

INGENIERÍA AMBIENTAL BASADA EN LA NATURALEZA

AUTORÍA:

Clara Lebrato Vázquez,
Dolores Garvi Higuera,
María del Carmen Mármol Vidal,
José Ignacio Pardo,
María Ángeles García Arévalo,
Alphonse MAYELA Mavungu y
Julián Lebrato Martínez.
Grupo TAR-Ingeniería para Transformar.
Universidad de Sevilla.

PROMOVIDO POR:

ONGAWA.

FINANCIADO POR:

Agencia Andaluza de Cooperación
Internacional para el Desarrollo (AACID).

ILUSTRACIONES:

Grupo TAR-Ingeniería para Transformar.

FOTOGRAFÍAS:

Grupo TAR-Ingeniería para Transformar.
Fundación MAYELA.

MAQUETACIÓN

Manuel G. Teigell.

FEBRERO 2022

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de su autoría y no refleja necesariamente la opinión de ONGAWA ni de la AACID.

Esta obra está sujeta a la licencia Reconocimiento-
noComercial-sinobra Derivada 2.5 España de
Creative Commons.

Para ver una copia de esta
licencia, visite:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/>

La investigación de este libro ha sido realizada por el Grupo Tar, RNM159 Plan de Investigación PAIDI de la Junta de Andalucía, Universidad de Sevilla, a lo largo de muchos años en diferentes lugares del mundo con la autoconstrucción de los distintos sistemas por parte de las comunidades implicadas.

El Grupo Tar sigue trabajando para desarrollar y mejorar tanto estas como futuras tecnologías. Toda esta información es libre, accesible y compartida, además está disponible para todo el mundo en su página web donde se irá actualizando:
<https://aula.aguapedia.org/login/index.php>

ÍNDICE

| | | | | |
|--|-----------|--|---|-----------|
| 1. Introducción | 4 | | 6. Saneamiento | 27 |
| 2. Contexto y antecedentes | 6 | | 6.1. Fundamentos | 27 |
| 2.1. República Democrática del Congo | 6 | | 6.1.1. Reja de saneamiento | 28 |
| 2.2. Kimpese | 7 | | 6.1.2. Saneamiento en arriate | 28 |
| 2.3. Fundación MAYELA y Asociación PRODELVU | 8 | | 6.2. Diseño | 29 |
| 3. Herramientas | 9 | | 6.2.1. Reja de saneamiento | 29 |
| 3.1. Sistemas naturales de alta velocidad - SNAV | 9 | | 6.2.2. Saneamiento en arriate | 34 |
| 3.1.1. Pendiente natural | 10 | | 6.3. Ejecución | 36 |
| 3.1.2. Drenaje del suelo | 10 | | 6.3.1. Reja de saneamiento | 36 |
| 3.1.3. Bambú o madera de la zona | 10 | | 6.3.2. Saneamiento en arriate | 37 |
| 3.1.4. Degradación microbiana | 10 | | 7. Tratamiento de agua residuales | 39 |
| 3.1.5. Difusión de los gases | 10 | | 7.1. Fundamentos | 39 |
| 3.1.6. Reforestación y revegetación | 10 | | 7.1.1. Fosa anaerobia de alta velocidad | 39 |
| 3.1.7. Tamaño de la basura | 10 | | 7.1.2. Canal de plantas | 40 |
| 3.1.8. Sedimentación | 10 | | 7.1.3. Escalera de oxigenación | 42 |
| 3.1.9. Aireación por gravedad | 10 | | 7.2. Diseño | 43 |
| 3.2. Herramientas de autoconstrucción | 11 | | 7.2.1. Fosa anaerobia de alta velocidad | 43 |
| 3.2.1. Herramientas de albañilería | 11 | | 7.2.2. Canal de plantas | 46 |
| 3.2.2. Inclinómetro artesanal | 11 | | 7.2.3. Escalera de oxigenación | 47 |
| 3.2.3. Ladrillos de adobe | 11 | | 7.3. Ejecución | 51 |
| 3.2.4. Capa impermeabilizante asfalto natural | 12 | | 7.3.1. Fosa anaerobia de alta velocidad | 51 |
| 3.2.5. Pisón o apisonadora manual | 12 | | 7.3.2. Canal de plantas | 52 |
| 3.2.6. Escobas | 12 | | 7.3.3. Escaleras de oxigenación | 54 |
| 4. Plantas | 14 | | 8. Gestión de basuras | 56 |
| 4.1. Tipo de plantas acuáticas | 14 | | 8.1. Fundamentos | 56 |
| 4.1.1. Flotantes | 14 | | 8.1.1. Compostaje in situ de basurales | 57 |
| 4.1.2. De fondo o aguas profundas | 15 | | 8.1.2. Vertedero horizontal | 57 |
| 4.1.3. De ribera, orilla o palustres | 15 | | 8.2. Diseño | 59 |
| 4.2. Secuencia de plantas | 16 | | 8.2.1. Compostaje in situ | 59 |
| 5. Calles secas | 17 | | 8.2.2. Vertedero horizontal | 63 |
| 5.1. Fundamentos | 17 | | 8.3. Ejecución | 69 |
| 5.1.1. Caminos drenantes | 17 | | 8.3.1. Situación inicial | 69 |
| 5.1.2. Pozo de infiltración | 18 | | 8.3.2. Organización del plan y de la participación urbana | 69 |
| 5.2. Diseño | 19 | | 8.3.3. Compostaje in situ | 69 |
| 5.2.1. Caminos drenantes | 19 | | 8.3.4. Vertedero horizontal | 71 |
| 5.2.2. Pozo de infiltración | 20 | | 8.3.5. Mantenimiento | 73 |
| 5.3. Ejecución | 22 | | 9. Conclusiones | 74 |
| 5.3.1. Situación inicial | 23 | | 10. Bibliografía | 77 |
| 5.3.2. Calles secas | 23 | | | |
| 5.3.3. Pozo de infiltración | 25 | | | |

1. INTRODUCCIÓN

En la situación actual de infravivienda y barrios desfavorecidos para millones de personas en el mundo, el grupo Tar (ingeniería para transformar la realidad) asume la necesidad de propiciar urgentemente mejoras de calidad de vida de tantos sin futuro cierto.

Nuestro grupo ha trabajado en muchos entornos y países, Cuba en Sancti Spiritus en una calle seca, Tarija en Bolivia una fosa anaerobia de alta velocidad y un canal de piedras, Managua en Nicaragua una depuradora de lecho de piedra más calle seca más saneamiento de las viviendas de la calle. El Chaco, Córdoba, Argentina, en tratamiento de aguas de consumo humano, San Bartolomé de las Casas en Chiapas, México, un canal de aguas residuales, el pozo de infiltración desarrollado por nuestros alumnos de Guatemala en Chimaltenango y, por fin, en Kimpese (R. D. del Congo) donde hemos realizado todo un compendio de trabajos ambientales, gestión de basuras y tratamiento de aguas, calles secas y canales de desagüe, y después en producción alimentaria, piscihuerta, y repoblación forestal, venta in situ y venta on line (vía WhatsApp) y en una escuela ambiental, en Honduras diseñamos la naturalización del río Choluteca para un proyecto de la AECID y desarrollamos un saneamiento para tuberías aisladas urbanas que afectan a la salud ciudadana.

Nuestro esfuerzo en estos años ha sido generar un conocimiento posible para la autoconstrucción de las soluciones propuestas por los propios interesados y de abrirlo sin límite alguno a un uso libre, accesible y compartido como en este documento. Esto lo hemos ido desarrollando a la vez que trabajamos en cada entorno y sobre todo en ensayos piloto realizados en Sevilla en la Planta experimental de Carrión de los Céspedes en Sevilla, de la Junta de Andalucía, en el Centro educativo provincial de Blanco White de la Diputación de Sevilla, donde aprendimos muchas de las técnicas

que luego fuimos aplicando en las experiencias reales posteriores y en la piscihuerta piloto de Torreblanca (Sevilla).

Cuando empezamos el camino solitario de hacer una ingeniería inclusiva para todos los habitantes del planeta, nos volvimos a la naturaleza como única salida a nuestra ignorancia, a una ingeniería que habíamos aprendido que no tiene respuestas posibles para estas situaciones.

Fuimos viendo que desde antaño algunas comunidades han sabido manejar sus aguas negras de forma que protegían a su población de las enfermedades hídricas. De alguna manera, fue cuando se abrió una brecha en el conocimiento de los pueblos que se pierden estos conocimientos y como consecuencia, se pierde la salud, la calidad de vida, hasta la misma vida de los ciudadanos. Por ello, es urgente difundir este conocimiento antes de que se arrincone definitivamente todo el conocimiento robado por el “progreso”.

Reaprender de la naturaleza lo que sabían nuestros antepasados, proteger nuestra tierra con el respeto a todos sus habitantes para encontrar ese equilibrio destruido por la avaricia del mercado, supuestamente libre, que destruye todo lo que toca, pero que no parará de hacerlo si no es naturalizando actitudes y mentalidades.

En el grupo Tar trabajamos en la aplicación de la ingeniería ambiental posible, aprendiendo de la Naturaleza que nos regala la energía solar cada día y aprovechar su experiencia de años en la autoconstrucción, o construcción local, de los

sistemas que necesitan los propios ciudadanos interesados, para trabajar con los materiales accesibles del entorno cercano.

En nuestra larga experiencia nos encontramos un factor común en todas las situaciones, son las mujeres y sus hijos jóvenes impulsados por ellas las que toman la delantera en el trabajo comunitario para resolver los problemas ambientales de la comunidad, es un hecho repetitivo que da un enfoque de género a nuestra actividad en todos estos barrios de diferentes países.

La mayoría de los trabajos y actividades se han dirigido presencialmente, pero en el caso de Kimpese (R.D. del Congo) no ha sido así. Debido a una guerra civil encubierta, a problemas de seguridad y por último, a la pandemia ha sido imposible desplazarse hasta allí. Se ha trabajado de la mano de Alphonse, presidente de la Fundación MAYELA, con la que colaboramos allí. Alphonse se desplaza una vez al año y trabaja con nuestros jóvenes ingenieros en formación de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla para formular nuevas propuestas de soluciones y montarlas experimentalmente en las experiencias piloto desarrolladas con el grupo Tar. El resto del año la comunicación se realiza a distancia, con una comunicación constante vía WhatsApp, ya que internet allí es menos fiable en general y el WhatsApp funciona mejor. Una forma novedosa de hacer ingeniería.

Hay que destacar el papel protagonista de los alumnos de tecnología ambiental de nuestra escuela en sus prácticas y trabajos fin de grado sobre los temas de ingeniería para el desarrollo humano en Kimpese, que luego matizados por el grupo y con la dirección de Alphonse van realizándose sobre el terreno. Esta forma de hacer ingeniería nos lleva a buscar la manera de comunicar lo aprendido de forma más eficaz para poder llegar a más lugares.

Llevamos más de veinte años desarrollando ingeniería posible en Latinoamérica y ahora en África. Pero vemos que nuestra web se nos queda estrecha para llegar a más comunidades que puedan necesitar todos estos conocimientos.

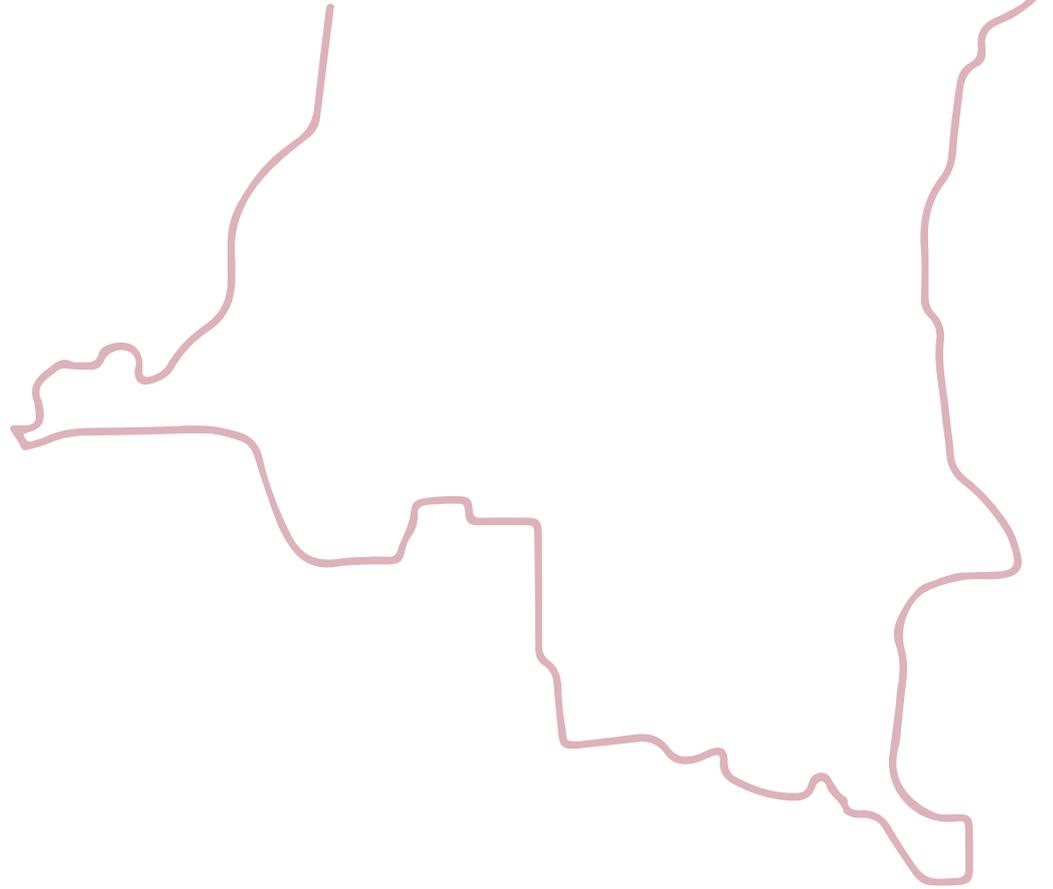
Por eso este documento es la gran ocasión para hacer llegar a la mayor cantidad de vecinos y comunidades con problemas ambientales en su vida diaria esta especie de manual con soluciones para problemas demasiado típicos: charcos enormes, basuras por las calles, aguas residuales inmundas, pozos para riego... Todo nuestro conocimiento y nuestro apoyo lo ponemos a disposición de todas las comunidades para la autoconstrucción con sus propias manos de sus instalaciones ambientales, de su salud y su autoestima, es decir, de su calidad de vida.

Este trabajo se enmarca en el proyecto “Soluciones basadas en la Naturaleza para un desarrollo sostenible e inclusivo”, liderado por Ongawa - Ingeniería para el Desarrollo Humano y financiado por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional al Desarrollo, AACID. La iniciativa busca explorar la aplicabilidad de las Soluciones basadas en la Naturaleza para dar respuesta a los retos principales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, recopilando y analizando algunas experiencias existentes, como es el caso de la del grupo Tar en Kimpese.

La publicación ofrece una descripción completa de las principales soluciones de ingeniería ambiental, implementadas en Kimpese, bajo la supervisión del grupo Tar, todas ellas inspiradas y guiadas por procesos naturales manejados para conseguir los beneficios esperados (Soluciones basadas en la Naturaleza). El objetivo principal es sistematizar el conocimiento generado a lo largo de la vasta experiencia del grupo, facilitando la extracción y análisis de lecciones aprendidas, así como incentivar su réplica y aplicación por otros actores y en otras zonas.

No podemos acabar esta introducción sin resaltar a nuestros alumnos de cada año de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, que han ido desgranando cada tecnología para generar esta ingeniería ambiental basada en la naturaleza para mejorar la vida de los usuarios y facilitar la necesaria transmisión de los conocimientos para implementarla. Gracias a todos ellos. ●

2. CONTEXTO Y ANTECEDENTES



2.1. REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO

La República Democrática del Congo (RDC) es uno de los países más pobres del mundo y está envuelto en epidemias, conflictos violentos, desastres naturales, aumento de refugiados de otros países cercanos, además de la huida de los mismos congoleños hacia otros países o zonas donde hay menos conflictos, con 5 millones de desplazamientos de personas, todo esto sigue agravando las vulnerabilidades que ya existen [2,32]. Los niveles de pobreza cada vez son más altos, apenas existen servicios. Las discrepancias por los recursos minerales existentes en el país y por las tierras son los que llevan a los conflictos y desplazamientos. Todo esto lleva a conflictos armados que se han agudizado en el 2020 en algunas zonas del país, agravando la inseguridad alimentaria y provocando desnutrición infantil aguda.

Según datos de Unicef en República Democrática del Congo el 23 % de la población adulta no está alfabetizada y el 15% del total de niños y niñas que se matriculan en educación primaria acaban abandonando la escuela [2]. Además, muchas familias no pueden hacer frente a las cuotas escolares. Más del 70% de la población congoleña

vive por debajo del umbral de la pobreza extrema. Además de todo lo indicado, las mujeres congoleñas cada día se enfrentan a mayores problemas como son: la violencia, abusos sexuales y matrimonio infantil.

La República Democrática del Congo cuenta con grandes recursos hídricos. Sin embargo, millones de personas no tienen acceso a agua potable y consumen agua de fuentes insalubres, por lo que están expuestas al riesgo de contraer enfermedades mortales transmitidas por el agua, como el cólera. La guerra y los múltiples conflictos han destruido gran parte de la infraestructura.

En las zonas rurales, la situación respecto al acceso al agua potable y saneamiento no es más alentadora, menos del 42% de la población tiene acceso al agua potable y menos de un 20% cuenta con servicios de saneamiento adecuados [25].

La falta de estos servicios básicos son causantes directos de diarrea, por la que mueren anualmente un 11% de los niños menores de 5 años [21], y de brotes epidémicos de cólera, que causan más de 7.000 muertes al año [15]. ●

2.2. KIMPESE

Kimpese es una ciudad de la provincia de Congo Central en la República Democrática del Congo. Se encuentra en la carretera principal entre la capital del país Kinshasa y la capital de la provincia Matadi. Al norte y sur de la ciudad encontramos afluentes del río Congo. La población de Kimpese era de aproximadamente 70,000 habitantes en 2015 y disfruta de clima tropical húmedo con dos estaciones. Dispone de dos centros hospitalarios (IME y Lamba), centros de salud; tres cadenas de radio comunitarias; escuelas públicas y privadas (36); comunidades eclesíásticas y ONG/D; establecimientos hoteleros y bancarios. Únicos en el territorio de Songololo están tres Institutos Superiores y la Universidad Protestante de Kimpese. Actualmente tiene una gran expansión demográfica debido a su posición geográfica en el cruce de grandes enlaces de carreteras.

La ciudad de Kimpese no tiene agua corriente domiciliaria, tampoco red de saneamiento como tal, solo dispone de canales de evacuación como los que se ven en los capítulos correspondientes del libro y en absoluto tiene tratamiento mínimo de aguas residuales. Por si fueran pocos problemas, los canales suelen estar colmados de basuras por años y propician el encharcamiento general de la ciudad en la época de lluvia.

En 2016, en el barrio Dos de Kimpese, que es donde se realiza la experiencia, había una

población adulta de 8.506 hombres y 9.158 mujeres congoleñas; y 881 hombres y 1.003 mujeres extranjeras. El 50% de la población es analfabeta.

La economía es mayoritariamente de subsistencia (agricultura y comercio informal) y el peso cae entre las mujeres porque los hombres abandonan el hogar en muchos casos. Estas solo cultivan en la estación lluviosa y con menos variedad de cultivos que los hombres. Las agricultoras venden siempre en los mercados locales, a diferencia de los agricultores que se dirigen a Kinshasa o Matadi.

En el año 2013 la Fundación MAYELA contactó con el servicio estadístico del Hospital IME (Instituto Médico Evangélico), donde recopilaron datos sobre el número de enfermos y muertes a causa del vertido incontrolado de residuos y las aguas tanto de lluvia como residuales al descubierto que se estancan y acaban pudriéndose.

Unos datos más actuales, también aportados por el hospital, reflejan que la problemática sigue empeorando puesto que el número de muertes aumenta. En el año 2020 el número de muertos por malaria fue de 82, en 10 años el número de muertos ha crecido muy preocupantemente. De IRA el número de muertos asciende a 44, se ha multiplicado por más de 4. ●

DATOS SOBRE ENFERMEDADES CAUSADAS POR INSALUBRIDAD EN KIMPESE

| AÑO | MALARIA | | IRA* | | DIARREA | | TIFOIDEA | |
|------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|----------|---------|
| | CASOS | MUERTOS | CASOS | MUERTOS | CASOS | MUERTOS | CASOS | MUERTOS |
| 2011 | 3683 | 9 | 619 | 7 | 309 | ? | 24 | 0 |
| 2012 | 3326 | 8 | 130 | 10 | 305 | ? | 04 | 0 |
| 2013 | 3313 | 31 | 698 | 5 | 165 | ? | 25 | 0 |

*IRA: Infección Respiratoria Aguda

2.3. FUNDACIÓN MAYELA Y ASOCIACIÓN PRODELVU

La Fundación MAYELA es un establecimiento de utilidad pública con sede en Kimpese, constituida en 2003. Al frente está el presidente fundador, Alphonse MAYELA Mavungu, junto a un Consejo de Administración.

Esta entidad dedica su trabajo a impulsar el desarrollo integral y sostenible de la persona vulnerable y las acciones a favor de la protección de la naturaleza. Cuenta con el apoyo de la administración pública de la zona (ministros de la provincia de Congo Central, Administrador del Territorio de Songololo y Responsable de Medio Ambiente), la sociedad civil (notables, asociaciones de mujeres, ONG/D) y empresas.

Como contraparte en Sevilla (España), se trabaja con la Asociación PRODELVU, que se constituyó en dicha ciudad en 2013, con el fin de realizar actividades de cooperación internacional para el desarrollo, entre otras. Su presidenta es María Ángeles García Arévalo. Cuenta con 25 socios activos y una treintena de colaboradores.

Su labor consiste en estudiar las necesidades que Fundación MAYELA le transmite de las poblaciones locales, buscar financiación y garantizar los estudios técnicos, la vigilancia y el control de los trabajos conjuntos.

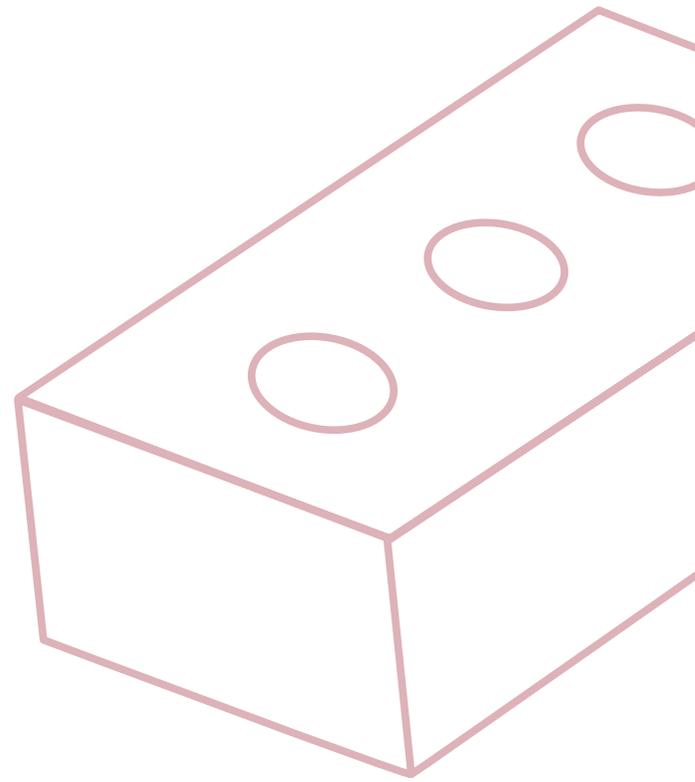
Desde 2013 la Fundación MAYELA ejecuta el proyecto CREREV (Centro de recuperación, encuadramiento y reinserción de niños y niñas vulnerables), en una fase piloto. A través del mismo, se encarga de dar soluciones posibles a la problemática del abandono de niños y niñas por parte de sus familias, trabajando en una solución inmediata, que consiste en recuperar a los niños que están en la calle y redirigirlos para que estudien y tengan nuevas oportunidades. También se encarga de la prevención del problema, trabajando con las familias sin recursos, con el fin de evitar que sus hijos e hijas vayan a la calle y se conviertan en niños de la calle. Así, la Fundación, junto con Centro de Promoción Social de Kimpese, comenzó con el trabajo de la escolarización progresiva de niños vulnerables en 2014.

Las familias con escasos recursos normalmente son familias que se dedican a la agricultura y al comercio informal. El padre y la madre acuden al campo, la mujer además trabaja en la venta. Los hijos e hijas van a la escuela, pero por falta de recursos no pueden pagar las cuotas trimestrales en su momento, por lo que son expulsados. Como consecuencia estos niños pasan cada vez más tiempo en las calles y muchas veces no terminan el curso. Los niños en la calle se dedican a vender. Cada trimestre, al menos un niño se incorpora a la calle, según encuestas sobre el terreno, pasando a ser niños de la calle. En el caso particular de las niñas de la calle, su problemática es más oculta que la de los niños. Colectivos locales de mujeres consideran que numerosas niñas de entre 12 y 18 años que se ven alejadas de la casa de los padres ya que reciben un trato discriminatorio respecto a los niños. Estas, para no ser visibles en la calle, se acogen a una tendera que las tiene por el día como cocinera o camarera en el establecimiento donde viven y ejerciendo la prostitución por la noche.

La Fundación MAYELA, en 2015, contactó con el grupo Tar de la Universidad de Sevilla a través de la Asociación PRODELVU para encontrar una posible solución al problema de los vertidos de residuos en Kimpese. De esa colaboración nació el Plan de Autogestión de Residuos Urbanos en Kimpese (PARK), que tiene como objetivo principal disminuir la tasa de enfermedades de la ciudad de Kimpese (República Democrática del Congo) causadas por la contaminación ambiental. Con una financiación de la Oficina de Cooperación al Desarrollo de la Universidad de Sevilla se pudo empezar la ejecución del proyecto PARK con dos fases, Park I: gestión basuras urbanas y Park II: gestión de aguas residuales urbanas.

Por ello, la presidenta de la Asociación se desplazó en el año 2016 a la RDC para participar en PA-RK-I, sobre la gestión, el aprendizaje y puesta en práctica de la tecnología de bajo coste. También participa en la aplicación en terreno de tecnología de bajo coste con el grupo Tar para la gestión de las aguas residuales y aprovechamiento de los residuos. ●

3. HERRAMIENTAS



En este apartado se explican las diferentes herramientas, tanto naturales como de autoconstrucción, que van a usarse a lo largo de las distintas tecnologías. Muchas de ellas pueden ser requeridas en más de una situación, por ellos están todas aquí recogidas.

3.1. SISTEMAS NATURALES DE ALTA VELOCIDAD - SNAV

Los sistemas naturales son controlados, o cíclicos, de manera que los subproductos de un paso son las materias primas de los siguientes, los procesos ocurren compensando todos los efectos surgidos en cada caso. Los recursos naturales son reciclados uno a uno, sin excepción, de forma que la tierra puede pasar años, millones de años, ciclando y ciclando generaciones de todas las formas vivas que habitan el planeta.

Los sistemas artificiales, con influencia humana, son en muchos casos aleatorios, por tanto, erráticos y de consecuencias imprevisibles a largo plazo, por ello necesitan establecer rutinas sistemáticas de control de procesos, NATURALIZACIÓN, para cerrar los ciclos de la vida.

Entendemos que la ingeniería ambiental debe tratar de compensar las actuaciones humanas sobre el medio natural cerrando los ciclos de la vida en el respeto al desarrollo humano, la biodiversidad de las especies y los sistemas naturales y no diseñar procesos de forma aleatoria, que puedan introducir nuevos factores de inestabilidad peores a medio y largo plazo.

