de agua. El proyecto fue implementado a través de las instituciones establecidas para el Programa de Reforma del Sector del Agua (Servicios de Agua Regionales, Fondo de inversiones de Servicios de Aguas y Proveedores de Servicio de Agua) con el fin de garantizar la sostenibilidad en la prestación de servicios.

La infraestructura fue financiada por el EPP. Los fondos se canalizaron a través de los Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas que es un fondo colectivo para la prestación de servicios en favor de los necesitados para el abastecimiento de agua y saneamiento. Los Servicios de Agua Regionales del Valle del Rift se designó para hacerse cargo de la infraestructura, mientras que la responsabilidad de operar y administrar la instalación se asignó a los Proveedor de Servicio de Agua locales, que en este caso es La Compañía de Aguas, Alcantarillado y Saneamiento de Naivasha S.L.



Ilustración 4.3. Imagen de la estación de autobuses de Naivasha. Con el lavabo público en la imagen, detrás del autobús. (C. Rieck, GTZ, 2008)

¹² Ecosan Promotion Project (EPP): Promoción del Proyecto Ecosan

¹³ ACP-UE Water Facility: Se lleva a cabo en el Caribe, el Pacífico y la Unión Europea. Este proyecto fue financiado este proyecto fue financiado por el primer Fondo para el Agua en la categoría de "mejorar la gestión del agua y la gobernabilidad" y "la cofinanciación del agua y la infraestructura de saneamiento" en septiembre de 2006 (European Commission, 2010)

¹⁴ SIDA: Swedish International Development Agency

El Proveedor de Servicio de Agua local fue seleccionado, contratado (por un año) y capacitó a un operador quien ejecuta la instalación en el día a día. El operador es una Organización de la Comunidad llamada Grupo Ganaderos de Autoayuda. Por lo general trabajan dos personas, una limpia la instalación y otra se encarga de los baños públicos y del centro de distribución de agua.

La Estación de Autobuses de Naivasha está situada en el centro de la ciudad. Funciona las 24 horas al día. El antiguo baño público existente fue mal mantenido por el Ayuntamiento. Aproximadamente 200 personas utilizaban el antiguo baño público al día (gratis). Los usuarios eran los viajeros de los autobuses y la gente de las tiendas de alrededor de la estación. La estación de autobuses se encuentra rodeada por zonas residenciales que cuentan principalmente con aseos individuales o en algunos casos compartidos. El suministro de agua es insuficiente tanto en cantidad como en calidad (debido, en parte, a la escasez de energía).

En Kenia, la tasa de mortalidad de niños menores de 5 años¹⁵ es actualmente de era de 128 niños por cada 1000 nacidos vivos, y por desgracia se ha producido una ligera pero constante tendencia al aumento de la mortalidad infantil (en 1985 el valor fue de 98 muertes infantiles por cada mil nacidos vivos).

4.3.3 Historia del proyecto

Antes de 2007, el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas financiaba sólo proyectos de abastecimiento de agua y saneamiento rural en Kenia. A partir de 2007 en adelante, amplió sus actividades de financiación para incluir también el saneamiento en zonas urbanas. El proyecto piloto en la estación de autobuses de Naivasha fue el primer proyecto de saneamiento público dirigido a desarrollar procedimientos adecuados para la financiación y ejecución de dichas instalaciones. La Unión Europea, SIDA y GTZ proporcionaron los fondos para la implementación (hardware y software) que se canalizaron a través de las estructuras del Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas. El Proyecto de Promoción de Ecosan (EPP) actuó como una organización de apoyo en la preparación de proyectos, la supervisión de la ejecución y las actividades de formación.

Los procedimientos de aplicación fueron adoptados de los proyectos de abastecimiento de agua que el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas ya estaba financiando. La instalación de saneamiento se planificó con el Servicio de Aguas Regional, el Proveedor de Servicios de Agua y el Ayuntamiento a principios de 2007. El diseño técnico fue realizado por el EPP. El EPP, el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas, los Servicios de Aguas Regionales, el Ayuntamiento de Naivasha y el Proveedor de Servicios de Agua formaron un grupo de trabajo y desarrollaron conjuntamente el concepto de saneamiento. Después se presentó una propuesta de proyecto de saneamiento al Fondo de Inversiones de Servicios del Agua para su aprobación.

La instalación de saneamiento público y el kiosco de agua se construyeron al lado de la estación de autobuses (se ubicó al lado del antiguo inodoro que fue demolido posteriormente). El terreno fue cedido por el Ayuntamiento a los Servicios de Agua Regionales.

Tras la aprobación del proyecto por el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas, los fondos fueron desembolsados al Proveedor de Servicios de Agua en concepto de la ejecución de la obra. Primero, el Proveedor de Servicios de Agua solicitó a las empresas cualificadas a licitar para la construcción de las obras. El Proveedor de Servicios de Agua adjudicó la licitación, y supervisó la construcción de las obras con la ayuda del grupo formado por el EPP, el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas y los Servicios de Aguas Regionales a partir de octubre de 2007. La finalización de las obras fue certificada por el EPP, el Fondo de Inversiones de

¹⁵ La tasa de mortalidad de niños menores de cinco años es la probabilidad (expresada como tasa por cada 1000 nacimientos vivos) de que un niño nacido en un año específico muera antes de los cinco años sujeto a la tasa de edad de mortalidad de ese año. (www.childmortality.org)

Servicios de Aguas y los Servicios de Aguas Regionales y luego entregado a los Servicios de Aguas del Valle del Rift como titular de los activos a finales de 2008.

El Proveedor de Servicios de Agua seleccionó un operador privado, que fue cualificado por el propio Proveedor de Servicios de Agua y por el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas sobre el concepto de funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones. Por otra parte se inició un sistema de gestión para garantizar que la instalación generará los ingresos suficientes para financiar sus costes de operación y mantenimiento.

El período de construcción fue de finales de 2007 hasta finales de 2008. La construcción se ha retrasó varias veces debido a la mala calidad de la construcción y la mala supervisión de la construcción por parte del Proveedor de Servicios de Agua. Además, los problemas post-electorales ocurridos en Kenia a principios de 2008 causaron retrasos de varios meses.

La nueva instalación de saneamiento en la Estación de Autobuses de Naivasha se puso en funcionamiento después de entregar su administración a los Servicios de Agua Regionales en julio de 2008.

4.3.4 Tecnología aplicada

Una de las razones principales de la elección de la tecnología de biogás para este proyecto fue para demostrar que la producción de biogás a partir de los desechos humanos es posible en un contexto como el de Kenia. La tecnología no fue seleccionada por ser la alternativa más barata, sino para mostrar que el saneamiento puede ser "productivo". Podrían haberse utilizado tratamientos adicionales como filtros y reactores anaeróbicos, pero el espacio disponible era limitado en lugar donde estaba disponible la conexión al alcantarillado.

Otra tecnología alternativa para este lugar podría haber sido la construcción de sanitarios secos con separación de orina (UDDTs). Sin embargo, la situación en Naivasha con el suministro de agua corriente, el hábito de la población a usar sanitarios con cisterna de agua y la existencia de una conexión al alcantarillado ofrece muy pocos incentivos para la implantación de los sanitarios secos. Un saneamiento a base de agua tendría mejor aceptación social.

La nueva instalación consta de una unidad de saneamiento (inodoros, lavabos para lavarse las manos, un urinario y duchas) y un centro de distribución de agua. La instalación está conectada a la red de abastecimiento de agua de la ciudad y cuenta con tres tanques elevados de almacenamiento de agua para hacer frente la posibilidad de pequeñas interrupciones del suministro. Las aguas residuales de los baños, duchas y lavabos se vierten en una planta de biogás subterránea que trata las aguas residuales de forma anaeróbica in-situ. El efluente tratado se descarga al alcantarillado (en zonas rurales puede ser utilizado para regadío)



Ilustración 4.4. Usuarios del centro de distribución de Agua. Se puede observar el tanque de almacenamiento de agua de 5m³.

Hay un total de cinco cabinas de sanitarios (dos para los hombres y tres para las mujeres), dos duchas y un urinario de pared. El agua que se proporciona a través de dos tanques de almacenamiento de agua (de 5 m³ cada uno) situados en la azotea de los sanitarios. El centro de distribución de agua está separado del tanque de almacenamiento mediante el techo.

Cuando estaciona un autobús en el parque de autobuses, una media de entre 5 a 20 personas utilizan los aseos a la vez. Los hombres sobre todo usan de los urinarios, mientras que las mujeres tienen que esperar un poco más para usar los baños.

El centro de distribución de agua se encuentra en frente de las cabinas de sanitarios. En él se vende agua y otras materias primas. También sirve como sala para el encargado de los sanitarios. El encargado de los sanitarios cobra a los usuarios por el papel higiénico y limpia la instalación.

Sanitarios con cisterna y urinarios

Los baños están equipados con letrinas de cerámica disponibles localmente (sin desviación de orina). Inicialmente las cisternas de estos baños vaciaban 10 L de agua en cada descarga. Debido a la escasez de agua y a las repetidas averías en las cisternas, frecuentemente se utilizaba un sistema más rudimentario para “tirar de la cadena”. Se vaciaba un pequeño cubo de agua, de unos 2-4 L, dentro de la taza del baño.

El urinario está formado por una pared de azulejos y lavados a través de dispositivos conectados a una cisterna de 10L. Sin embargo, los urinarios se lavan poco debido a la escasez de agua, por lo tanto, frecuentemente se producen olores desagradables. El encargado de los baños limpia los urinarios de manera irregular.



Ilustración 4.5. Izquierda: Urinario de pared. Derecha: Letrina de cerámica con cisterna.

Duchas

Las duchas se instalaron en dos departamentos provistos de agua fría. Normalmente no se ofrece agua caliente en los baños públicos de Kenia. En ocasiones, si se ofrece agua caliente, los usuarios no están dispuestos a pagar por más ella.

Planta de Biogás

Todas las aguas residuales generadas por los inodoros, urinarios, duchas y lavado de manos se vierten en una planta bóveda subterránea de biogás con un volumen de 54 m³. En esta planta las aguas residuales diluidas son tratadas mediante la sedimentación y la digestión anaeróbica, disminuyendo así el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. El biogás se produce durante este proceso.

La planta de biogás tiene dos salidas: las aguas residuales tratadas (flujo continuo) y los lodos (vaciados una vez al año). La sedimentación de sólidos se produce en la cámara principal.

El efluente tratado de la planta de biogás se vierte en la línea de alcantarillado público existente a lo largo del camino cercano. La reducción de la carga orgánica a través del proceso de tratamiento anaeróbico contribuye a la protección del lago Naivasha. Si se construyen más plantas de biogás el efecto sería más notable.

El lodo acumulado se elimina una vez al año y puede ser utilizado como fertilizante.

Tuberías del Biogás

El biogás se canaliza (en tuberías de 1,5 cm de diámetro) a una cafetería situada a 5 metros donde se utiliza para cocinar. Una cámara de recolección de agua se ha instalado junto a la planta de biogás para recoger el agua condensada en la tubería. Hay una válvula principal en el punto de salida de gas al exterior junto a la cúpula y una válvula secundaria dentro de la cafetería antes de la toma del gas. Adjuntado a la tubería de la cocina hay un manómetro simple que consiste en un tubo transparente lleno de agua para indicar la presión en el sistema. Esta presión muestra la cantidad real de biogás disponible para uso.

Electrodomésticos de Biogás

Una cocina de biogás se monta sobre un soporte. La cocina se coloca dentro de la zona de la cocina de la cafetería para cocinar los alimentos y hacer té. Una cocina normal de gas licuado a presión (GLP) puede convertirse en una apta para biogás sólo cambiando la relación gas-aire.

Centro de distribución de agua

El centro de distribución de agua utiliza un tanque de 5m³ para cubrir la escasez de agua. Persianas y puertas de acero protegen el centro del robo y del vandalismo cuando está cerrado. Por lo tanto el encargado de los baños y del centro puede almacenar con seguridad artículos y documentos. El medidor de agua para el consumo se coloca fuera del centro junto con el contador de agua para el inodoro. Los operadores verifican el contador una vez al día para su propia documentación. El Proveedor de Servicio de Agua lee el contador una vez al mes.

4.3.5 Información de diseño

La planta de biogás tiene un volumen de 54 m³ con dos cámaras de expansión. La estructura subterránea se encuentra a unos 0,5 m bajo la superficie. El área requerida para el espacio de los sanitarios y la planta de biogás es de aproximadamente 10 x 15 metros. No se recomienda la construcción de ningún edificio en la parte superior de la planta de biogás.

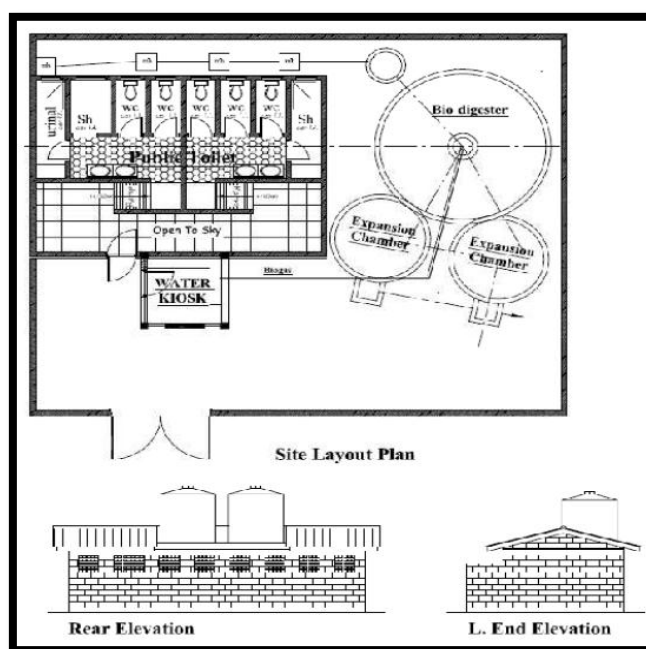


Figura 4.7. Dibujo técnico de la planta de biogás

Los parámetros de diseño para la planta de biogás suponen 1.000 visitantes por día. Las dimensiones de la planta se basan en un asentamiento de los sólidos que se consigue con un tiempo de retención hidráulico (TRH), de 5 días (se supone un flujo de 11L/persona. Los sólidos se asientan y se mantienen en el sistema para la digestión y la producción de biogás. El efluente libre de sólidos fluye hacia la conexión de alcantarillado.

Este proyecto no se centró en la desinfección y el tratamiento de los efluentes para su reutilización agrícola, ya que el espacio disponible para el tratamiento adicional no estaba disponible y no había demanda de agua para riego en la zona.

El diseño de la cúpula fija se basó en el sistema de aplicación de estiércol en Kenia por el programa GTZ-PSDA (Promoción del Desarrollo del Sector Privado en la agricultura).

Este tipo de instalación de biogás de cúpula fija fue seleccionada debido a su resistente tecnología que funciona sin partes móviles. Es capaz de operar con fluctuaciones de flujo causada por la falta o el uso excesivo de agua. La producción de biogás es continua y la tecnología de cúpula fija también ofrece el almacenamiento de biogás. La reducción de la contaminación en términos de disminución de la DBO se espera que sea del 30-40%. Los resultados de medición no están aún disponibles.

4.3.6 Tipo de reutilización

La reutilización de los residuos generados por los humanos comprende el uso del biogás, el lodo sedimentado y el agua tratada:

- El biogás se genera a partir del proceso de digestión anaeróbica realizada por microorganismos. Puede sustituir la leña, el carbón y gas licuado de petróleo (GLP). El biogás a partir de la instalación de la planta en Naivasha se utiliza para cocinar en un café cercano a la estación de autobuses. El dueño del café prepara té y bocadillos durante todo el día a alrededor de 50 clientes. Cuando hay exceso de gas se ventila (la quema sería preferible, pero es difícil de lograrla a pequeña escala). Las ventajas del biogás como combustible para cocinar es que no produce humo y se cocina más rápido en comparación con el carbón. Teóricamente se podría instalar un generador para producir electricidad, pero la cantidad de biogás producida en este caso no es fiable para la producción de electricidad.
- El lodo sedimentado se utilizará como acondicionador del suelo en el futuro. El proveedor de servicios de agua puede utilizar su planta de tratamiento para secar el lodo y el compostarlo para producir abono.
- El agua tratada (de la salida de la planta de biogás) se podría utilizar como una fuente de agua de riego y fertilizantes, sin embargo, no es posible aquí debido a que se tendría que transportar en larga distancia hasta las zonas agrícolas.

4.3.7 Otros componentes del proyecto

Las lecciones aprendidas de este proyecto ahora forman parte de los procedimientos de ejecución para proyectos urbanos que está ultimando el Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas, llamado Ciclo de Proyectos Urbanos.

La combinación de los baños públicos con un centro de distribución de agua era una prestación de servicios adicionales que se estaba probando en Naivasha. El centro de distribución de agua de agua no es importante para los viajeros, pero interesante para los comerciantes de los alrededores y los residentes. Hasta ahora no hay comentarios positivos de los clientes y el operador de la instalación.

4.3.8 Costes

Los costes de la inversión para toda la instalación fueron de aproximadamente 40.000 EUR. No está disponible en estos momentos un desglose de gastos del Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas. Los gastos incluyen los costes de material y mano de obra para las casetas de los sanitarios, el centro de distribución de agua, la planta de biogás y los costes administrativos de supervisión del Proveedor de Servicio de Agua. El Proveedor de Servicio de Agua fue responsable de la construcción, supervisión, capacitación y movilización. El financiamiento provino del Fondo de Inversiones de Servicios de Aguas, un fondo colectivo con el apoyo de Gobierno de Kenia, los donantes y los socios en desarrollo.¹⁶

Los costes de inversión anual son aproximadamente 0,05 EUR por visita sobre la base de 9.000 visitas al mes, una vida útil de 10 años. El promedio de operación y mantenimiento se muestran en la Tabla 4.7.

¹⁶ En este caso fueron: El Ministerio Alemán de Economía de Cooperación y Desarrollo, la Agencia Suiza del Desarrollo Internacional, Ministerio de Asuntos Exteriores Danés, UNICEF y el Banco Mundial.