Para ello debemos aprender de la naturaleza y diseñar actuaciones que propicien la evolución de los sistemas perturbados a sistemas naturalizados según nuestro interés en cada caso, de modo que

sean compatibles con la actividad humana y que, además, lo hagan en un tiempo razonable para nosotros, la naturaleza no tiene nuestra prisa. A esto es a lo que desde el grupo Tar le llamamos Sistemas Naturales de Alta Velocidad, SNAV.

Es decir, aplicar los SNAV consiste en propiciar los procesos naturales que nos lleven a la solución de los problemas ambientales planteados en el menor periodo de tiempo posible.

La base de esta propuesta SNAV viene dada por el reconocimiento de que es la naturaleza la que menos "gasta" en manejar los sistemas vivos. Grandes y pequeñas aglomeraciones de especies en diversos espacios, con todo tipo de especificaciones son gestionados por la madre tierra con los menores costes posibles, asumidos en todos los casos por la energía que el sol nos envía cada día.

En el grupo Tar se ha establecido empíricamente que el límite de los costes del proceso, cuando la naturalización tiende a infinito, tiende a cero.

La Naturalización, además de ser la única o mejor solución cuando no hay recursos que aplicar, nos ofrece una vía abierta de ir limitando efectos nocivos en el entorno cercano y disminuyendo su tasa final de emisión de CO₂ a la atmosfera hasta conseguir, al menos, un balance cero CO₂.

3.1.1. PENDIENTE NATURAL

La pendiente es uno de los mayores recursos naturales para combatir el estancamiento del agua o lixiviado. Gracias a la fuerza de la gravedad, esta ayuda a desplazar el líquido desde una parte más alta a otra más baja, como puede ser un río, un lago o un destino para su adecuado tratamiento.

3.1.2. DRENAJE DEL SUELO

A la hora de dispersar el agua, es fundamental tener un buen drenaje para que ésta fluya a través del subsuelo sin llegar a afectar en la superficie. Para ello es necesario un suelo poroso, que es lo que se consigue al colocar las piedras.

3.1.3. BAMBÚ O MADERA DE LA ZONA

Un material para hacer las rejillas de saneamiento, chimeneas, etc. debe de ser económico y resistente, por ello se propone el bambú o madera de la zona, como por ejemplo el Iroko.

3.1.4. DEGRADACIÓN MICROBIANA

La transformación microbiológica de la fracción orgánica en el compostaje es un proceso oxidativo aerobio, por ello, la relación superficie/volumen de las partículas tiene una influencia directa en la forma y velocidad de la degradación, es decir, importa el tamaño de los residuos.

La relación aire/agua en los intersticios de las partículas es igualmente importante; agua y oxígeno son indispensables para la actividad microbiológica, por ello el sistema de aireación diseñado.

3.1.5. DIFUSIÓN DE LOS GASES

Debido a los gradientes de temperatura que se generan en el proceso microbiano. Cuando los restos orgánicos se amontonan, el efecto aislante del material tiende a guardar el calor y elevar la temperatura, alcanzándose un máximo en un tiempo determinado. Es por ello que se colocan chimeneas de bambú para la extracción de los mismos y evitar posibles incendios.

3.1.6. REFORESTACIÓN Y REVEGETACIÓN

Este punto es fundamental en todo momento, por ello el próximo capítulo es de plantas, donde se explica en mayor profundidad.

3.1.7. TAMAÑO DE LA BASURA

El tamaño de las partículas es fundamental en el proceso de compostaje. Por qué cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano más rápida y completa será la reacción, mayor será la actividad química por unidad de masa. Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque por parte de los microorganismos e influye sobre la velocidad del proceso, pudiendo hasta duplicarla si se muele el material. También facilita la transmisión de gases.

3.1.8. SEDIMENTACIÓN

Cuando los residuos sólidos transportados por el agua se precipitan o depositan en el fondo. Esto facilita la depuración del agua, al tener todos los sólidos en el fondo es más fácil recogerlos o tratarlos.

3.1.9. AIREACIÓN POR GRAVEDAD

Aumentar el oxígeno disuelto en el agua al hacerla caer por gravedad y chocar contra piedras. Sin necesidad de ningún aporte energético. ●

3.2. HERRAMIENTAS DE AUTOCONSTRUCCIÓN

Son herramientas típicas de cualquier construcción que van a ser necesarias en las distintas tecnologías y que pueden fabricarse con materiales comunes.

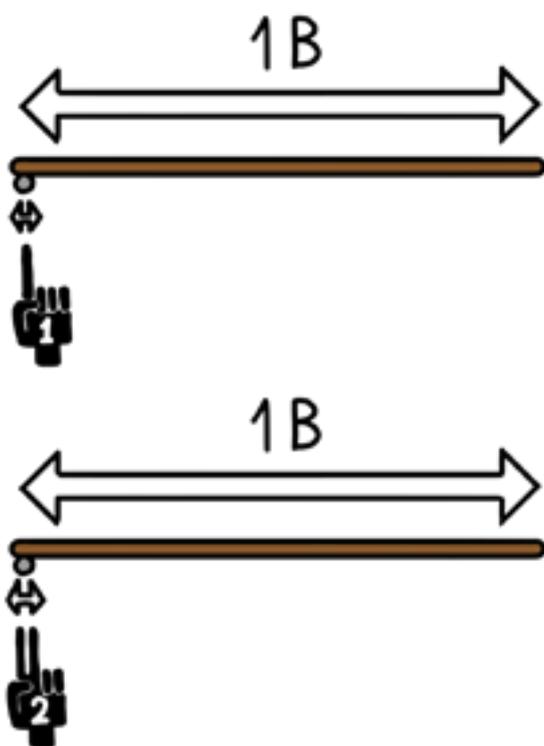
3.2.1. HERRAMIENTAS DE ALBAÑILERÍA

Las herramientas necesarias para las distintas construcciones consisten en palas, azadones, barras, picos o pichas, horca o rastrillos, horquillas, etc. Se pueden autoconstruir siguiendo el manual del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria et al., 2000). Toda la información está disponible en el siguiente link:

https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fabricacion_casera_de_herramientas.pdf

3.2.2. INCLINÓMETRO ARTESANAL

Se realizará uniendo una vara de una brazada de longitud, 1 metro, a una piedra de un dedo meñique de longitud, 1 cm, en un extremo. De esta forma se conseguirá la referencia de una pendiente del 1%. Para realizar una pendiente del 2%, se usará una piedra de dos meñiques de longitud, y así sucesivamente. Es importante realizar las mediciones sobre una base horizontal.



3.2.3. LADRILLOS DE ADOBE

Siguiendo los siguientes pasos pueden fabricarse ladrillos artesanales y sostenibles partiendo de tierra arcillosa.

- **Fase I:** remover la tierra arcillosa, echarle agua, mezclar y dejar secar un poco.
- **Fase II:** volver a remover, agrupar y apilar.
- **Fase III:** moldear el barro y tapar los ladrillos para protegerlos de la desecación por el sol mientras se secan.
- **Fase IV:** cuando ya están secos se hornean.

En Kimpese se realizan estos ladrillos con múltiples destinos, es una técnica tradicional del país. Tienen una zona preparada para realizar todos los pasos de fabricación.

En dicha zona hacen la mezcla inicial con la tierra arcillosa que va a ser introducida en los moldes para darle la forma de ladrillo, cuando ya tienen la forma se dejan secar.



Figura 3.2.1. Moldeado y secado de los ladrillos de adobe en Kimpese



Figura 3.2.2. A la izquierda se está construyendo el horno y a la derecha se están cociendo los ladrillos.

En cuanto a la fase de horneado, en Kimpese van construyendo el horno con los propios ladrillos que quieren hornear, lo llenan de madera tanto por dentro como por fuera y los ponen a cocer. Cuando han acabado de cocer quitan las cenizas y los dejan enfriar para poder utilizarlos.

3.2.4. CAPA IMPERMEABILIZANTE O ASFALTO NATURAL

Se realiza colocando capas de piedras de mayor a menor tamaño, de forma que se obstruyan el máximo de huecos. Para ello se colocan piedras de tamaño medio en la base seguidas de piedras más pequeñas y grava, para impermeabilizar. A continuación, se le añade una capa de estiércol o compost y agua. Al cabo de un tiempo, la materia orgánica se pudrirá formando una masa negra viscosa que terminará de cubrir todos los huecos impermeabilizando la zona.

3.2.5. PISÓN O APISONADORA MANUAL

Se realiza uniando perpendicularmente un listón, palo o vara resistente a una superficie plana, lisa y resistente que tenga cierto peso. Se usa en la compactación del suelo.



3.2.6. ESCOBAS

Para producir una escoba se necesitaría siete botellas de plástico de dos litros, un martillo, cuerda, clavos, tijeras y un palo para la escoba.

- a. Cortar la cabeza y culo de cinco de las botellas.



- b. Recortar tiras desde el culo de la botella hasta $\frac{3}{4}$ de ésta con un grosor de 0,5 cm. Solo en cinco botellas.



- c. Recortar solo el culo de una de las botellas que hemos reservado. Ésta será la base. Colocar las cinco ya cortadas, de manera que pasen por el cuello de la botella base.



- d. Corta la última botella por la mitad. A la mitad de arriba hay que hacerle dos cortes para facilitar la introducción de las demás.



- e. Hacer a cada lado dos agujeros con ayuda del martillo y los clavos. Pasar la cuerda a través de los agujeros como se indica en la foto.



- f. Introducción del palo por el cuello de la botella exterior y asegurarlo mediante un clavo. ●



4. PLANTAS

Las plantas liberan oxígeno en la fotosíntesis, lo que mejora la calidad del aire en la atmósfera o del agua, en el caso de las plantas acuáticas, por eso se usan para introducir el oxígeno necesario para mejorar las masas acuáticas en los diferentes problemas que se presentan, tanto para sanear, tratar o generar espacios de ocio comunitario.

Antes de empezar hay que dejar claro que las plantas a utilizar dependerán de las existentes en cada zona del país donde se vaya a trabajar, lo mejor será pasear los ríos existentes que estén en buen estado (a simple vista puede verse cómo va el río) y cotejar que plantas están en la masa de agua, esas son las plantas adaptadas que se necesitan para el tratamiento y mejora de la calidad del agua en cada caso particular.

En todo caso se definen las características generales de las plantas que existen en la zona española y la zona donde se encuentra cada especie situada en el río o masa de agua, para que pueda hacerse la equivalencia a las diferentes zonas donde se vaya a trabajar en base a su localización en la masa de agua.

4.1. TIPO DE PLANTAS ACUÁTICAS

4.1.1. FLOTANTES

Flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua en lugar de arraigadas en macetas o en el fondo. Se plantan simplemente echándolas en el agua. Algunas de estas especies se multiplican con gran rapidez siendo necesario su entresaca periódica, es decir, recolectar los excesos. Son un buen refugio para animales acuáticos y terrestres.

Dentro de la gran diversidad de plantas flotantes podemos encontrar lemnas, lechugas de agua, salvinias y jacintos de agua.

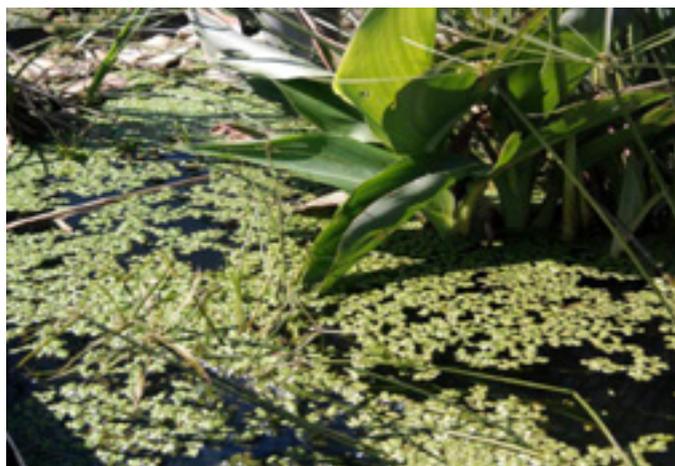


Figura 4.1.1. Planta flotante: lemna.



Figura 4.1.2. Plantas de fondo, de izquierda a derecha: nenúfares, ranúnculos acuáticos y elodeas. Las tres imágenes son de Wikipedia.

4.1.2. DE FONDO O AGUAS PROFUNDAS

Situadas en la zona más profunda de un estanque, desde 40 hasta 90 cm. Sus hojas dan sombra e impiden el desarrollo de algas que precisan el sol para proliferar, ayudando así a mantener el agua clara. Permanecen completamente sumergidas excepto las flores, que en algunos casos pueden salir a la superficie, cumpliendo así una función decorativa. Crecen muy rápidamente por lo que se debe controlar su desarrollo. Absorben nitrógeno amoniacal, es decir, reducen el nivel de amoníaco, lo que puede ser perjudicial para peces y anfibios. Otra función importante es que producen y liberan oxígeno al agua. Ofrecen una excelente protección para los peces además de proporcionar alimento a los seres acuáticos y terrestres con sus frutas y raíces. Entre este tipo de plantas se pueden encontrar los nenúfares, los ranúnculos acuáticos y las elodeas.

4.1.3. DE RIBERA, ORILLA O PALUSTRES

Estas plantas se caracterizan por situarse en el borde de la superficie acuática, las raíces están dentro del agua o necesitan mucho riego. Pero su mayor característica es disponer de un tallo tubular por el que circula el flujo de gases, que es donde se realiza el intercambio de gases. El oxígeno formado por las fotosíntesis circula hacia la raíz, introduciéndose en el agua. Esto hace que sean unas plantas muy oxigenadoras, por ello, son excelentes para mejorar la calidad del agua, por el gran aporte de oxígeno que suministran.

Para saber si una planta que se encuentra en cualquier orilla es en realidad el tipo de planta que estamos buscando podemos cortar una rama que este ya seca y ver si existe en su interior un tubo de diámetro apreciable, por donde circula el oxígeno producido en la fotosíntesis. Hay que fijarse si el interior es similar al de las imágenes siguientes.

Es importante hacer la comprobación para no usar otras plantas que estén en los bordes pero que no son oxigenadoras. Por ejemplo, las cañas están en las orillas y se nutren del agua, pero no aportan oxígeno al agua, no tienen canal interior, no son oxigenadoras.

Hay plantas de ribera con flores muy bonitas como son los lirios de agua y las cañas indias, por ejemplo. Por otra parte, las enneas, en comparación con otras plantas para el tratamiento de agua, son más eficaces en la fitodepuración. Además de la oxigenación que aportan pueden ser usadas para bajar los niveles tanto de materia orgánica, tratamiento secundario, como de nitrógeno y fosforo, tratamiento terciario. Especialmente en los climas templados. Mientras que los carrizos aguantan muy bien en aguas con mucha materia organica contaminante. ●



Figura 4.1.3. Carrizo fresco y seco cortado transversalmente para mostrar la tubería interior que conduce el oxígeno.



Figura 4.1.4. Plantas de ribera, de izquierda a derecha: lirios de agua, eneas y carrizos. Fuente Wikipedia.

4.2. SECUENCIA DE PLANTAS

Las plantas que se ponen en la masa de agua, el estanque, río, etc., son muy importantes, pero también lo es de que se rodean. Lo que rodee a la superficie de agua también va a influir en su estado. Por ello se aconseja tener en cuenta la siguiente secuencia de plantas que va desde el interior del agua hacia los alrededores de esta.

- a. Plantas acuáticas de fondo y de superficie desde el borde hacia el interior del agua.
- b. Plantas acuáticas de ribera en el borde del agua.
- c. Inmediatamente después las plantas aromáticas. Estas, espantan mosquitos y similares, además tienen propiedades medicinales para los animales.

- d. Bosque de ribera, son arboles con el tallo en la tierra y las raíces a nivel del agua junto con arbustos, dan consistencia a los taludes con las raíces y limpian el agua de microcontaminantes.
- e. Bosque autóctono o urbano, arboles de tronco grueso, plantas y arbustos típicos de la zona.

En la siguiente gráfica puede verse la secuencia de plantas desde de la masa acuática.

Para fertilizar todas estas plantas puede usarse el compost que sale de la materia orgánica, como se explica en el capítulo 8, gestión de basuras. ●

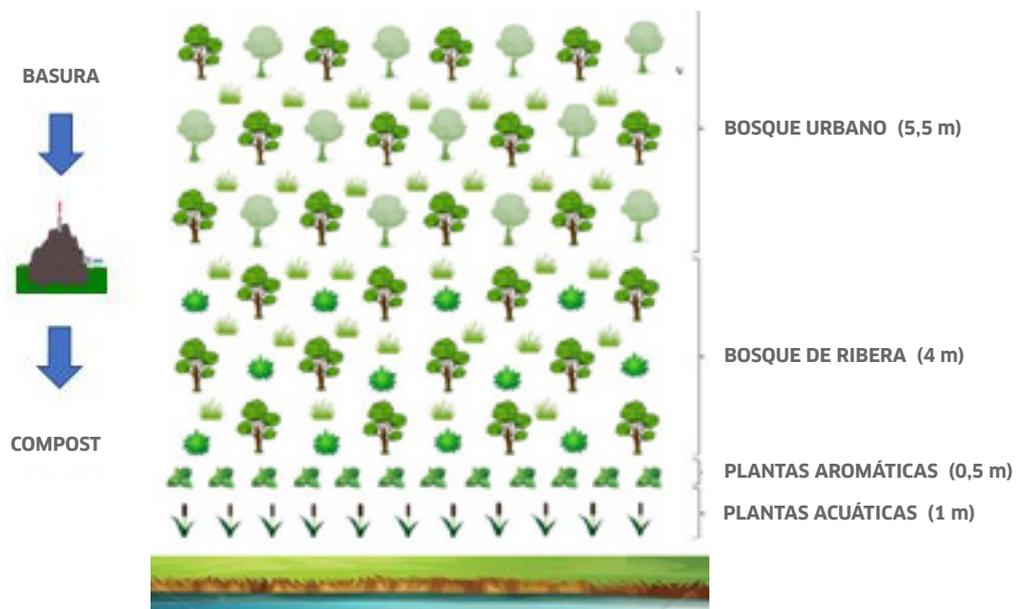


Figura 4.2.2. Secuencia de plantas.

5. CALLES SECAS



5.1. FUNDAMENTOS

El objetivo de esta tecnología es acabar con los charcos de la comunidad en la que se establece, mediante un sistema de canalización e infiltración del agua en el acuífero, para evitar la formación de los mismos y los males que estos provocan.

Las herramientas que se van a usar son tecnologías de tratamiento simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. Este sistema de canalización de aguas se basa en el conocimiento del funcionamiento de los sistemas naturales.

En cualquier caso, la principal ventaja de esta tecnología es que es un sistema autoconstruible, de coste mínimo, que apenas requiere mantenimiento y que, por lo tanto, favorece el autodesarrollo por parte de la comunidad que explote la instalación [9].

Calles secas se basa en el desplazamiento del agua por gravedad y la filtración horizontal del agua por un lecho poroso de piedras. Gracias a esto, se consigue evacuar de las zonas no deseadas el agua estancada, provocando un flujo de agua que evita la anaerobiosis y la pudrición de la misma.

Esta tecnología consta de dos subtecnologías basadas en los mismos principios de drenaje e infiltración. Por un lado, para evacuar el agua de las calles de forma rápida, se construyen los caminos drenantes que constan de una pequeña pendiente que dirige el agua hasta la superficie de agua corriente más cercana o hasta la segunda de

nuestras subtecnologías, el pozo de infiltración. Este pozo se encarga de evacuar el agua al subsuelo y que este la absorba.

Importante: al pozo de infiltración únicamente le debe llegar agua de lluvia, si el agua está contaminada, putrefacta o se mezcla con aguas fecales, esta debe conducirse hacia los canalones de saneamiento o directamente hacia su tratamiento, capítulo 6: saneamiento o capítulo 7: tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se procederá a explicar los fundamentos de cada una de las subtecnologías:

5.1.1. CAMINOS DRENANTES

Esta tecnología está basada en la patente de los Ecological Waster Sewers (EWS) [12], adaptado de tal forma que su construcción es menos compleja. Consiste en zanjas excavadas con cierta pendiente y rellenas de un lecho rocoso. El agua de lluvia circula a través del lecho en régimen subsuperficial de manera que en ningún momento aflora al terreno, quedando éste convertido en calle transitable. Cuando el agua transportada es agua residual, se produce una considerable mejora de su calidad.

Los principales objetivos de esta subtecnología son el desagüe en el menor tiempo posible de zonas con aguas estancadas por lluvias, evitar el contacto de esta con las personas, así como la mejora de la calidad del agua evitando anaerobiosis y pudrición de la misma.

Los caminos drenantes se construirán en todas las calles con problemas de estancamiento de aguas pluviales para así poder evacuarlas. Además, desembocarán en canales de saneamiento, pozos de infiltración o arroyos cercanos.

Entre los factores ambientales a considerar, se debe tener en cuenta la pendiente del terreno porque es la herramienta fundamental para evacuar el agua. Es importante asegurar que la pendiente vaya en el mismo sentido que el trayecto deseado, así como que los caminos drenantes estén elaborados con una pendiente longitudinal mayor o igual al 1 % para garantizar el flujo del agua. Por otro lado, también hay que tener en cuenta la intensidad con la que llueve para saber si la anchura planteada va a soportar la demanda requerida. Por último, también hay que estudiar el drenaje del suelo para ver la capacidad de infiltración del agua.

Entre los factores de uso, hay que considerar la suciedad sobre el material de relleno. La basura arrojada por las personas puede provocar que se atasquen los caminos, impidiendo la circulación del agua. Como el camino drenante debe ser transitable en superficie, hay que tener en cuenta el flujo de personas que va a circular sobre dichos caminos. La fuerza ejercida por las personas erosiona los materiales de composición de los caminos, los cuales se mezclan con los materiales de relleno formando atascos en el flujo del agua. A su vez, es importante el dimensionado de la calle porque, según el tamaño de esta, el camino se realizará proporcional a las dimensiones dadas.

Por último, es importante seguir las indicaciones dadas más adelante. Se utilizará los materiales de relleno de los caminos y se seguirá el orden correspondiente como se indica en las instrucciones. Teniendo en cuenta las medidas marcadas a la hora de ejecutar la tecnología o siguiendo una proporcionalidad.

5.1.2. POZO DE INFILTRACIÓN

El pozo de infiltración se fundamenta en la absorción vertical del agua por un lecho poroso de piedras y grava. Esto permite la conexión

con el acuífero mejorando su estado y evitando acumulaciones en la superficie de zonas que afectan a la salud humana.

Tiene como objetivo infiltrar al suelo toda el agua evacuada procedente, en este caso, de los caminos drenantes. Por ello, los pozos de infiltración se construirán en zonas donde se formen grandes charcos que no puedan ser evacuados por pendientes y éstos perduren por más de un día después de su formación.

Entre los factores ambientales que debemos considerar, se debe tener en cuenta la pendiente del terreno porque el pozo deberá de colocarse en aquellos lugares donde no exista ningún tipo de pendiente para evacuar el agua en otra dirección. A su vez, hay que tener en cuenta la intensidad con la que llueve para saber si la anchura planteada va a soportar la demanda requerida. Por último, también hay que estudiar, por un lado, el drenaje del suelo para ver la capacidad de infiltración del agua y, por el otro, la compactación del mismo para evitar el posible colapso del pozo.

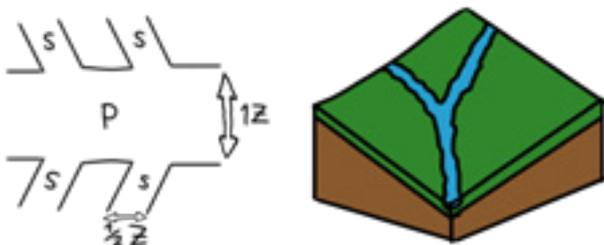
Entre los factores de uso, hay que considerar la suciedad dispersada sobre el material de relleno. La basura arrojada por las personas puede provocar que se atasque el pozo impidiendo la infiltración del agua. Como el pozo de infiltración puede ser transitable en su superficie, hay que tener en cuenta el flujo de personas que va a situarse sobre él. La fuerza ejercida por las personas erosiona los materiales de composición de los caminos, los cuales se mezclan con los materiales de relleno formando atascos en el flujo del agua. A su vez, es importante el dimensionado de la calle porque según el tamaño de esta, el pozo, se hará proporcional a las dimensiones dadas.

Por último, es importante seguir las indicaciones dadas a continuación. Se utilizará los materiales de relleno del pozo y se seguirá el orden correspondiente como se indicará en las instrucciones. Se usarán las medidas marcadas a la hora de ejecutar la tecnología o siguiendo una proporcionalidad. ●

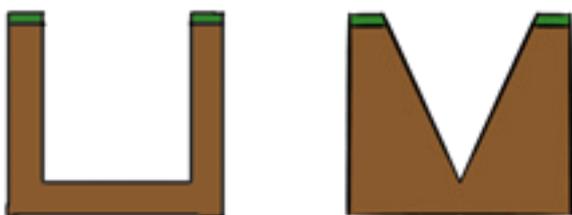
5.2. DISEÑO

5.2.1. CAMINOS DRENANTES

a. **Planificación del camino:** se realizará siguiendo la dirección de la pendiente del terreno. Para ello, se marcarán varios caminos secundarios (S) que recogerán el agua de los distintos charcos hasta un camino principal (P), también marcado, el cual desembocará en un canal de saneamiento, arroyo o pozo de infiltración.

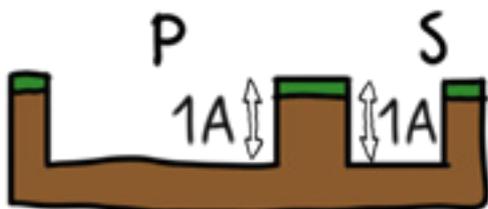


b. **Excavación:** se cavan los caminos con sección cuadrada o en forma de V. Los canales en "V", ayudan aumentando la velocidad del flujo del agua. Por ello, se aconseja hacerlo en V.



Con las siguientes dimensiones:

- Camino principal: 1 paso (1m) x 1 antebrazo (30 cm) de profundidad.
- Caminos secundarios: 1/2 paso (50 cm) x 1 antebrazo (30 cm) de profundidad.

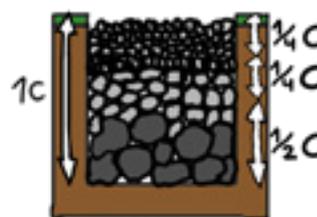


Se tomará la longitud necesaria para cada caso (distancia charco-pozo).

Importante: para facilitar la evacuación de las aguas pluviales y evitar la formación de charcos en el canal, el camino se elabora con una pendiente longitudinal del 1 % Y transversal del 1,5%.



c. **Interior del camino:** se rellenará por capas según el tamaño de las piedras. Primero se rellena hasta la mitad de profundidad con piedras grandes, a continuación, un cuarto con grava media y el último cuarto con gravilla fina. De este modo se permitirá el flujo de agua de forma subterránea a la vez que la circulación de personas por la superficie.



Se debe evitar que las piedras pequeñas de los niveles superiores lleguen a niveles inferiores para no provocar atasco, por lo que se debe tener cuidado con la diferencia de tamaño entre éstas.

Por ello, se recomienda la siguiente distinción de tamaños:

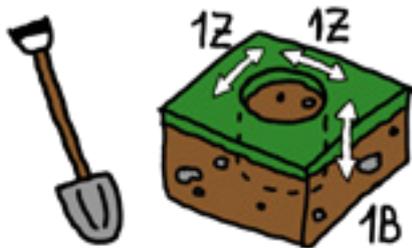
- Piedras grandes: dos puños. 
- Piedras medianas: un puño. 
- Piedras pequeñas: Dos dedos de largo aproximadamente. 

Importante: es preferible colocar las piedras grandes con orientación al flujo del agua. Cuanto menos corten el flujo, mayor será la velocidad de evacuación.