La sostenibilidad financiera de la instalación depende por una parte del número de usuarios y de la tarifa por el agua y las duchas y por otra parte de la operación y el mantenimiento. En la actualidad un promedio de 300 personas utiliza el baño y cerca de 200 clientes compran 200 bidones (cada uno de 20-22 litros) de agua en el centro de distribución.

Promedio de costes de operación por año	EUR/año
Salario del operador del centro/sanitarios (220 EUR/mes)	2640
Salario del asistente en los sanitarios (110 EUR/mes)	1320
Agua para el sanitario (tarifa 0.80 EUR por 1000 L); pagado por el Proveedor de Servicios de Agua	613
Agua para el centro (tarifa especial 0.30 EUR por 1000 L); pagado por el Proveedor de Servicios de Agua	438
Gas, pagado por el Proveedor de Servicios de Agua	12
Costes de alcantarillado para el efluente del sanitario/digestor; pagado por el Proveedor de Servicios de Agua	460
Alquiler de las instalaciones (50 EUR/mes); pagado por el Proveedor de Servicios de Agua	600
Electricidad	124
Utensilios de aseo	450
Pintado de la instalación (cada medio año)	200
Plantas, uniformes empleados, etc.	N/A
Cupones, tiques, etc.	10
Enseres fijos eléctricos (reemplazar)	100
Espejos y otros equipamientos	25
Eliminación de residuos de las papeleras	20
Coste total de las operaciones	7012

Tabla 4.7. Promedio de costes de operación por año para el operador (basado en 300 usuarios de los retretes y 200 usuarios del centro de distribución de agua por día)

El horario de apertura actual sólo durante el día de 6:30 a.m. a 7:00 p.m.

El uso del biogás se cobrará más adelante por el Proveedor de Servicios de Agua. Se tiene previsto cobrar de 10 a 15 EUR al mes para satisfacer los costes de operación y mantenimiento de la planta de biogás y además obtener un margen de beneficio. Esto es un coste menor en comparación con los costes que suponía a la cafetería pagar el tradicional carbón.

Los Servicios de Aguas del Valle del Rift tienen como objetivo la recuperación de costes de la operación y del mantenimiento. Aproximadamente son necesarios 1.930 EUR al año para cubrir los costes de operación y mantenimiento del Proveedor de Servicios de Agua. Los ingresos del Proveedor de Servicios de Agua es de aproximadamente 2.123 EUR y por lo tanto se lleva a un beneficio de 193 EUR. Las cifras de costos se basan en 300 visitantes por día, pero la capacidad de la planta de biogás es de 1.000 visitantes por día. Si el número de visitantes suben, los beneficios también aumentarán.

4.3.9 Operaciones de mantenimiento

Como se mencionó anteriormente, el Proveedor de Servicio del Agua adjudicó la licitación a un operador privado para ejecutar la instalación como un negocio en el día a día. La autoridad local no está involucrada en la gestión de la instalación.

El operador y el personal de Proveedor de Servicios de Agua fueron entrenados por el Fondo de Inversiones de Servicios del Agua antes del comienzo de la operación. El Fondo de Inversiones de Servicios del Agua ha desarrollado un programa para la gestión de instalaciones que se aplica por el Proveedor de Servicios de Agua.

Los clientes pagan un pago por servicio consumido. El operador tiene que estar presente durante las horas de apertura, lleva a cabo obras de reparaciones menores y establece la seguridad de los usuarios por el día y por la noche en la instalación. El operador paga la factura del agua y del alquiler al Proveedor de Servicios de Agua y también paga otros gastos de funcionamiento.

Esto está estipulado en un contrato prorrogable a un año, incluyendo las sanciones por mal desempeño. Actualmente, dos personas trabajan en la instalación (uno para tratar con los clientes y el otro para la limpieza).

4.3.10 Experiencia práctica y lecciones aprendidas

Después de un año de operación, los aseos y el centro de distribución de agua cumplen con un saneamiento adecuado, seguro y asequible. El nuevo centro de distribución de agua y el baño público actualmente tiene aproximadamente 9.000 visitantes (para el aseo, la ducha y / o el centro de distribución de agua) al mes, siendo 7.500 de estas visitas viajeros y 1.500 de usuarios regulares. Este control se lleva a cabo a través de la contabilidad de los operadores.

A diario un promedio de 300 usuarios visitan el baño público, de los cuales 250 son viajeros y 50 son usuarios regulares que provienen de los negocios que se generan alrededor de la Estación de Autobuses. El nuevo baño público ha mejorado notablemente las condiciones de higiene de la estación de autobuses. También proporciona un ingreso para el sector privado (operador) y el Proveedor de Servicios de Agua.

Los factores de éxito de este proyecto fueron:

- El pago por el uso es apropiado para suministrar servicios de calidad al usuario a través de un operador.
- Los operadores recibieron capacitación sobre las responsabilidades de su trabajo antes de ser contratados.
- La instalación fue diseñada para generar ingresos suficientes para hacerla atractiva a los Servicios de Agua Regionales y al Proveedor de Servicios de Agua.
- El mejor uso del biogás se lleva a cabo en los pequeños restaurantes y cafeterías donde se preparan alimentos y bebidas calientes. El uso del biogás para calentar el agua de las duchas estaba previsto inicialmente, pero hubo poca demanda de duchas de agua caliente por parte de los clientes y se descartó, el uso de biogás para la iluminación se considera demasiado complicado en este proyecto.
- La gestión y la propiedad de los baños públicos estaban vinculados a las instituciones del sector del agua y la privatización de Proveedores de Servicio de Agua con el fin de mejorar la sostenibilidad de la prestación de servicios. La experiencia ha demostrado que los consejos municipales de la ciudad y en Kenia en general tienen dificultades en la adecuada gestión de dichas instalaciones.

Desafíos para el proyecto fueron:

- El desarrollo de un plan de negocios y el concepto de gestión de un proyecto destinado por el Proveedor de Servicios de Agua / Servicios de Agua Regionales no se hizo en detalle. Debe ser hecho en el proyecto fase de preparación. De esta manera se prepara el Proveedor de Servicios de Agua / Servicios de Agua Regionales para cumplir con sus mandatos y ayuda a garantizar la prestación de servicios sostenibles.
- La coordinación de la supervisión de las obras de construcción era débil. Las funciones y la responsabilidad debe ser mejor enunciados desde el principio a través de la formación de un proyecto de equipo de trabajo. Un procedimiento de aplicación estándar es necesario.

- Los Servicios de Agua Regionales y el Proveedor de Servicios de Agua deben trabajar en estrecha colaboración durante la preparación y ejecución de proyectos para mejorar la propiedad (a través de un equipo de trabajo del proyecto)
- El Proveedor de Servicios de Agua carecían de capacidad en la ejecución del proyecto y en operación y mantenimiento. Había una escasez de personal cualificado.
- El diseño arquitectónico del edificio sanitario debe ser mejorado en términos de uso del espacio, la eficiencia, la seguridad contra el vandalismo (día / noche) y la comodidad del usuario. El Fondo de Inversión de Servicios de Agua ya ha desarrollado un diseño mejorado de arquitectura que se llevará a cabo en Kenia desde 2010 en adelante
- El consumo de agua de los baños de agua a ras convencionales es muy alto (aproximadamente 7.10 litros) y las cisternas con regularidad se rompió debido al mal uso y / o vandalismo. La experiencia a menudo en los baños públicos en Kenia es que las cisternas de los inodoros no pueden llenar con la suficiente rapidez (debido a la presión baja), por lo que los usuarios paso a verter sistema de descarga. Esto tiene un impacto positivo en términos de conservación del agua, pero tiene un mayor riesgo de transmisión de enfermedades si las instalaciones de lavado de manos no están funcionando y no utilizados por los usuarios.
- Existe competencia entre los sanitarios consejo gratis (pero no higiénicas) público a poca distancia del parque de autobuses, o la micción al aire libre, con el pago por uso de baño público. Tal vez la cuota de utilización se debe reducir para atraer a más clientes.

4.3.11 Asentamientos sostenibles e impacto a largo plazo

Se ha realizado una evaluación básica para indicar en cuál de los cinco criterios de sostenibilidad¹⁷ tiene este proyecto sus puntos fuertes y sus puntos débiles.

Criterio de sostenibilidad	Recolección y transporte			Tratamiento			Transporte y reutilización		
	+	0	-	+	0	-	+	0	-
Salud e higiene	X				X			X	
Medio ambiente y recursos naturales		X			X			X	
Tecnología y mantenimiento	X				X			X	
Financiamiento y economía		X			X		X		
Socio-cultural e institucional	X			X			X		

Tabla 4.8. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible (+: punto fuerte, 0: punto medio, -: punto débil)

En cuanto a los impactos a largo plazo del proyecto, los principales impactos esperados del proyecto son:

- Demostrar la comercialización de los servicios de saneamiento en el sector del agua institucionales.
- Mayor comodidad para los viajeros y otros clientes.
- Demostrar que el biogás puede producirse a partir de los excrementos humanos y se utiliza para cocinar.

¹⁷ Para más detalles ver el documento "Towards more sustainable solutions" (www.susana.org) también disponible en Español "Hacia soluciones de saneamiento más sustentables".

- Reducción de la carga orgánica de las aguas residuales tratadas en esta instalación de saneamiento público dado de alta a la red de alcantarillado (en comparación con la opción de no-tratamiento) y por lo tanto posiblemente una mejora marginal en la final del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (control de calidad del efluente se lleva a cabo, pero los datos todavía no está disponible).
- Una pequeña contribución a mejorar la salud pública (hasta el momento no hay planes para controlar el impacto).

Este fue el proyecto de saneamiento de la primera WSTF. Sirvió como un centro de aprendizaje para las distintas partes interesadas y la mejora de diseño de la instalación y puesta en práctica.

4.4 Co-compostaje de lodos fecales y residuos sólidos orgánicos. Kumasi, Ghana

Se ha decidido estudiar como un proyecto de almacenamiento prolongado y compostaje el Caso de estudios de saneamiento sostenible: “Co-compostaje de lodos fecales y residuos sólidos orgánicos. Kumasi, Ghana” presentado por la asociación Sustainable Sanitation Alliance. (Cofie, et al., 2009)

4.4.1 Objetivo del proyecto

Los objetivos del proyecto fueron:

- Obtener los conocimientos científicos sobre los aspectos técnicos y operativos del co-compostaje (co-compostaje se refiere a tener dos materias primas: los residuos orgánicos sólidos y lodos fecales).
- Evaluar los aspectos socio-económicos del co-compostaje, así como el impacto de la utilización de compost en los cultivos y el suelo.
- Aumentar la concienciación y los conocimientos técnicos sobre el compostaje como una opción de reciclado de residuos.
- Formar a las personas para utilizar correctamente las plantas de compostaje.

El objetivo principal del proyecto es la producción de un compost rico en nutrientes a partir de desechos orgánicos sólidos y lodos fecales y utilizarlo en la agricultura para una producción sostenible de alimentos.

La planta de compostaje se diseñó como una instalación a pleno funcionamiento a pequeña escala, sin embargo opera a escala piloto con el objetivo de servir como sitio experimental, sin tener un alto volumen de residuos ni producir grandes cantidades de compost. El objetivo final de este proceso es contribuir a mejorar la situación de la gestión de los lodos fecales en Kumasi.

4.4.2 Localización y condiciones

Kumasi es la segunda ciudad más grande de Ghana, África Occidental. La ciudad tiene 1.000.000 habitantes (la tasa de crecimiento es del 3% por año).

La ciudad es un centro industrial de industrias madereras, alimentarias y jaboneras.

Alrededor del 38% de los residentes de Kumasi utiliza los baños públicos. Hay cerca de 400 instalaciones sanitarias públicas en la ciudad, equipadas con inodoros con un tanque de retención, letrinas dobles (usadas alternativamente) o letrinas convencionales. Otro 26% de la población usa fosas sépticas o pozos de infiltración domésticos. Sólo el 8% de la población está conectada a una red de alcantarillado y el 28% restante no tiene servicios sanitarios.

Los residentes de Kumasi producen diariamente 860 toneladas de residuos sólidos y 500 m³ de lodos fecales (aguas negras) recogidos en los sistemas de saneamiento in situ (fosas sépticas, letrinas de pozo sin alcantarillado y baños públicos). Aproximadamente el 70% de los residuos sólidos producidos son biodegradables, por lo tanto pueden ser compostados junto con los lodos fecales y utilizados como fertilizantes y acondicionadores del suelo.

De los 500 m³ de lodos fecales producidos al día la planta piloto de este proyecto sólo trata 1,5 m³. Kumasi dispone de una planta de tratamiento de lodos fecales a gran escala que trata el resto. La planta piloto de este proyecto se estableció sólo para investigar el aspecto del co-compostaje.

La situación global actual del tratamiento de lodos fecales en Kumasi es que la planta de tratamiento a gran escala ha dejado de funcionar debido a que no se ha realizado el mantenimiento adecuado y los tanques de sedimentación están llenos. Además, la comunidad cercana a la planta no estaba satisfecha con la calidad del efluente vertido en el río vecino.

El clima es sub-ecuatorial con dos temporadas de lluvias, la mayor desde finales de febrero a principios de julio y la menor desde mediados de septiembre hasta principios de noviembre.

Existen diferentes lugares para la producción de cultivos. Aproximadamente hay 70 ha dedicadas al cultivo en el espacio abierto urbano, mientras que más de 12.000 ha están dedicadas a la agricultura peri-urbana. Utilizar un huerto en el patio trasero de las casas también es una práctica común dentro de la ciudad.

La Tasa de Mortalidad de Niños Menores de Cinco Años¹⁸ en Ghana es actualmente 115 niños por cada 1.000, lo cual indica una tasa alta que desde 1999 va en aumento.

4.4.3 Historia del proyecto

Los instigadores de este proyecto fueron el Instituto Internacional de la Gestión del Agua (IWMI) y el Departamento de Agua y Sanidad en los Países en Vías de Desarrollo (SANDEC) del Instituto Federal Suizo para las Ciencias del Agua y la Tecnología.

La planta piloto de co-compostaje está situada dentro de la planta de tratamiento de lodos fecales de Buobai que se construyó para el tratamiento de parte de los lodos fecales generados en la ciudad. Esta planta de tratamiento cuenta con dos lagunas anaeróbicas, dos lagunas facultativas y una laguna de maduración.

La construcción de la planta piloto se inició en octubre de 2001 y comenzó a operar en febrero de 2002. La planta ha estado en funcionamiento desde entonces. En estos años se obtuvo un considerable conocimiento y grandes cantidades de compost para los ensayos de campo.

En la actualidad la planta no está operativa debido a que los fondos de investigación para este proyecto están agotados y el Departamento de Gestión de Residuos de Kumasi no ha querido seguir utilizando la planta piloto. Por lo tanto, no se lleva a cabo ningún compostaje desde enero de 2009.

El Instituto Internacional de la Gestión del Agua continúa con las investigaciones científicas y está preparando una norma sobre el co-compostaje, después de lo aprendido en la planta piloto, que pondrá a disposición de la asamblea municipal del Departamento de Gestión de Residuos de Kumasi. El hecho que se construya una planta de co-compostaje a gran escala depende del Departamento de Gestión de Residuos de Kumasi. En la actualidad, el Departamento de Gestión de Residuos de Kumasi no considera una prioridad la construcción de una planta a gran escala.

4.4.4 Tecnología aplicada

La tecnología base que se ha elegido para este proyecto consta de dos etapas:

1. El secado de lodos fecales en lechos de secado sin plantas.
2. Lechos de co-compostaje de lodos fecales secos y residuos orgánicos sólidos.

¹⁸ La Tasa de Mortalidad de Niños Menores de Cinco Años es la probabilidad (expresada como tasa por cada 1000 nacimientos vivos) de que un niño nacido en un año específico muera antes de los cinco años sujeto a la tasa de edad de mortalidad de ese año. (www.childmortality.org)

El co-compostaje de los lodos fecales y los residuos orgánicos sólidos es ventajoso porque los dos materiales se complementan bien el uno con el otro. Los lodos fecales tienen un alto contenido en nitrógeno, mientras que los residuos orgánicos sólidos tienen altas cantidades de carbono orgánico.

Los lodos fecales se obtienen en los baños públicos sin red de alcantarillado y en los tanques sépticos de los hogares. De los tanques sépticos se transportan con camiones de vacío de la ciudad de Kumasi hasta el lugar del proyecto para proceder al secado de lodos. Debido a que la humedad es muy alta, los lodos fecales frescos no son adecuados para el compostaje aeróbico directo. Por lo tanto es necesaria una separación sólido-líquido inicial para producir lodos con el contenido de agua adecuado para el co-compostaje. Para la separación sólido-líquido, se construyeron unos lechos de secado de lodos que incluyen un filtro de grava arenosa. El proceso de secado se ve reforzado por la evaporación del agua y la filtración por gravedad.

Los lodos fecales secos se retiran de los lechos de secado aproximadamente transcurridos diez días y se almacenan antes del compostaje.

El lixiviado de los lechos de secado se recoge en un tanque de almacenamiento y se vierte en la laguna facultativa de la planta de tratamiento de lodos fecales de Buobai. Este es el tratamiento final antes de su vertido en un arroyo cercano.

Los residuos sólidos municipales de los mercados o zonas residenciales se recogen y se transportan en camiones a la planta de compostaje. Estos residuos son clasificados manualmente. Los residuos sólidos orgánicos y los lodos fecales secos se mezclan en una proporción de 3:1 y se compostan utilizando un sistema de pilas dinámicas donde la materia prima se airea por torneado manual. Durante el ciclo de compostaje se llevan a cabo las siguientes actividades: torneado, riego, medición de la temperatura, pesaje, muestreo y análisis de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en el laboratorio. El compost maduro es tamizado, envasado en sacos (de 50 kg cada uno) y se almacenan antes de su reutilización.

Esta tecnología ha sido elegida porque es fácil de construir y operar, tiene bajos costes, puede ser implementada de forma descentralizada, no necesita ninguna fuente de energía y es apropiada para las regiones tropicales, tales como Ghana. La eficacia de los lechos de secado depende de las condiciones climáticas, del tipo de material del filtro y de la materia prima.