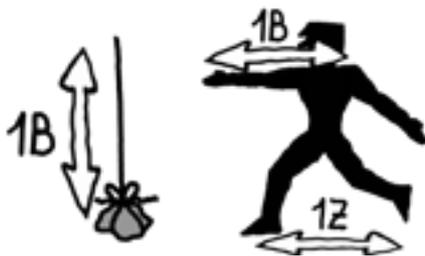
Importante: no pisar demasiado los caminos drenantes (especialmente los principales) para evitar atascos en el flujo de agua.

5.2.2. POZO DE INFILTRACIÓN

a. **Primera excavación:** realizar un agujero previo con las siguientes dimensiones: 1 paso (1m) x 1paso (1m) x 1brazada (1m).

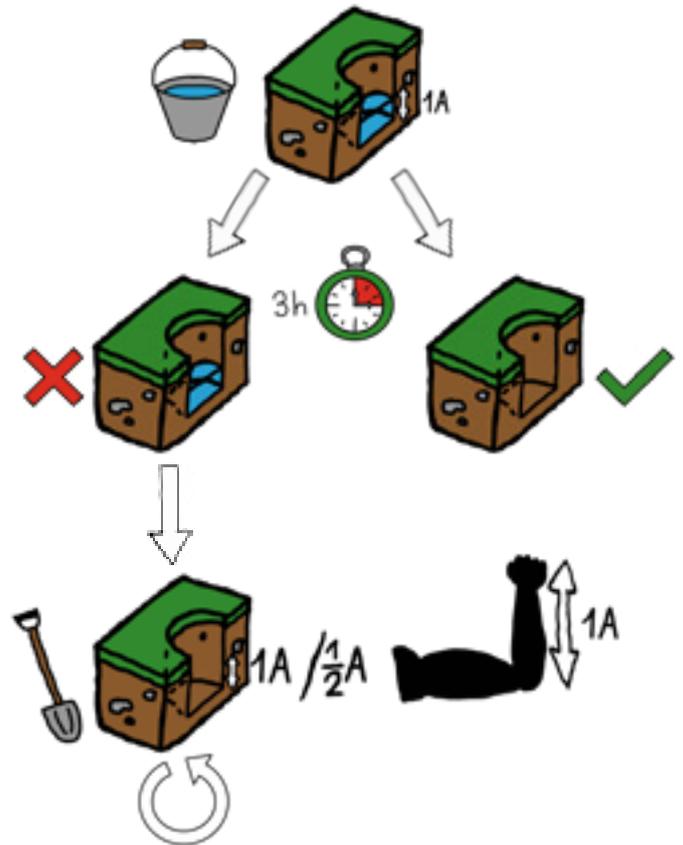


Para medir la profundidad, se recomienda usar una cuerda con algo de peso atado en el extremo, de forma que tense la cuerda al medir.



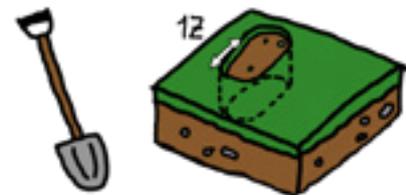
b. **Calibración de profundidad del pozo:** para saber si la profundidad del pozo es adecuada se llena un antebrazo (30 cm) de agua y se controla el tiempo que tarda en drenarse.

- Si tarda menos de 3h en drenarse se pasa al **paso c**.
- Si tarda más de 3h en drenarse hay que cavar más profundo, entre media y una brazada más de profundidad y volver a realizar la comprobación.

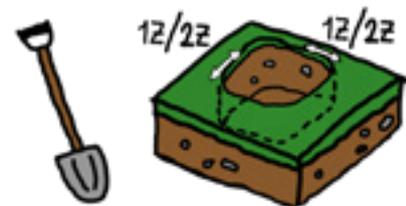


c. **Excavación final:** para determinar el ancho y largo del pozo final se seguirán las siguientes reglas:

- Si se necesita drenar poca cantidad de agua → +1 paso de ancho



- Si se necesita drenar mucha cantidad de agua → +1 o 2 pasos de ancho y/o largo

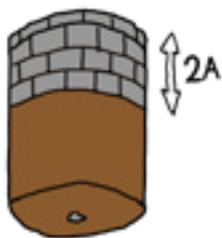


Importante: si tras su construcción el pozo sigue sin drenar con la suficiente rapidez, hay que seguir aumentando las dimensiones hasta que cumpla su objetivo.

d. Construcción de las paredes del pozo. Según los recursos disponibles hay 3 posibilidades:

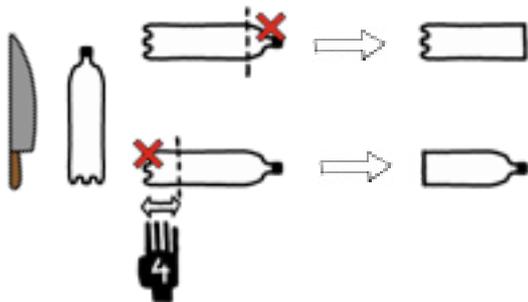
- **Block o ladrillo:**

Es la mejor opción para evitar la erosión, el desgaste del suelo o la piedra por el roce continuo o violento del flujo del agua y/o viento. Para ello construir un brocal de block o ladrillo con unas dimensiones de 2 antebrazos (60 cm) de profundidad:

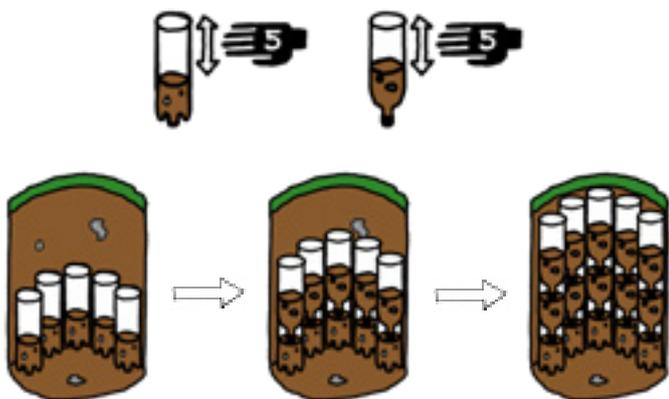


- **Botellas de plástico y tierra:**

Se usan botellas del mismo tamaño. A las botellas de 2 litros se les corta 4 dedos, a la mitad de ellas por la parte delantera y a la otra mitad por la parte trasera. Si las botellas son de otro tamaño cortar proporcionalmente.



Llenar las botellas con tierra (hasta 5 dedos del borde de la botella) y colocarlas rodeando el interior del pozo de la siguiente forma:



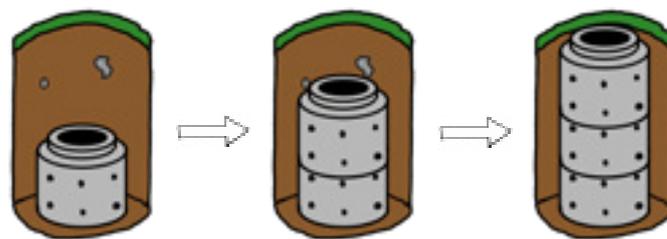
- **Tubo de concreto:**

El tubo debe ser de un diámetro 2 antebrazos (60 cm) menor que el diámetro del pozo. Se necesitan tantos como para cubrir la altura del pozo.

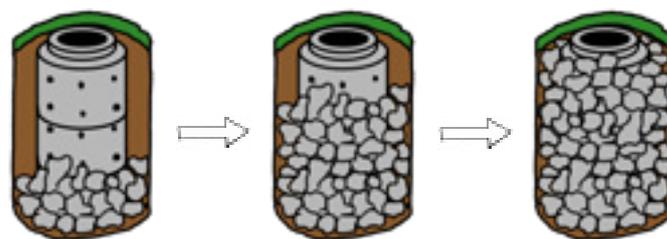
1. Perforar los tubos de forma similar al dibujo:



2. Instalar los tubos en el pozo de forma superpuesta.



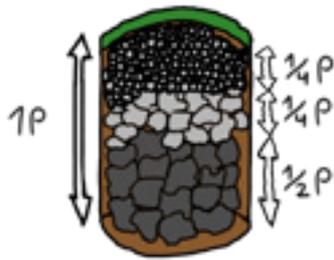
3. Rellenar el hueco entre tubo y tierra de piedras o piedrín, el exterior del pozo.



4. Llenar el interior del pozo desde el inferior hacia la superficie en el siguiente orden:

- Medio pozo de piedras de gran tamaño.
- Un cuarto del pozo de grava de tamaño medio.
- Un cuarto del pozo de gravilla.

De este modo se permitirá el flujo de agua de forma subterránea a la vez que la circulación de personas por la superficie.



Por ello, se recomienda la siguiente distinción de tamaños:

- Piedras grandes: dos puños. 
- Piedras medianas: un puño. 
- Piedras pequeñas: Dos dedos de largo aproximadamente. 

Importante: evitar que las piedras pequeñas de los niveles superiores lleguen a niveles inferiores para no provocar atasco, por lo que se deberá tener cuidado con la diferencia de tamaño entre éstas.

Importante: es preferible colocar las piedras grandes con orientación al flujo del agua. Cuanto menos corten el flujo, mayor será la velocidad de evacuación. •

5.3. EJECUCIÓN

Esta tecnología fue implementada en la comunidad de Kimpese durante el transcurso y desarrollo de Park II en el año 2018 en una calle del centro del barrio, Sona Bata, con magníficos resultados a lo largo de los 500 metros en los que se realizó. Esto animó a extender la experiencia a mayor número de calles y, muy importante, a los propios domicilios de los vecinos que aprenden la forma de hacerlo.

Las calles secas siguen funcionando eficazmente desde su implementación, como puede verificarse en el reportaje fotográfico correspondiente. Con el tiempo el pozo de infiltración se va convirtiendo en

un jardín natural que aprovecha la humedad del entorno para hacerlo florecer.

Debe consignarse que las calles secas ya instaladas son mantenidas por los propios vecinos, que visualizan fácilmente los efectos sobre la salud, la autoestima y la higiene ciudadana, que son espectaculares. Por ello van creciendo las actuaciones en este sentido en muchas de las calles del barrio y son los jóvenes de la Fundación MAYELA los que enseñan a los vecinos, mayoritariamente vecinas, ya que la mujer es la que mayor papel tiene en el cuidado de la casa y por extensión de la calle.



Figura 5.3.1. Canal de evacuación de agua pluviales del Mercado de domingo. Fue construido por la administración pública provincial pero no cementado. La foto de la izquierda está tomada en la estación lluviosa mientras que a la derecha es la misma foto en la estación seca.

La importancia de las calles secas en un país que es de los más lluviosos del planeta es estratégica en el acceso a la vida digna de la comunidad. Por otro lado, que las mujeres lideren el movimiento una vez que se les entrega una tecnología adecuada a su realidad, es la garantía de la continuidad de las mismas, ya que en muchas familias los padres no están en el hogar y son ellas quienes se encargan del cuidado, la higiene y la salud de todos sus miembros.

5.3.1. SITUACIÓN INICIAL

Algunas de las calles de Kimpese tienen canales de evacuación de aguas pluviales construidos por la administración pública provincial que no están cementados. Estos canales se llenan de basura durante la estación seca y se atascan completamente durante la estación húmeda debido a esta basura. Este problema hablaremos más profundamente en el capítulo 6, saneamiento.

El resto de calles, que no disponen de este tipo de canales de evacuación, en época de lluvia quedan totalmente inundadas e impracticables.

Las viviendas están rodeadas por un espacio libre donde se desarrolla la vida diaria de las familias congoleñas: cocinan, comen, lavan, charlan, reciben a los amigos y familiares... este espacio puede estar cerrado por un muro lo que hace que en la parcela haya más intimidad.



Figura 5.3.2. Carretera Nacional 1 a su paso por la zona comercial tras las lluvias.

En cada parcela existe un grifo para diversos usos como aseo de manos y pies tanto de los habitantes de las casas como de los visitantes sin tener que entrar en la casa para el aseo. También es el lugar donde cogen el agua para lavar las verduras, los utensilios de cocina o lavar la ropa.

En la base del grifo hay una superficie lisa de cemento que permite colocar los cubos para la toma de agua. Por ello, continuamente hay un charco de agua alrededor del grifo y el agua discurre por gravedad a lo largo de la parcela hasta que sale al exterior de la calle.



Figura 5.3.3. Fotografías del exterior de viviendas donde se ve el agua de uso doméstico acumulada.

5.3.2. CALLES SECAS

Una vecina de la avenida Sona Bata identificó que había agua estancada en su parcela y que se repetía a lo largo de toda la avenida. Entonces se empezó a trabajar en “Calles Secas” por todo el barrio.



Figura 5.3.4. Aguas estacas en la avenida Sona Bata, procedentes del agua de lluvia y de uso doméstico.

Una vez identificado el problema se vio que el agua de lluvia se había mezclado con otros residuos, por

lo que se procedió al saneamiento del punto de acumulación de agua (capítulo 6, saneamiento).



Figura 5.3.5. Apertura del canal.



Figura 5.3.6. Relleno del canal con piedras.



Figura 5.3.7. Sellado del canal.

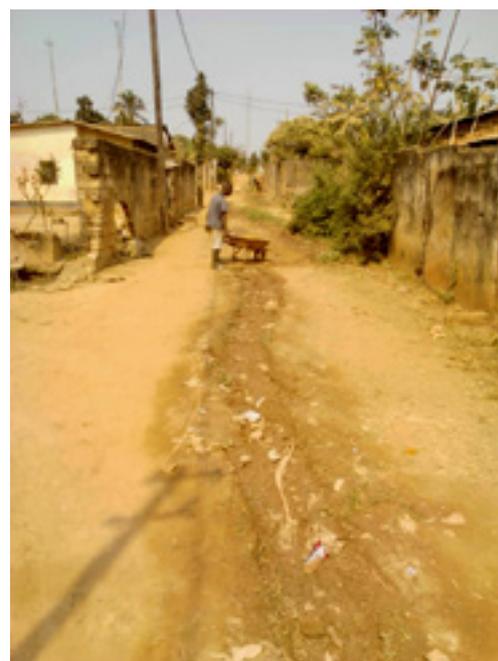


Figura 5.3.8. Caminos drenantes finalizados en la avenida Sona Bata

Una vez finalizado el saneamiento se procedió a secar el terreno siguiendo los pasos explicados, se trabajó en la apertura del canal siguiendo dichas

pautas. Una vez colocadas las piedras y tapado el canal, los ciudadanos podían disfrutar de un tránsito mucho más seguro.

5.3.3. POZO DE INFILTRACIÓN

En las parcelas o viviendas de las familias donde hay problemas de estancamiento de aguas domésticas se construyen pozos de infiltración

para evitar los estancamientos. Es la propia familia quien decide que quiere el pozo y tiene que ayudar en su construcción. Uno de ellos fue documentado fotográficamente y se adjunta a continuación:



Figura 5.3.8. Preparación de la zona de acumulación y salida del agua de la parcela mediante la excavación de un canal. El canal se rellenó con piedras como trabajo complementario al del pozo de infiltración



Figura 5.3.7. Apertura de un hoyo circular en el lugar donde se acumula el agua, con una profundidad de 1m. Colocaron piedras del tamaño de una palma de mano, con un grosor de unos 20 cm, seguida por piedras de menor tamaño hasta la tierra fina de la superficie.



Figura 5.3.9. Pozo de infiltración con el paso del tiempo, con las plantas ya aclimatadas a las condiciones de humedad. De izquierda a derecha se observa el paso de los años, el problema del agua estancada ha desaparecido.

En otras comunidades (como en Chimaltenango, Guatemala) el pozo de infiltración se ha realizado con blocks o tubos de concreto:



Figura 5.3.10. Imágenes del proceso de construcción de un pozo de infiltración en Chimaltenango, Guatemala; por Mario Montufar, 2016, Aguapedia,

6. SANEAMIENTO



6.1. FUNDAMENTOS

Para prevenir las enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento y tratamiento de aguas residuales o contaminadas es fundamental asegurar su circulación. Es por ello, que tanto en calles secas (capítulo 5) como aquí se proponen formas de canalización del agua, los caminos drenantes y los canales respectivamente. Es importante distinguir entre agua de lluvia y agua contaminada o residual, ya que el agua limpia, de lluvia, es óptima para conducirla directamente al acuífero, mientras que la contaminada necesita un tratamiento previo antes de ser dirigida al acuífero. Por ello, este capítulo se centra en el sistema de canalización de las aguas contaminadas, aguas negras, hacia su zona de tratamiento (capítulo 7) a las afuera de la comunidad.

Importante: las aguas negras se identifican por su mal olor y su color oscuro, ya que las bacterias de la putrefacción son de color gris.

Estas tecnologías se centran en la circulación del agua, tanto de la lluvia como la residual, evitando el contacto con las personas, por eso se hace conduciendo las aguas de forma subterránea.

Se construye una red de canales desde la fuente de generación de aguas contaminadas hasta el punto de tratamiento (capítulo 7: tratamiento de aguas residuales) o hasta la superficie de agua corriente

más próxima, como solución temporal, mientras se organiza una solución definitiva, por ejemplo, a un río. Esta red de canalización constará de un canal principal, al que se conectan varios canales secundarios de menor caudal.

Entre los factores a considerar es importante la pendiente del terreno porque es la herramienta fundamental para evacuar el agua. Por ello hay que tener en cuenta que la pendiente vaya en el mismo sentido que el trayecto deseado, además, los canales tienen que estar elaborados con una pendiente longitudinal mayor o igual al 1 % para garantizar el flujo del agua. Con respecto a las paredes de los canales deben ser para que no haya obstrucciones al flujo. Por otro lado, también hay que tener en cuenta la cantidad de agua residual que hay que gestionar para saber si la anchura planteada va a soportar la demanda requerida.

Si se usan los caminos drenantes para la conducción de agua residual hay más probabilidad de atasco y su mantenimiento es más complejo, pero mejora la calidad del agua.

Como meta ideal de los canales urbanos, una vez que exista un buen sistema de mantenimiento, probar a ponerle plantas depuradoras dentro de la ciudad. Esto exigiría un mantenimiento algo más complejo, pero ayudaría a mejorar la calidad del agua antes, sin necesidad de malos olores y mejorando el impacto visual.

6.1.1. REJA DE SANEAMIENTO

El canal de saneamiento recoge el agua de lluvia y transcurre por la comunidad, pasando por zonas transitadas donde se generan muchos residuos, como puede ser un mercado. Si estos residuos llegan al canal lo taponan e impiden que el agua fluya correctamente, provocando que el agua se estanque. Este estancamiento favorece la reproducción de vectores transmisores de enfermedades, como puede ser el mosquito que trasmite una enfermedad tan grave como la malaria. Además, cuando se atasca comienzan procesos anaerobios, por la falta de O₂, que provocan ese mal olor característico, entre otras cosas.

La solución propuesta por el grupo Tar a este problema consiste en la colocación de una reja de saneamiento que impida la circulación de la basura. La reja actúa como filtro, mantiene acumulada la basura para evitar que entre al canal e impida que el agua fluya sin impedimentos hasta las afueras del barrio para tratarse. Además, esto facilita la limpieza del canal y evita los atascos incontrolados que pueden provocar desbordamientos del canal. Otra ventaja de esta reja es asegurar que a los sistemas de tratamientos de aguas posteriores llega agua filtrada, ya que hay sistemas de tratamiento, como la fosa anaerobia de alta velocidad, que son muy sensibles a la presencia de sólidos de ciertos tamaños.

La reja se fundamenta en la forma de red o malla que únicamente permite el paso por sus huecos al fluido y a los sólidos de menor tamaño. Para hacerla se fijan tubos de bambú o de otro material de semejante forma y resistencia, dispuestos entrecruzados, asegurando una unión duradera.

Entre los factores de uso, hay que considerar que la basura arrojada por las personas puede provocar atascos en la reja, lo que impide la circulación del agua y provoca su estancamiento. Al diseñar la reja, debe ajustarse a las dimensiones del canal o canaleta existente y evitar que queden zonas anchas sin reja, por donde seguirían pasando materiales que al final atascaran de nuevo el sistema. La construcción también debe considerar la necesidad de recoger lo más fácilmente posible

la materia retenida en la reja, o sea que tiene que tener una luz de malla, distancia entre los peines, que permita su limpieza con un rastrillo diseñado al efecto, una orca o tridente, que saque los sólidos retenidos en la misma.

Una vez que la tecnología está instaurada es necesaria una red de mantenimiento para que todo pueda seguir funcionando correctamente. Esto es un punto muy positivo en el desarrollo local porque crea trabajo local. Por ejemplo, en Kimpese se ha desarrollado el proyecto PARK, que se dedica a sacar la basura acumulada en las rejillas en la época de lluvia, y a reparar los canales en la época seca, entre otras labores. Todo esto contratando a personas de la zona.

Además, es importante posibilitar un sistema de contenedores cerca del canal y todas las zonas transitadas para que los habitantes puedan gestionar sus residuos sin que acaben repercutiendo en su salud.

6.1.2. SANEAMIENTO EN ARRIATE

Existe otra forma de tratar con las aguas residuales recién vertidas, usando los fundamentos de saneamiento, circulación del agua y tratamiento. Concretamente, en este caso a través de la oxigenación del agua, para aquellas situaciones en las que el agua contaminada cae desde cierta altura. En dichas situaciones se puede aprovechar la caída para realizar un primer tratamiento. Esto se realiza colocando piedras en el punto de impacto con el suelo, lo que provoca la entrada de oxígeno en el agua.

Por otro lado, se realiza una zanja de 30/40 cm de ancho para recoger dichas aguas oxigenadas, en dirección a la pendiente. A continuación, se composta en el canal, es decir, se deja madurar la materia orgánica para convertirla en suelo apto para cultivo. Para ello se aplica una primera capa de hojas secas, luego una capa de ramas trituradas y finalmente una capa de estiércol picado. Puede usarse otra fuente de materia orgánica si el estiércol no es accesible. Por último, se cubre con tierra vegetal y se plantan plantas no comestibles, capítulo 7, canal de plantas.

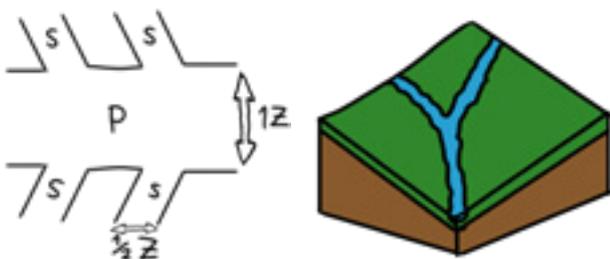
Entre los factores de uso, hay que considerar la cantidad de agua que va a pasar por el arriate. Si se encuentra un exceso de agua muy grande, se puede pinchar el canal y realizar varios arriates en paralelos. Es preferible hacer varios arriates a uno excesivamente ancho para asegurar el flujo del agua y facilitar el mantenimiento. Además, es fundamental la pendiente del 1% para que fluya el agua correctamente sin que se produzcan acumulaciones.

Esta tecnología trata muy superficialmente el agua, por ello, se recomienda que usar para trasladar el agua de la fuente contaminante a una tecnología de tratamiento más específica, capítulo 7, tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, si la cantidad de agua es baja o si se encuentra muy poco contaminada es posible derivarla a un río o a un estanque sano. ●

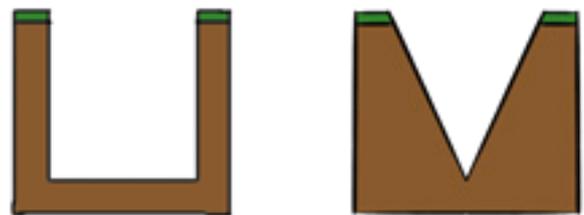
6.2. DISEÑO

6.2.1. REJA DE SANEAMIENTO

- a. **Diseñar el sistema de canalización:** a partir de los canales existentes, tanto principales (P) como secundarios (S), se toman decisiones sobre los que son necesarios construir. Generalmente se construirán canales secundarios que vayan desde cada casa al canal principal más cercano. Si no existe el canal principal se tendrá que construir siguiendo la dirección del terreno, este desembocará en otro canal con destino a una tecnología de tratamiento de aguas, capítulo 8, o en su defecto a una fuente fluvial, esto solo se recomienda como destino temporal.



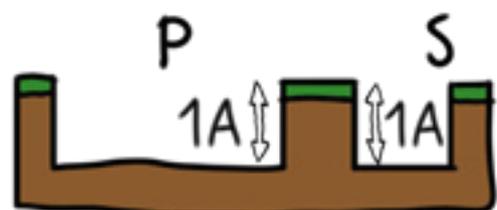
- b. **Excavar:** se excavan los caminos con sección cuadrada o en forma de V. En forma rectangular es más fácil el mantenimiento, sobre todo para el canal principal. Sin embargo, los canales en "V", ayudan aumentando la velocidad del flujo del agua. Por ello, puede hacerse una combinación, en los tramos de reja, donde van a realizarse las limpiezas, se excava en cuadrado mientras que los tramos q transportan el agua sin residuos de gran tamaño se excavan en V.



Como referencia para las medidas se toma para el canal principal 1 paso (1m) x 1 antebrazo (30 cm) de profundidad y para los canales secundarios 1/2 paso (50 cm) x 1 antebrazo (30 cm) de profundidad. La longitud depende de cada caso, hasta donde tenga que llegar el agua para ser tratada, pero siempre el canal será más largo que ancho.

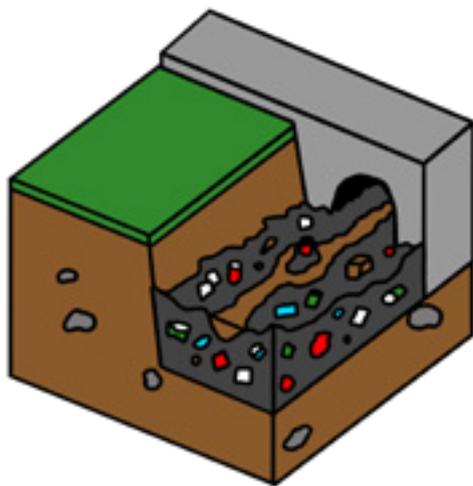
Las dimensiones pueden variarse según necesidad o para adaptarse las dimensiones de los canales ya existentes.

Para facilitar la evacuación de las aguas pluviales y evitar la formación de charcos en el canal, los canales se elaboran con una pendiente longitudinal del 1% o 2%. Para esto usar la herramienta de autoconstrucción inclinómetro manual.

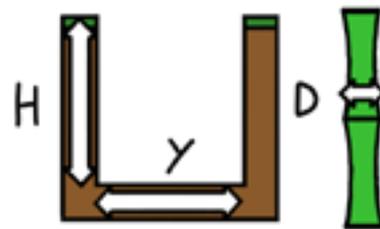


c. Compactación: hay que compactar el fondo de canal, teniendo especial cuidado en eliminar todas las posibilidades de baches o interferencias al flujo de agua. Para ello usar la herramienta de autoconstrucción pisón o apisonadora manual.

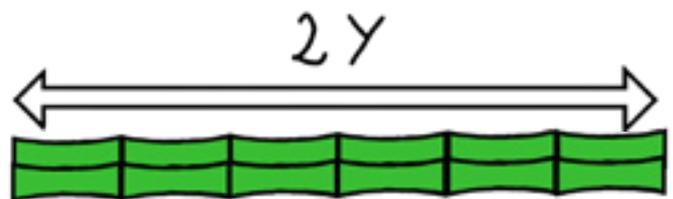
d. Decidir dónde se va a colocar la reja o rejillas de saneamiento: se debe colocar en zonas donde el canal intersecta con calles o pasos superficiales (zonas donde el canal continúa "en modo túnel"). Se recomienda poner una cada 400 m (400 zancadas) en las calles largas. Son muy importantes en los canales principales y en las zonas más transitadas, en los lugares donde la posibilidad de que caiga basura al canal es más elevada.



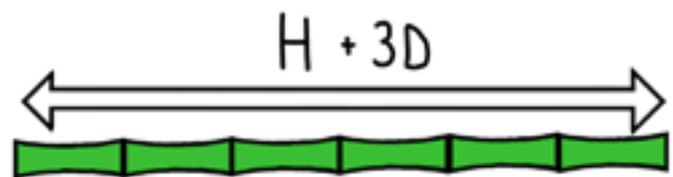
e. Construcción de la reja de saneamiento: se corta el bambú o se prepara el material que vaya a usarse en su lugar, cualquier otro tipo de planta o tubería puede usarse, siempre que sea resistente. Para trabajar el bambú se necesita un cuchillo, sierra o machete para cortarlo. Para saber qué longitud se necesita de las tuberías hay que tomar las medidas del canal en los puntos donde se va a poner la reja, en relación a esas medidas se definirán el alto (H) y el ancho (Y) de la reja. Además, hay que tener en cuenta el diámetro (D) de la caña de bambú o el material correspondiente.



Para los tubos superiores de la reja se usan dos bambús o tubos de $2Y$ de longitud puestos de forma horizontal. Si la longitud es demasiado larga se corta lo sobrante, adecuando los tubos a cada ubicación. Se aconseja duplicar la longitud para que la parte superior de la reja tenga suficiente resistencia al flujo del agua, también por este motivo se ponen dos tubos juntos.

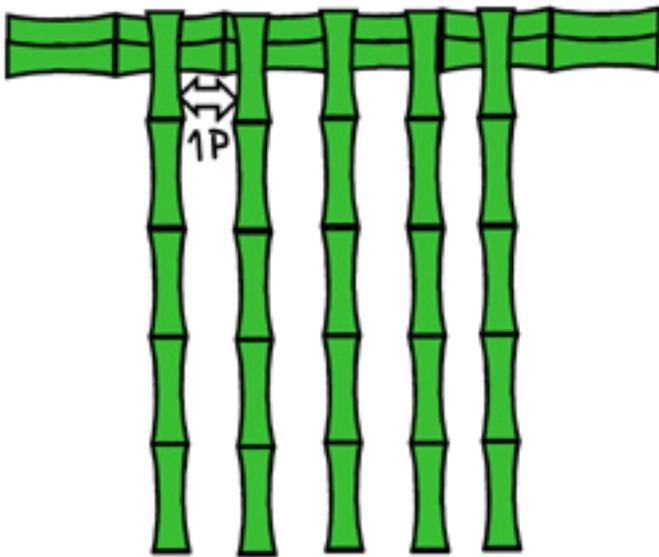


Los tubos verticales se cortan con una longitud de $H + 3D$ y se cortan tantos como sean necesarios para que haya una distancia de 5 o 6 cm, unos 4 dedos o una palma (P), entre ellos.



Para una mejor funcionalidad, se recomienda sobredimensionar la longitud de los tubos verticales. Añadiendo unos 10 cm, un puño, por metro del tubo. Así, al colocar la reja quedará ligeramente inclinada. Esto ofrece una mayor resistencia al flujo de agua y a la basura que arrastra.

Estos tubos se colocan perpendiculares a los dos tubos anteriores, la parte superior, dejando la distancia de una palma (P) entre ellos.

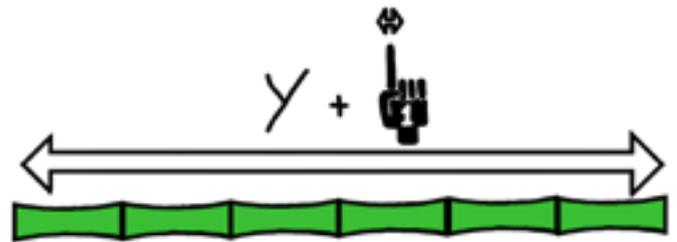


A la hora de construir la reja hay que tener en cuenta las posibilidades de apoyo. Se diferencia entre canal con superficie de apoyo y canal sin superficie de apoyo, esto depende de si la reja se va a situar delante de un canal cerrado o abierto, es decir, si tiene una tubería detrás o si es un canal descubierto.

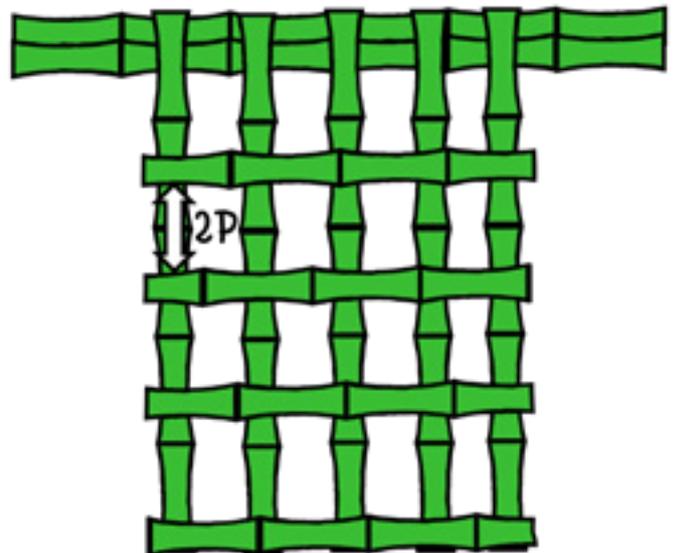
- Canal sin superficie de apoyo: cuando es un canal al descubierto, nada hay detrás de la reja que le de soporte. Por ello, necesita dos tubos verticales más para los extremos, para dar estabilidad.

Canal con superficie de apoyo: detrás de la reja esta la entrada a una tubería o el canal se cierra superiormente. Por ello, no necesita los tubos verticales de los extremos, solo se preparan los tubos verticales de la reja en sí.

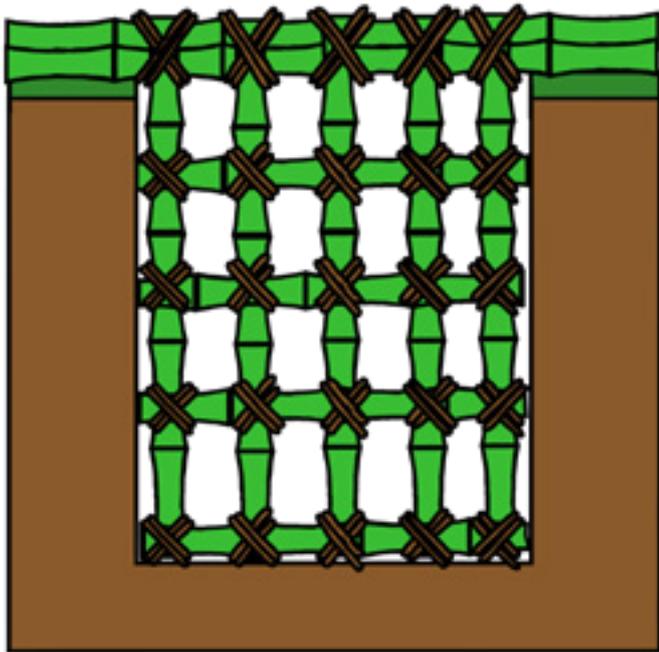
Los tubos horizontales se cortan con una dimensión de Y + un dedo, se le añade lo suficiente para que la reja quede ajustada, pero que pueda colocarse sin problema. Se cortan tantos como sean necesarios para dejar unos 14 cm, dos palmas, entre tubo y tubo y llegar hasta el final.



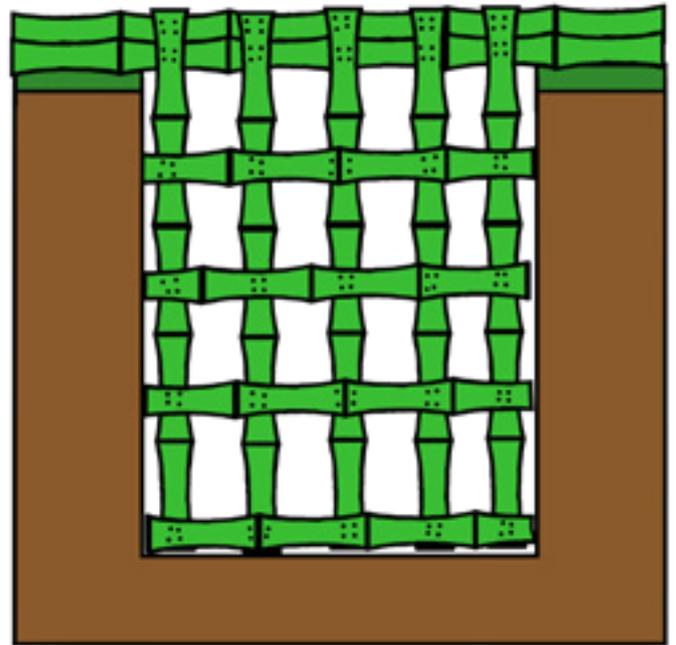
Estos tubos se colocan horizontalmente sobre la estructura anterior.



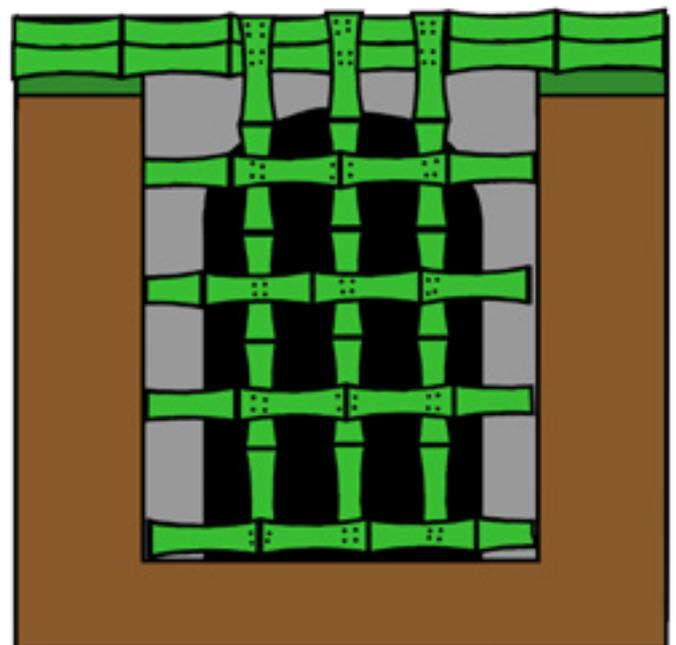
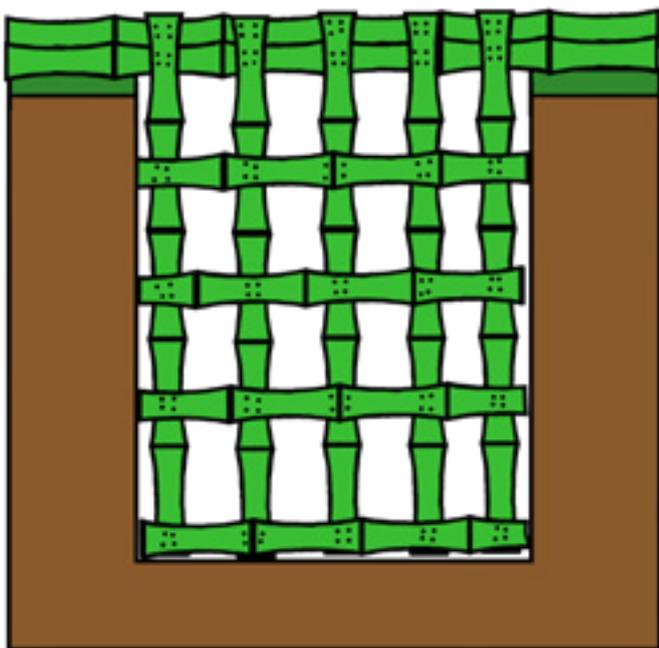
Con todas las partes listas solo queda unir los tubos. Para unirlos se usa el material más resistente que se disponga: cuerdas, clavos, etc.



- Canal sin superficie de apoyo:

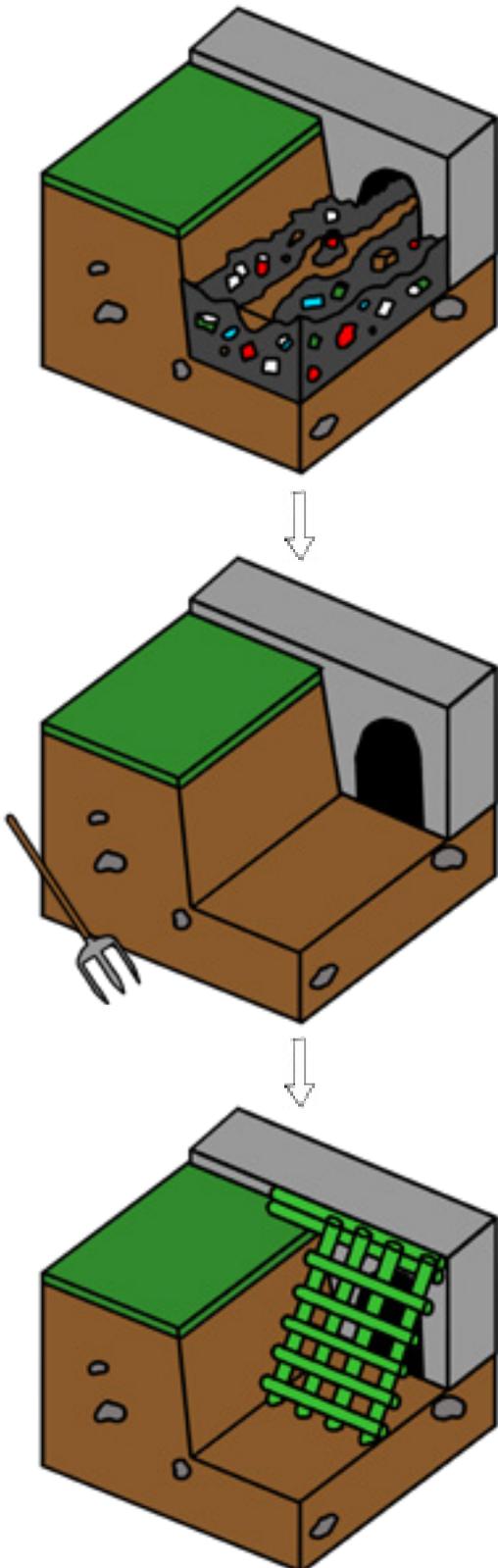


- Canal con superficie de apoyo:

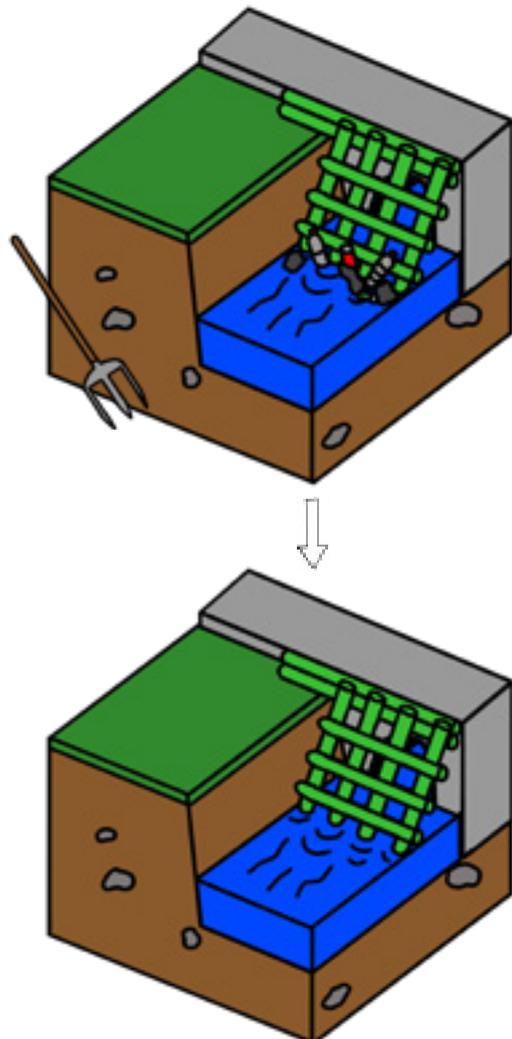


Dependiendo del tipo de canal, con apoyo o sin apoyo, cuando este la reja lista y si se mira colocada en el canal debe parecerse a las imágenes.

- f. **Colocar la reja de saneamiento:** ajustarla con respecto a las paredes y la base del canal. Si se ha hecho la sobre dimensión en los tubos verticales, la inclinación tiene que quedar hacia afuera. Antes de colocar la reja hay que limpiar el canal, por ejemplo, con la ayuda de la horca.

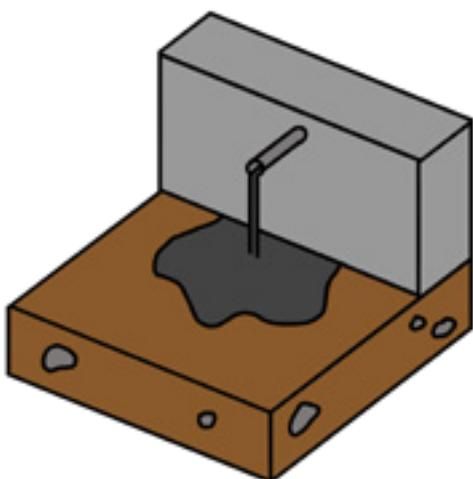


- g. **Mantenimiento de la reja:** hay que limpiar la reja de la basura acumulada con la ayuda de la horca para que ni la reja ni el canal se atasquen, evitando que la basura llegue al canal o que haya desbordamientos.

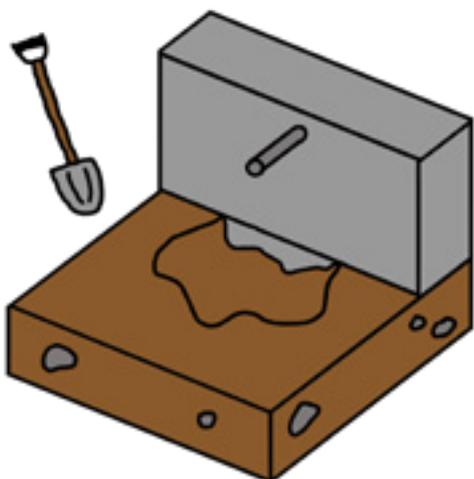


6.2.2. SANEAMIENTO EN ARRIATE

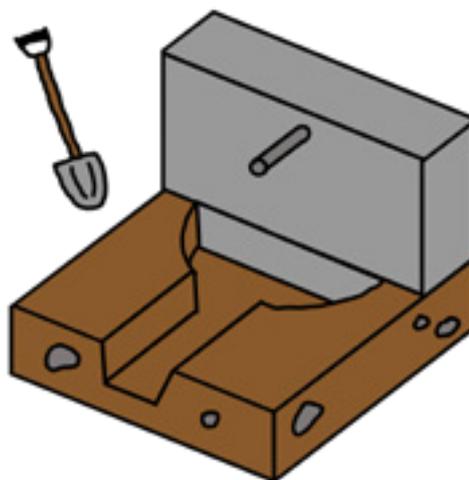
- a. Decidir dónde va a construirse el arriate:** en cualquier lugar donde las aguas residuales caigan desde cierta altura. Es importante que el agua tiene que caer, no escurrirse por la pared.



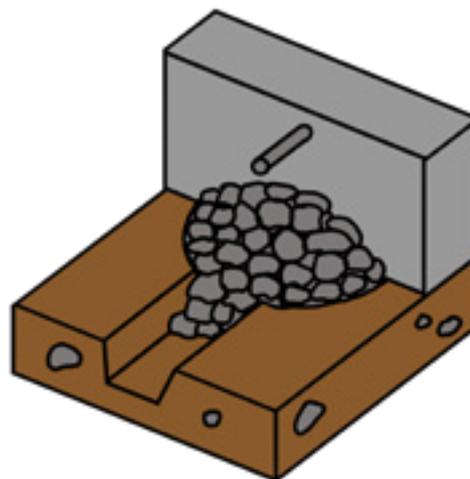
- b. Limpieza de la zona:** hay que retirar todos los residuos y la tierra afectada por el agua residual con ayuda de una pala o similar.



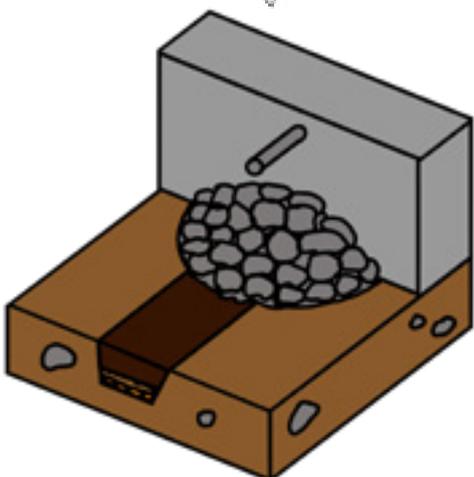
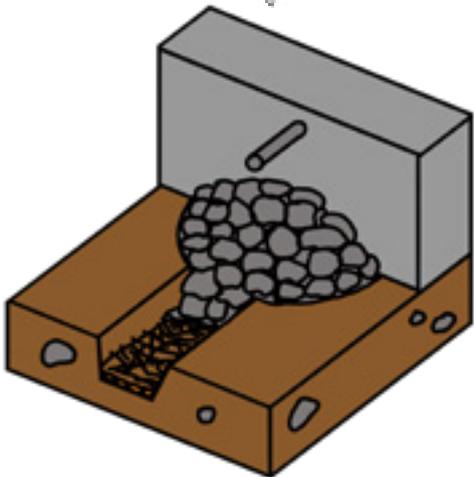
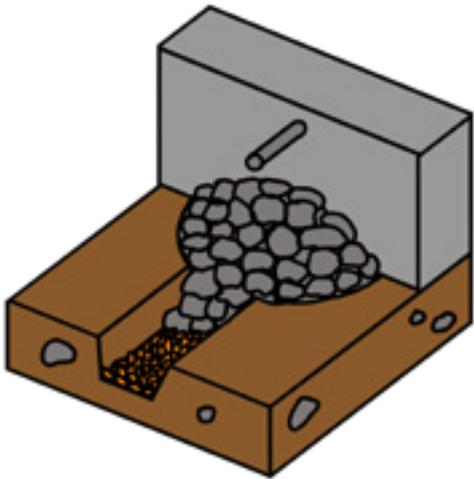
- c. Construcción de una zanja:** se excava una zanja entre 30 y 40 cm de ancho, entre 3 puños y un antebrazo, para que recoja y dirija las aguas hasta su destino en dirección a la pendiente. Se recomienda usar esta tecnología para dirigir el agua desde la fuente contaminante hasta el lugar donde vayan a ser tratadas. Si el agua es poca y está poco contaminada puede dirigirse a un río directamente.



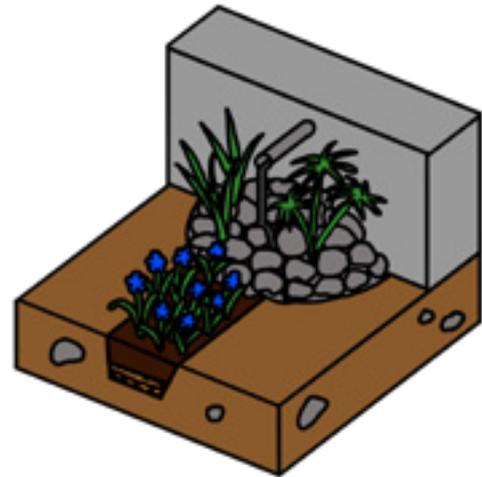
- d. Capa de piedras:** se añaden piedras de tamaño medio, 10 cm o un puño, debajo de la caída del agua residual para que se oxigene.



e. Compostaje del arriate: se aplica una capa de hojas secas, otra de ramas trituradas y por ultimo una de estiércol o materia orgánica.



f. Naturalización: se plantan plantas de rivera en las piedras y plantas decorativas en el arriate para mejorar la calidad del agua. En ningún caso pueden ponerse plantas comestibles



Si la cantidad de agua que cae por el arriate es demasiada se aconseja crear tantas desviaciones y arriates como sean necesarios en paralelo. Esto es mejor opción que realizar uno demasiado ancho. ●

6.3. EJECUCIÓN

6.3.1. REJA DE SANEAMIENTO

Las rejas de saneamiento se han hecho en Kimpese, con ayuda de la comunidad. Aquí el canal principal estaba ya construido y los secundarios era caseros de cada vecino al principal.



Figura 6.3.1. Canales de Kimpese.

Aquí para la construcción de la reja se usó bambú. Se construyeron rejas de diferentes dimensiones, adecuadas cada una al canalón donde estaba destinada.



Figura 6.3.2. Construcción de las rejas para el saneamiento.

Se limpiaron los canales antes de colocar las rejas, se instalaron y se protegió su superficie para que no den directamente sobre la reja restos de gran tamaño.

Con las rejas instaladas comienza el trabajo de mantenimiento, para evitar que la acumulación de residuos alcance un volumen que pueda taponar la reja y provocar que la reja se rompa o que se desborde el canal hay que limpiar el canal.



Figura 6.3.4. Canal con reja de saneamiento y la basura sin recoger.



Figura 6.3.3. De izquierda a derecha: limpieza del canal, rejas colocadas y protección para solidos de gran tamaño delante de la reja vista desde arriba

6.3.2. SANEAMIENTO EN ARRIATE

En el mercado de Tegucigalpa, Honduras, un terremoto había destrozado el sistema de canalización del barrio y tras varios años seguía sin arreglo. Por lo que la situación era de un montón de tuberías que vertían las aguas residuales por todas partes, entre otros problemas, estas aguas generaban un olor y un estado del suelo que impedían a la comunidad a disfrutar de ese espacio.



Figura 6.3.5. Mercado de Tegucigalpa con las tuberías rotas.

La propia comunidad del mercado se encargó de llevar a cabo la solución propuesta por el grupo Tar. Para tratar esta situación se aprovechó la caída que el agua tenía desde la tubería al suelo para oxigenar el agua haciéndola caer sobre piedras, posteriormente esta agua se canaliza para evitar su estancamiento.

Empezaron limpiando el terreno estropeado por el agua residual, retiraron esa tierra para sanear la zona. A la vez que se hacía el saneamiento de la tierra se aprovechó para construir las zanjas.



Figura 6.3.6. Saneamiento y excavación de las zanjas.

A continuación, colocaron las piedras y plantas para oxigenar y mejorar la calidad del agua al caer sobre ellas. Aquí al tratarse de varias caídas del agua y en ciertos momentos todas llevan bastante agua se han paralelizado varios arriates para no saturar el sistema. Si los alrededores y las zanjas se naturalizan la calidad del agua y de la zona sigue mejorando.



Figura 6.3.8. Piedras para oxigenar el agua al caer y zanjas naturalizadas.

Una vez finalizada la tecnología la comunidad decidió seguir arreglando el mercado, limpiaron las basuras y arreglaron y pintaron los puestos. En la recogida de basuras contaron con ayuda del ayuntamiento.

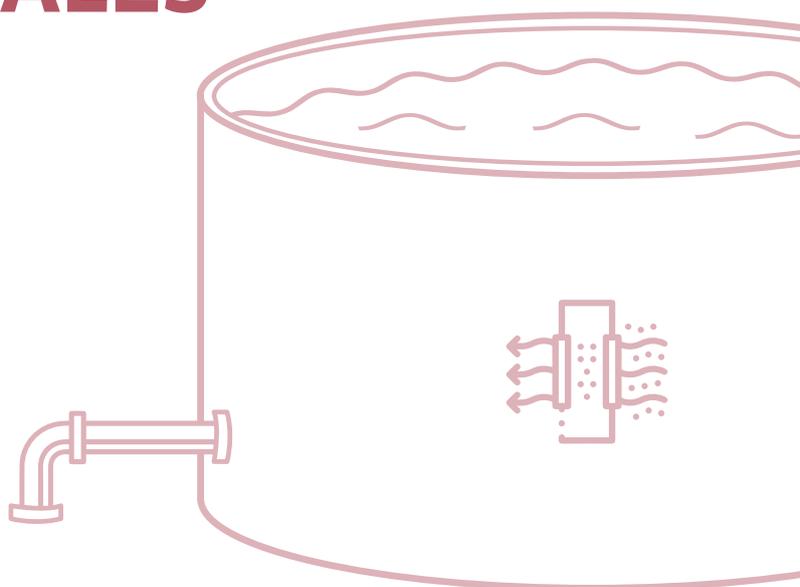
El mercado quedó limpio y nuevo para poder disfrutarlo y comercializar comida en un lugar salubre gracias al trabajo de la comunidad.