A través del proceso de compostaje se logran altas temperaturas (superiores a 50 ° C). Estas son eficaces para eliminar patógenos contenidos en las excretas. Así, los desechos se convierten en un acondicionador de suelo y fertilizante higiénicamente seguro.

4.4.5 Información de diseño

Dos lechos de secado sin plantar se construyeron con una superficie de 25 m² cada uno (para contener 15 m³ excrementos con una profundidad de 30 cm). Se componen de diferentes capas de un material filtro de grava arenosa de diferentes espesores y tamaños de partículas.

Los criterios de diseño y las hipótesis utilizadas para la planta piloto en Kumasi se muestran a continuación.

Secado de lodos fecales
Volumen de lodos fecales tratados : $15 \text{ m}^3/\text{ciclo}=45 \text{ m}^3/\text{mes}=1,5 \text{ m}^3/\text{día}$
3 ciclos de secado al mes
3 camiones de lodos fecales/ciclo (1 camión= 5 m^3)
Proporción de lodos de baños públicos y de fosas sépticas 1:2
Superficie de lechos de secado de lodos fecales 50 m^2
Carga hidráulica en los lechos de secado: 30 cm/ciclo
90% de reducción de volumen después del secado
Lodos secos producidos : $1,5 \text{ m}^3/\text{ciclo}=4,5 \text{ m}^3/\text{mes}$
Co-compostaje
Porcentaje de residuos sólidos orgánicos en relación a lodos fecales secos 3:1
1 mes de compostaje de altas temperaturas + 1-2 meses de maduración
Volumen de residuos sólidos orgánicos requerido= $3 \times 4,5=13,5 \text{ m}^3/\text{mes}$
Compost crudo producido : $4,5 + 13,5 =18 \text{ m}^3/\text{mes}$
50% de reducción de volumen después del compostaje
Compost maduro producido: $9 \text{ m}^3/\text{mes} = 4-5 \text{ t/mes}$ (densidad = $0,5 \text{ t/m}^3$)

Tabla 4.9. Criterios de diseño e hipótesis utilizadas.

El área de compostaje es una plataforma de techo y sellado de compostaje de 10 x 12 m. La plataforma de compostaje tiene una ligera pendiente de 1% hacia el centro donde se encuentra un canal de drenaje estrecho. Esto sirve como un sistema de drenaje en el caso de la generación de lixiviados. El área de la maduración es una plataforma de techo y sellado de 7 x 6 m. Estas medidas pueden ser aplicadas para condiciones climáticas similares y las características de lodos fecales similares en otros países.

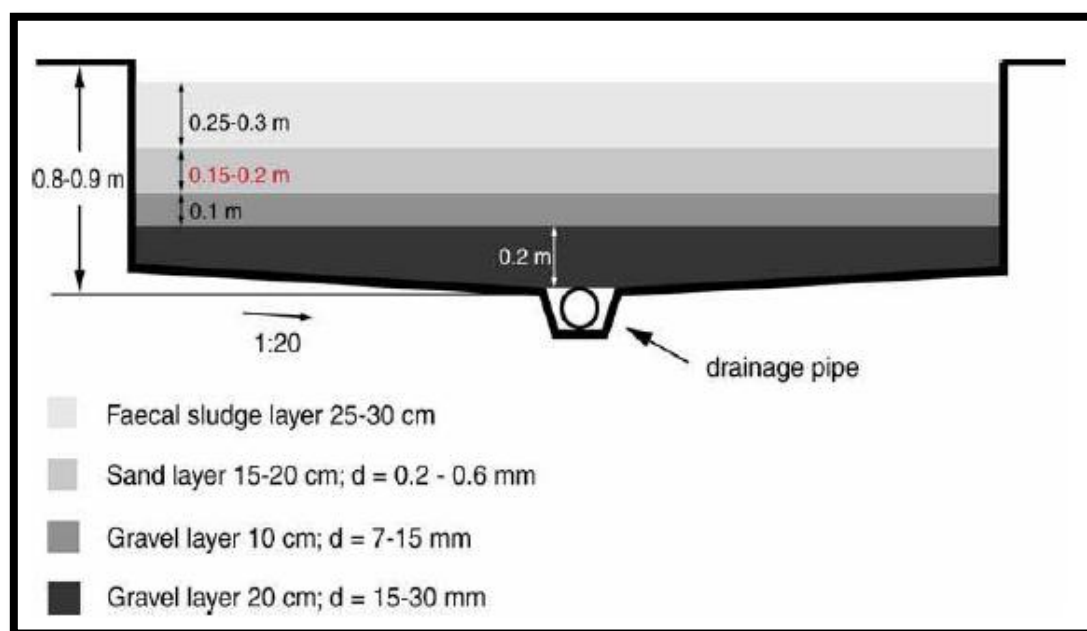


Figura 4.8. Principio estructural de un lecho de secado

4.4.6 Tipo de reutilización

El compost fue aceptado por su impacto en la capacidad de germinación y crecimiento temprano de las verduras más comunes cultivadas en las zonas urbanas y periurbanas (tomate, pimiento, lechuga, col, cebolleta y zanahoria). La capacidad de germinación varió entre 70-100% para todos los vegetales.

Además, el compost fue probado en un campo de maíz y se compararon los resultados con otro campo igual pero sin la aplicación de compost. El campo con este compost logró un rendimiento de los cultivos significativamente mayor.

Es importante conocer las percepciones de los agricultores como beneficiarios directos y para determinar si el proyecto es financiera y económicamente viable. Por lo tanto, se realizó un estudio para saber la percepción de los agricultores sobre este compost y la posibilidad de pago. Los resultados de este estudio fueron que un gran número de agricultores (83%) estaban dispuestos a la utilización del compost. Sin embargo, la cantidad real de agricultores que estaban dispuestos a pagar era baja.

Los agricultores que se mostraron escépticos (17%) creen que la componente de excretas podría propagar infecciones y piensan que los consumidores podrían evitar comprar productos de cultivos en los que se utilice ese tipo de fertilizante.

El estudio sobre el compost producido demuestra que éste se encuentra dentro de un rango de calidad aceptable. El proceso de compostaje es eficiente en la reducción de la concentración de huevos de *Ascaris*. Las posibilidades de la aparición de huevos de *Ascaris* se reduce un 40-60% en los lodos fecales y en el compost final es menos del 10% con un número total de <5 huevos de *Ascaris* / gTS (TS es sinónimo de sólidos totales). Los macro y micro nutrientes, así como el contenido de metales pesados se encuentran dentro del rango aceptable.

Así, este compost elaborado por lodos fecales y residuos sólidos orgánicos no presenta riesgos para la salud ni de los agricultores y ni de los consumidores. Los planes de seguridad y salud están siempre disponibles para los trabajadores. El equipo de seguridad (botas, overoles, guantes y mascarillas) se debe utilizar siempre por los trabajadores. Las manos se lavan con jabón y desinfectante. Los trabajadores son sometidos periódicamente a exámenes médicos.

El compost no se vende a los agricultores, sino que se les da de forma gratuita para las pruebas y estudios de campo. La razón por la que se da de forma gratuita se debe a que la planta no era para uso comercial, sino sólo para adquirir conocimientos técnicos sobre co-compostaje de lodos fecales y residuos sólidos orgánicos. Sin embargo, la mayoría de los agricultores estarían dispuestos a utilizar este tipo de siempre que su contenido de nutrientes sea lo suficientemente alto y se encuentre disponible a un precio asequible.

4.4.7 Otros componentes del proyecto

Debido a la realización de este proyecto se ha observado una mayor conciencia sobre el uso de este tipo de abono en los agricultores. Muchos agricultores han entendido que el co-compost a partir de los excrementos humanos y de los residuos sólidos orgánicos es un producto seguro y que no representa ningún riesgo para la salud. Los científicos e ingenieros tutorizaron a los estudiantes de máster y doctorado que trabajaron en varios componentes del sistema. De esta manera este proyecto también permitió a muchos estudiantes del norte y el sur de Ghana a hacer investigación aplicada sobre este tema.

Las investigaciones científicas fueron llevadas a cabo por el Instituto Internacional de la Gestión del Agua y otros socios de investigación de EAWAG / Departamento de Agua y Sanidad en los Países en Vías de Desarrollo Instituto Federal Suizo .

4.4.8 Costes

Los costes totales de inversión fueron de unos 16.500 EUR que fueron financiados principalmente por el Ministerio de Asuntos Exteriores Francés. Los costes de operación (estudiantes de doctorado, video documentales, la puesta en funcionamiento y los costes de mantenimiento) fueron financiados por el NCCR Norte-Sur y KEZO (en Suiza).

La primera fase (2001-2004) fue financiada por Francia y los socios del proyecto, en particular, el Instituto Internacional de la Gestión del Agua y Departamento de Agua y Sanidad en los Países en Vías de Desarrollo Instituto Federal Suizo (fondos de KEZO). La segunda fase (2005 - 2008) fue financiada por el NCCR Norte-Sur a través de la investigación doctoral. Las próximas vías de financiación aun están por decidirse.

La clasificación de residuos sólidos es la actividad más costosa y significa aproximadamente el 30% del total de los costes de operación y mantenimiento.

Se estima que la cantidad de compost producido por la planta piloto será de aproximadamente 37 toneladas/año. Un estudio posterior valora el compost producido en la planta en 3,5 euros por cada bolsa de 50 kg.

Los costes de operación y mantenimiento incluyen sólo mano de obra. Normalmente no hay electricidad o costes de productos químicos.

El proceso combinado de secado de lodos fecales y co-compostaje es costoso para una empresa privada y por lo tanto requiere una subvención del gobierno considerable, especialmente para la inversión inicial. Los ingresos por ventas apenas cubrirían los gastos de operación.

El análisis económico mostró que la planta es económicamente viable, aunque financieramente no lo es. Sin embargo, el proyecto cuenta con numerosos beneficios externos (tales como la reducción del volumen de residuos, los costes de transporte, aumentando el valor agronómico del compost y mejorar la salud pública). Por lo tanto la producción de compost, incluso sin un posible mercado, ahorra dinero en otras actividades, este ahorro podría a su vez podrían utilizarse para subvencionar la planta de co-compostaje.

4.4.9 Operaciones de mantenimiento

Recogida y transporte de las excretas y residuos sólidos al sitio del proyecto se llevan a cabo por el Departamento de Gestión de Residuos del Departamento KMA (Asamblea Metropolitana de Kumasi).

El gerente de la planta es responsable de la gestión y supervisión de la operación de la planta. Dos obreros trabajan bajo la supervisión del gerente. Los trabajadores no son empleados de KMA, pero normalmente son pagados por el proyecto (aunque en la actualidad existe un problema con la financiación). Por lo tanto, KMA no está pagando por la operación y mantenimiento de la planta.

Las actividades operacionales se pueden resumir de la siguiente manera:

- Entrega de lodos fecales
- Carga de los lodos fecales en los lechos de secado
- Entrega de los residuos sólidos
- Clasificación de los residuos sólidos
- Mezcla y acumulación de materia prima del co-compostaje (Lodos fecales secos y Residuos Sólidos Orgánicos)
- Voltar las pilas de compost

- Empaquetado del compost
- Toma de muestras (para el análisis y los ensayos agronómicos de campo)

Las actividades de mantenimiento consisten en un cambio periódico del medio filtrante de los lechos de secado cuando están obstruidos: La capa superior (arena) se elimina del lecho de secado, la capa de grava subyacente se lava y se sustituye la capa superior con arena nueva. Los intervalos de tiempo para el cambio del filtro de arena pueden oscilar entre varios meses a más de 15 años, dependiendo de la calidad de la arena. Para reducir el riesgo de obstrucción, se debe utilizar una arena sin limo ni arcilla o con una baja cantidad.

La limpieza general del sitio se lleva a cabo periódicamente para mantenerlo ordenado. Es conveniente plantar hierba para embellecer el lugar y para minimizar la erosión.

4.4.10 Experiencia práctica y lecciones aprendidas

Las mejoras funcionales de los lechos de secado son necesarias para garantizar una producción continua de compost y un desarrollo sostenible. Se necesitan mejoras en la calidad del filtro y la forma de controlar el efecto de las lluvias.

La planta de co-compostaje ha experimentado los siguientes problemas operativos:

- En ocasiones, los retrasos en la entrega de residuos han provocado una interrupción de la operación.
- Si hay exceso de lluvia el proceso de secado de lodos lleva más tiempo de lo habitual (10 días), debido a que los lechos de secado no están cubiertos.
- Se ha observado que el contenido de nitrógeno del compost es menor de lo que sería necesario para el alto rendimiento de la producción de cultivos de corta duración que se practica en las zonas urbanas. Esto se debe a las pérdidas de nitrógeno en ambos procesos, el secado de los lodos fecales y el proceso de compostaje en sí. Se han tomado algunas medidas (por ejemplo, la reducción de la frecuencia de volteo del compost) con el fin de reducir estas pérdidas de nitrógeno.

Se ha considerado introducir orina pura en el compost para aumentar el contenido de nitrógeno, pero aún se está estudiando.

Los problemas sociales que se han experimentado son los siguientes:

- Hace algunos años, los residentes de la comunidad Buobai impidieron que los camiones de entrega de los residuos llegaran a la planta en varias ocasiones, interrumpiendo así la operación de la planta. Alegaron que KMA había utilizado sus tierras para la creación de lagunas de estabilización de los lodos fecales y no habían recibido ninguna compensación. Finalmente se resolvió el conflicto mediante una reunión de un representante de KMA y la comunidad.

4.4.11 Asentamiento sostenible e impacto a largo plazo

El hecho de que esta planta piloto haya estado operando durante 7 años se puede tomar como una buena señal para la sostenibilidad. Sin embargo, para la sostenibilidad financiera, es necesario el apoyo externo o las subvenciones.

Se ha realizado una evaluación básica para indicar en cuál de los cinco criterios de sostenibilidad¹⁹ tiene este proyecto sus puntos fuertes y sus puntos débiles.

Criterio de sostenibilidad	Recolección y transporte			Tratamiento			Transporte y reutilización		
	+	0	-	+	0	-	+	0	-
Salud e higiene	X			X			X		
Medio ambiente y recursos naturales		X		X			X		
Tecnología y mantenimiento			X	X			X		
Financiamiento y economía			X		X			X	
Socio-cultural e institucional			X	X				X	

Tabla 4.10. Indicadores cualitativos de un sistema sostenible (+: punto fuerte, 0: punto medio, -: punto débil)

Los impactos a largo plazo de este proyecto son:

- La construcción de una planta de piloto ha servido para demostrar a los responsables políticos, ingenieros, agricultores, planificadores urbanos y los gestores de residuos las virtudes del co-compostaje.
- Esta planta piloto de co-compostaje se ha servido como base para proyectos similares en Senegal y Malí, financiados por Departamento de Agua y Sanidad en los Países en Vías de Desarrollo Instituto Federal Suizo.

¹⁹ Para más detalles ver el documento "Towards more sustainable solutions" (www.susana.org) también disponible en Español "Hacia soluciones de saneamiento más sustentables".

5 Propuesta de Saneamiento Sostenible

Se propone implantar un sistema de saneamiento sostenible en una aldea neorural del sur de España.

5.1 Área y localización del proyecto

La aldea El Calabacino, donde se realiza el presente proyecto, se localiza en Andalucía, más concretamente en la provincia de Huelva, a 104 Km de Huelva capital, en el corazón del parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche (PNSAPA). El PNSAPA está formado por 28 municipios, entre los cuales se encuentra el municipio de Aljár del cual depende la aldea de El Calabacino. Cabe destacar que esta aldea se considera uno de los primeros lugares de España en encabezar el movimiento de neorruralismo (Huelva Información, 2008).

Cuenta con unos 250 habitantes (de los cuales un 25% son niños menores de 16 años) y su superficie es de 35 ha. Su temperatura media anual es de 18 grados centígrados. La precipitación media anual es de 539 mm.



Figura 5.1: Mapa general de la zona de estudio (Google, 2011)

La geología de la zona se caracteriza por la presencia de rocas carbonatadas, pizarras, esquistos y cuarzo masivo. La presencia de los niveles carbonatados cálcicos y/o magnésicos crea formaciones kársticas y favorece la abundante vegetación y precipitaciones.

El proyecto piloto se ha llevado a cabo en una de las casas de la aldea. La casa del proyecto tiene 126 m² y un terreno de 3300 m² con una superficie cultivada de 1000 m². La familia propietaria de la vivienda consta de 3 personas, dos adultos y un adolescente.

5.2 Situación actual

La familia beneficiaria del proyecto sufre restricciones semanales en el abastecimiento de agua para el uso doméstico y para el riego de los cultivos.

El área del proyecto está ubicada en una zona con poca riqueza hídrica accesible en estaciones secas.

Según el balance hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009. Durante el verano las precipitaciones descienden hasta un 90%.

MEDIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
P (mm)	68.49	44.44	43.01	50.16	31.69	6.78	1.88	4.07	34.05	74.63	73.41	106.99
T (°C)	11.38	12.79	15.40	16.82	20.07	24.20	27.18	26.93	24.04	20.36	15.39	12.51
ETP	39.13	43.96	52.95	57.83	69.01	83.21	93.45	92.59	82.66	70.00	52.92	43.01

Tabla 5.1. Balance Hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009. (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2010)

Lo cual incide de manera negativa en el agua disponible sobre todo para riego y saneamiento de los hogares. En principio con el agua potable no hay ningún problema.

Los suelos de la zona de estudio no presentan problemas de drenaje, aunque se producen algunos desprendimientos de tierras en las épocas de lluvia.

El hecho de que no exista cobertura para la recogida de aguas residuales en la zona hace que cada familia sea la responsable de ellas, desde la recolección hasta su vertido. Actualmente las aguas residuales generadas por cada familia en la aldea no reciben ningún tipo de tratamiento y son vertidas directamente a la tierra. Lo cual puede traer problemas en un futuro cercano en lo que respecta a la salud de las familias y la calidad de las aguas subterráneas y superficiales utilizadas para el abastecimiento.

5.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto es:

- Poder desarrollar en un futuro una propuesta de implantación de tecnologías EcoSan en toda la aldea mediante la propuesta actual de un proyecto piloto en una casa, con el propósito de disminuir la contaminación de los suelos de la zona y mejorar la calidad de vida de las familias.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Una vez analizadas todas las tecnologías EcoSan actuales, decidir las más convenientes para garantizar el éxito del proyecto piloto.
- Aumentar el abastecimiento de agua.
- Realizar un Análisis Económico y del Ciclo de Vida de la propuesta.

5.4 Introducción al proyecto

El propósito fundamental del proyecto piloto en una casa en la aldea El Calabacino es adoptar un sistema de saneamiento ecológico (EcoSan) como una opción para el reciclaje de los desechos orgánicos, la orina, la excreta y las aguas grises. El análisis de las tecnologías óptimas EcoSan a utilizar en este caso se ha realizado pensando en satisfacer las necesidades de una familia de tres personas en una casa de 120 m² y un terreno cultivado de 1000 m².

5.5 Implantación de las tecnologías EcoSan óptimas para este proyecto

Una vez estudiadas las diferentes tecnologías EcoSan existentes actualmente se eligen las que más se ajustan a las necesidades de la familia y por tanto van a tener mejor capacidad de aceptación.

5.5.1 Recolección, tratamiento y utilización de los desechos orgánicos

La recolección de los desechos orgánicos y su reciclaje ya lo realizaba la propia familia antes del proyecto piloto.

La recolección se hace mediante la recogida selectiva en cubos de los desechos orgánicos propios de un hogar, como son restos de fruta y verduras, bolsitas de té, cáscaras de patatas y huevos, hojas secas, restos de pan, etc.

Después se composta cubriendo los desechos con tierra durante dos años.

Pasado el tiempo de compostaje se utiliza como abono para la tierra de cultivo.

Una vez analizada la tecnología Ecosan de compostaje de materia orgánica se cree oportuno aconsejar a la familia en algunas cuestiones:

- Se aconseja utilizar serrín y virutas o paja para mezclar con la materia orgánica a compostar, ya que según la relación carbono/nitrógeno de estos materiales es muy buena y por tanto se conseguirá un buen producto final. Además son materiales existentes en el entorno de la familia, fáciles de conseguir.
- Es preferible que el tamaño del material a compostar esté entre 1-5 cm ya que así se facilita el mezclado y el aireado.
- Al principio del proceso de compostaje debe ser posible regar el compost para mantener aproximadamente una humedad del 60%, pero después se debe proteger de la lluvia.
- Para el control del olor, los insectos y conseguir una buena fermentación es importante que se voltee la mezcla cada 15 o 30 días.
- La familia puede continuar utilizando el compost para abonar su tierra de cultivo sin ningún problema.

5.5.2 Recolección, tratamiento y utilización de excrementos y orina

Antes del proyecto piloto la familia utilizaba una especie de letrina en el exterior de la casa para defecar. Cada cierto tiempo las heces acumuladas recibían el mismo tratamiento que los desechos orgánicos, en el mismo lugar. Eran compostadas durante dos años para más tarde ser utilizadas como abono para la tierra de cultivo.



Ilustración 5.2. Exterior e interior de la letrina usada por la familia antes del proyecto. (Autor: Anna Martínez)

La orina simplemente era vertida directamente a la tierra.

Después de analizar las tecnologías EcoSan para la recolección, tratamiento y utilización de excrementos y orina, y los casos estudiados en el apartado 4.1 se cree oportuno la utilización de un sistema de separación sólido-líquido, desviando la orina.

El que se ha proyectado es un UDDT, ya que no requiere disponer de una fuente de agua constante, y se diversifican la orina y las heces. De esta manera posteriormente las heces serán compostadas, mientras la orina se utilizará como fertilizante.

5.5.3 Recolección, tratamiento y utilización de aguas grises

Antes de la realización de este proyecto las aguas grises generadas por la familia eran vertidas directamente a la tierra.

Para el tratamiento de las aguas grises se ha diseñado un sistema de humedales artificiales construidos para el posterior uso del agua en el riego de los cultivos.

5.6 Diseño del baño seco y el humedal artificial

5.6.1 Diseño del baño seco

Se ha diseñado un baño seco con fosa alterna para una familia de 3 personas, y con un tiempo de retención de las heces de entre 9-12 meses.

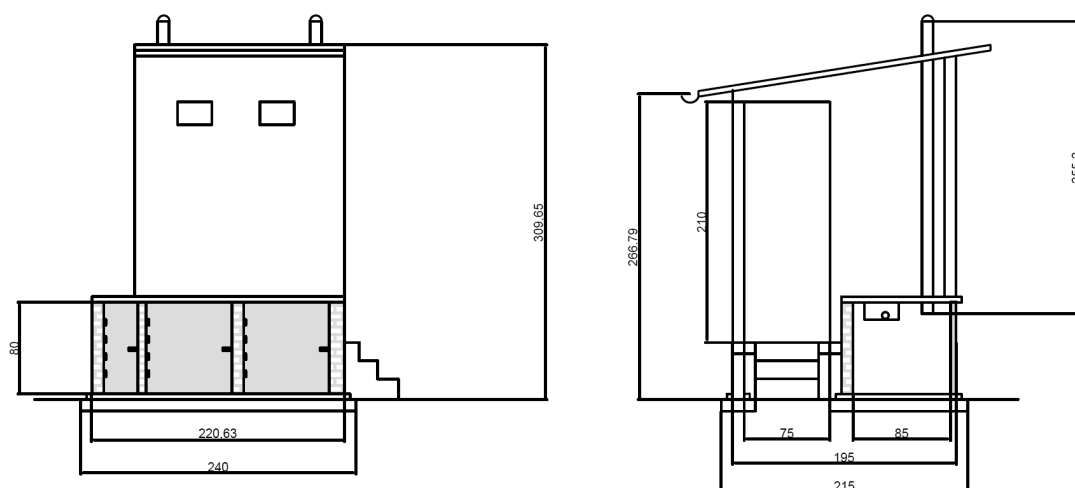


Figura 5.1. Detalle del plano del baño seco proyectado (ver Anexo II)

El baño seco se diseña para situarlo en el exterior de la casa por petición de la familia, en el caso de que en el futuro se quisiera introducir en el interior las dimensiones de los compartimentos deberían ser aproximadamente las mismas.

Para el diseño de la recolección de los excrementos se ha diseñado una caseta con dos compartimentos estanco de 0,75m×0,75m×0,8m (largo × ancho × profundo). Una vez lleno uno de los compartimentos, éste se cierra y se utiliza el otro. Las heces mezcladas con paja, virutas o ceniza permanecerán en el compartimento lleno durante aproximadamente un año y ahí, in-situ, se producirá el proceso de deshidratación y se obtendrá el compost. Una vez transcurrido el tiempo necesario se puede retirar el compost generado y utilizarlo como abono para la tierra. De esta manera se evita la manipulación de las heces por la familia evitando así posibles enfermedades producidas por los patógenos.

Para la recolección y tratamiento de la orina se instalará en el exterior del baño un bidón de 20 litros, para posteriormente almacenarla durante 30 días a la sombra.

5.6.1.1 Pautas para la construcción del UDDT

En este apartado se explican las pautas a seguir para la construcción del baño seco de este proyecto.

5.6.1.1.1 Compartimentos para el almacenamiento

La construcción del baño seco empieza en el proceso de construcción de los dos compartimentos que albergaran la mezcla de excrementos y virutas. También se construirá un tercer compartimento más pequeño para almacenar el bidón con la orina.

Se construyen dos compartimentos de ladrillo con unas dimensiones cada uno de 0,75m×0,75m×0,8m.

- 1) Se prepara un hueco en el suelo con profundidad de unos 20cm para construir los dos compartimentos. Es importante que el suelo se impermeabilice correctamente. (Ecosan Services Foundation (ESF), 2009) Para la impermeabilización del suelo se ha optado por utilizar cal hidráulica NHL-5 debido a que es una alternativa confiable y de bajo coste para evitar el paso del agua. (Ibercal, 2010)
- 2) El grosor de la pared del compartimento debe tener como mínimo unos 10 cm, con lo cual se debe construir con el largo del ladrillo. Y es imprescindible una pared que separe los dos compartimentos. El área total de las cámaras es de 1,80m×1m.

- 3) Se debe colocar un tubo de ventilación en cada compartimento durante la construcción de las paredes. Debe tener un diámetro de 110mm. Después se revisten las paredes con cemento y cal hidráulica.



Ilustración 5.3. Ejemplo de colocación del tubo para la ventilación del compartimento. (Ecosan Services Foundation (ESF), 2009)

- 4) Se colocan dos puertas traseras de acero para poder sacar el compost una vez finalizado el proceso. Se diseñan con unas medidas de 0,8m×0,5m, una para cada compartimento. Es importante que estas puertas permanezcan lo más cerradas posibles durante el proceso. Se coloca una tercera puerta más pequeña, 0,8m x 0,30m, para la cámara de almacenaje de la orina.
- 5) El tubo para la recolección de orina se coloca de un extremo al otro del compartimento. La mejor opción es utilizar un tubo de 2,5 cm de diámetro en el interior de los compartimentos, de PVC y rígido, y en el exterior utilizar una tubería flexible para un mejor uso. (Ecosan Services Foundation (ESF), 2009)



Ilustración 5.4. Ejemplo de tubería para la orina en el interior de un compartimento. (Ecosan Services Foundation (ESF), 2009)

La orina se recolecta en un bidón de 20L situado en una pequeña cámara del baño seco, a la sombra. Se debe tener en cuenta que el bidón debe ser cerrado, es decir, que la conexión entre la tubería flexible proveniente de los compartimentos y la boca del bidón debe ser lo más ajustada posible.

- 6) Finalmente las cámaras tienen una altura de 80 cm, la altura para sentarse cómodamente está estipulada en 40 cm, por lo tanto se deben colocar unos escalones fuera de la caseta y crear un suelo a esa altura. (Rotaria del Perú SAC, 2011)

5.6.1.1.2 Superestructura

Se ha diseñado una caseta de madera para albergar el baño seco.

Para la ventilación de la caseta se han diseñado dos pequeñas ventanas colocadas en la parte trasera. Es importante que se coloque una malla fina en las ventanas para evitar en el máximo de lo posible la entrada de moscas. (ver Anexo II)

5.6.1.1.3 Tubos de ventilación

Los tubos de ventilación serán llevados hasta el techo de la caseta. Es importante colocar una malla fina tanto en el inicio como en el final de los tubos para evitar la entrada de insectos. (ver Anexo II)

5.6.1.1.4 Asiento del UDDT

Debido a la dificultad de encontrar un distribuidor de tazas con separación de orina en España y dado que la casa de la familia a la que se dirige este proyecto se encuentra en la montaña y sólo se puede llegar a ella a pie, se ha creído más conveniente diseñar el retrete de separación de orina para construirlo *in-situ* que comprarlo y transportarlo hasta el área del proyecto. (ver Anexo II)

5.6.1.2 Utilización del UDDT

Finalmente se debe utilizar el UDDT como hemos visto en apartados anteriores, con especial precaución de no mezclar las heces con la orina.

Se recomienda tener al lado del asiento del baño seco (por ejemplo encima de la losa que cubre la fosa sin utilizar) cenizas, virutas, paja, etc. Para echar a la fosa después de su uso.

Se puede utilizar papel higiénico y echarlo a la fosa ya que es biodegradable.



Ilustración 5.5. Ejemplo de diseño de un UDDT de fosa alterna en Perú. Autor Christian Olt, Octubre-Diciembre 2009 (Rotaria del Perú SAC, 2011)

5.6.2 Diseño del tratamiento de aguas grises

El tratamiento para la depuración de las aguas grises que se ha diseñado se divide en tres procesos, pre-tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

La función principal del pre-tratamiento y el tratamiento primario es la de eliminar o reducir en gran parte los materiales más gruesos que puedan colmatar los humedales.

Para estos tratamientos iniciales no se va a utilizar ninguna tecnología eléctrica ya que lo esencial en los humedales es que son tecnologías de bajo coste y mínimo gasto energético.

5.6.2.1 Pre-tratamiento y tratamiento primario

En este proyecto el pre-tratamiento se trata simplemente de una malla para retener los gruesos debido a que las aguas residuales que llegan no están excesivamente cargadas de grasas. Con el humedal propiamente se elimina la DBO₅ necesaria.

5.6.2.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es propiamente el humedal artificial construido.

Se ha optado por la utilización de esta tecnología debido a varios factores:

- Se consigue una integración óptima en el paisaje. Este factor es muy importante dado que tanto la aldea donde sea realiza el proyecto como sus habitantes son de naturaleza ecologista por tanto esto es necesario para una buena aceptación.
- Se mejoran los ecosistemas existentes con la utilización de los nutrientes por parte de la flora y la fauna.
- Se mejora la calidad del medio receptor con la depuración de las aguas.
- Ausencia de olores. Debido a que el humedal se va a construir en el jardín de la casa este factor es de suma importancia.

5.6.2.2.1 Diseño del humedal

Una vez identificado el lugar donde se va a construir el humedal se procede al diseño del humedal.

Se ha decidido construir una combinación de humedal subsuperficial y humedal superficial. El humedal subsuperficial tiene mayor capacidad de tratamiento (admite mayor carga orgánica) y existe menos riesgo de contacto del agua con las personas y de aparición de insectos. (García, et al., 2008). Se ha optado por diseñar el humedal subsuperficial de flujo vertical ya que tienen mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, y por tanto requieren menor superficie para el tratamiento. El humedal superficial se coloca al final del tratamiento para reducir más la DBO₅ y para el almacenaje del agua.

Para determinar el tamaño del humedal construido se debe determinar primero:

- La temperatura media del área de estudio (°C).
- La cantidad de DBO₅ producida actualmente.
- El nivel de DBO₅ deseado para efluente del sistema.

Se ha determinado concentrarse en las concentraciones de DBO₅ para el dimensionamiento del humedal artificial debido a que como el agua efluente va a ser utilizada para irrigación la eliminación de nitrógeno (N)

y fósforo (P) no es totalmente necesaria ya que sirve como fertilizante natural para el crecimiento de las plantas. (Yocum, 2008)

Los cálculos se realizan para el diseño de un humedal subsuperficial de flujo vertical, el humedal superficial simplemente servirá de refuerzo para la eliminación de DBO₅ y para el almacenamiento del agua.

PASO 1: Determinar la temperatura media mínima mensual del ambiente en el que trabajará el sistema (T_w).

Se ha realizado un balance hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009. Los resultados se detallan en la Tabla 5.2 Balance Hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009..(ver Anexo I)

MEDIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
P (mm)	68.49	44.44	43.01	50.16	31.69	6.78	1.88	4.07	34.05	74.63	73.41	106.99
T (°C)	11.38	12.79	15.40	16.82	20.07	24.20	27.18	26.93	24.04	20.36	15.39	12.51
ETP	39.13	43.96	52.95	57.83	69.01	83.21	93.45	92.59	82.66	70.00	52.92	43.01

Tabla 5.2 Balance Hídrico de la provincia de Huelva desde 1989 a 2009. (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2010)

De todas las temperaturas medias de cada mes la mínima es la observada en el mes de enero, 11.38 °C.

PASO 2: Calcular la constante de velocidad de reacción, K_T (día⁻¹) para la concentración de DBO₅ en la temperatura apropiada.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$K_T = K_R(\theta_R^{(T_W - T_R)})$$

Ecuación 5.1. Determinación de la constante de velocidad de reacción K_T (día⁻¹). (Sánchez , 2010)

K_R: constante de reacción a la temperatura de referencia (20 °C) (día⁻¹)

T_w: temperatura considerada en el dimensionamiento (°C)

T_R: temperatura de referencia (20 °C) con la que se ha calculado el coeficiente θ_R (°C)

θ_R: coeficiente de temperatura (adimensional)

La constante K_R varía según los diferentes autores. (Yocum, 2008) Un valor K más alto indica una descomposición más alta de la DBO₅.

Debido a que estos valores están basados en la eficacia del humedal y no pueden ser obtenidos hasta que el sistema no está construido y monitoreado, se va a utilizar un valor conservador para la estimación.

Para el cálculo de la constante de velocidad de reacción de la DBO₅ en un humedal subsuperficial los valores utilizados de K_R y θ_R, son los siguientes:

Parámetro	DBO ₅
K _R (día ⁻¹)	1,104
θ _R (adimensional)	1,06

Tabla 5.3. Coeficientes de temperatura y constantes de reacción para 20°C. (Reed, et al, 1995)

Por lo tanto en este caso utilizando la Ecuación 5.1. se obtiene que K_T = 0,668 (día⁻¹) para la concentración de DBO₅.

PASO 3: Calcular el tiempo de retención t (día), el tiempo que el agua debe quedarse en el sistema para obtener el nivel de DBO₅ deseada a la salida.

$$t = \frac{-\ln(C/C_0)}{K_T}$$

Ecuación 5.2. Tiempo de retención t (día) (Yocum, 2008)

C: Concentración de DBO₅ deseada en el efluente (mg/L)

C₀: Concentración de DBO₅ que entra en el sistema (mg/L)

El valor de C₀ se determina a partir de la caracterización del afluente y C se define, en este caso, a partir de los objetivos de calidad establecidos por la *Directiva Europea 91/271/CEE del consejo, 21 de mayo del 1991, sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas*.

Para la caracterización del afluente se ha utilizado una carga esperada para el caudal con la composición típica de las aguas grises.

Parámetro	Unidades	Rango	Media
Sólidos en suspensión	mg/L	45-330	115
Turbiedad	NTU	22->200	100
DBO ₅	mg/L	90-290	160
Nitrito	mg/L	<0,1-0,8	0,3
Amoniaco	mg/L	<1,0-25,4	5,3
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	2,1-31,5	12
Fósforo	mg/L	0,6-27,3	8
Sulfato	mg/L	7,9-110	35
pH		6,6-8,7	7,5
Conductividad	mS/cm	325-1140	600
Dureza (Ca,Mg)	mg/L	15-55	45
sodio	mg/L	29-230	70

Tabla 5.4. Composición típica de las aguas grises. (Jeppesen, et al., 1994)

Se utiliza el valor medio de concentración de DBO₅ que es 160 mg/L como carga del afluente. Pero al existir previamente un tratamiento primario antes de llegar al humedal artificial la concentración de DBO₅ se ha reducido un 10%. Por lo tanto la concentración de DBO₅ que entra en el sistema secundario (C₀) es 144 mg/L.