Tras esta naturalización la zona de al lado del mercado, a la orilla del río, quedó como un sitio donde apetecía estar, limpio y sin olores, perfecto para disfrutarlo y degustar lo que el mercado ofrece. ●



Figura 6.3.9. Mercado tras el trabajo de la comunidad.

7. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



7.1. FUNDAMENTOS

El tratamiento de aguas consiste en mejorar su calidad a través de una serie de procesos que pueden ser convencionales, no convencionales o mediante sistemas basados en la naturaleza. Con el agua tratada se mejora la calidad de vida de las personas y suele ir asociado al desarrollo social y económico.

Las aguas tratadas no deben devolverse al acuífero como ocurre con las aguas de escorrentías en las calles secas, las aguas tratadas se pueden inyectar a los ríos cercanos, regar con ellas árboles de madera u ornamentales, pero no se debe regar con ellas nada que vaya a consumirse sin haberle hecho analíticas y asegurarse de que el agua cumpla con la legislación correspondiente.

Las tecnologías que a continuación se desarrollan tienen fundamentos diferentes pero un mismo objetivo, tratar las aguas y mejorar su calidad. En el caso de la primera tecnología descrita, la fosa anaerobia logra este objetivo utilizando los principios de sedimentación de residuos y degradación de la materia orgánica. Mientras que el canal de plantas mejora la calidad del agua aprovechando los beneficios de las plantas oxigenadoras como la absorción de CO₂, nitrógeno y fósforo, la regulación de la cantidad de luz que llega al agua y, por supuesto, la oxigenación del agua mediante la fotosíntesis. Por último, la escalera de oxigenación, como su nombre indica, consiste en

oxigenar el agua mediante el choque, sin requerir grandes gastos energéticos ni económicos.

7.1.1. FOSA ANAEROBIA DE ALTA VELOCIDAD

Una fosa anaerobia de alta velocidad o fosa séptica es un sistema para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas, donde se busca reducir entre un 50 y un 60% la materia orgánica (contaminación) de un agua residual, además de prácticamente eliminar los microorganismos patógenos que contiene. La fosa realiza dicho tratamiento de forma sencilla y barata, pensada específicamente para zonas rurales o domicilios aislados, donde se usan letrinas de hoyo, como es el caso de Kimpese.

La mejora de la calidad de los vertidos domésticos se realiza en base a fenómenos de sedimentación y degradación biológica anaerobia de la materia orgánica. Es decir, se promueve una separación de líquidos y sólidos y tras esto las bacterias anaerobias actúan descomponiendo la materia orgánica de las aguas residuales en sus componentes inorgánicos y convirtiendo parte de los sólidos en material soluble en agua. Esta descomposición es importante pues reduce casi en su totalidad la cantidad de materia orgánica y la demanda biológica de oxígeno que se precisa para este proceso, así el agua puede devolverse a la naturaleza o pasar a la siguiente

fase de tratamiento menos contaminada. Ambos fenómenos se provocan gracias a la geometría diseñada, con la que se fuerza un flujo constante recorriendo todo el volumen útil.

El flujo continuo y forzado a través del camino que delimitan las paredes de la fosa amplifica el rendimiento de eliminación de patógenos debido a la separación total de los flujos de entrada y salida y a la agitación constante entre agua y fangos bacterianos, favoreciendo el contacto para la reacción biológica.

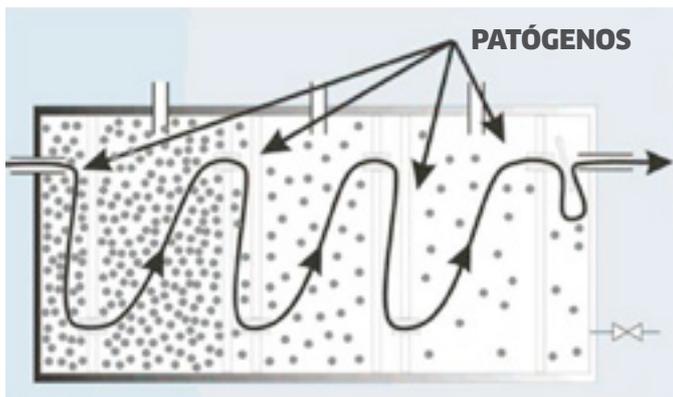


Figura 7.1.1. Fosa de alta velocidad, recorrido hidráulico

La forma del diseño en zigzag permite que el agua entre por debajo y salga por encima de cada módulo. Gracias a esto los sólidos contenidos quedarán al fondo por sedimentación, formando los cienos o fango negro de materia orgánica anaerobia, y en la superficie flotarán las grasas y espumas. Además, todo esto se realiza sin necesidad de recursos energéticos ya que la fuerza de entrada del fluido es la fuerza de salida, se aprovecha la energía hidráulica del agua de entrada, que al acceder por debajo la siguiente cámara agita y remueve el lecho de fangos sin coste energético. Los gases producidos por la digestión de la materia orgánica se extraen tanto por la entrada como por la salida de la fosa, o por unos tubos que se ponen en la parte superior de la fosa. Por otro lado, para su correcto funcionamiento, es de vital importancia colocar una reja de

saneamiento, capítulo 6, en el flujo de entrada a la fosa, de forma que se asegure que ningún sólido de grandes dimensiones entre y la obstruya.

El funcionamiento de la fosa es más efectivo cuanto más tiempo estén las aguas residuales en el proceso, por lo que se recomienda construirla con 2 o 3 compartimentos. El modelo propuesto de dos cámaras es más fácil de construir, mientras que el de tres cámaras incrementa la calidad del agua haciéndola apta para el riego de plantas no comestibles.

El rendimiento a temperatura ambiente es excelente, siendo aún mejor en zonas de clima tropical. Los resultados son comparables a los que obtienen los reactores de alta velocidad, pero con costes de producción mucho menores. Tiene la capacidad de reducir a la mitad la materia orgánica que transporta el agua, de una forma ocho veces más rápida que las fosas convencionales y un tamaño hasta 4 veces menor. La separación efectiva de las cámaras, propicia la separación del influente y el efluente en la fosa, con lo que se mejora radicalmente la eliminación de patógenos.

Entre los factores de uso, hay que tener muy en cuenta que cuando se llena la fosa deben llenarse todas las cámaras a la vez. Periódicamente, hay que limpiar los fondos entre los diques, sobre todo entre los del mismo módulo, los próximos. Esto es importante para evitar atascos, puede hacerse con un palo al que al final se le engancha algo que recoja los sólidos, como un cazo. Limpiar la salida de la última cámara para evitar atascos y asegurar que el agua sale de la fosa por toda la anchura disponible es clave.

7.1.2. CANAL DE PLANTAS

Los canales de plantas, conocidos también como canales depuradores de plantas o sistemas de flujo libre, tienen como objetivo aumentar considerablemente la calidad del agua para su posterior uso.

El agua residual se vehicula a través de un canal excavado en el que se instalan plantas oxigenadoras que están soportadas por piedras medianas para mantener su verticalidad y aprovechar las funciones de las mismas. Se puede plantar en tierra, directamente sujetadas sobre roca o mitad-mitad, según las condiciones del entorno. Hay que tener en cuenta que cuantas más plantas se coloquen más mejora la calidad del agua, si el agua que va a circular está muy contaminada harán falta muchas plantas. Es importante asegurar la verticalidad de las plantas, sino no pueden realizar su función e incluso llegar a contaminar el agua al pudrirse, generando residuos orgánicos.

El canal de plantas tiene por objetivo facilitar la absorción de la contaminación de las aguas tratadas previamente mediante varios procesos:

| | |
|---|--|
| 1 | Bloqueo de la penetración de la luz solar para inhibir la proliferación de algas. Esto es necesario por el problema de exceso de materia orgánica que generan las algas cuando mueren. |
| 2 | Oxigenación del agua. A través de la fotosíntesis las plantas proporcionan degradación aerobia de la materia orgánica contaminante del agua. |
| 3 | Captación de nitrógeno y fósforo del agua. Gracias a las necesidades que las plantas tienen de estos elementos para su crecimiento y floración, descontaminan el agua. |
| 4 | Absorción de CO ₂ . Son sumideros de carbono. |

Se puede destacar que la depuración de la materia orgánica es realizada por el metabolismo de los microorganismos de las raíces (bacterias, levaduras, hongos y protozoarios). El tratamiento de las aguas residuales, en general, se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física, química y biológica

Los canales de plantas se construyen siempre más largos que anchos, por ejemplo 1.5 x 5 metros, si el ancho no es suficiente para tratar el agua que sale se realizan más canales paralelos, nunca uno más ancho pues afecta al flujo del agua y da más posibilidades a que se estanque. Éstos suelen tener profundidades inferiores a 60 cm, superficie suficiente para la formación de películas bacterianas. De esta manera se facilita la filtración y adsorción de los contaminantes en aguas residuales, permitiendo la transformación de oxígeno a la columna de agua.

El fondo debe estar compuesto con pocas piedras para la sujeción de las raíces y estar impermeabilizado, si es posible. Se prioriza la colocación de especies vegetales autóctonas y procedentes de lagos cercanos al canal. Generalmente se usan plantas de ribera. A la hora de elegir plantas, se recomienda mirar qué tipos de plantas se encuentran en las partes del río o estanque más próximo en la zona de menor calidad. Revisar el capítulo 4, plantas, para más información.

Es necesario realizar un mantenimiento de poda periódico, cortando la vegetación antes de que comience su descomposición, para evitar que los restos de plantas se conviertan en contaminación. Además, se deben reponer las plantas si se estropean. Si se provoca superpoblación de la planta, de eneas, por ejemplo, se le puede buscar un uso como el realizar cestos o sillas artesanales con la superpoblación. De esta forma, se fomenta a la par el desarrollo social.

La gran ventaja del sistema es su facilidad de construcción porque es muy intuitivo y adaptable a todo tipo de situaciones. Esta tecnología se ha podido implementar por la comunidad en Kimpese de forma autónoma y ha mejorado la salud de los comunitarios con su puesta en marcha.

Entre los factores de uso, hay que controlar a lo largo del tiempo el crecimiento y expansión de las plantas de ribera, es decir, cuando estas plantas ocupen un mayor espacio en el canal se tendrán que sacar con las raíces tantas como sean necesarias para respetar las proporciones de plantas indicadas inicialmente. Hay que cuidar que las plantas flotantes, que irán desplazándose con la corriente del agua, vuelvan a estar por todo el canal, para ello se recogen los excesos del final y se llevan al inicio del canal. Además, hay que limpiar fangos de fondo a lo largo del canal para que no haya obstrucciones al paso del agua.

7.1.3. ESCALERA DE OXIGENACIÓN

Hay múltiples formas de oxigenar el agua, pero la mayoría de ellas requieren un importante gasto de energía. Por eso, un sistema de oxigenación que únicamente usa la fuerza de la gravedad para introducir oxígeno en el agua y que tiene relativa facilidad de construcción es muy interesante desde el punto de vista de ahorro energético, económico y de mantenimiento, por lo que puede ser una herramienta muy útil para mejorar la calidad del agua.

Se trata de depurar el agua residual aprovechando el rendimiento de la escalera por la que el agua contaminada pasa gracias a su energía potencial, la diferencia de altura que existe, para oxigenarla en el choque. Esto aumenta el oxígeno disuelto en cada escalón y el caudal de agua a lo largo de las mismas.

El Sistema Escalonado de Aireación es un proceso aerobio de tratamiento de aguas residuales urbanas. Consta de una estructura escalonada, un lecho rocoso como soporte de biomasa, una aireación por gravedad y una circulación por debajo del lecho de piedras.

Gracias a esta oxigenación del agua residual se desarrolla la biomasa bacteriana aerobia que

degrada la materia orgánica. Así se va tratando el agua que circula con la consiguiente disminución de demanda química o biológica de oxígeno y una mejora importante de la calidad del agua. Por lo que las escaleras de oxigenación son herramientas potentes allí donde hay pendiente o altura suficiente para dar lugar a la transferencia de energía potencial necesaria para el proceso.

Los mecanismos de depuración principales son:

| | |
|----------|---|
| a | Sedimentación |
| b | Degradación biológica de la materia orgánica. |
| c | Aireación por gravedad. |
| d | Circulación por efecto de la gravedad. |
| e | Oxigenación |

Hay parámetros que influyen y hay que tener en cuenta para desarrollar esta tecnología:

| | |
|----------|---|
| a | Caudal de agua a tratar. |
| b | Oxígeno disuelto inicial en el agua. Cuanto menor sea este valor más eficiente es la escalera de oxigenación. |
| c | Temperatura, a menor temperatura más oxígeno entra en la masa del agua, por ello es aconsejable sombrear la escalera lo máximo posible. |
| d | Altura del salto. |
| e | Profundidad del agua receptora. |
| f | Forma del rebosadero. |

Entre los factores de uso, hay que vigilar la caída del agua, es importante que el agua no choreando por la pared sin ningún tipo de presión porque debe llegar con fuerza al siguiente escalón para que se produzca la oxigenación. También hay que procurar que el agua llegue con la menos cantidad de sólidos posibles para evitar atascos y desbordamientos en la escalera.

Esta tecnología es muy útil en las zonas con poco espacio para tuberías y saneamiento y con mucha

pendiente, es decir, es muy utilizable en zonas de cerro como las favelas que no tienen calles ni espacio que permitan hacer un saneamiento, además, como son zonas de mucha pendiente tienen las características idóneas. Otro punto a favor es que sobre esta tecnología puede ubicarse una escalera para el tránsito de personas, no quita espacio de la circulación. ●

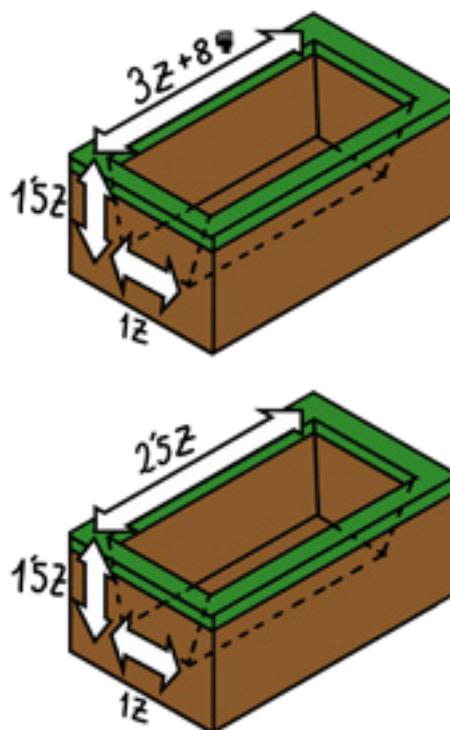
7.2. DISEÑO

Previo a cada tratamiento, se propone colocar una reja de saneamiento, capítulo 6, para garantizar que sólidos de gran tamaño no puedan pasar y obstruir la tecnología.

7.2.1. FOSA ANAEROBIA DE ALTA VELOCIDAD

a. **Dimensiones de la zanja:** va a depender de las necesidades y uso de la fosa, como medidas orientativas se muestra la siguiente tabla. Dependiendo del número de personas, primera columna, y de la cantidad de agua, primera fila, se aconsejan diferentes medidas. Se aconseja tener en cuenta que por razones puntuales o por cambios de la situación es mejor hacer una fosa un poco mayor al tamaño requerido para hacer frente a esa demanda sin tener que reacondicionar o rehacer la fosa, que el tamaño sea mayor no supone ningún problema. Todas las medidas están en metros o zancadas y las dimensiones son largo x ancho x alto.

En este apartado se proponen las medidas 2,5 x 1 x 1,5 metros como largo, ancho y alto, 2,5 x 1 x 1,5 zancadas, para una fosa de dos cámaras, y 3,8 x 1 x 1,5 metros, 3,8 x 1 x 1,5 zancadas, para una fosa de 3 cámaras



Independientemente del tamaño de la fosa, debe tener como mínimo 1 metro de profundidad, para separar adecuadamente cienos y espumas. Añadiendo la zona libre superior, lleva a que la profundidad mínima está en torno a 1,40 metros, una zancada y media.

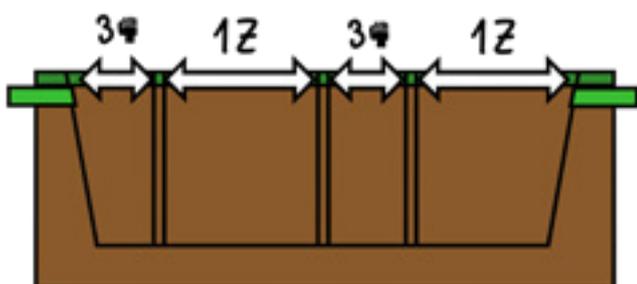
| Nº DE PERSONAS | MÁS DE 100 LITROS POR HABITANTE Y DÍA | UNOS 100 LITROS POR HABITANTE Y DÍA | MENOS DE 100 LITROS POR HABITANTE Y DÍA |
|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 10 | 1 x 1 x 1 | 1 x 1 x 1 | 1 x 1 x 1 |
| 20 | 1 x 1 x 1,5 | 1 x 1 x 1 | 1 x 1 x 1 |
| 40 | 2 x 1 x 1,5 | 1,5 x 1 x 1,5 | 1 x 1 x 1,5 |
| 80 | 3 x 1 x 3 | 2,5 x 1 x 2 | 2 x 1 x 1,5 |

b. Excavación: excavar la zanja con las medidas adecuadas. Además, con un talud, es decir, una pequeña inclinación para asegurar la estabilidad de la zanja. Esta inclinación puede hacerse con ayuda del inclinómetro, capítulo 3, herramientas.

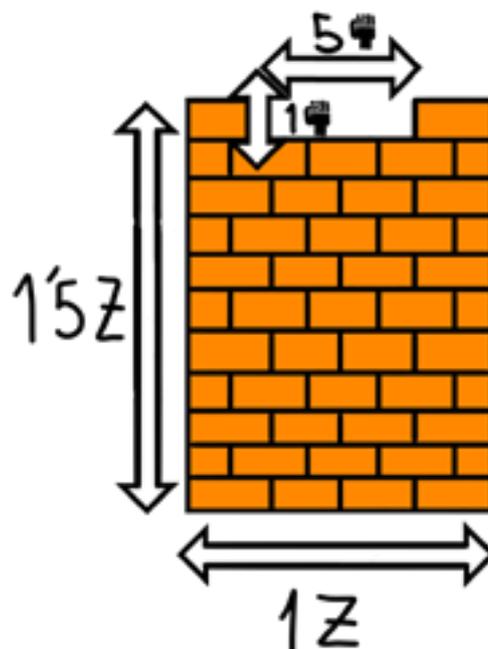
c. Impermeabilizar: sobre la base de la zanja se aplica el impermeabilizante que se encuentra explicada en el capítulo 3, herramientas. Si el suelo es de arcilla, este paso no es necesario.

d. Tabiques o tajaderas: las tajaderas son planchas dispuestas transversalmente al paso del agua, con una apertura por donde deja circular el agua. Con ella se realiza el circuito en zigzag, es el fundamento de la fosa anaerobia.

- **Realizar guías en la fosa:** según cómo se vayan a construir los tabiques, precisarán de guías o no. Es decir, si el material que va a usarse necesita refuerzo se hace con estas estructuras. Estas guías deben colocarse donde se van a ubicar los tabiques, es decir, por cada módulo, se realizan a 30 cm de la entrada, 3 puños, y luego a 1 metro, una zancada.



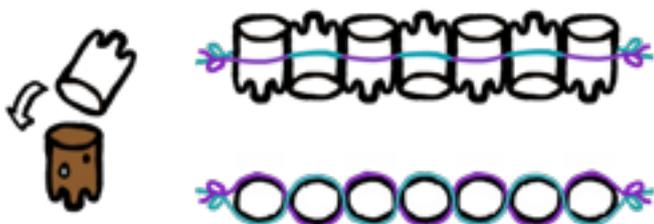
- **Construir tabiques o tajaderas:** se pueden construir de diversas maneras y materiales, pero cumpliendo los requisitos fundamentales, dimensiones e impermeabilidad. De esta forma serán planchas de dimensiones 1 x 1,5 metros, 1 x 1,5 zancadas. Esta plancha debe tener una apertura de sección rectangular de 48 x 12 cm, 5 x 1 puños, centrada en un lateral de menor longitud.



Es necesario construir 3 tajaderas o tabiques para las fosas de dos módulos y 5 para fosas de tres módulos. Entre todas las opciones para construir tabiques, adaptable a todas las zonas, aquí se exponen algunas:

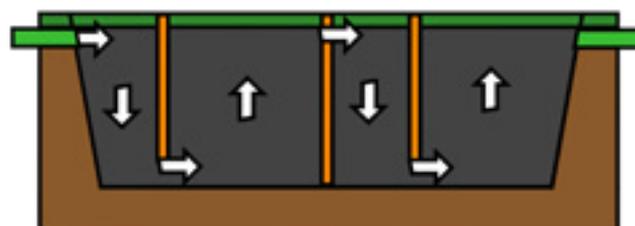
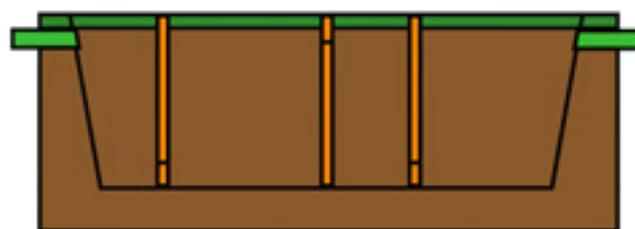
- Una opción es construirlos con **ladrillos de adobe**, explicado en el capítulo 3, herramientas, pero haciéndolos la mitad de gruesos.
- Otra opción es con **botellas de plástico rellenas de tierra**, apiladas una tras otra, recubiertas de algún material que cubra los huecos, como el cemento u otro tipo de mortero. Para hacer los ladrillos de plástico se necesitan las botellas de plástico, estas se deben cortar por la mitad y se aprovechará la mitad inferior para rellenarla con tierra o elementos similares que haya en el entorno. Para cerrarlos se usa otra mitad inferior encajándola como tapa. Para un metro de ancho se utilizarán unos 7 u 8 de estos ladrillos de plástico dispuestos uno detrás de otro unidos con cuerdas. Estas hileras se colocan una encima de otra hasta llegar a la altura deseada. Hay que recordar que

los tabiques deben dejar la sección rectangular en un lateral menor para que fluya el agua. Si es posible el tabique se cubre con algún tipo de mortero para tapan los agujeros por donde se va a colar el agua.



- También puede hacerse uniendo caña de bambú con cuerdas o clavos hasta tener la estructura con las medidas especificadas. Si es posible el tabique se cubre con algún tipo de mortero para tapan los agujeros por donde se va a colar el agua.
- **Colocar los tabiques:** se colocan entre las guías descritas anteriormente si se realizaron, sino la misma construcción del tabique tendrá que tener en cuenta su colocación. Esta colocación se hace disponiendo el primer tabique a 0,3 m de la entrada, 3 puños, con la apertura hacia abajo, el segundo a 1 metro, 1 zancada, con la apertura hacia arriba, el siguiente a 0,3 m, 3 puños, hacia abajo y de esta forma sucesivamente.

Por lo que el recorrido del agua por el interior de la fosa queda del siguiente modo, la entrada del agua es por la parte superior a la primera cámara y pasa a la segunda por la abertura inferior del primer tabique, a la siguiente cámara pasa por arriba, luego por abajo y así hasta la salida de la última cámara fuera de la fosa por arriba.



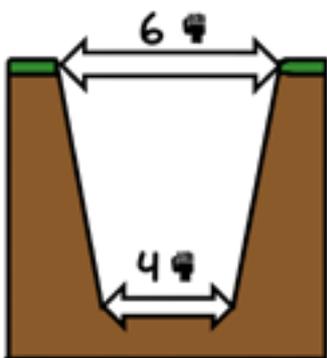
- e. **Llenar la fosa:** todos los compartimentos deben llenarse a la vez, para evitar que la presión que ejerce el agua sobre los tabiques pueda llegar a dañarlos.
- f. **Mantenimiento:** cada 2 años se recomienda vaciar y limpiar los lodos y grasas. Con la ayuda de palas se recoge y se transporta al vertedero más cercano.

Nota: las aguas de lluvia no deben entrar a la fosa, por lo que se recomienda hacer una tapa o un techo sobre la fosa.

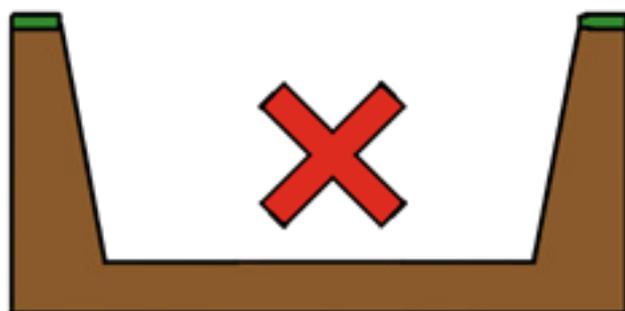
Importante: nunca se debe usar productos químicos, como para quitar olores, ya que pueden atacar a las bacterias que desempeñan el trabajo de descomposición.

7.2.2. CANAL DE PLANTAS

a. Forma y dimensiones: debe tener una forma trapezoidal, es decir, debe ser más ancha la parte de arriba que la inferior, se excava con pendiente en las paredes laterales. El ancho del canal en la parte superior es de 60 cm, 6 puños, mientras que en la parte inferior unos 40 cm, 4 puños. Mientras que la profundidad del canal es entre 30 y 60 cm, de 3 a 6 puños.



En cuanto a la longitud del canal depende de las necesidades, pero nunca puede ser más ancho que largo, se recomienda una proporción 1.5 x 5 metros, una zancada y media de ancho por 5 zancadas de largo. Si se necesita un canal más ancho por la cantidad de agua a tratar es aconsejable hacer más de un canal en paralelo, nunca ensancharlo.



b. Excavar el canal: usando las medidas establecidas se realiza el canal siguiendo la pendiente, mínimo se necesita un 1%, si la pendiente no existiese, habría que procurarla con el inclinómetro, capítulo 3, herramientas. Es importante procurar la ausencia de baches, para asegurar la circulación del agua.

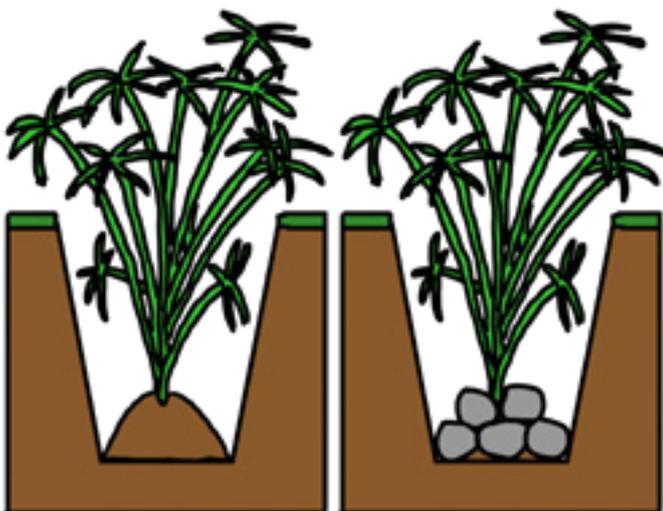
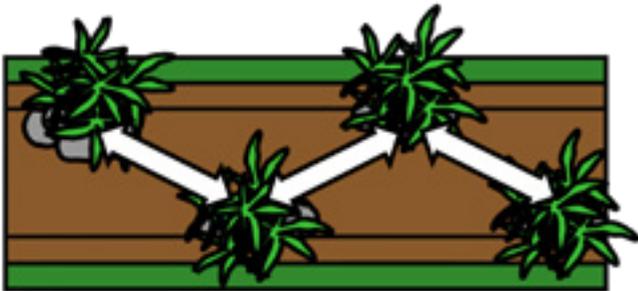


Al diseñar el canal, hay que tener en cuenta, si es posible, que la entrada de agua al canal se aconseja hacerla desde la parte inferior de la entrada.