La *DE 91/271/CEE* no contempla una norma para el vertido de aguas a nivel de una sola casa como en este proyecto. Por ello, se va a tomar como referencia la norma para poblaciones de 2000 a 15000 habitantes equivalentes.

Parámetros	Concentración	% Reducción
DBO ₅ (a 20°C sin nitrificación)	25 mg/L O ₂	70-90 %
DQO	125 mg/L O ₂	75 %
Total sólidos en suspensión	35 mg/L	90 %

Tabla 5.5. Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de depuración de aguas residuales urbanas mediante tratamiento secundario. Directiva Europea 91/271/CEE

Por lo tanto la concentración de DBO₅ que se debería esperar a la salida es de 43,2 mg/L suponiendo como mínimo una reducción del 70%.

Según la Ecuación 5.2., el tiempo de retención para el humedal diseñado es de t=1,80 días (1 día y 19 horas aproximadamente).

PASO 3: Verificar la tasa de carga orgánica (L_{org}) (g DBO/m²·día)

$$L_{org} = \frac{C_0 * d_w * \eta}{t}$$

Ecuación 5.3. Tasa de carga orgánica. (Yocum, 2008)

C_0 : Concentración de DBO₅ que entra en el sistema (mg/L=g/m³)

d_w : la profundidad del sustrato (m)

η : porosidad efectiva del sustrato, se define como la proporción de volumen no sólido en relación al volumen total de la materia, sin dimensión y se puede determinar según el tamaño de grava escogido. (Tabla 5.6)

t: tiempo de retención (día)

Sustrato	Tamaño efectivo d_{10}^* , mm	Porosidad efectiva η
Arena (media)	1	0,3
Arena (gruesa)	2	0,32
Arena con grava	8	0,35
Grava (media)	32	0,4
Grava (gruesa)	128	0,45

Tabla 5.6. Los valores típicos de sustratos de humedales construidos. (Ronald, et al., 1998) d_{10}^* es el diámetro de una partícula en una distribución del peso de las partículas que es más pequeña que todo salvo 10% de las partículas.

Este valor indica la masa de DBO₅ por área y por día que el sistema recibe. En general no debe exceder 11,2 g DBO/m²·día (Yocum, 2008).

Para determinar la profundidad del sustrato se debe tener en cuenta que contra más profundo sea, más carga puede procesar el sistema. Pero si es demasiado profundo las condiciones del fondo llegan a ser anaeróbicas y eso puede resultar en una reducida eliminación de la DBO₅ y los nutrientes. Habitualmente la profundidad del sustrato se diseña entre 0,4m y 0,85m. En este proyecto se decide utilizar una profundidad de sustrato de 0,45m para evitar problemas de fondo.

Para el sustrato del humedal se va a utilizar una arena media.

Entonces, según la Ecuación 5.3 la tasa de carga orgánica que va a recibir este sistema es de $L_{org} = 10,8$ g DBO/m²·día.

PASO 4: Determinar el área de terreno necesaria para la construcción del humedal. (A_s) (m²)

$$A_s = \frac{Q_m * t}{\eta * d_w}$$

Ecuación 5.4. Área de terreno necesaria. (Yocum, 2008)

Q_m : Caudal medio diario que llega al humedal

t: tiempo de retención (día)

d_w : la profundidad del sustrato (m)

η : porosidad efectiva del sustrato (adimensional)

Para determinar el caudal medio que llega al humedal se supone una generación de aguas grises de 100 L/persona/día. Habitualmente se determina 250 L/persona/día en ciudad, pero en este caso se cree oportuno reducir ese valor debido a ser una zona rural y al convencimiento familiar sobre el uso responsable del agua.

Este humedal se diseña para una familia de 3 personas, con lo cual el caudal medio diario que recibirá el humedal es de 300 L. Por lo tanto, el área de terreno necesaria para la construcción del humedal es de $A_s=4\text{m}^2$.

PASO 5: Determinar las dimensiones totales del humedal.

$$w = \left(\frac{A_s}{R_A}\right)^{1/2}$$

Ecuación 5.5. Determinación del ancho (w) del humedal (m). (Yocum, 2008)

A_s : Área total del humedal (m^2)

R_A : Proporción L:W (largo : ancho) del humedal. Se recomienda una proporción entre 2:1 y 4:1 (Ronald, et al., 1998)

Se elige la proporción 2:1 dado que estéticamente es la más aceptada por la familia.

Por lo tanto el ancho del humedal es de $w=1,4\text{m}$.

$$l = \frac{A_s}{w}$$

Ecuación 5.6. Determinación de la longitud (l) del humedal (Yocum, 2008).

Con los datos obtenidos se determina una longitud del humedal de $l=2,8\text{m}$.

PASO 6: Una vez realizado el diseño del humedal se debe comprobar con las ecuaciones de degradación si la carga de DBO_5 del efluente está dentro de los parámetros deseados.

$$C_i = \frac{C_0}{e^{\frac{K_T * A_s * d_w * \eta}{Q}}}$$

Ecuación 5.7. Ecuación de degradación.

Según los datos obtenidos en el diseño la carga de DBO_5 del efluente será de $C_i=43,26\text{ mg/L}$. Con lo cual está dentro de la *DE 91/271/CEE*.

A continuación se resumen los datos obtenidos en el diseño.

Parámetro	Valor	Unidades
Personas	3	p
Agua residual	100	L/p-d
Caudal medio	300	L/d
DBO_5 inicial	160	mg DBO_5/L
DBO_5 afluente secundario	144	mg DBO_5/L
DBO_5 efluente	43,26	mg DBO_5/L
Superficie del humedal	4	m^2
Ancho	1,4	m
Largo	2,8	m
Profundidad sustrato	0,45	m
Porosidad sustrato	0,3	

Tabla 5.7. Resumen de los resultados obtenidos.

5.6.2.2.2 Vegetación

Para la elección de la vegetación a colocar en el humedal del proyecto se ha tenido en cuenta varios factores determinantes:

- El tipo de humedal. En este proyecto se ha diseñado principalmente un humedal subsuperficial y al un soporte de humedal superficial.
- La temperatura media del área de estudio.
- Se trata de un humedal pequeño, sólo a nivel de una casa, de 4 m² de superficie y poca profundidad, 0,45 m.
- Al humedal del proyecto sólo se van a verter aguas grises y el agua del efluente se va a utilizar para la irrigación.
- El sustrato se ha determinado de arena media.

Es recomendable poblar el humedal con varias especies debido a que las concentraciones densas de sólo una especie son muy susceptibles a la transmisión de enfermedades. (Sánchez, 2010) Para este proyecto se han elegido dos especies de plantas para ser plantadas en el humedal artificial de este proyecto, juncos y carrizo.

Los juncos son perfectos para los humedales subsuperficiales ya que sus raíces pueden llegar a penetrar hasta un metro, lo cual es una ventaja para la oxigenación del fondo. Colocados cada 30 cm pueden dar una buena cobertura vegetal en un año.

El carrizo penetra a una profundidad de 0,4m, lo que lo hace adecuado para un humedal subsuperficial. Plantado cada 60 cm puede dar una buena cobertura en cuestión de un año. Tiene bajo nivel alimenticio con lo cual no se ve atacado por especies animales.

La plantación de la vegetación es la última etapa en la construcción de un humedal artificial. Se debe realizar una vez el material granular haya sido colocado y nivelado, se hayan conectado todas las conducciones, y se hayan llevado a cabo las comprobaciones hidráulicas. Cuando se realice la plantación las celdas del humedal ya deben tener agua.

Se recomienda la plantación de plántulas que han sido previamente cultivadas en viveros, ya que da muy buenos resultados aunque es la opción más cara. También funciona bien la plantación de rizomas que se obtienen de otros sistemas de humedales construidos. (García, et al., 2008)

En el humedal superficial final se ha elegido plantar carrizo y lentejas de agua.

5.6.2.2.3 Construcción del humedal

En este apartado se pretende dar unas pautas básicas para la construcción del humedal una vez diseñado.

- 1) Se debe graduar el fondo de la celda del humedal para que tenga una pendiente del 0,5% para potenciar el desagüe.
- 2) Una vez hecha la excavación para albergar el humedal se impermeabiliza todo el suelo. Es importante que el humedal este construido sobre material impermeable para evitar la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. En este caso se recomienda utilizar cal hidráulica NHL-5, utilizada también en la construcción del UDDT, debido a que es una alternativa confiable y de bajo coste para evitar el paso del agua. (Ibercal, 2010)
- 3) Se instala una válvula de drenaje en el final del humedal para poder bajar el nivel del agua y así motivar el crecimiento de las raíces de las plantas y para desaguarlo en caso de que fuera necesario.
- 4) Incorporar la entrada de aguas grises.

La entrada de aguas grises en el humedal debe ser lo más homogénea posible, para ello se recomienda distribuir el agua por la superficie mediante una tubería perforada. De esta manera se promueve la infiltración vertical del humedal.

Se coloca una malla de plástico fina sobre la obertura para evitar que se tapone.

- 1) Crear la salida de aguas hacía el humedal superficial de almacenamiento.
- 2) Se coloca una capa de arena gruesa en el fondo de la celda, de unos 3 cm de espesor.
- 3) Se coloca el medio granular en todo el humedal, en este caso arena media.
- 4) Se empapa el sistema de agua
- 5) Se procede a la plantación de la vegetación. Las plántulas se insertan en pequeños agujeros efectuados manualmente en el medio granular que después se tapan. Una parte de la biomasa subterránea de las plantas debe estar sumergida en el agua. El mejor momento para plantar es entre abril y mayo. De hecho si se planta carrizo en abril con una densidad de 3 plantas por metro cuadrado, a finales de agosto se tiene una cobertura casi total. (García, et al., 2008)

Una vez se ha realizado la plantación es conveniente que el agua esté un par de centímetros por encima del nivel del medio granular para evitar el crecimiento de malas hierbas. Cuando las plantas alcancen un buen desarrollo, el nivel del agua se debe situar 5 cm por debajo de la superficie del medio granular (este es el nivel con el que se operará habitualmente. Si el agua permanece encima del medio granular se pueden generar malos olores y una alta presencia de insectos, con lo que a veces no es posible mantener un cierto encharcamiento durante periodos de tiempo prolongados. Es muy recomendable tener encharcado el sistema como mínimo durante los dos primeros meses.

- 6) Si después de un año de funcionamiento del sistema la vegetación no se ha llegado a consolidar, se debe proceder a su reposición. Se considera que la vegetación se ha consolidado cuando se ha completado un ciclo biológico completo (crecimiento, floración, producción de semillas y senescencia de las partes aéreas). (García, et al., 2008)
- 7) Por último se plantarán especies ornamentales, como lirios, para mejorar la estética del sistema cuando toda la obra esté acabada. Se recomienda plantar especies propias de la zona ya que se adaptan mejor y es más fácil su supervivencia.

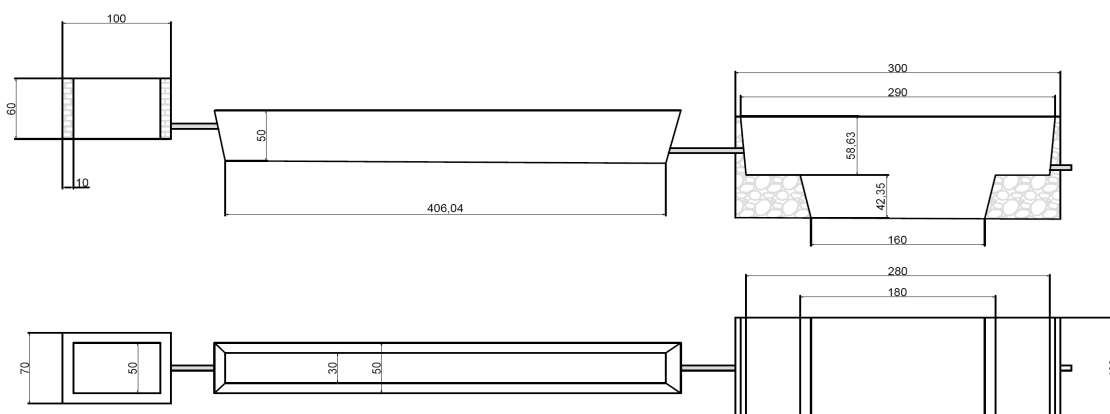


Figura 5.2. Detalle del plano del humedal propuesto (ver Anexo II)

5.6.2.2.4 Puesta en marcha

Se debe tener en cuenta que las operaciones a realizar durante la puesta en marcha son un poco diferentes a las que se deben realizar el resto del tiempo.

Se considera que el periodo de puesta en marcha finaliza cuando la vegetación está bien consolidada, es decir aproximadamente un año o ciclo biológico. Las poblaciones bacterianas responsables de la eliminación de los contaminantes se desarrollan en un periodo que va de 3 a 6 meses. (García, et al., 2008)

Como ya se ha comentado es recomendable que los primeros meses, después de la plantación, el nivel del agua esté por encima del medio granular. Para evitar malos olores y presencia de insectos se pueden alternar periodos de encharcamiento y otros de nivel normal.

El nivel de inundación se debe intentar mantener al menos durante los dos primeros meses. Durante este tiempo, especialmente cuando la plantación se haya realizado entre abril y agosto, podrían desarrollarse algas filamentosas o incluso lentejas de agua. Para evitarlo se pueden intercalar periodos de 2 ó 3 días con flujo subterráneo.

Cuando los humedales no se pueden encharcar debido a los malos olores o a la presencia de insectos, las malas hierbas deben arrancarse manualmente.

6 Análisis económico

Según George W. Torrance un análisis económico es un “Análisis comparativo de las acciones alternativas tanto en término de costes como de beneficio” (Torrance, 1991)

De acuerdo con esta definición, para realizar un análisis económico es preciso cuantificar los costes y los beneficios. Esta es una limitación de la evaluación económica, ya que sólo podemos incorporar al análisis variables susceptibles a ser cuantificadas.

Normalmente es fácil cuantificar los costes derivados de un sistema de saneamiento, pero el cálculo de los beneficios es más complicado si no se trata de beneficios monetarios.

Realmente los resultados dependen de las circunstancias locales, incluyendo los costes e impuestos de energía de cada país, como también el criterio de diseño de las alternativas y las condiciones climáticas, que afectan a la eficiencia del tratamiento.

6.1 Evaluación de los costes

Para el análisis de los costes se ha comparado el sistema de saneamiento compuesto por la construcción del baño seco y el humedal artificial (sistema 1) con dos alternativas como son una fosa séptica con un sistema de zanjas filtrantes (sistema 2) y un sistema de conducción de agua hasta el alcantarillado municipal (sistema 3).

Las tres alternativas se han dimensionado para la recolección de las aguas residuales de una familia de tres personas, determinando un valor de 160g DBO₅ a tratar al día.

Se han considerado los costes de construcción de las alternativas teniendo en cuenta que los sistemas 1 y 2 engloban propiamente la recolección, el tratamiento y el vertido de las aguas residuales, en cambio, el sistema 3 sólo contempla el transporte del agua hasta el alcantarillado.

El análisis económico se ha calculado asumiendo la justificación de precios del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011). Consultar Anexo III para ver los presupuestos detallados.

Alternativa	COSTE TOTAL
UDDT + Humedal	4871,39 €
Fosa séptica + Zanjas filtrantes	501,45 €
Conducción de agua	39.038,23 €

Tabla 6.1. Coste total de las diferentes alternativas

En este coste total se incluye la construcción de la caseta del UDDT, si se construyera en el interior de la casa su coste sería de aproximadamente la mitad. Sólo el UDDT costaría unos 1780 EUR.

Los costes totales más elevados se encuentran en la conducción de agua hacia el alcantarillado municipal. Este resultado resalta que para casas aisladas es más rentable la implantación de sistemas de saneamiento a nivel familiar que la construcción de un alcantarillado común.

6.2 Evaluación de los beneficios

Desde el punto de vista socioeconómico pueden determinarse dos tipos de beneficios para cada una de las alternativas propuestas.

- Beneficios ambientales

El principal objetivo de la alternativa propuesta en este proyecto (sistema 1) es disminuir la contaminación de los suelos de la zona de estudio debida a los diferentes vertidos domésticos. Específicamente se quieren eliminar los vertidos de aguas residuales crudas directamente a la tierra. Con las tres alternativas se conseguiría eliminar este tipo de vertidos. El sistema 1 es el que permite un mayor ahorro de agua debido a que después del tratamiento en el humedal artificial esa agua se puede utilizar para riego, cosa que no permiten el resto de alternativas. El sistema 2 elimina sólo parcialmente la contaminación de los suelos, debido que a largo plazo esta alternativa también genera contaminación sobretodo en terrenos con un alto nivel freático, como es el terreno de estudio. Para la construcción del sistema 3 se necesita escavar a lo largo de 1500 metros de superficie de parque natural, con lo cual genera un gran impacto ambiental durante su construcción.

Con lo cual la alternativa con más beneficios ambientales en este caso es el sistema 1.

- Beneficios sociales

A largo plazo los beneficios sociales de la reutilización del agua y el compost que permite el sistema 1 son superiores al resto de alternativas. Este sistema permite ahorrar prácticamente toda el agua destinada para el riego utilizando para esa actividad la obtenida en el humedal artificial. También se utiliza el compost y el fertilizante obtenido en el baño seco y se mejoran las cosechas. De hecho esta tecnología tiene gran aceptación tanto en países con recursos hídricos o económicos limitados como India o Uganda (European Commission, 2010) y en países como Alemania con una consciencia medioambiental elevada.

7 Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El ACV (LCA en nomenclatura inglesa) estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto o una actividad.

El ciclo de vida de un producto considera desde el origen como materia prima hasta su final como residuo. También se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, distribución, usos, etc.