Mientras que para finalizar el canal se recomienda unirlo con una escollera de piedras, saliendo el agua por la parte superior.



c. Plantar: las plantas seleccionadas dependerán de la zona donde se realice la tecnología, normalmente se trabaja con plantas de ribera para este fin por su resistencia. Más información en el capítulo 4, plantas. Las distintas plantas seleccionadas se van alternando secuencialmente, se colocan con separación lateral y longitudinal, unos 60 cm, 6 puños, para facilitar su proliferación. Se pueden plantar en tierra y sujetas con piedras o directamente con piedras, pero siempre manteniendo la verticalidad. Si está muy contaminada el agua hay que disminuir la distancia entre plantas y poner más.



d. Mantenimiento: cuando sea necesario se cortan los excesos de crecimiento de las plantas para evitar atascos o que si se pudren en el canal aumente la cantidad de materia orgánica. Con los excesos de algunas plantas, como las eneas, pueden usarse para otros usos como cestas o sillas artesanales.

7.2.3. ESCALERA DE OXIGENACIÓN

a. Elección del lugar: si hay unas escaleras ya construidas se pueden aprovechar dirigiendo las aguas residuales hacia ella mediante las tecnologías explicadas en saneamiento, capítulo 6.

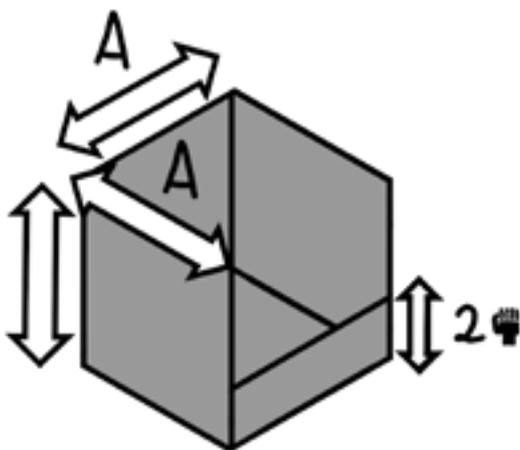
Si las escaleras van a construirse se busca un sitio con la mayor pendiente posible, para aprovechar el potencial conseguido por la altura. También es favorable si la zona es de sombra, ya que las bajas temperaturas favorecen el rendimiento del tratamiento, es decir, la absorción de oxígeno en el agua.



Es muy recomendable que antes de enviar las aguas residuales a la escalera se instalen rejas, capítulo 6, saneamiento, y una fosa anaerobia de alta velocidad, explicada en este capítulo, para asegurar el correcto funcionamiento y evitar el atasco en la escalera.

b. Construir las escaleras: se selecciona un material impermeable, accesible y sin coste del entorno cercano, como cemento, madera, alguno arcilloso, etc. Hay que realizar tantos cajones como escalones se quieran, cuantos más mejor. Se propone una altura,

profundidad y anchura de 50 x 50 x 50 cm, 1 x 1 x 1 antebrazos, para cada escalón. Cuatro de las caras del cajón son de 50 x 50 cm, 1 x 1 antebrazos. En otra de las caras, la frontal, se pone una tajadera o dique, de dimensiones 20 x 50 cm, 2 puños x 1 antebrazo, para retener el agua. La sexta cara, la superior, se deja descubierta.

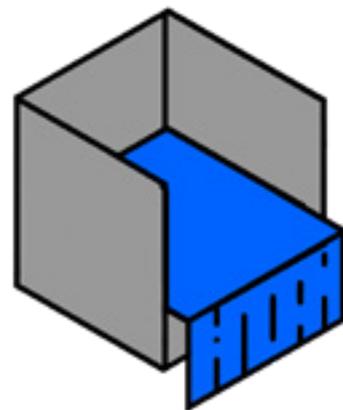
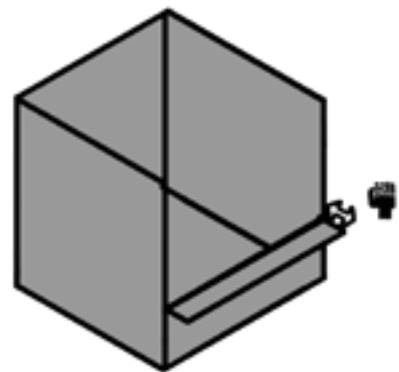


Además, se recomienda aplicar una pendiente en la superficie horizontal, la base, de la escalera hacia el exterior, hacia el dique, del 1% como mínimo, esto puede hacerse con ayuda del inclinómetro artesanal, capítulo 3, herramientas. Esta inclinación ayudará a la prevención de algas en el agua.

c. Construcción del rebosadero: si el agua al salir del cajón fluye por la pared vertical el potencial que tiene al caer es mucho menor, para impedirlo se ponen los rebosaderos. Dependiendo de los materiales accesibles se proponen tres formas de hacer los rebosaderos:

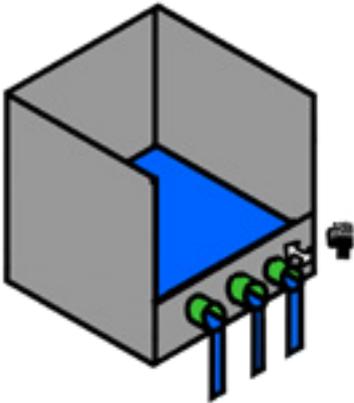
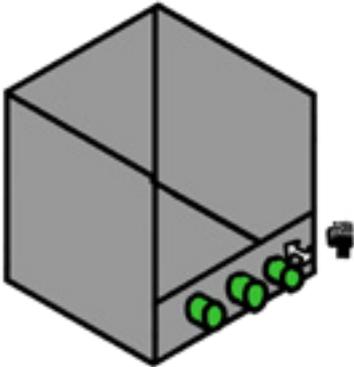
- **Ladrillo horizontal:** se coloca una cubierta de cualquier material de la zona, resistente

a la presión que puedan ejercer el agua y las rocas, como continuación de la tajadera o dique. Se pone una superficie horizontal para que caiga el agua hacia el siguiente escalón sin fluir por la pared. Esta cubierta tiene unas dimensiones de unos 8 x 50 cm, un puño por un antebrazo.

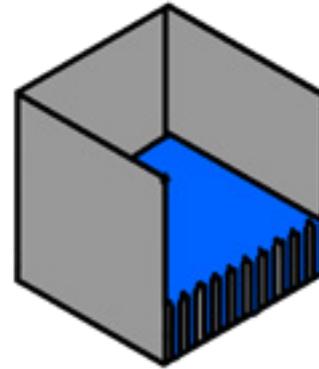
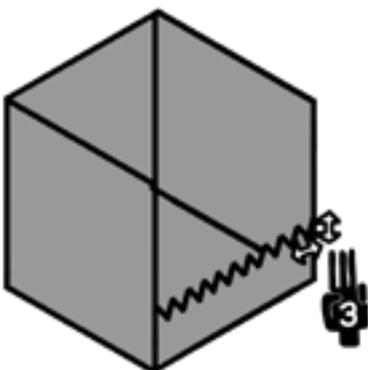


- **Tuberías de salida:** en la parte superior del tabique o tajadera se hacen 3 perforaciones, separadas equitativamente a lo ancho, del tamaño de las tuberías disponibles, pueden ser de cualquier material disponible, como el bambú vaciado. Se colocan las tuberías en las perforaciones y que sobresalgan unos 8 cm, un puño.

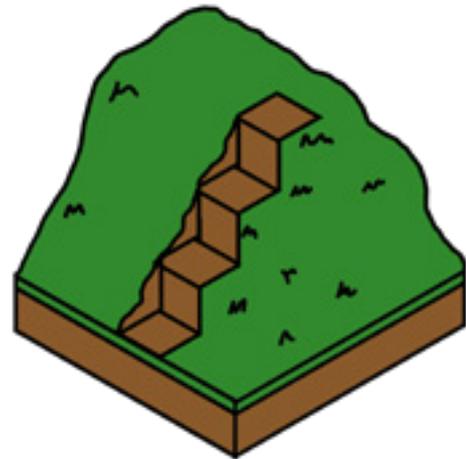
Estas tuberías requieren un pequeño mantenimiento para asegurar que no se atascan.



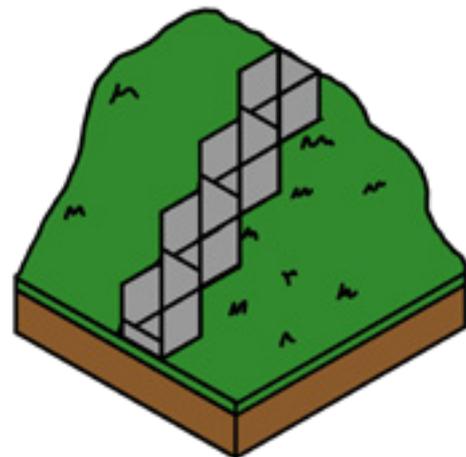
- Forma de vertero:** se realizan cortes transversales sobre la parte superior del tabique o tajadera en forma de zigzag. Los cortes se hacen cada 5 cm, 3 dedos, y con una longitud de 5 cm, 3 dedos. Siendo 50 cm, una zancada, el ancho del tabique y haciendo el zigzag cada 5cm, 3 dedos, quedan unos 10 zigzag aproximadamente. Aunque con este rebosadero el agua va a fluir por la pared la presión va a ser mayor y suficiente gracias al zigzag.



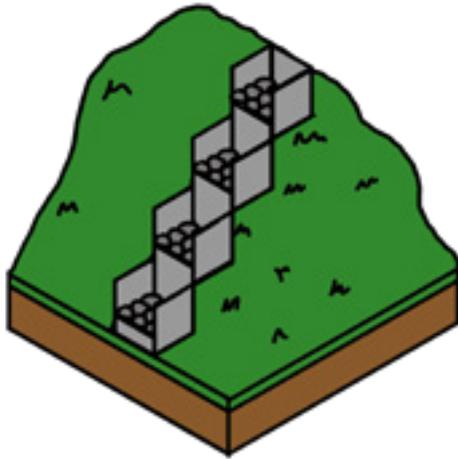
- d. Excavación:** para hacer los huecos de los cajones, en el sitio seleccionado se excava una escalera sobre la que se van a poner los cajones. Esta escalera tiene que tener una longitud, una profundidad y una anchura de 50 x 50 x 50 cm, 1 x 1 x 1 zancada, para acoger al cajón.



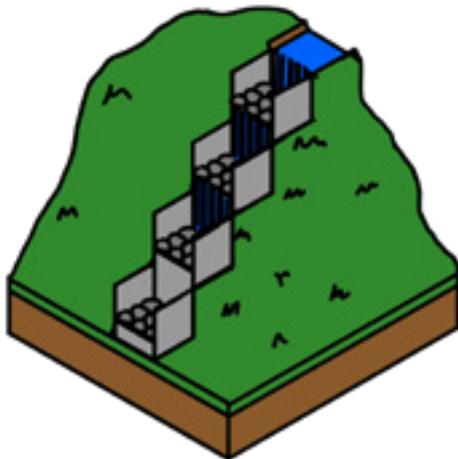
- e. Colocación de los cajones:** se colocan los cajones secuencialmente en los huecos anteriormente preparados.



f. Colocación de las piedras: se rellenan los cajones de piedras de tamaño medio, un puño, hasta una altura de unos 25 cm, dos puños y medio, porque debe sobrepasar la altura del tabique para que el agua no quede expuesta a los mosquitos en ningún caso.



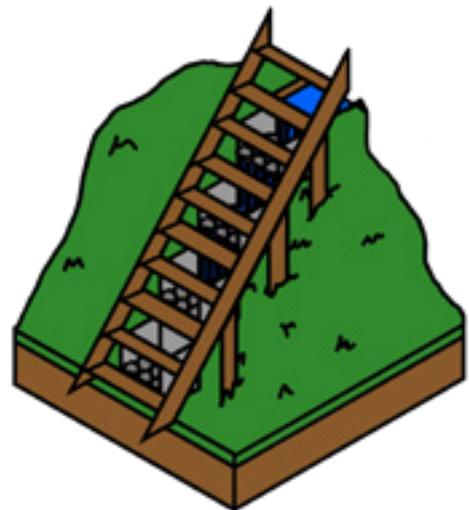
g. Relleno de agua: la escalera ya está lista para recibir agua, se va llenando desde el primer escalón y se deja que poco a poco se llenen los siguientes. Se aconseja que el agua venga pretratada como se ve en el capítulo 6, saneamiento, para mejorar el funcionamiento de la tecnología y sobretodo con la reja para evitar solidos de gran tamaño.



Opcional: de manera opcional puede instalarse una escalera para el paso de las personas sobre la escalera de oxigenación. Al construir dicha escalera, es importante que haya hueco entre los escalones de circulación de personas y los escalones de la escalera de oxigenación para permitir la circulación del aire, esta es necesaria para la mejora del agua. Por ello, se recomienda, si se puede, dejar unos 20 cm, 2 puños, entre los dos tipos de escalera.

Además, la escalera debe cumplir las exigencias para poder resistir el peso de las personas y los acarrees existentes en las casas de la zona, por eso se recomienda usar materiales resistentes, como la madera, con uniones resistentes, como pueden ser clavos.

También puede darse el caso que la escalera para la circulación de las personas ya este instalada, esta ubicación es totalmente aprovechable. Se excava debajo de la escalera de las personas para instalar la escalera de oxigenación y el mismo espacio ahora cumple dos funciones esenciales. ●



Importante: si se va a trabajar con una gran cantidad de agua, es decir, cuando el agua de salida de la escalera no sale bastante clara y sigue oliendo mal, debe ampliarse la longitud de la escalera o hacerse más escaleras en paralelo. No se deben hacer escalones más grandes.

7.3. EJECUCIÓN



Figura 7.3.2. Fosa anaerobia piloto.

7.3.1. FOSA ANAEROBIA DE ALTA VELOCIDAD

La fosa anaerobia de alta velocidad está en construcción en Kimpese en estos momentos, faltan por construir los tabiques que van a 20 cm, uno por cada cámara.

Por este motivo se va a mostrar la fosa anaerobia piloto de la planta experimental de Carrión de los

Céspedes, España. Al ser una planta piloto está construida en poliéster y en altura, no está a nivel de suelo como debe ser en la realidad. Se expone como ejemplo, pero no como pasos a seguir, para saber los pasos a seguir ver el apartado de diseño.

Es interesante fijarse en la separación entre las tajaderas y la separación entre cámaras.



Figura 7.3.2. Fosa anaerobia piloto.



Figura 7.3.3. A la izquierda la fase de llenado y a la derecha la fase de operación.

Las fotografías superiores pertenecen a la fosa experimental situada en el centro educativo provincial de Blanco White, Sevilla, España. En ellas podemos ver la diferencia de la superficie del agua entre la fase de llenado y la fase de operación, en la que la fosa anaerobia ya está trabajando. En esta última fase se forma una costra superior que facilita el desarrollo de los procesos anaerobios.

7.3.2. CANAL DE PLANTAS

En 2010, en Carrión de los Céspedes, España, se realizó un canal de plantas experimental como experiencia piloto para definir los parámetros de diseño y de implementación que mejoraran la calidad del agua en diferentes situaciones. Se realizaron tres tramos consecutivos de diez

metros de largo, por 0.5 m de profundo y de ancho 0.4 m en el fondo y 0.5 m en superficie.

En el primer tramo se encuentran paragüitas o papiros, *Cyperous alternifolius*, y eneas o totoras, que al ser de gran tamaño ayudan a generar sombra en el canal impidiendo la afloración de algas. Estos paragüitas y las eneas se colocan entre las piedras del canal para que se asienten. Cada cierto tiempo se deben limpiar los restos de ramas secas o rotas para que pueda seguir expandiéndose en el canal y, además, evitar que la materia orgánica se acumule en el canal. Con el paso del tiempo también es necesario mover paragüitas de las zonas más pobladas a las menos pobladas.



Figura 7.3.4. Paragüitas en el primer tramo.

Posteriormente se sembró lemna, que es una planta flotante que crece en primavera y tiene menos actividad en invierno. Se ha visto que la lemna se agrupa y se desarrolla mejor en zonas donde existen concentraciones de plantas.

En el segundo tramo se pusieron los paragüitas, enneas y lemna, además, de peces para criarlos mientras ayudan a la depuración del canal. Añadir peces puede hacerse si el canal es suficientemente ancho, mínimo 50 cm.

En el tercer y último tramo, tiene lo mismo que el primero, pero al final de los paragüitas,



Figura 7.3.5. Paragüitas y lemna en el primer tramo.

eneas y lemnas se colocó un filtro de piedras y posteriormente unas tejas. El filtro de piedras es para evitar la salida de algas y lemnas del sistema, se recomienda al final de todos los canales. Y las tejas son para controlar el caudal de salida.

Tras varias semanas de estudio se demostró que la inclusión de plantas específicas en los tramos de reutilización de agua ha mejorado la calidad del agua, debido a la buena adaptación de las plantas al medio especialmente la lemna y los paragüitas. Se observa a su vez, que la aparición de algas filamentosas en el canal, introducen oxígeno en forma de burbujas en la superficie, afectando negativamente a la turbidez del agua.

Los paragüitas son una planta de crecimiento invasivo que acaban con las enneas en poco tiempo, por ello, deben separarse las plantaciones de ambas plantas. En general, las enneas tienen mejores rendimientos que los paragüitas, por ello, puede considerarse hacer plantaciones de enneas mejor que de paragüitas.

Además de las enneas, pueden sembrarse carrizos, juntos y otras plantas como se indica en el capítulo 4, plantas. En todo caso deben escogerse plantas de rivera cercanas a la localidad donde se trabaje sin olvidar el criterio marcado en dicho capítulo para saber si liberan oxígeno por la raíz.



Figura 7.3.7. Canal de Carrión.

Durante las semanas siguientes, se ha retirado la lemna sobrante en el canal para su posterior secado al sol y utilización como pienso para animales de granja. Para evitar su deterioro es recomendable secar en capas finas, así las zonas más húmedas a las que no les da el sol no se pudren.



Figura 7.3.8. Lemna secándose para ser alimento en la granja.

Los canales de plantas tienen posibilidades buenas para la cría de peces.

Estos canales de plantas se están construyendo en estos momentos en Crerev, Kimpese, R. D. del Congo, recogiendo la experiencia del canal de Carrión de los céspedes (Sevilla). Gran parte de este diseño se realizó para la finca Aberta Nova, Grândola, Portugal, en 2014.

7.3.3. ESCALERAS DE OXIGENACIÓN

Un diseño anterior al propuesto en este apartado, se realizó en planta de tratamiento de aguas residuales de Tarija, Bolivia, en 2010 y en Cuzco, 2013. Donde se construyeron escaleras de oxigenación de aguas residuales urbanas, pero sin los lechos de piedra por lo que su eficacia es inferior a la del sistema propuesto.



Figura 7.3.9. Escalera de Cuzco.

La idea inicial para modificar el diseño partió del siguiente prototipo experimental, una escalera de aluminio con dos escalones de 50 x 50 cm contruidos sobre un desnivel de 1 metro. Se realizaron diferentes experiencias en busca del mejor coeficiente de inyección de oxígeno en agua por escalón según la altura y diferentes tamaños de piedras. A partir de esto, se ha calculado

experimentalmente que la relación óptima entre la altura del salto y la profundidad del agua receptora es de 3/2, un poco más de altura de caída de agua que profundidad del lecho de piedras existente en cada escalón, además, que el tamaño de piedras recomendado es un tamaño medio, un puño.



Figura 7.3.11. Prototipo de la escalera de oxigenación.

Este trabajo de escalera mejorado está diseñado en Kimpese en la Escuela Crerev para la mejora de calidad de agua en el tratamiento de aguas residuales de la residencia, en el momento en el que se escribe este libro se encuentra en fase de construcción. El diseño es similar al siguiente esquema.



Figura 7.3.10. Esquema de la escalera diseñada en Crerev.

Una aplicación especial de la escalera de depuración o de oxigenación es su utilización en las viviendas hacinadas en los cerros de muchas ciudades en Latinoamérica, las favelas de Brasil o en algunas ciudades africanas, en cualquier barrio autoconstruido a las faldas de alguna pendiente donde tanta gente malvive. En estas zonas donde no caben saneamientos de ningún tipo porque no hay calles intermedias entre las casas que crecen de forma totalmente irregular y tienen pendientes grandes, solo existen una serie de escaleras que permiten el acceso a cada una de las viviendas.

Se trata de convertir esta escalera existente en una doble escalera, de forma que sea escalera de tránsito de personas por encima y de tratamiento de aguas residuales por debajo. Para ello habría que excavar y hacer una escalera de oxigenación debajo de la escalera de tránsito. Por muy pequeña y tortuosa que sea la escalera de tránsito existente esta tecnología puede usarse para recoger las aguas residuales de las viviendas y aprovechando la pendiente existente propiciar la depuración por oxigenación para evitar todos los problemas que genera el agua residual sin tratar. Este es el valor de la escalera de oxigenación en nuestro proyecto.

Como apunte final del capítulo se recomienda hacer una sucesión de las tres tecnologías: fosa anaerobia de alta velocidad, seguida de escalera de aireación y del canal de plantas. Esto se realizó en la EDAR de San Vicente del monte en Cantabria, España, en 2014. ●

8. GESTIÓN DE BASURAS



8.1. FUNDAMENTOS

En este capítulo se puede estudiar la gestión de residuos a través de dos vías:

- Compostaje in situ: es más versátil, para situaciones de emergencia o uso doméstico. Se hacen los montones de basura y se gestionan en el punto en el que la basura se encuentre, sin hacer una preparación previa del terreno.
- Vertedero horizontal: más complejo, para usarse de forma sistemática. Se busca la zona adecuada y se prepara antes de trasladar los residuos hasta ella.

En vistas generales, ambas tecnologías persiguen el mismo objetivo: degradar los residuos sólidos urbanos, RSU, que se encuentran contaminando las calles, de la forma más eficiente posible a través de herramientas naturales de alta velocidad. Dichas tecnologías lo consiguen a través del proceso de compostaje de la materia orgánica.

El compostaje ocurre por la degradación o descomposición de la materia orgánica disponible en los RSU, gracias a la acción microbiana y la humedad. Este se puede realizar de diferentes formas según la presencia o ausencia de oxígeno, es decir, de forma aerobia o anaerobia. Esto también puede darse por una combinación de ambas.

Generalmente, la descomposición de la materia orgánica contenida en los RSU se realiza

inicialmente por vía aeróbica y posteriormente, una vez consumido todo el oxígeno del aire, por vía anaeróbica. El resultado de este proceso anaerobio es el biogás de vertedero, que está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono en proporciones próximas al 50%. También se generan pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno, así como otros compuestos orgánicos volátiles de efectos muy contaminantes y alta toxicidad [38]. Este biogás puede provocar pequeños incendios si no se reconduce adecuadamente.

En la tecnología presentada se ha aplicado el compostaje aerobio. Este proceso únicamente expulsa dióxido de carbono y vapor de agua, de esta forma se evita lidiar con las sustancias altamente tóxicas. Para ello se garantiza un sistema de circulación del aire a través de tuberías y chimeneas de bambú, como se verá en el apartado de Diseño. Gracias a estas tecnologías, lo que se consigue es acelerar el proceso de degradación natural que en el caso de los plásticos puede durar cientos de años.

Durante la construcción es importante humedecer la capa superficial 2-3 veces a la semana para que en un par de meses se produzca composta. Una forma rápida de saber si se está realizando bien el proceso es la aparición de lombrices, si existen el proceso va correcto y es un compost de buena calidad para realizar siembra.

Tras la construcción de la tecnología de compostaje, es necesario garantizar el sellado del relleno sanitario a través de la colocación de una capa superficial de tierra y su posterior vegetación. Esto ofrece en primera instancia una protección suficiente contra la erosión por el agua o el viento y minimiza la infiltración del agua de lluvia. También es una función importante del sellado evitar el contacto directo o ingestión de los residuos por parte de los ecosistemas animales y vegetales, así como por parte de los seres humanos, aislando los contaminantes y limitando su dispersión. Finalmente, ayuda a generar un menor impacto visual y a disminuir en gran proporción los malos olores, lo que hará que aumente la calidad de vida en dicha zona, e incluso hacerla atractiva para otros usos.

8.1.1. COMPOSTAJE IN SITU DE BASURALES

La herramienta *Compostaje in situ* se ha planteado para situaciones de emergencia puntuales, para la recuperación de montones de basura incontrolados que no pueden ser movidos, o para compostaje doméstico, cuando se tratan de pequeñas cantidades de basura. Siguiendo esta línea, se trata de un compostaje muy versátil por realizarse sobre la superficie. Sin embargo, hay que destacar que para planear un sistema de gestión de residuos a largo plazo se recomienda realizar la tecnología vertedero horizontal.

El compostaje que se propone se fundamenta en el proceso aerobio, es decir, el agente actuante es la circulación del aire en el interior de la pila del compost. Para ello, durante el proceso de construcción se debe ir picando la basura, y para finalizar, se coloca un sistema de tuberías y chimeneas que garantizan el mantenimiento de dicha circulación.

Por otro lado, se necesita recoger el lixiviado que se genera durante el compostaje. Lixiviado se llama a los líquidos que escurren de las basuras orgánicas,

son líquidos muy cargados de materia orgánica en putrefacción que deben ser recogidos con las tuberías bien colocadas al fondo de la pila para que a través de la gravedad trasladarlo hasta su tratamiento. En general se realiza su tratamiento por medio de un canal de plantas para reducir su impacto e incluso puede llegar a ser de provecho para otros usos como por ejemplo regadío. Dicha tecnología se explica más detalladamente en el capítulo 6, saneamiento.

Entre los factores de uso, hay que considerar que las pilas en las calles aseguren la circulación de gases desde la tubería del fondo (la de lixiviado), a la entrada al montón, hasta la de arriba, la chimenea. Comprobando periódicamente que no haya atascos, lo que puede hacerse metiendo un palo largo en ambas tuberías. También debe asegurarse la circulación de líquidos desde arriba del montón, hasta abajo en la salida de lixiviados por la tubería de fondo, para ello de vez en cuando se pinchará el montón de basura desde arriba hasta abajo con un palo, para hacerlo más poroso, y luego se taparán las superficies de los agujeros formados con tierra fértil de la que se usó inicialmente, para conseguir que los gases que se forman en los procesos solo puedan salir por la chimenea.

Importante: esta tecnología puede usarse para hacer compost para la huerta si solo se hace con basura orgánica doméstica, rama y hojas trituradas, siguiendo el mismo proceso.

8.1.2. VERTEDERO HORIZONTAL

Esta tecnología se fundamenta en el compostaje bajo tierra. Está planteado para la gestión de una mayor cantidad de residuos de forma controlada, llegando a usarse de forma sistemática para el desarrollo de la localidad. Cuando un vertedero horizontal llega a su máxima capacidad se construye el siguiente cerca.

Para su correcto funcionamiento, son clave los siguientes apartados:

- **Construir un agujero** dando a las paredes cierta pendiente negativa para evitar posibles derrumbes durante el proceso.
- **Impermeabilizar la capa inferior** o base del vertedero, si el suelo es arcilloso este paso no es necesario. Esto sirve para impedir el exceso de materia orgánica en el acuífero. En la tecnología propuesta se realiza por medio del asfalto natural del que se ve más detalladamente en el capítulo 3, herramientas.
- En cuanto a los laterales, las paredes del vertedero, no es tan urgente su impermeabilización, debido a que la gran mayoría de bacterias del compostaje desaparecen durante el propio proceso, y las sobrantes son prácticamente insignificantes. Por otro lado, el propio compost es beneficioso para las plantas que se encuentren en la superficie.
- Como en el caso del compostaje in situ, **el principal agente actuante es la circulación de aire**. Para ello se pica cada capa en su aplicación y se hace hincapié en colocar el Sistema de canales y chimeneas de bambú con la mínima posibilidad de obstrucción posible (por ello los tantos agujeros).