El ACV consiste por tanto en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados, generados a lo largo de su ciclo de vida.

7.1 Normativas

Todo estudio de ACV requiere un protocolo establecido en la normativa elaborada por “International Standards Organisation” ISO.

Actualmente se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

- ISO 14040 (1997): Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio ACV
- ISO 14041 (1998): En ella se especifican los procedimientos para la definición de los objetivos y alcance de estos y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del inventario del ciclo de vida, ICV (LCI).
- ISO 14042 (2000): En esta norma se establece una guía de la estructura general de la fase de análisis del impacto, AICV (LCIA).
- ISO 14043 (2000): Esta normativa proporciona recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV.

También se han elaborado documentos técnicos proporcionando ejemplos para ayudar a la elaboración de estudios ACV.

7.2 Objetivo y alcance del estudio

El objetivo de este estudio es la evaluación de los daños ambientales asociados a la construcción de un sistema de baño seco y humedal artificial como tecnología de saneamiento en una casa rural. Esto se realizará mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados con el fin de analizar los impactos de estos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.

En este caso el alcance del estudio comprenderá la construcción del baño seco y el sistema de humedales artificiales, se van a comparar los efectos ambientales adversos con otros escenarios para el saneamiento como es una fosa séptica con un sistema de zanjas filtrantes y una conducción de agua hasta el sistema de alcantarillado municipal.

El conocimiento de cuáles son los aspectos que resultan más negativos permitirá saber que representa sobre el impacto las diferentes opciones de saneamiento escogidas.

7.2.1 Unidad funcional

La unidad funcional, UF, viene definida en la norma ISO 14040 como la principal función del sistema a analizar. La principal función de un sistema de saneamiento es recibir materia orgánica, por lo tanto se tomará como unidad funcional los gramos de DBO₅ recibidos/tratados en un día.

Al tratarse de una familia de tres personas se toma como unidad funcional 160 g DBO₅ tratados en un día.

7.3 Análisis del inventario

En el análisis del inventario se analizarán los sistemas de producción de las infraestructuras de los tres escenarios.

En el caso del baño seco se considerará que se utiliza la estructura del sanitario ya existente en la vivienda para hacer su análisis equiparable al de los otros dos escenarios.

La vida útil considerada para los tres escenarios es de 25 años. Y la unidad funcional utilizada es 160 g DBO₅ tratados/día.

7.3.1 Estructura del baño seco y el sistema de humedales construido

La Tabla 7.1 recoge las dimensiones de las cámaras de recolección del baño seco.

Concepto	Valor	Unidades
Cámaras	3	
Cámaras compostaje (CC)	2	
Cámara orina (CO)	1	
Ancho	0,75	m
Largo (CC)	0,75	m
Largo (CO)	0,30	m
Altura	0,80	m
Superficie total	1,35	m ²
Volumen total	1,08	m ³

Tabla 7.1. Dimensiones cámaras del baño seco

La tabla Tabla 7.2 detalla el material inventariado en peso de los materiales utilizados para la construcción de las cámaras del baño seco.

Concepto	Material	Peso (Kg)
Ladrillo doble hueco 240x115x70mm	Cerámica	256
Rasilla cerámica 37x37x1,4cm	Cerámica	28,8
Cal hidráulica natural NHL5	Cal	80
Arena de cantera de piedra granítica para morteros	Árido	160
Malla acero corrugado	acero	7,8
Tubo PVC DN=110mm	PVC	6,15
Tubo PVC DN=50mm	PVC	0,62
Codo de PVC de 90° de 50 mm de DN	PVC	0,68
Puerta acero 80x75cm	acero esmaltado	18,7
Puerta acero 80x30cm	acero esmaltado	7,48
Pestillos		3 u
Bisagras		6 u

Tabla 7.2. Material utilizado en la construcción de las cámaras de recolección del baño seco.

Los datos de fabricación de los diferentes materiales se han tomado del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011).

En la realización del inventario del baño seco se han considerado las diferentes hipótesis de cálculo:

- Se ha supuesto la estructura del sanitario ya existente para poder equiparar este escenario con el resto.
- No se ha tenido en cuenta el esmaltado del acero, se han uniformado todos en el mismo concepto de acero.
- En la construcción de las cámaras del baño seco no se ha considerado la utilización de máquinas con consumo de energía eléctrica, se ha determinado que la construcción se ha realizado con herramientas manuales.

La Tabla 7.3 recoge las dimensiones del sistema de humedales construidos considerado.

Concepto	Valor	Unidades
Cámara Tratamiento Primario (TP)	1	
Humedal Subsuperficial (FSS)	1	
Humedal Superficial (FS)	1	
Ancho TP	0,70	m
Ancho FSS	0,50	m
Ancho FS	1	m
Largo TP	1	m
Largo FSS	4,30	m
Largo FS	3	m
Profundidad TP	0,90	m
Profundidad FSS	0,50	m
Profundidad FS	1	m
Superficie TP	0,70	m ²
Superficie FS	2,15	m ²
Superficie FSS	3	m ²
Volumen TP	0,63	m ³
Volumen FS	1,075	m ³
Volumen FSS	3	m ³

Tabla 7.3. Dimensiones del sistema de humedales artificiales construidos

La Tabla 7.4 detalla el material inventariado en peso de los materiales utilizados para la construcción del sistema de humedales construidos.

Concepto	Material	Peso (Kg)
Materiales construcción		
Ladrillo doble hueco 240x115x70mm	Cerámica	569,6
Cal hidráulica natural NHL5	Cal	778
Arena de cantera de piedra granítica para morteros	Árido	360
Grava piedra calcárea	Árido	1200
Arena piedra granítica	Árido	975
Malla acero corrugado	Acero	5,98
Tubo PP-R en barra D=90mm	Adhesivo de caucho sintético	0,072
	Polipropileno	1,32

Tabla 7.4. Material utilizado en la construcción del sistema de humedales artificiales.

Los datos de fabricación de los diferentes materiales se han tomado del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011).

En la realización del inventario del sistema de humedales construido se han considerado el consumo energético correspondiente al funcionamiento de una retroexcavadora en una excavación de 3,85 m³.

Maquinaria	Peso Kg	Energía Funcionamiento MJ	Horas Funcionamiento h
Retroexcavadora pequeña	5850	51,12	0,57

Tabla 7.5. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción del sistema de humedales construidos.

7.3.2 Estructura de la fosa séptica y el sistema de zanjas filtrantes.

Se ha diseñado una fosa séptica para el uso en una residencia individual dónde habitan tres personas. La fosa tiene un tiempo de retención de 24 horas. El lodo digerido debe ser extraído cada dos o tres años. El efluente de la fosa séptica se evacúa por unas zanjas de infiltración en el terreno.

La Tabla 7.6 recoge las dimensiones de la fosa séptica.

Concepto	Valor	Unidades
Cámaras	2	
Ancho	1	m
Profundidad	0,9	m
Largo I	1,5	m
Largo II	0,5	m
Superficie Total	2	m ²
Volumen Total	1,8	m ³

Tabla 7.6. Dimensiones de la fosa séptica

La Tabla 7.7 detalla el material inventariado en peso de los materiales utilizados para la construcción de la fosa séptica.

Concepto	Material	Peso (Kg)
Ladrillo doble hueco 240x115x70mm	Cerámica	320
Mortero de albañilería	Aditivo	1,5
	Árido	112,5
	Cemento	36
Puerta de acero 90x90cm	acero esmaltado	25,24

Tabla 7.7. Material utilizado en la construcción de la fosa séptica.

Los datos de fabricación de los diferentes materiales se han tomado del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011).

En la realización del inventario de la fosa séptica se han considerado el consumo energético correspondiente al funcionamiento de una retroexcavadora pequeña en una excavación de 3,36 m³.

Maquinaria	Peso	Energía Funcionamiento	Horas Funcionamiento
	Kg	MJ	h
Retroexcavadora pequeña	5850	51,12	0,5

Tabla 7.8. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción de la fosa séptica.

Para distribuir el agua residual proveniente de la fosa séptica y su posterior infiltración en el suelo permeable se han proyectado dos zanjas de infiltración.

La Tabla 7.9 recoge las dimensiones de las zanjas filtrantes.

Concepto	Valor	Unidades
Zanjas	2	
Profundidad	0,5	m
Ancho	0,6	m
Largo	20	m
Superficie total	36	m ²

Tabla 7.9. Dimensiones de las zanjas filtrantes.

La Tabla 7.10 detalla el material inventariado en peso de los materiales utilizados para la construcción de las zanjas de filtración. CENTRA LAS TABLAS Y FIGURAS EN TODO EL TEXTO

Concepto	Material	Peso (Kg)
Canalón exterior PVC D=150mm	PVC	28
Grava fina	Árido	3600
Grava gruesa	Árido	9000

Tabla 7.10. Material utilizado en la construcción de las zanjas filtrantes.

Los datos de fabricación de los diferentes materiales se han tomado del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011).

En la realización del inventario del sistema de zanjas filtrantes se han considerado el consumo energético correspondiente al funcionamiento de una retroexcavadora pequeña en una excavación de 12 m³.

Maquinaria	Peso	Energía Funcionamiento	Horas Funcionamiento
	Kg	MJ	h
Retroexcavadora pequeña	5850	51,12	1,8

Tabla 7.11. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción de las zanjas filtrantes.

7.3.3 Estructura de la conducción de agua

Se ha diseñado un alcantarillado de conducción de agua para la casa de estudio. Se tiene en cuenta que el agua residual se debe conducir hacia el alcantarillado municipal, el cual se encuentra a aproximadamente 1,5 Km. En el cálculo no se considera el trayecto de las aguas residuales desde la conexión con el alcantarillado municipal hasta la E.D.A.R. más cercana.

La Tabla 7.12 recoge las dimensiones de la conducción de agua.

Concepto	Valor	Unidades
Conducción	1	
Pozos de registro	30	
Largo	1500	m
Ancho	2	m
Profundidad	1,25	m
Superficie Total	3000	m ²
Volumen total	3780	m ³

Tabla 7.12. Dimensiones de la conducción de agua

La Tabla 7.10 detalla el material inventariado en peso de los materiales utilizados para la construcción de la conducción de agua.

Concepto	Material	Peso (Kg)
Tubo PP-R en barra D=90mm	polipropileno	2190
Mortero de albañilería	Aditivo	0,25
	Árido	18,75
	Cemento	6
Pared pozo D=80cm	agua	32,1
	Árido	260,7
	Cemento	39,9
	hormigón prefabricado	4977
Marco+tapa de pozo	árido	931,8
	cemento	139,2
	fundición	4350
Mortero cemento pórtland+caliza	agua	12000
	árido	97800
	cemento	15000

Tabla 7.13. Material utilizado en la construcción de la conducción de agua.

Los datos de fabricación de los diferentes materiales se han tomado del banco BEDEC del ITeC (ITeC, 2011).

En la realización del inventario de la conducción de agua se han considerado el consumo energético correspondiente al funcionamiento de una retroexcavadora pequeña, una pala cargadora, una hormigonera y un tractor con rodillo compactador en una excavación de 1323 m³.

Maquinaria	Peso	Energía Funcionamiento	Horas Funcionamiento
	Kg	MJ	h
Retroexcavadora pequeña	5850	51,12	3,6
Pala cargadora mediana	140	724,26	39,69
Hormigonera de 165 l	65	15	42
Tractor con rodillo compactador	150	120,81	42

Tabla 7.14. Datos de la maquinaria utilizada en la construcción del sistema de conducción de agua.

En la realización del inventario de la conducción de agua se ha considerado sólo la conducción hasta el alcantarillado municipal ya construido y en funcionamiento.

7.4 Análisis del impacto

7.4.1 Metodología

En un ACV completo se atribuye a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y de energías necesarias para su manufactura, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción así como los efectos ambientales procedentes del fin de vida del producto cuando este se consume o ya no se puede utilizar.

En el caso de este proyecto analizaremos sólo los aspectos ambientales y los impactos potenciales de la construcción de los diferentes escenarios a analizar. Posteriormente se analizarán los resultados razonando también los posibles impactos derivados de su uso.

Para el análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) se ha utilizado el ACV software Simapro (Pré Consultant), el cual compara y analiza complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos. Este software ya contiene la base de datos para facilitar el cálculo.

Primero se han introducido los datos del inventario en el programa, después se han realizado los cálculos propios de la fase AICV, para posteriormente obtener los resultados para las diferentes categorías de impacto escogidas.

7.4.2 Resultados

Según el artículo de Johan Rockström se han definido nueve procesos para los cuales es necesario definir los límites del planeta: el cambio climático, la pérdida de biodiversidad (tanto marina como terrestre), la interferencia con los ciclos de nitrógeno y fósforo, el agotamiento del ozono estratosférico, la acidificación de los océanos, el uso mundial del agua dulce, el cambio del uso del suelo, la contaminación química y la carga de aerosoles a la atmósfera. (A safe operating space for humanity, 2009)

Actualmente estamos acercándonos a los límites para el uso mundial del agua dulce, del cambio del uso del suelo, de la acidificación del océano y de la interferencia con el ciclo del fósforo mundial. Y ya se han transgredido los límites del cambio climático, de la pérdida de biodiversidad y de la interferencia con el ciclo del nitrógeno. (A safe operating space for humanity, 2009)

PLANETARY BOUNDARIES				
Earth-system process	Parameters	Proposed boundary	Current status	Pre-industrial value
Climate change	(i) Atmospheric carbon dioxide concentration (parts per million by volume)	350	387	280
	(ii) Change in radiative forcing (watts per metre squared)	1	1.5	0
Rate of biodiversity loss	Extinction rate (number of species per million species per year)	10	>100	0.1-1
Nitrogen cycle (part of a boundary with the phosphorus cycle)	Amount of N ₂ removed from the atmosphere for human use (millions of tonnes per year)	35	121	0
Phosphorus cycle (part of a boundary with the nitrogen cycle)	Quantity of P flowing into the oceans (millions of tonnes per year)	11	8.5-9.5	-1
Stratospheric ozone depletion	Concentration of ozone (Dobson unit)	276	283	290
Ocean acidification	Global mean saturation state of aragonite in surface sea water	2.75	2.90	3.44
Global freshwater use	Consumption of freshwater by humans (km ³ per year)	4,000	2,600	415
Change in land use	Percentage of global land cover converted to cropland	15	11.7	Low
Atmospheric aerosol loading	Overall particulate concentration in the atmosphere, on a regional basis	To be determined		
Chemical pollution	For example, amount emitted to, or concentration of persistent organic pollutants, plastics, endocrine disrupters, heavy metals and nuclear waste in, the global environment, or the effects on ecosystem and functioning of Earth system thereof	To be determined		

Ilustración 7.1. Límites de los procesos planetarios definidos, en rojo los que ya se han traspasado. (A safe operating space for humanity, 2009)

Siguiendo estos criterios para este proyecto se ha decidido analizar como categorías de impacto el agotamiento abiótico, la acidificación, la eutrofización, el calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono.

A continuación se detallan los resultados obtenidos.

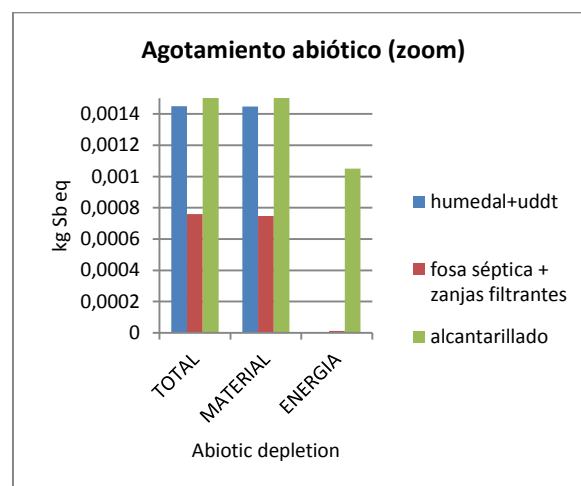
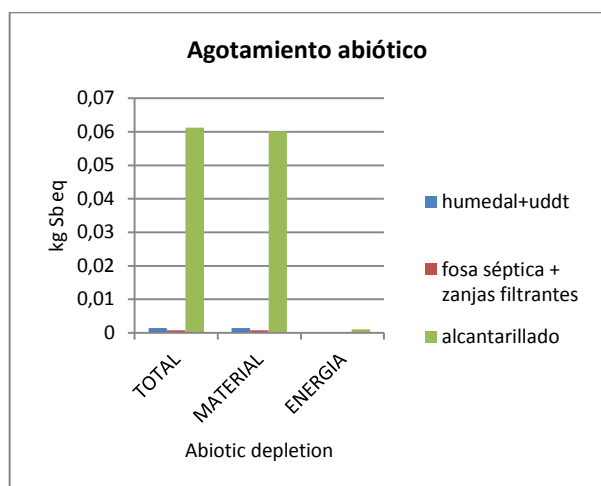


Tabla 7.15. Resultados del agotamiento abiótico.

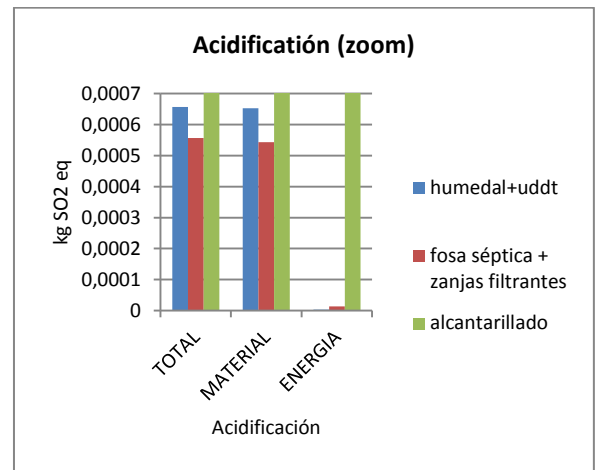
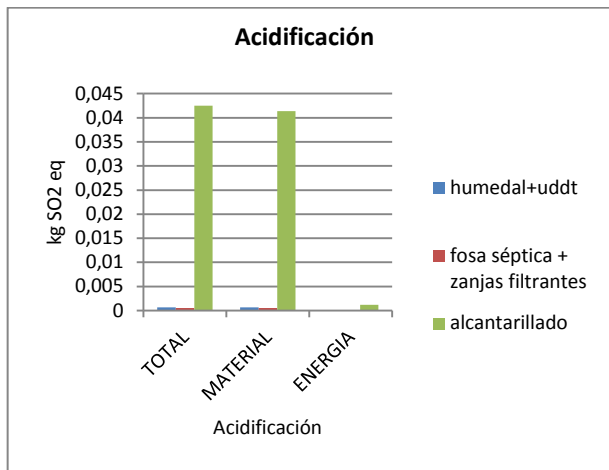


Tabla 7.16. Resultados de la acidificación

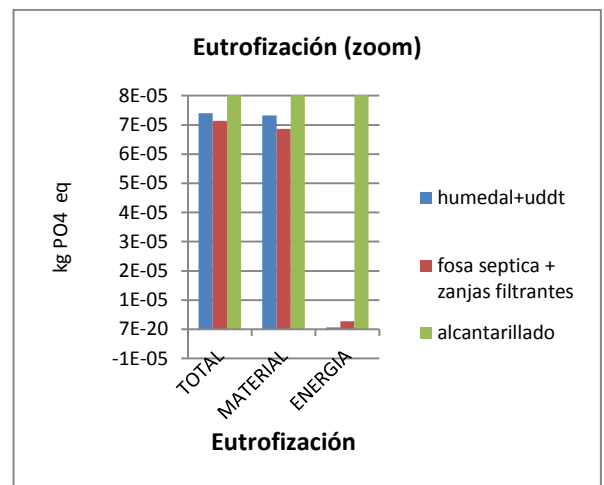
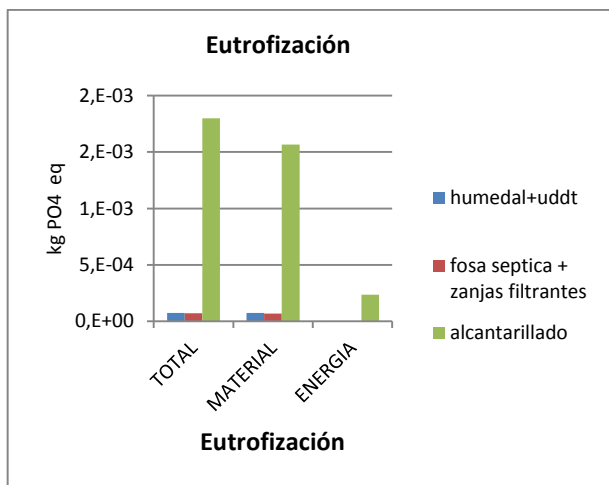


Tabla 7.17. Resultados de la Eutrofización

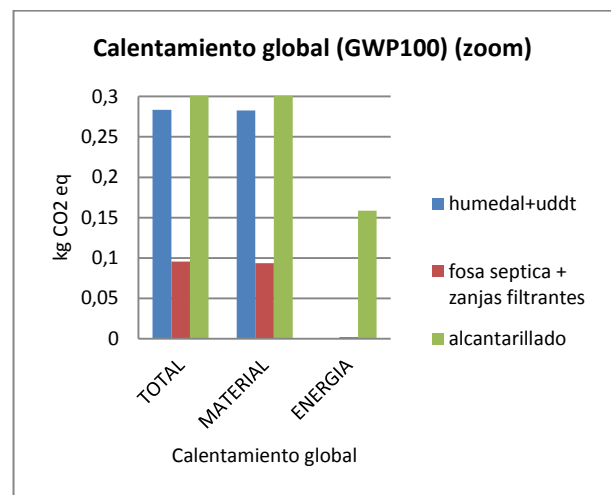
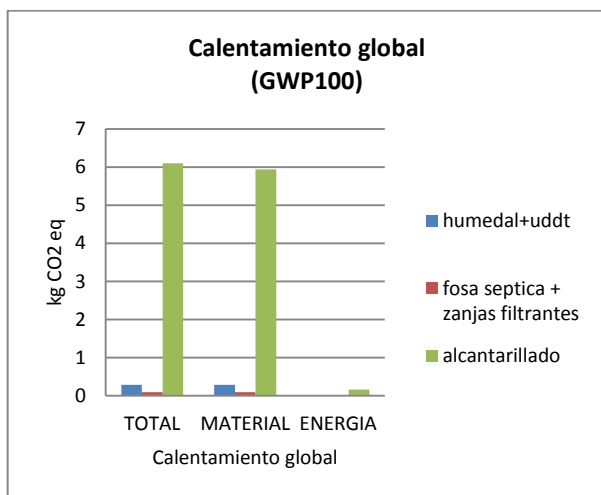


Tabla 7.18. Resultados del calentamiento global (GWP100)

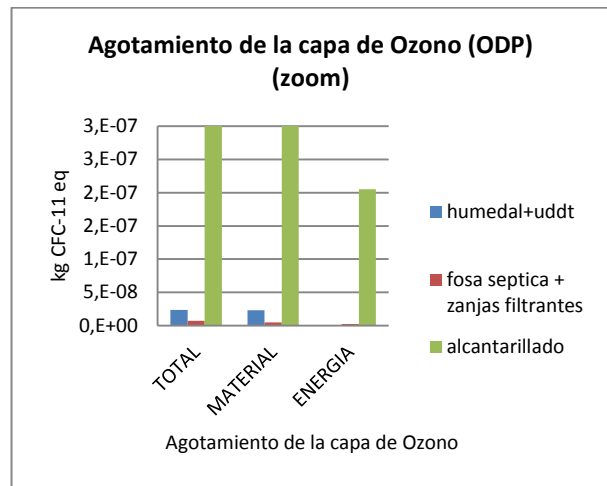
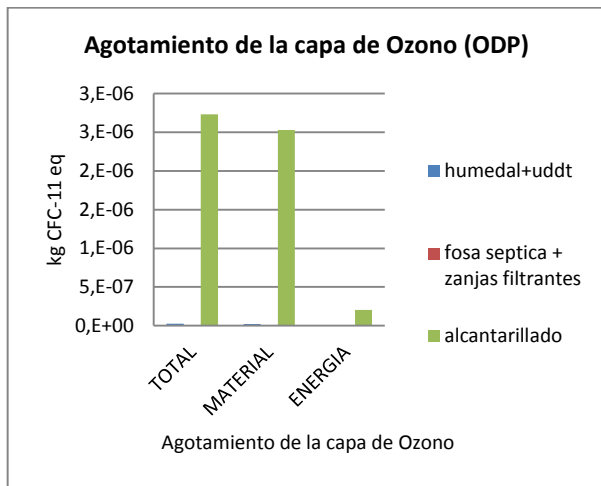


Tabla 7.19. Resultados del agotamiento de la capa de Ozono

7.4.3 Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos se han presentado en las tablas 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 en valores absolutos en las unidades correspondientes de cada categoría. Dentro de cada categoría de impacto se refleja el impacto total así como el de los materiales y la energía por separado. Esta interpretación determina cual es el elemento más influyente en el proceso y por tanto el que podría ser modificado para reducir el impacto.

En general dentro de cada categoría el impacto total sigue el mismo patrón siendo el mayor impacto el de los materiales. En el escenario del alcantarillado el impacto es en todas las categorías significativamente mayor que el obtenido en los otros escenarios. Los valores obtenidos para los escenarios del humedal + UDDT y para la fosa séptica + zanjas filtrantes son muy parecidos en todas las categorías.

De acuerdo con este análisis el escenario de la fosa séptica + zanjas filtrantes aparece como la mejor solución en cada categoría de impacto.

En este estudio sólo se ha analizado el impacto en la construcción de los diferentes escenarios. Una vez en la fase de explotación, la posibilidad de la reutilización del agua y la fabricación de compost que genera el escenario del humedal + UDDT, y dado que durante la construcción las diferencias de los valores del impacto con el escenario de la fosa séptica son mínimas, se puede concluir que este escenario también es una buena opción.

La mayor contribución al calentamiento global se produce en escenario del alcantarillado debido al consumo elevado de gasolina y electricidad en su construcción. No es rentable ni económica ni ambientalmente la construcción de un sistema de conducción de agua para explotación de una sola familia. En el humedal, la contribución de CH₄ en esta categoría de impacto es negligible, como resultado del bajo CH₄ encontrado en este tipo de sistemas (Technical, economic and environmental assessment of sludge, 2010)

Finalmente para la mejor elección de un sistema de tratamiento de aguas residuales entre las alternativas existentes es la que sea más apropiada a las condiciones locales de cada lugar.

8 Conclusiones

A continuación se detallan las conclusiones obtenidas después de la realización de este trabajo:

- Las tecnologías de Saneamiento Sostenible son una alternativa de saneamiento que permite el uso responsable del agua, la reutilización de los nutrientes como abono y la obtención de energía renovable como el biogás (sus emisiones de CO₂ son neutras al tratarse de un combustible que proviene de la biomasa).
- Actualmente este tipo de tecnologías son más utilizadas en países en vías de desarrollo, Debido a que en la mayoría de los casos se pueden construir con materiales de la zona y por tanto son más económicas. Aunque cada vez se van implementando más en países desarrollados con la construcción de viviendas “sostenibles”.
- El éxito de estas tecnologías se basa en gran medida en la aceptación por parte de sus usuarios. En el caso de Tututepec se ha comprobado que en las revisiones periódicas que se realizaron a las familias que tenían instalado un UDDT, el 50,6% de estas obtuvieron observaciones negativas, de hecho, de ese 50,6% sólo el 34,6% mantenía el uso del UDDT. Lo cual significa que la aceptación de esta tecnología no fue óptima. En el caso de Kumasi la falta de aceptación también redujo los resultados del proyecto. Por tanto, en la aplicación de estos sistemas de saneamiento, se debe insistir en la educación de la población respecto a este tipo de tecnologías.
- El hecho de que los sistemas de Saneamiento Sostenible generen beneficios económicos, no sólo ambientales, como es el caso de la planta de biogás de Naivasha, propicia que sean empresas privadas las que se interesen por su gestión. De esta manera se consigue un uso y mantenimiento adecuados.
- Las tecnologías de saneamiento sostenible además de ser rentables ambientalmente también pueden serlo económicamente si están bien gestionadas.
- El coste económico a nivel de una familia rural de la implantación de un sistema de Saneamiento Sostenible en su casa es más elevado que el convencional debido a que es menos común y no está tan generalizado. Pero los beneficios que obtiene la familia a largo plazo son más elevados.
- En las casas rurales aisladas sin sistemas de saneamiento iniciales el hecho de construir un sistema de baño seco (sin caseta) y un humedal artificial es un 61% más caro que la construcción de una fosa séptica con un sistema de zanjas filtrantes. Pero en la explotación de los sistemas el humedal artificial permite un ahorro de prácticamente el 100% de las aguas grises, con este sistema una familia de tres personas recupera 300 L de agua extra al día.
- En comunidades rurales la implantación de sistemas de Saneamiento Sostenible comunes reducen los costes y aumentan los beneficios.
- Con un humedal construido de 4m² se consigue una reducción del 70% de DBO₅, con lo cual está dentro de la normativa DE 91/271/CEE para el vertido de para poblaciones de 2000 a 15000 habitantes equivalentes.
- Los impactos ambientales derivados de la construcción del baño seco y el sistema de humedales artificiales, de la fosa séptica con sistema de zanjas filtrantes y la conducción de agua hasta el sistema de alcantarillado municipal, siguen, en general los mismos patrones en todas las categorías, siendo el mayor impacto producido el de los materiales. En el escenario del alcantarillado el impacto es en todas las categorías significativamente mayor que el obtenido en los otros escenarios. Los valores obtenidos para los escenarios del humedal + UDDT y para la fosa séptica + zanjas filtrantes son muy parecidos en todas las categorías

- La mayor contribución al calentamiento global se produce en escenario del alcantarillado debido al consumo elevado de gasolina y electricidad en su construcción.

8.1 Recomendaciones y líneas futuras

A continuación se describen algunas recomendaciones a tener en cuenta si se quiere seguir la línea de investigación.

- En este trabajo no se ha tenido en cuenta en el Análisis del Ciclo de Vida la explotación de las tecnologías. Se recomienda que para estudios futuros también se analice ese aspecto.
- Se han comparado las diferentes alternativas de saneamiento para una sola familia. Se recomienda analizar los resultados para la posible implantación en toda una comunidad.
- A partir de este proyecto se podría desarrollar una propuesta de implantación de un sistema de Saneamiento Sostenible para toda la aldea de El Calabacino. Se pueden realizar los mismos cálculos incluyendo a dos familias para reducir los costes de construcción, facilitar el mantenimiento y aumentar así los beneficios.

9 Bibliografía

A safe operating space for humanity. **Rockström, Johan. 2009**. Stockholm : Macmillan Publishers Limited, 2009, Vol. 461.

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). 2010. AEMET. [En línea] 2010. <http://www.aemet.es/es/portada>.

Álvarez de la Puente, José María. 2006. *Manual de Compostaje para Agricultura Ecológica*. Sevilla : Junta de Andalucía, 2006.

Aquagest Levante. 2010. Aquagest Levante. [En línea] 2010. <http://www.aquagest-levante.es/ESP/479.asp>.

Burke, D. 2001. *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Olympia : Environmental Energy Company, 2001.

Caballero, Ismael. 2004. Depuración biológica de aguas. [En línea] 2004. www.ecohabitar.org.

Centro Agroecológico-Las cañadas. 2008. Manual del Cultivo Biointensivo de Alimentos. *Bosque de niebla*. [En línea] 2008. <http://imagopost.com/ecoaldeasmexico/DOWNLOADS/ManualHuertoBiointensivo.pdf>.

DWC DecRen Water Consult. 2010. DecRen Water Consult. [En línea] 2010. <http://www.dwc-water.com>.

Ecosan Services Foundation (ESF). 2009. *UDDT Construction Manual*. Pune : ecosan@ecosanservices.org, 2009.

European Comission. 2010. EuropeAid Development and Cooperation. [En línea] 2010. <http://ec.europa.eu/europeaid/where/acp/regional-cooperation/water/>.

García Serrano, Joan y Corzo Hernández, Angélica. 2008. *Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Barcelona : UPC, 2008. <http://hdl.handle.net/2117/2474>.

Gunnerson, C y Stuckey, D. 1986. *Anaerobic Digestion. Principles and Practices for Biogas Systems*. Washington : World Bank, 1986.

Hoffmann, Heike. 2007. *Ejemplo para un saneamiento ecoeficiente con reuso total de efluentes y biosólidos tratados*. Lima : Rotaría del Perú SAC, 2007.

Huelva Información. 2008. [En línea] 28 de 12 de 2008. <http://www.huelvainformacion.es/article/provincia/312401/calabacino/una/aldea/alajar/donde/se/practica/neorruralismo.html>.

Ibercal. 2010. Boletín Técnico Informativo- Cal Hidráulica. [En línea] 2010. <http://www.dbblok.es/fichas/FICHA%20TECNICA%20CAL%20HIDRAULICA%20NATURAL.pdf>.

Instituto nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán". 2009. *Manual de Producción de Hortalizas de Traspatio sin Agroquímicos*. México : Centro de Capacitación Integral para Promotores Comunitarios, 2009.

International Water Association. 2003. «10 Recommendations for Action». *International Ecosan Symposium*. Lübeck, Germany : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2003.

ITeC. 2011. [En línea] Enero de 2011. <https://www.itec.cat/noumetabase2.e/Presentacio.aspx?page=banchbedec>.

- Jeppesen, B y Solley, D. 1994.** *Domestic greywater reuse: Overseas practice and its applicability to Australia.* Brisbane : Research Association of Australia, 1994. Research Report No. 73.
- Kossmann. 2002.** *Biogas Digest.* Eschborn : GTZ, 2002. Vol. I.
- Lara Borrero, Jaime Andrés. 1999.** *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.* Barcelona : UPC, 1999.
- Moss, A, Jouany, J y Newbold, J. 2000.** Methane production by ruminants: its contribution to global warming. s.l. : Annales de Zootechnie, 2000, Vol. 49, págs. 231-253.
- Mustin, M. 1987.** *Le compost. Gestion de la matière organique.* . Paris : Éditions François Dubusc, 1987.
- Naciones Unidas . 2008.** *The Millenium Development Goals Report 2008.* 2008.
- Netherland Water Partnership. 2006.** *Smart Sanitation Solution.* s.l. : NWP, 2006.
- Organización Panamericana de la Salud. 2005.** *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado.* Lima : Organización Panamericana de la Salud, 2005.
- Panse, Dayanand, et al. 2009.** *UDDT Construction Manual.* India : Ecosan Services Foundation, 2009.
- Reed, CS, Crites, RW y Middlebrooks, EJ. 1995.** *Natural systems for waste management and treatment.* New York : McGraw-Hill, 1995.
- Rodríguez, José. 1993.** Fertilizantes y Enmiendas Orgánicas. [aut. libro] J. Rodríguez. *Manual de Fertilización.* s.l. : José Rodríguez y Julio Donoso, 1993.
- Ronald, Crites y Tchobanoglous, George. 1998.** *Small and Decentralized Wastewater.* s.l. : Water Resources and Environmental Engineering, 1998.
- Rotaria del Perú SAC. 2011.** *Manual para construir el Baño Ecológico Seco.* [Documento] Lima : s.n., 2011.
- Sánchez Font, David. 2010.** *Depuración de aguas residuales de una población mediante humedales artificiales.* Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- Technical, economic and environmental assessment of sludge.* **Uggett, Enricai, et al. 2010.** Barcelona : Elsevier Ltd, 2010, Vol. 45.
- Tilley, Elizabeth, et al. 2008.** *Compendium of Sanitations Systems Technologies.* Dübendorf : Eawag, WSSCC, 2008.
- Torrance, George W. 1991.** *Métodos para la evaluación económica de los programas de atención de la salud.* Madrid : Diaz de Santos, 1991.
- Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. 2001.** *Guía de diseño para captación de agua de lluvia.* Lima : Organización Panamericana de la Salud, 2001.
- Unións Agrarias - UPA. 2006.** *Manual Básico de Agricultura Ecológica.* Santiago de Compostela : s.n., 2006.
- Vivanco Rodríguez, Julio. 2009.** *Reutilizar el Agua.* Buenos Aires : CENEAM (Centro Nacional de Educación Ambiental), 2009.
- Werner, U, Stöhr, U y Hees, N. 1989.** *Biogas plants in animal husbandry.* s.l. : Deutches Zentrum für Entwicklungstechnologien (GTZ), 1989.