Los vertederos convencionales son profundos, y con lámina geotextil, estos se van llenando en capas. Si no entra oxígeno se genera mucho metano que, si se hace muy bien, se puede recoger.

Aquí se propone el vertedero horizontal porque es más fácil su autoconstrucción. Para la ubicación del vertedero horizontal deberán tomarse en consideración los siguientes requisitos:

- Las distancias entre el límite del relleno y las zonas residenciales, recreativas, vías fluviales, masas de agua y otras zonas agrícolas o urbanas.
- La existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales en la zona.

- Las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona.
- El riesgo de inundaciones. Esto puede evitarse con conceptos de otros capítulos: 6 calles secas y 7 saneamiento.
- El riesgo de hundimientos, corrimientos de tierras o aludes en el emplazamiento del vertedero. Esto se evita con la geometría en forma de embudo propuesta en el diseño y con una buena compactación de las capas.
- La protección del patrimonio natural o cultural de la zona.

Por otro lado, es importante tener en consideración que los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie del suelo no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

Una vez finalizado, el terreno no es accesible hasta que esté bien apisonado, relleno de tierra y revegetado. Si se hunde el terreno, hay que añadir más tierra y reforestar.

Entre los factores de uso, hay que asegurar la circulación de gases desde el fondo, hasta la tubería de salida, la chimenea. Comprobando periódicamente que no haya atascos, lo que puede hacerse metiendo un palo largo en todas las tuberías. También debe asegurarse la circulación de líquidos desde arriba del montón hasta abajo en la salida de lixiviados por la tubería de fondo, para ello de vez en cuando se pinchará el montón de basura desde arriba hasta abajo con un palo, para hacerlo más poroso, y luego se tapanán las superficies de los agujeros formados con tierra fértil de la que se usó inicialmente, para conseguir que los gases que se forman en los procesos solo puedan salir por la chimenea. En el caso que no haya sido posible hacer el vertedero con salida de lixiviado por no haber pendiente favorable para su realización, se pinchará más veces los montones del vertedero para propiciar mayor evaporación.

8.2. DISEÑO

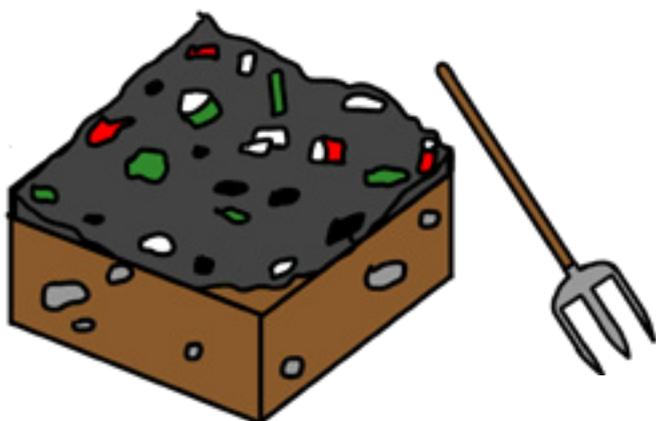
8.2.1. COMPOSTAJE IN SITU

Este tipo de compostaje se realizará cuando sea inviable la construcción de un vertedero horizontal controlado para grandes cantidades de basura o para compostaje doméstico.

a. Decidir donde construir: esto depende de la cantidad de basura de la que se trate, si se trata de una gran cantidad de basura o si es una cantidad de basura manejable. Se habla de una cantidad de basura manejable cuando se tiene la capacidad y los medios para trasladarla hasta la zona de compostaje.

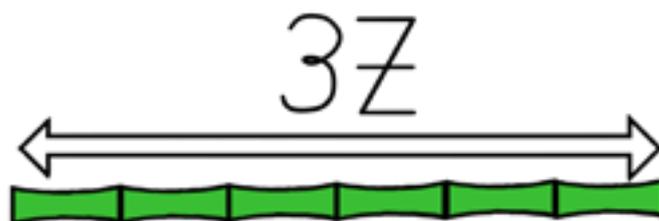
- **Si se trata de una cantidad de basura manejable:** se busca un terreno con pendiente mínima del 2% para la futura extracción de lixiviado. Si no lo hubiera, habría que realizar la pendiente con la ayuda de la herramienta inclinómetro artesanal.
- **Si se trata de una gran cantidad de basura:** como es una cantidad de basura que es totalmente inviable de trasladar a otro terreno más favorable, hay proceder al compostaje juntando la basura en un montón en el propio sitio.

b. Triturar la basura: la trituración de la basura es un paso relevante para facilitar la circulación de los gases y aumentar la velocidad de compostaje. Por ello, se aconseja triturar todo lo posible la basura de forma previa a su vertido en el montón de compostaje o en el sitio si es el caso de una gran cantidad de basura que no puede moverse. Se aconseja hacer uso de una horca o cualquier instrumento que triture.

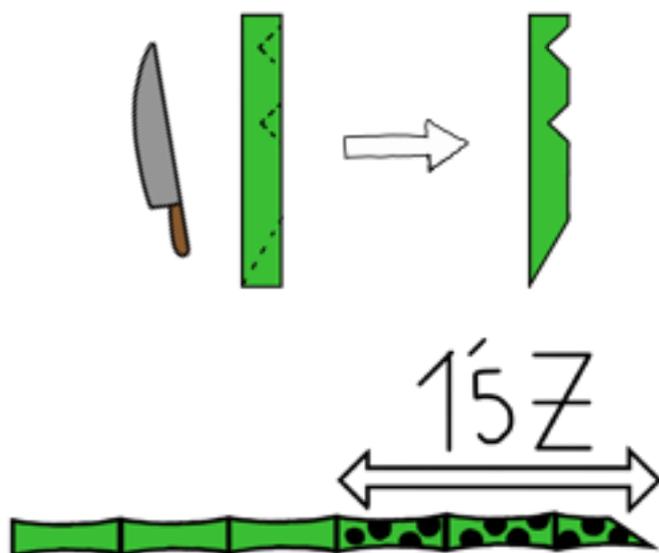


c. Preparar las chimeneas y los rebosaderos de lixiviado: según la cantidad de basura a gestionar se fabricarán más o menos chimeneas y rebosaderos.

- **Construcción de chimeneas:** se corta una caña de bambú y se le vacía el interior, con la longitud suficiente para introducirse en el montón de basura hasta un poco más de la mitad de la profundidad y sobresalir de él 1.5m, 1,5 zancadas. Para una pila de compostaje in situ estándar de compostaje doméstico, se propone 3m, 3 zancadas.



A continuación, se agujerea toda la superficie de la longitud que va a quedar sumergida, realizando perforaciones con diámetro suficiente para que no se obstruya fácilmente. Además, para una mejor introducción se afila este extremo del tubo.



Importante: el número de chimeneas depende del tamaño de la pila de compostaje, una chimenea abarca hasta unos dos metros y medio de radio. Es decir, si tengo una pila de 4 metros de longitud valdría con una única chimenea en el centro, pero si la pila es de 8 metros pondría dos chimeneas, con una distancia entre ellas de 4 metros y 2 metros hasta el borde.

En esta tecnología se usarán cañas de bambú a modo de tubería. Si se dispone de otro tipo de planta tubular o de tubería se podrá usar esta en su lugar, siempre que el interior este hueco o pueda vaciarse. Para trabajar el bambú se necesita un cuchillo, sierra o machete para cortarlo, así como una varilla o similar para poder ahuecarlo.

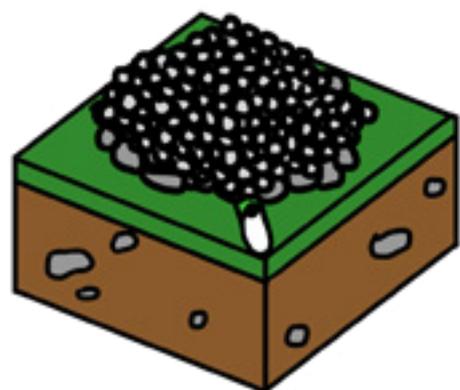
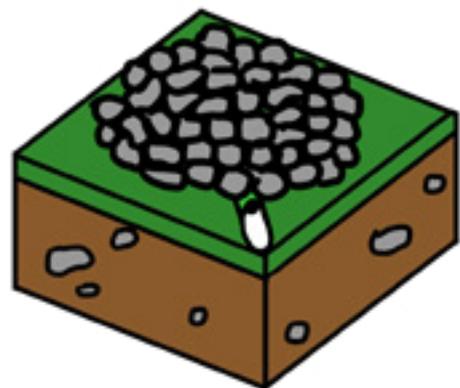
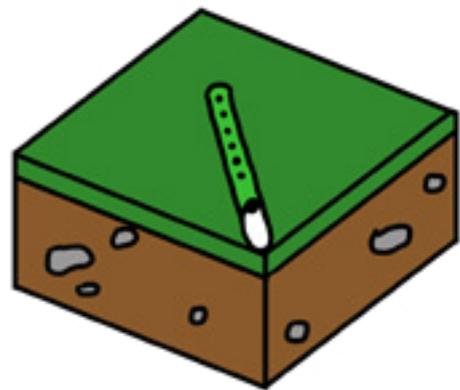
- **Construcción de rebosaderos:** se procede de forma similar a la chimenea. Se coge una caña de bambú, o el material disponible, con la longitud que tenga la base de la pila de compostaje, la longitud de la pendiente, donde vaya a colocarse más un metro que va a quedarse fuera de la pila, es por donde saldrá el lixiviado. A la parte que se va a introducir en la pila se le hacen agujeros en la sección superior para recoger el lixiviado, mientras que la sección inferior actuará de canal para la extracción del lixiviado, por eso no se perfora.



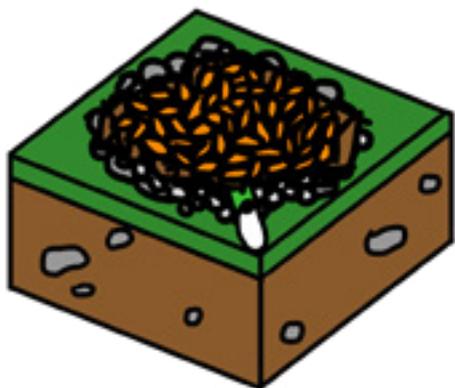
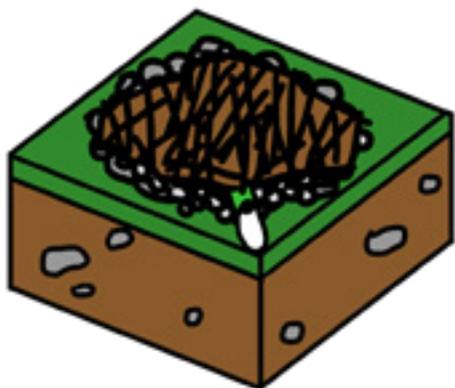
Importante: se pondrá un rebosadero por cada dirección diferente en la que haya pendiente. Si el terreno tiene una única pendiente pues un rebosadero, pero si el terreno tiene dos inclinaciones en direcciones diferentes pues se harán dos rebosaderos, etc.

d. Preparar el suelo de la pila de compostaje:

- **Si se trata de una cantidad de basura manejable:** se coloca el rebosadero de manera que el extremo por dónde vaya a salir el lixiviado apunte hacia la parte más baja de la pendiente. A continuación, se realiza una cama sobre el rebosadero, para impedir que la basura pueda atascarlo. Primero se ponen piedras de tamaño medianas, tienen que tener un tamaño mayor que los agujeros del rebosadero, y encima se añade gravilla.



Colocar una capa de ramas trituradas, ramas secas cortadas, y tras esto, una capa de hojas secas:



- Si se trata de una gran cantidad de **basura**: en este caso no sería posible colocar un lecho de piedras. Por ello el rebosadero de lixiviado se debe hincar hasta lo más profundo posible por la zona más baja de la pendiente, si existe, procurando que todos los agujeros queden dentro de la pila. Para una mejor introducción afilar un extremo del tubo.

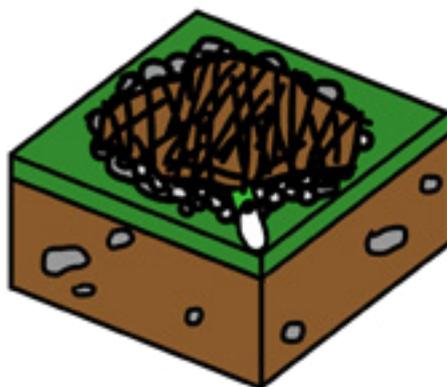


e. Colocación de capas: en la medida de lo posible, colocar las capas de basura siguiendo este orden sucesivamente.

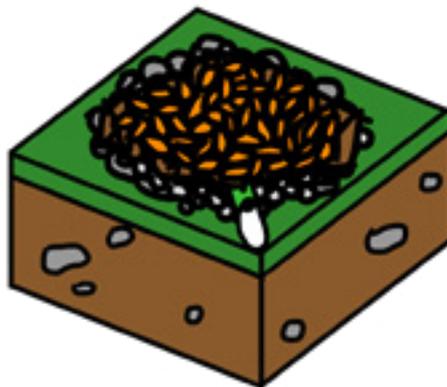
- Basura.



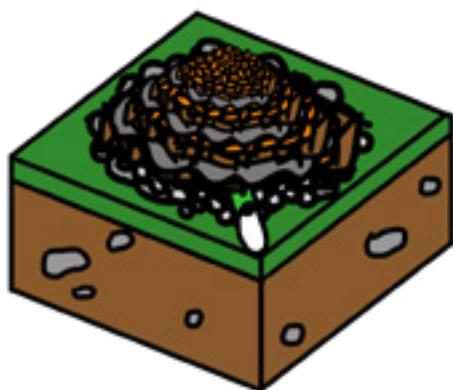
- Ramas trituradas.



- Hojas secas.

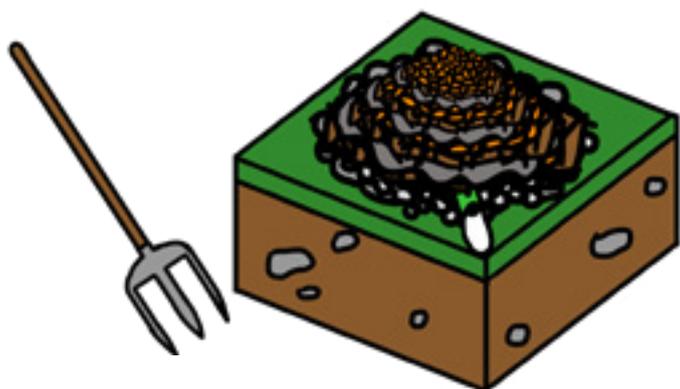


Hay que seguir esta secuencia de forma sucesiva, intentando reducir el área de las capas de forma que acabe en forma más o menos cónica. Ir aireando la basura durante el proceso como se muestra en el siguiente paso, f.

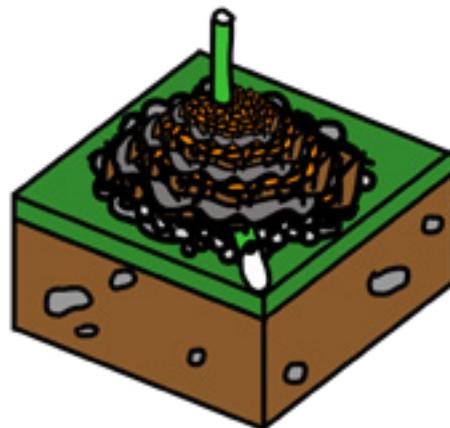


Importante: si la basura está compuesta en su mayoría de plásticos, se recomienda añadir una cuarta capa, de estiércol o más basura orgánica: fruta, más compost, etc., a la secuencia.

f. Airear la basura: con la herramienta horca, traspasar la pila de basura de forma que facilite el recorrido del aire a través de esta, que no esté apelmazada. Hacerlo varias veces hasta lograr el objetivo en todas las partes de la pila.

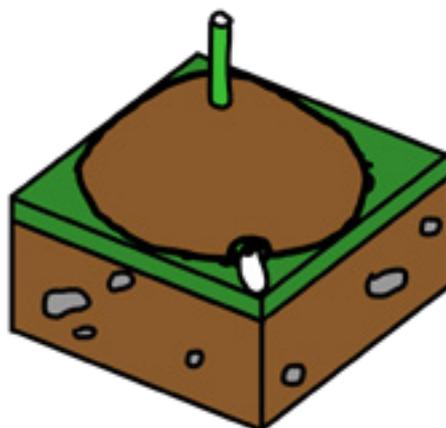


g. Colocación de las chimeneas: respetando las distancias antes explicadas. Normalmente es solo una chimenea que se coloca en la parte más alta de la pila en posición vertical.



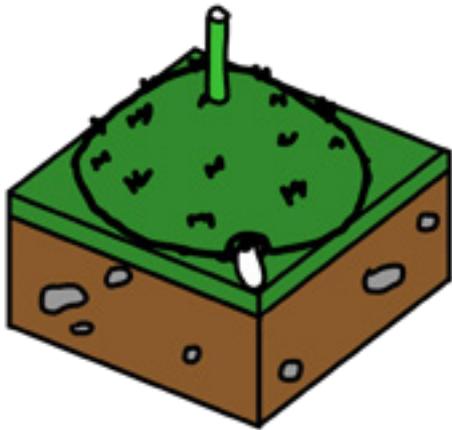
Importante: los agujeros de la chimenea deben quedar siempre dentro del montón.

h. Sellar la pila: se realiza colocando una capa externa envolvente de tierra, procurando que no queden huecos de aire. Porque se pretende la extracción del aire sea únicamente por las chimeneas.



i. Apisonamiento de la zona: para ayudar al compactamiento de la zona superficial usar el pisón o apisonadora manual por toda la superficie.

- j. Naturalizar la zona:** colocar plantas tapizantes sobre la última capa del montón. Esto aporta estabilidad a las lluvias y viento, además de mejorar el impacto visual. A los 6 meses ya se pueden colocar arbustos y al año árboles, si las dimensiones lo permiten. No se debe pasar por encima de la pila hasta que las plantas hayan arraigado bien.



Importante: las plantas que se coloquen no deben ser en ningún caso comestibles, ya que no se puede asegurar la total desaparición de las toxinas del basural.

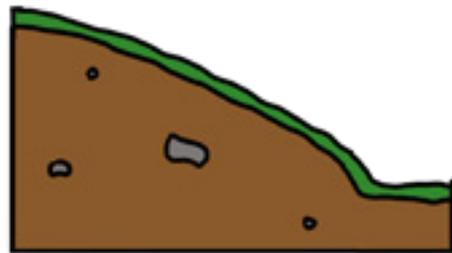
- k. Saneamiento:** este es un paso opcional. Se puede mejorar la calidad de la zona uniendo el final del rebosadero a un canal que desemboque o sea un canal de plantas o un estanque. Este tipo de tratamiento se desarrolla en los capítulos 7, saneamiento, y 8, tratamiento de aguas residuales.

8.2.2. VERTEDERO HORIZONTAL

Este vertedero está planteado para la gestión de una gran cantidad de residuos de forma controlada, llegando a usarse de forma sistemática para el desarrollo de la localidad. Ofrece un sitio para la eliminación de residuos diarios de forma controlada y salubre. Por ello, el tiempo

de construcción de este vertedero depende de la velocidad de relleno de las capas, apartado e, depende del tiempo que se tarde en generar la cantidad de basura que cabe en el vertedero.

- a. Elegir el terreno para trabajar:** preferiblemente se buscará una zona con pendiente, para facilitar la extracción del lixiviado. Alrededor del vertedero debe haber árboles, o se tienen que sembrar, perimetralmente de manera que limiten los posibles olores en el proceso de compostaje



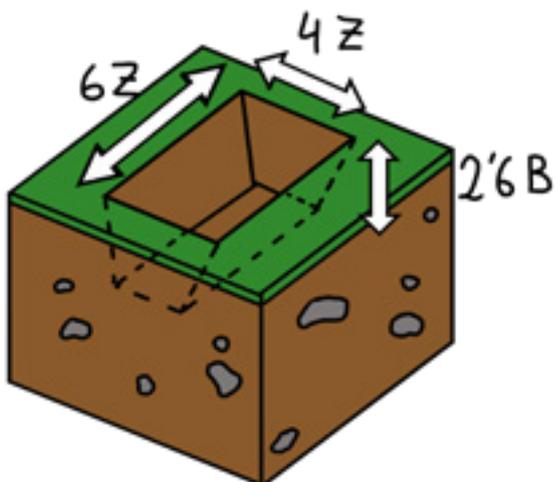
Importante: al elegir el terreno hay que tener en cuenta el acceso al vertedero, para el futuro traslado de material y residuos.

- b. Cavar el vertedero:** cavar un agujero de las dimensiones necesarias, dependiendo de la cantidad de basura que se vaya a gestionar. Preferiblemente rectangular y no excesivamente profundo, es mejor una menor profundidad y una mayor longitud. Además, es recomendable que las paredes tengan una cierta pendiente que haga de embudo para evitar posibles derrumbes, es decir, que la superficie del vertedero sea levemente mayor que la base.

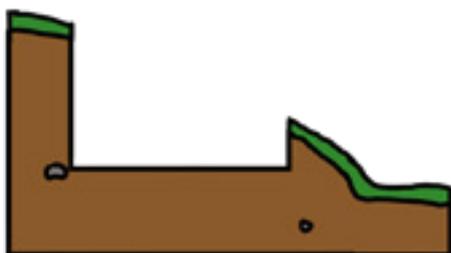
Como ejemplo se usarán las siguientes medidas: 4 x 6 x 2.6 m (4 zancadas x 6 zancadas x 2,5 brazadas). Para medir la profundidad se sugiere usar una cuerda con algo de peso atado al extremo, para que se tense la cuerda al medir.

Las distintas vistas de cómo quedaría tras la excavación son las siguientes:

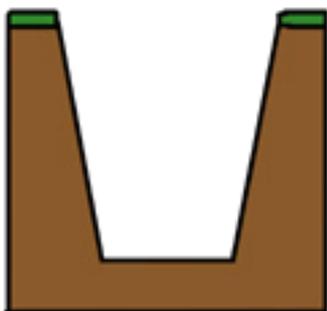
Vista desde arriba:



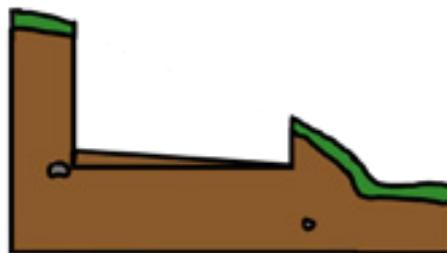
Vista desde el lateral:



Vista desde el frente:

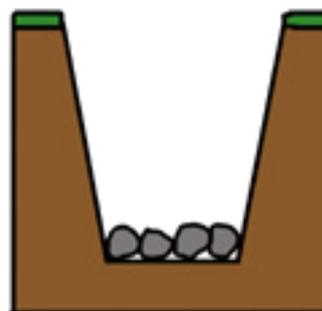


Importante: si el vertedero se ha realizado en una zona con pendiente, realizar en la base una pequeña pendiente de 1% en igual dirección. Para ello se hará uso de la herramienta de autoconstrucción inclinómetro artesanal.

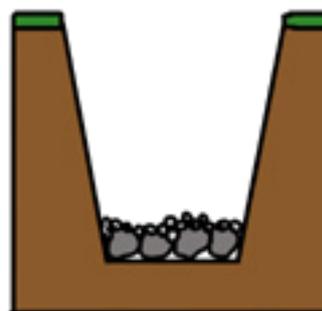


c. Impermeabilizar el fondo: si la tierra no es arcillosa, será necesario impermeabilizar la base del vertedero.

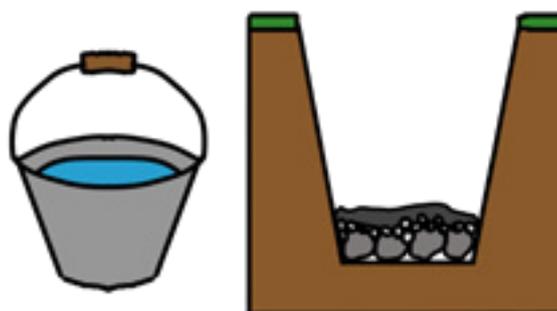
- Colocar cama de piedras grandes cubriendo todo el fondo.



- Añadir capa de piedras cada vez de menor tamaño de forma que sellen los huecos entre piedras.



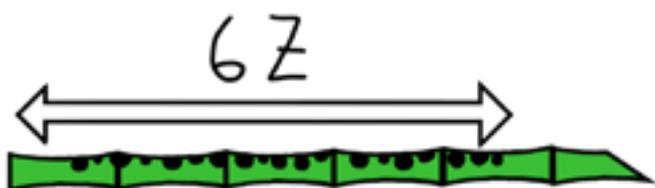
- Añadir estiércol o restos de compost y un poco de agua. Para que se pudra tras un tiempo, lo que creará una capa viscosa negra que servirá para sellar todos los huecos entre las piedras.



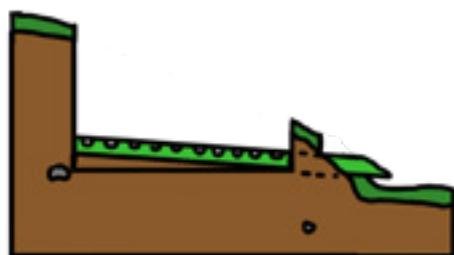
d. Chimeneas de introducción de aire y extracción de lixiviado:

- **Vertedero con pendiente:**

Se construye una chimenea de bambú más larga que la distancia entre pared y la salida al exterior por la pendiente. En este ejemplo será mayor de 6m (6 zancadas), el tramo extra depende de cuanto necesite para salir del vertedero, como se ve en los dibujos. En la parte superior de la tubería que va a quedar en el interior del vertedero, 6 metros en el ejemplo, se realizan agujeros en fila de forma longitudinal. Hay que respetar la base sin agujerear para que actúe como canal para el lixiviado.



Para la colocación de la chimenea se cava un túnel desde la parte más profunda del interior del vertedero, con cierta pendiente negativa. De esta forma se puede colocar el tubo de bambú conectando el vertedero con el exterior, como se muestra en el dibujo.



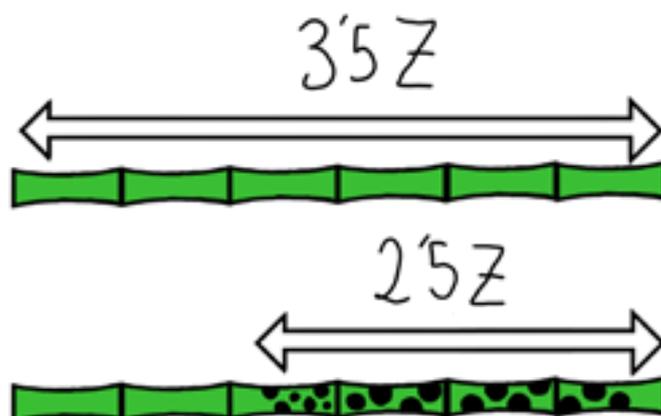
Si fuera necesario se pueden añadir una o dos chimeneas más, según proporción.

Como paso opcional pero recomendable, realizar el saneamiento. Esto mejora la calidad de la zona uniendo el final del rebosadero a un canal que sea o desemboque en un canal de plantas o un estanque. Este tipo de mejoras se desarrollara en los capítulos 6, saneamiento, y 7, tratamiento de aguas residuales.