Yocum, Dayna. 2008. *Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento.* [ed.] Bren School of Environmental Science and Management. Santa Barbara : University of California, 2008.

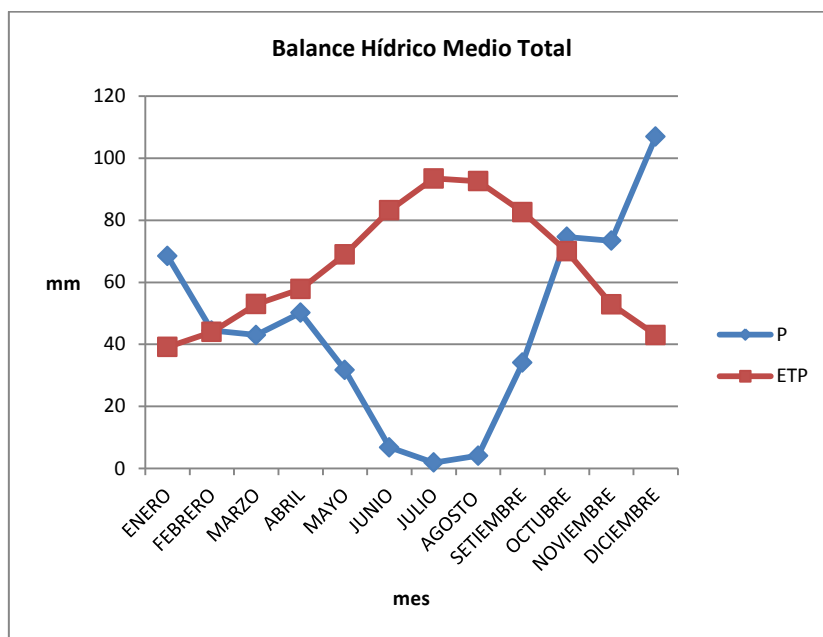
ANEXOS

ANEXO I: BALANCE HÍDRICO

Con el balance hídrico se estiman los cambios producidos en el caudal del vertido a consecuencia de los factores climatológicos que suceden en el tiempo que el flujo de agua permanece en el humedal.

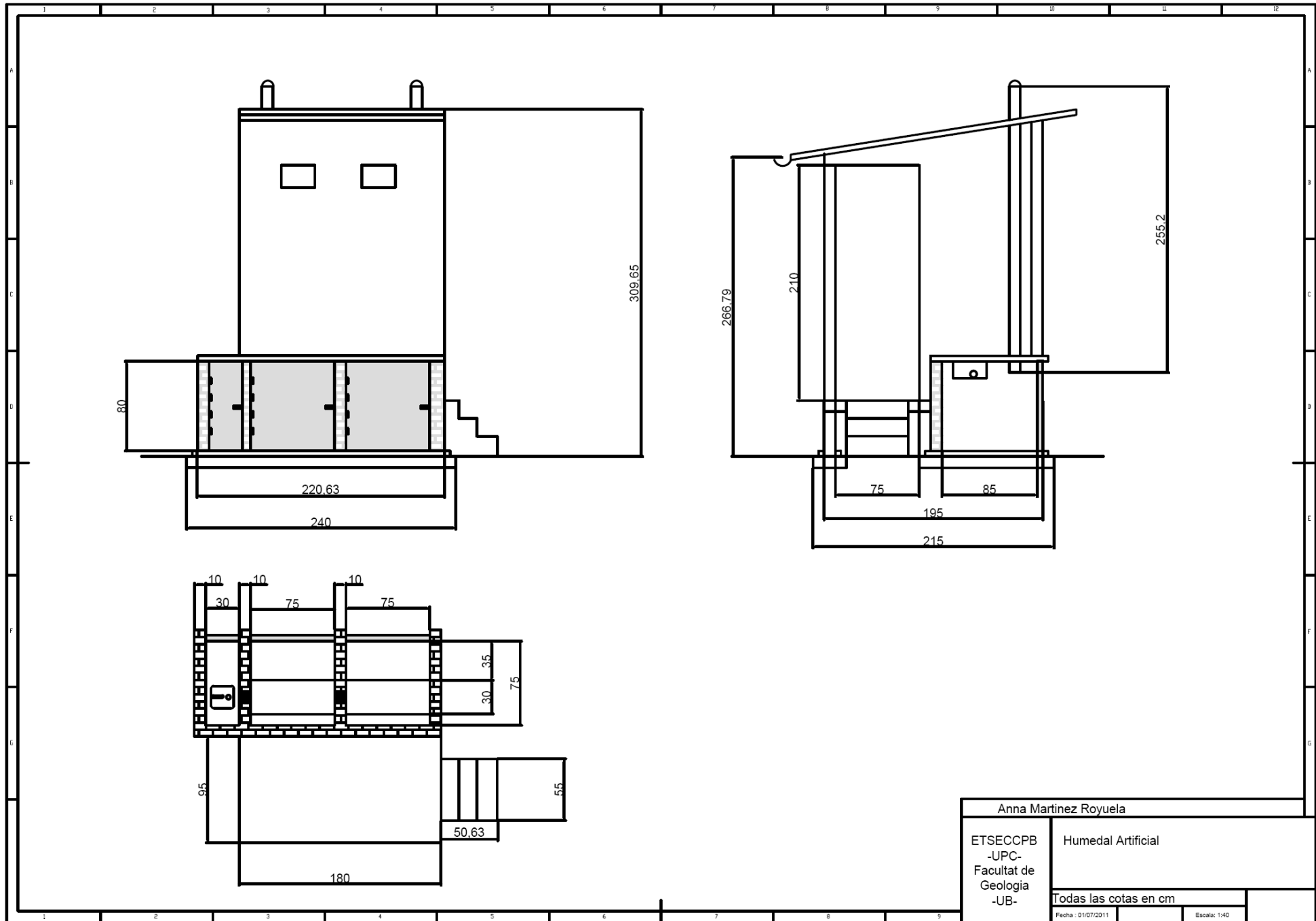
A continuación se detallan los datos obtenidos del balance hídrico de la provincia de Huelva de 1989 a 2009 (Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 2010).

Balance hídrico en la provincia de Huelva de 1989 a 2009												
MEDIA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
P(mm)	68,49	44,44	43,01	50,16	31,69	6,78	1,88	4,07	34,05	74,63	73,41	106,99
T(°C)	11,38	12,79	15,40	16,82	20,07	24,20	27,18	26,93	24,04	20,36	15,39	12,51
ETP	39,13	43,96	52,95	57,83	69,01	83,21	93,45	92,59	82,66	70,00	52,92	43,01



ANEXO II: Planos

A continuación se incluyen los planos referentes al baño seco con separación de orina y al humedal artificial diseñados en nuestra propuesta de Saneamiento Sostenible.



Anna Martínez Royuela

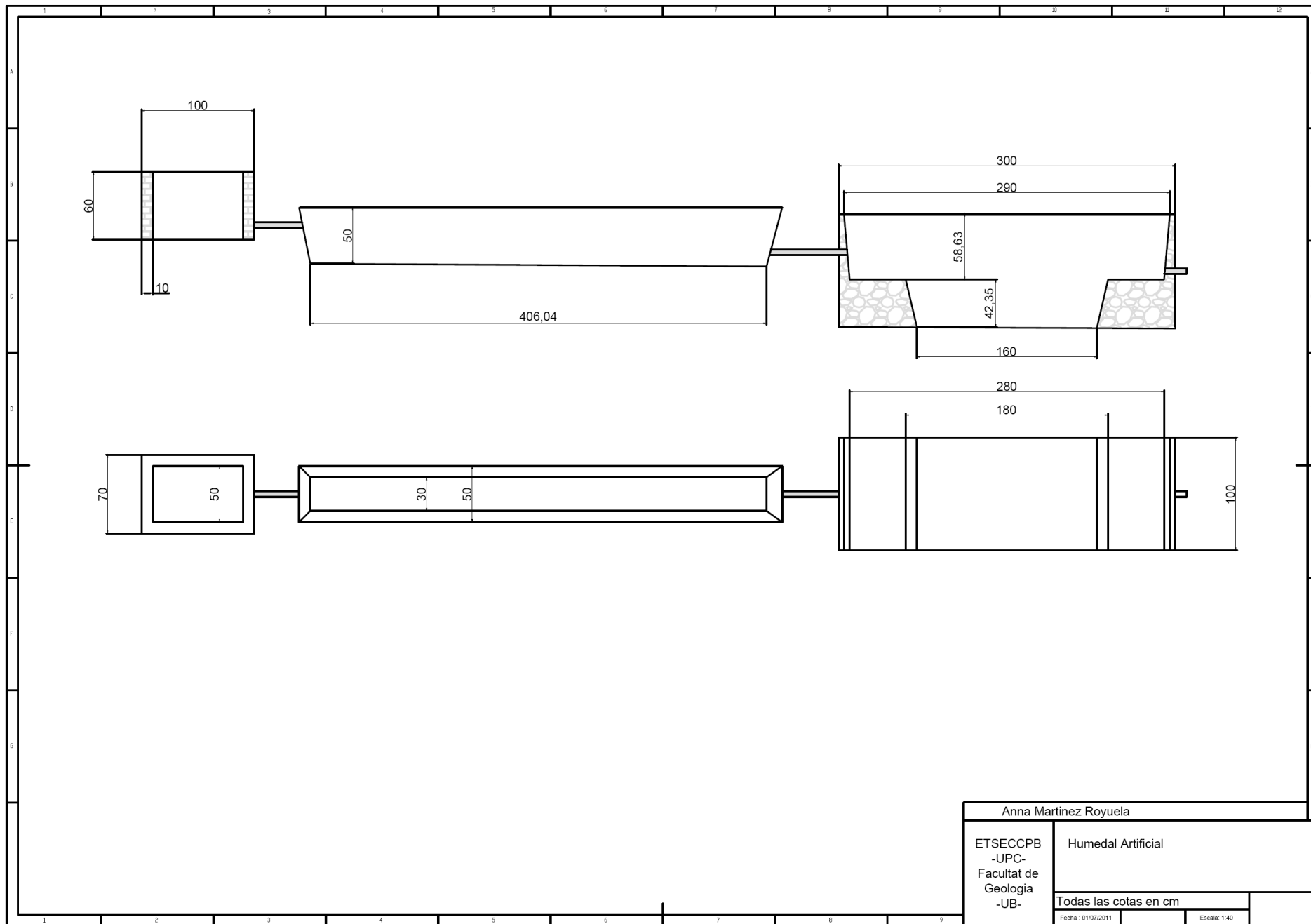
ETSECCPB
-UPC-
Facultat de
Geologia
-UB-

Humedal Artificial

Todas las cotas en cm

Fecha : 01/07/2011

Escala: 1:40



Anna Martínez Royuela	
ETSECCPB -UPC- Facultat de Geologia -UB-	Humedal Artificial
Todas las cotas en cm	
Fecha: 01/07/2011	Escala: 1:40

ANEXO III: Presupuestos

En este Anexo se detallan los presupuestos correspondientes a la construcción de las diferentes alternativas propuestas en este trabajo.

Presupuesto construcción de un sistema de baño seco (con caseta incluida)				
MATERIALES	UNIDADES	U.M	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Ladrillo doble hueco 240x115x70mm, categoría I, LD, según la norma UNE-EN 771-1	160	u	0,11	17,60
Rasilla cerámica 37x37x1,4cm	10	u	0,88	8,80
Teja árabe cerámica mec.,color rojo,25u/m2	233	u	0,45	104,85
Cal hidráulica natural NHL5	80	Kg	0,28	22,40
Arena de cantera de piedra granítica para morteros	0,16	t	30,65	4,90
Tubo PVC, DN=110mm, PN=6bar, p/encolar, UNE-EN 1452-2	5	m	2,50	12,50
Tubo PVC, DN=50mm, PN=6bar, p/encolar, UNE-EN 1452-2	2	m	0,54	1,08
Codo de PVC de 90° de 50 mm de DN, de 4 bar de presión nominal con dos uniones para encolar	2	u	4,50	9,00
Te PVC, DN=110mm, PN=6bar	2	u	5,50	11,00
Canalón exterior semicirc.PVC rígido, D=150mm	2	m	3,96	7,92
Puerta acero galv. 80x75cm (0,6 m2)	0,6	m2	100,00	60,00
Puerta acero galv. 80x30cm (0,24 m2)	0,24	m2	100,00	24,00
Marco moche.p/puerta pino flandes p/luz marc.=60cmx190cm	1	u	67,84	67,84
Puerta exterior de madera/Hoja bat.puert.ext.35mm,catalán,maciza,60cmx190cm	1	u	72,41	72,41
Malla el.b/correg.ME 30x15cm,D:4-4mm,6x2,2m B500T, puesta en obra y elaborada en taller	6	m2	1,09	6,54
Inodoro btw,sal.orientable,380x510mm y asiento inodoro btw	1	u	104,70	104,70
Tornillos p/made.o tac.PVC	0,5	kg	3,30	1,65
Tornillos p/yeso lam.,galvanizados,3,5x70mm	0,5	kg	23,60	11,80
Bidón 20l	1	u	10,75	10,75
Pilares de madera 2,50m Ø140mm	4	u	19,00	76,00
Viguetas de madera 2,50m Ø100mm	4	u	9,25	37,00
Vigas de madera 3m 58x145mm	8	u	24,69	197,52
Listones de madera 2,50m 45x45mm	8	u	4,38	35,04
Tarima de madera machihembra	2	m2	10,90	21,80
Tabla de madera	10	m2	10,50	105,00
Costeros	150	u	4,35	652,50
Pestillos	3	u	1,50	4,50
Bisagras	6	u	1,00	6,00
TOTAL				1695,10
Personal - Mano de Obra				1764,17
Imprevistos				100,75
TOTAL PRESUPUESTO				3560,02

Presupuesto construcción de un humedal artificial

MATERIALES	UNIDADES	U.M	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
------------	----------	-----	-----------------	---------------

Ladrillo doble hueco 240x115x70mm, categoría I, LD, según la norma UNE-EN 771-1	356	u	0,11	39,16
Cal hidráulica natural NHL5	778	Kg	0,28	217,84
Grava piedra calc.12mm,p/horms	1,2	t	17,7	21,24
Arena de cantera de piedra granítica para morteros	0,36	t	30,65	11,034
Arena piedra granit.	0,975	t	19,99	19,49025
Phragmites australis h=40-60cm, en contenedor 1,3l	3	u	2,13	6,39
Suministro Typha angustifolia alveolo forest.300cm3	3	u	0,72	2,16
Suministro Scirpus holoschoenus alveolo forestal 200cm3	3	u	0,71	2,13
Suministro Lemna Minor alveolo forestal 200cm3	1	u	0,5	0,5
Válv.reduct.rosca,DN=3/8",PN=25bar,difer.19-24bar,latón,precio medio,superf.	2	u	29,05	58,1
Tubo PP-R en barra D=90mm PN 10bar, soldado,dific.mediano,col.fondo zanja,Niron de ITALSAN	2	m	11,06	22,12
Malla el.b/corrug.ME 30x15cm,D:4-4mm,6x2,2m B500T, puesta en obra y elaborada en taller	4,6	m2	1,09	5,014
Excavación zanja/pozo h<=1,5m,tierr.compact.,m.mec.,car.mec	3,85	m3	7,01	26,9885
TOTAL				432,17
Personal - Mano de Obra				848,6
Imprevistos				30,60
TOTAL PRESUPUESTO				1311,37

Presupuesto construcción de una fosa séptica y zanjas filtrantes				
MATERIALES	UNIDADES	U.M	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL

Ladrillo doble hueco 240x115x70mm, categoría I, LD, según la norma UNE-EN 771-1	200	u	0,11	22,00
Mort.albañilería M10,sacos,(T) UNE-EN 998-2+retenedor de agua	0,15	t	43,31	6,50
Puerta acero galv.90x90cm (0,81m2)	0,81	m2	100,00	81,00
Canalón exterior semicirc.PVC rígido,D=150mm	40	m	3,96	158,40
Excavación zanja/pozo h<=1,5m,tierr.compact.,m.mec.,car.mec	3,36	m3	7,01	23,5536
TOTAL				291,45
Personal - Mano de Obra				180,00
Imprevistos				30,00
TOTAL PRESUPUESTO				501,45

Presupuesto construcción de alcantarillado				
MATERIALES	UNIDADES	U.M	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Tubo PE 80, DN=90mm,,serieSDR 17.6,soldado,col.fondo zanja	1500	m	10,15	15225
Mort.albañilería M10,sacos,(T) UNE-EN 998-2+retenedor de agua	0,025	t	43,31	1,08275
Pared pozo D=80cm, piezas prefab.horm.,col.mort.1:6	30	m	63,67	1910,1
Marco+tapa,p/pozo reg.,fund.gris,D=70cm,peso=145kg,col.mort	30	u	89,39	2681,7
Mortero cemento pórtland+caliza CEM II/B-L,arena piedra granit.,250kg/m3 cemento,1:6,5N/mm2,elab.en obra,hormigonera 165l	60	m3	78,64	4718,4
Excavación desmonte terr.n/clasf.,m.mec.,carga cam.	1323	m3	2,76	3651,48
TOTAL				28187,76
Personal - Mano de Obra				9435,17
Imprevistos				1415,29
TOTAL PRESUPUESTO				39038,23

OBSERVACIONES: Presupuestos basados en el Banco BEDEC (ITeC), Enero 2011, para España

El Banco BEDEC es un banco estructurado de datos de elementos constructivos de precios de referencia y pliegos de condiciones técnicas de edificación, rehabilitación y restauración, urbanización e ingeniería civil.