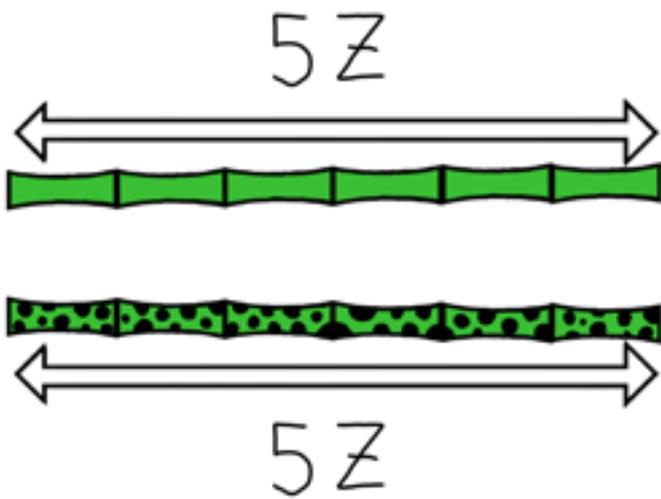
- **Vertedero sin pendiente:**

En este caso se utiliza lo que se denomina chimenea de fondo, porque no tiene salida del lixiviado. Para construirla hay que cortar dos tubos de bambú con las siguientes dimensiones:

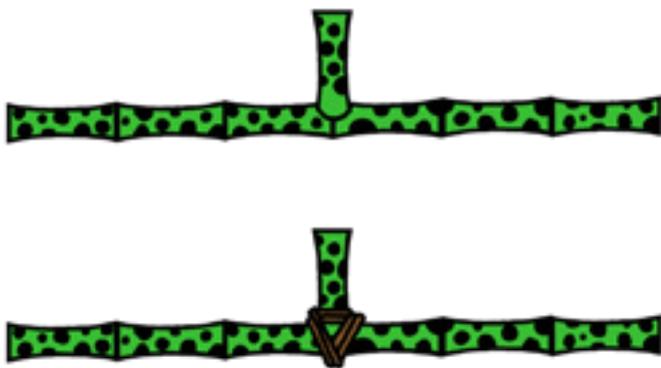
- **Tubo 1:** la longitud de este tubo es la profundidad del vertedero más 1 metro (1 zancada). En el ejemplo es de 3.5 m o 3.5 zancadas el total. La parte que queda introducida en el vertedero se agujerea, es decir, unos 2'5 m o 2 zancadas y media.



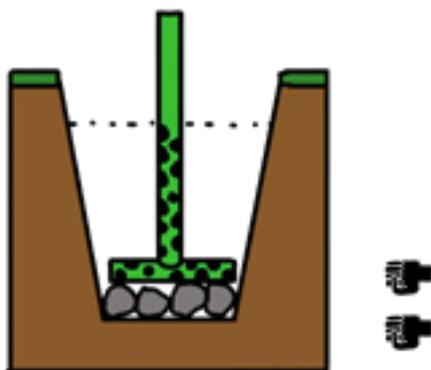
- **Tubo 2:** la longitud de la base del vertedero menos un metro (1 zancada). En el ejemplo es de 5 m o 5 zancadas. Este tubo se agujerea entero, con especial atención con que uno de dichos orificios coincida en la mitad del tubo para conectarse con el tubo 1.



Se realiza una unión de ambos tubos en "T". De forma que el aire circule del tubo 1 a las dos salidas sin perderse por el camino, para ello se hace coincidir el extremo agujereado del tubo 1 con el orificio que señala la mitad del tubo 2. Se fija la unión con cuerda.

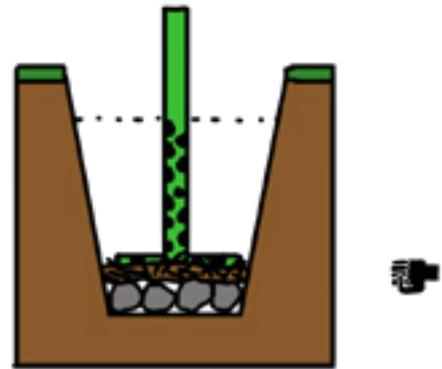


La chimenea de fondo se coloca a unos 20 centímetros, 2 puños, del suelo. Esta elevación se hace con piedras.

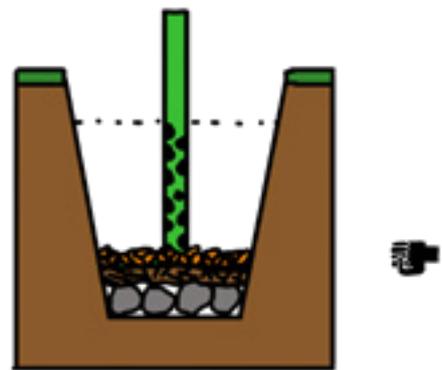


e. **Rellenar el vertedero:** se van añadiendo las capas en el orden que se indica de forma iterativa. Entre capa y capa es importante pinchar la basura, con la herramienta horca, para evitar que se compacte y favorecer el recorrido del aire.

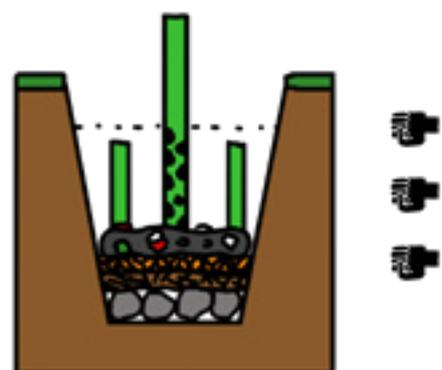
- Capa de ramas secas de unos 10 cm, un puño, de altura.



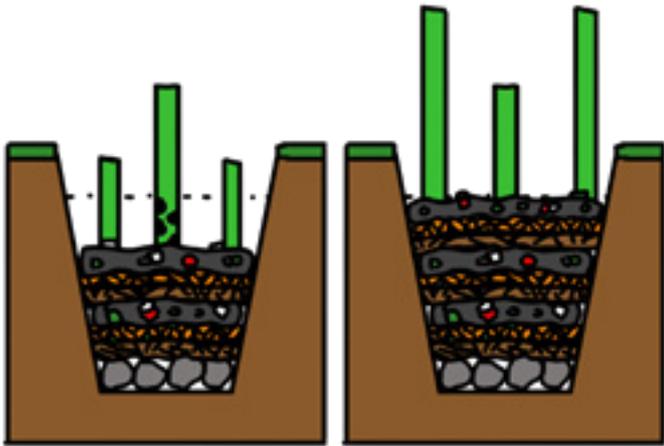
- Capa de hojas secas de unos 10 cm, un puño, de altura.



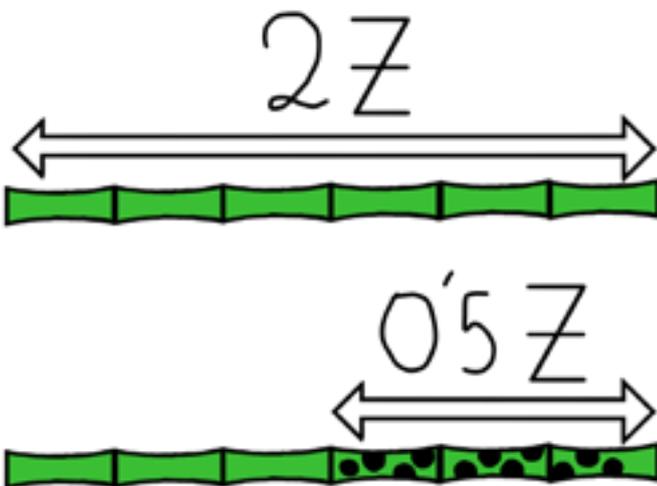
- Poner chimeneas de extracción de gases, leer apartado f.
- Capa de basura de unos 30 cm, tres puños.



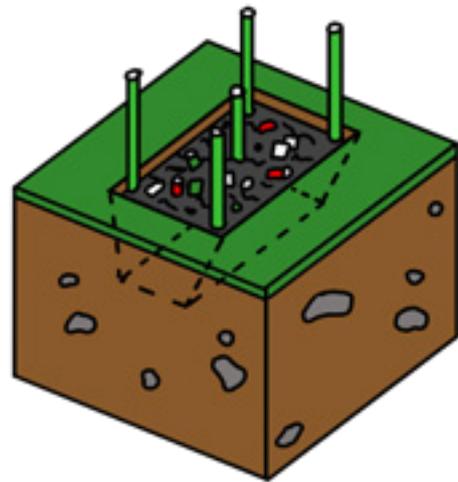
Estos cuatro pasos componen un nivel, cada vez que se acaba un nivel se comienza el siguiente y se mueven las chimeneas de extracción de gases a la altura del nivel que toca, apartado f, hasta llegar a la superficie.



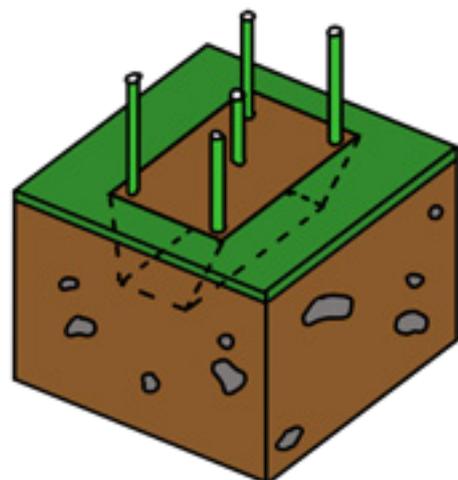
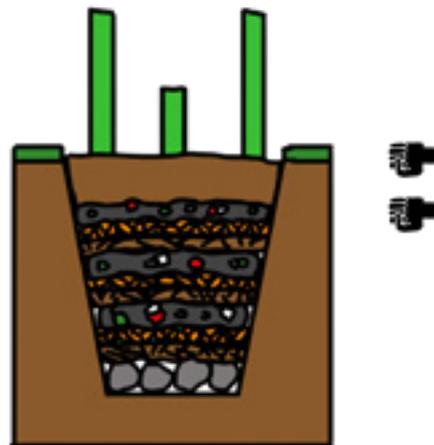
f. Chimeneas de extracción de gases: se hacen cuatro chimeneas de la misma forma. Se cortan los tubos de bambú con una longitud de 2 metros, 2 zancadas. Medio metro se introducirá en el nivel que se esté rellenando y el otro metro y medio sobresaldrá de dicho nivel. El medio metro que va introducido debe agujerarse.



Cada chimenea se coloca en un extremo del vertedero, no muy cerca de las paredes. Cuando se finaliza un nivel, apartado e, se extraen las chimeneas de gases y se colocan para el nuevo nivel.



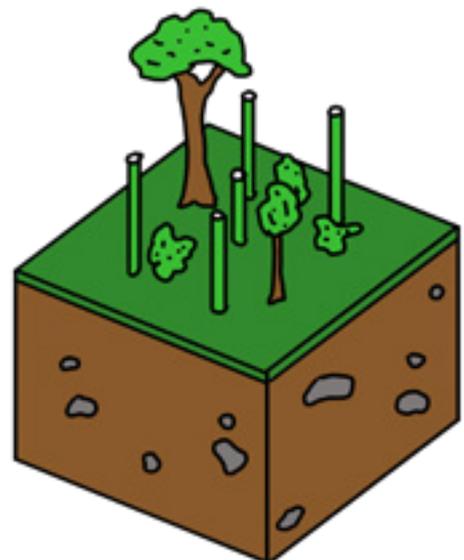
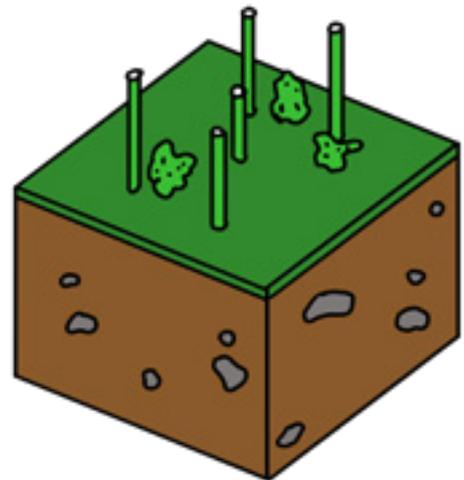
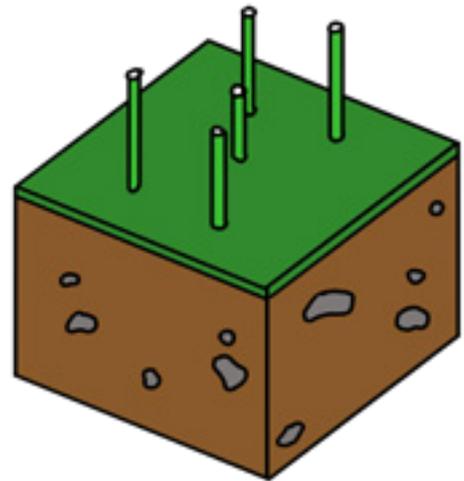
g. Sellar la zona: añadiendo una capa de tierra, de la que se extrajo anteriormente al realizar el agujero, de 20 cm aproximadamente (2 puños) prestando atención para tapar todas las posibles salidas o entradas de gases del vertedero, menos las chimeneas.



h. Natural y fijar: se colocan plantas tapizantes sobre la última capa de tierra final. Esto aporta estabilidad a las lluvias y viento, además de mejorar el impacto visual. Cuando hayan arraigado las plantas tamizantes, entre 3 y 6 meses, si se quiere pueden quitarse todas las chimeneas o cortarse arras del suelo, si se dejan no suponen ningún problema. A los 6 meses ya se pueden colocar arbustos y al año árboles, si las dimensiones lo permiten. No se debe pasar por encima del vertedero hasta que las plantas hayan arraigado bien.

Importante: las plantas que se coloquen no deben ser en ningún caso comestibles, ya que no se puede asegurar la total desaparición de las toxinas del basural.

Una vez relleno el vertedero, se cava otro a su lado y así hasta acabar con el espacio del que dispongamos. Una vez ocupado todo el espacio podremos usarlo como zona dedicada a la reforestación, como lugar de uso recreativo (parque, alameda, etc.) o como zona para el desarrollo industrial. ●



8.3. EJECUCIÓN



Figura 8.3.1. Situación de Kimpese antes de comenzar la gestión de basuras.

En Kimpese son conscientes de las situaciones y los problemas que acarrea la basura acumulada, por ello tras hacer un estudio de la situación real decidieron cambiarla. Se juntaron el grupo Tar, la Fundación MAYELA y la Asociación PRODELVU para diseñar y realizar los trabajos de naturalización que se describen a continuación.

8.3.1. SITUACIÓN INICIAL

La gestión de basura es importante en cualquier situación, pero hay poblaciones que además de gestionar la basura diaria tienen un cúmulo de basura sin gestionar importante. Dicha basura está repartida por todas partes sin distinción, calles, mercados, plazas, etc., con todas las consecuencias que esto conlleva.

8.3.2. ORGANIZACIÓN DEL PLAN Y DE LA PARTICIPACIÓN URBANA

Como se comenta antes, se reunieron el grupo Tar, la Fundación MAYELA y la Asociación PRODELVU para estudiar la situación y ver el plan de actuación. Una vez diseñado el plan integral de gestión de basuras se busca a las personas de la comunidad que puedan estar interesadas en participar y colaborar, cada una dentro de sus posibilidades o intereses. Para ello, en Kimpese se hizo una reunión

con la comunidad para explicarles la tecnología de gestión de los vertidos incontrolados.

8.3.3. COMPOSTAJE IN SITU

Cuando la cantidad de residuos es pequeña, un compostaje doméstico, o no es posible trasladar la basura hasta el vertedero se naturaliza con un compostaje in situ. En el caso documentado a continuación se trata de la basura acumulada alrededor de una carretera donde se usa para recuperar espacio degradado.

Comenzaron amontonando la basura y triturándola todo lo posible.



Figura 8.3.4. Recogida de basura para juntarla.



Figura 8.3.3. Reunión para valorar las opciones en Sevilla y reunión de la comunidad de Kimpese.

En este caso usaron el bambú para construir las chimeneas, para este tamaño de pila con una chimenea es suficiente.

Con las chimeneas puestas y para ayudar a la naturalización toca colocar las capas de hojas trituradas y hojas secas sobre la basura, en este faso usaron serrín. Como el tamaño de este montón es relativamente pequeño solo es necesario una capa.



Figura 8.3.7. Capa de serrín.

Para darle consistencia al motón y evitar que se caiga o se desplace usaron sacos y botellas rellenos de tierra que fijarán la base.

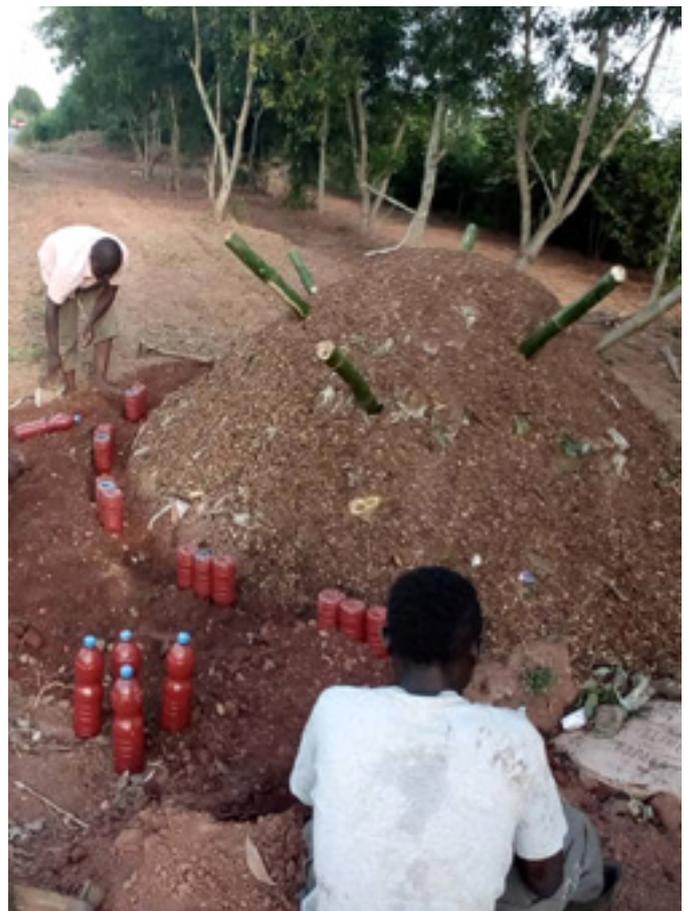


Figura 8.3.5. Fijación de la pila.

Sellaron la pila con una capa externa de tierra.



Figura 8.3.8. Capa de tierra para sellar.



Figura 8.3.9. Naturalización.

Por último, colocaron plantas no comestibles para naturalizar.

8.3.4. VERTEDERO HORIZONTAL

Empezaron por realizar una prueba piloto para la investigación y obtención de resultados de la alternativa de tratamiento propuesta.

El primer paso fue decidir dónde iban a ubicar el vertedero y comenzar a excavar, realizaron un vertedero horizontal para controlar y gestionar los residuos acumulados en el gran mercado del domingo.

Cuando el vertedero está listo para recibir basura puede usarse para gestionar la basura diaria e ir rellenándose poco a poco o para solucionar

problemas de la basura acumulada trayéndola hasta él. Este vertedero tenía la segunda función, por ello la comunidad se organizó para recoger la basura de las calles y transportarla.



Figura 8.3.13. Relleno del vertedero por capas.



Figura 8.3.12. Excavación del vertedero y preparación del canal de piedras para la salida del lixiviado hasta su posterior saneamiento.



Figura 8.3.14. Vertedero sellado y con las chimeneas colocadas.

El vertedero se va relleno capa a capa según el orden que se indica en el apartado de diseño. Se pincha la basura en todas sus capas para airear.

Cuando el vertedero está lleno hasta su límite superior se recolocan las chimeneas de extracción de gas y se sella la zona.



Figura 8.3.15. Naturalización plantando especies no comestibles en las zonas de alrededor del vertedero.

La naturalización del vertedero y de sus alrededores es un paso muy importante para la recuperación de la zona como un lugar recreativo dedicado a la reforestación.

8.3.5. MANTENIMIENTO

Al mismo tiempo que se trabaja en una mejora de la calidad de vida a nivel sanitario, en Kimpese, se ha comprobado que la gestión mejorada de basuras conlleva una mejora en el desarrollo económico y social de la comunidad. Para ello se ha trabajado en un proceso de sensibilización y posterior creación de un equipo de mantenimiento de la gestión de residuos, creando empleo y desarrollo a partir de lo que antes era un grave problema de salud.

Esta nueva empresa, Park, nace a través del compromiso del trabajo en equipo, mostrando valores como la complementariedad, coordinación, comunicación, confianza y compromiso. (grupo Tar & PRODELVU España, 2015). La puesta en marcha del sistema de recogida de basura se consiguió en diferentes fases (grupo Tar & Escuela Politécnica Superior de Sevilla, 2017).

Se comenzó en el mercado de diario. Se estudió la situación del mercado respecto a la limpieza del recinto por voluntarios de Cruz Roja, se realizó la naturalización de las zonas de vertido y se comenzó a cobrar una tasa por la recogida de basura 2 o 3 veces por semana, esta tasa depende de la cantidad de basura que genere el comercio, ronda unos 500 Fc, unos 28 cent. Hubo un retraso en el inicio de las actividades por la resistencia que presentó el grupo que de manera informal realizaba un cobro de tasa y vertido de residuos de forma incontrolada. Por ello, las autoridades tuvieron que intervenir para la resolución del conflicto.

Posteriormente, en el mercado de domingo se fue realizando el mismo proceso. Se cobra una tasa a los comerciantes del mercado de domingo los días que tiene lugar dicho mercado (domingo, miércoles

y viernes) que depende de la cantidad de basura a recoger. Además, los ejecutores encargados del cobro aprovechaban para sensibilizar a los comerciantes mediante conversaciones y recorridos con el megáfono. Se realizan limpiezas regulares del recinto tras y previa a la actividad comercial del domingo. Así como la limpieza y adecentamiento de la zona de los servicios públicos y espacios vacíos próximos a las oficinas de la policía y jefe de barrio y al pabellón.

Se continuó la sensibilización del Barrio 2, Centro Comercial y la Nacional 1. Los Jefes de avenidas con la ayuda de megáfonos pasaban al amanecer y al atardecer, horas en la que los adultos están en las casas. Los trabajos de recogida domiciliaria y de los comercios se efectúan de manera regular cada semana.

El transporte de los residuos al vertedero controlado piloto se realiza con un pequeño vehículo con soporte de carga comprado por la Fundación MAYELA y el alquiler de un remolque para tractor si es necesario. También se encargan de la gestión adecuada que deben tener estos residuos en los vertederos. ●

9. CONCLUSIONES

1

La ingeniería desarrollada en las universidades europeas, pero también en las de los países más desfavorecidos que la reflejan fielmente, no responde a las necesidades de todos ciudadanos del mundo.

Dejando especialmente excluidos a aquellos de países empobrecidos que no tienen acceso a los servicios y productos desarrollados por esa ingeniería, de tal manera que la pobreza en Kimpese lleva de manera más profunda a la crisis ambiental y esta, en un círculo vicioso, a su vez, a la pobreza. Esto se repite para miles de millones de personas en el mundo.

2

Los llamados Sistemas Basados en la Naturaleza (SBN), hoy en auge, son aplicados en general a los grandes espacios.

En tareas como el paisajismo y urbanismo urbano y periurbano en las ciudades y entornos occidentales, con un peso importante de arquitectura en sus postulados, ya que son los arquitectos los primeros que desarrollan acertadamente el concepto.

Pero, en nuestra opinión, las SBN deben extenderse por un lado para abordar desde el punto de vista ambiental situaciones más limitadas en el espacio y por otro deben aplicarse también a los problemas de comunidades de los colectivos más desfavorecidos del planeta.

Por ello nuestro grupo Tar desarrolla la ingeniería posible con lo que ha llamado Sistemas Naturales de Alta Velocidad (SNAV), que aprende de la madre tierra y de la herencia del conocimiento de nuestros antepasados para encontrar soluciones a los problemas ambientales, con una visión diferente que permite la autoconstrucción por los propios interesados de sus tratamientos y sistemas con materiales accesibles en sus entornos cercanos.

3

No debe haber separación entre conceptos aprendidos de la madre tierra por parte de la arquitectura (SBN) y la ingeniería posible (SNAV).

Toda aportación tecnológica es necesaria y bienvenida para el desarrollo de una vida más digna y equitativa de todos los habitantes de la tierra, plantas, animales y la humanidad en su totalidad.



En los sistemas desarrollados en este libro se ve la eficacia en su aplicación en los lugares donde se han implementado y se verifica que esta ingeniería propicia la **AUTOCONSTRUCCIÓN** por los propios interesados de sus sistemas ambientales.

Donde los más expertos van enseñando a los demás comunitarios para montarlos, mejora la calidad de vida y la propia autoestima de la comunidad al ver que es capaz de empezar a resolver problemas con sus propias manos.

En este sentido ha sido un éxito en las diferentes aplicaciones:

- La diferencia entre calles con y sin charcos permanentes en la época de lluvia es evidente y la mejora de calidad de vida es perceptible a simple vista, por ello, la eficacia de calles secas, capítulo 5, es indudable.
- En el caso del saneamiento y tratamiento de aguas residuales, tanto la conducción de aguas en canales de piedras y de plantas capítulo 7, que mejoran la calidad de las mismas, como las escolleras de piedras con plantas, capítulo 6, y las fosas anaerobias, capítulo 7, depuran el agua de manera eficaz. Tener agua salubre, que no genere tantísimas enfermedades, proporciona una opción de mejorar y avanzar a todas las sociedades. Por eso todos los sistemas están montados con el agua bajo las piedras para evitar los mosquitos, y todas las enfermedades que pueden transmitir, salvo el canal de plantas que puede implementarse con peces entre los canales que se comen las larvas de mosquitos.
- Si todo esto se hace a la vez que se gestionan de forma adecuada las basuras, capítulo 8, se proporciona una nueva oportunidad para desarrollarse, tanto individualmente como colectivamente, en una sociedad más saludable, con mayor economía y que ha resuelto sus problemas con sus propias manos.



En la experiencia en Kimpese con la escuela de Crerev, la mayor parte de los trabajos comunitarios han sido desarrollados por las mujeres, las madres con sus hijas e hijos jóvenes.

Los hombres suelen abandonar el hogar y / o no se hacen cargo de la familia en la mayoría de los casos.

La resolución de estos problemas ambientales ha generado una posibilidad de generar economía directa en el caso de las basuras urbanas creando la empresa que gestiona su recogida y tratamiento en el vertedero, tanto para los puestos de los mercados, como en las familias. Además de crear puestos de trabajo donde los jóvenes mejoran su propia economía, la Fundación MAYELA puede autofinanciar parte de sus actividades con estos ingresos.

Los sistemas de tratamiento de aguas deben seguir también esta senda de generar economía tal como ya ocurre en las basuras, ya que hay muchas calles y barrios en la propia Kimpese que lo necesitan, al igual que el resto del país u otros países que tienen similares problemas.

Poner el agua a producir verduras, frutas y peces es una mejora tangible de la soberanía alimentaria y, de nuevo, una fuente de ingresos en su venta como ya está ocurriendo en las ventas en los mercados de Kimpese y en la escuela de Crerev.



6

Se ha constatado que la solución de los problemas ambientales por los propios ciudadanos deja todo el valor añadido en la comunidad.

De forma que los problemas se convierten en una oportunidad de desarrollo social.



7

La transmisión de conocimiento desde el grupo Tar hasta Kimpese, a través del presidente de la Fundación MAYELA y la Asociación PRODELVU por vía WhatsApp, ha sido un éxito.

Con todas las dificultades que tiene, pero ha sido la gran herramienta de comunicación. Para ello se han hecho trabajos de diseño muy gráficos para que se pudieran autoconstruir en Kimpese.



8

Este libro quiere mejorar todas las explicaciones enviadas por WhatsApp y nace con la vocación de ser una herramienta que pueda usarse de forma autónoma por cualquier comunidad.

Contiene los pasos necesarios para la autoconstrucción del cambio cuando no haya medios económicos disponibles y sean las manos de los vecinos sus únicas herramientas. Este libro es una primera respuesta al desafío que nos hemos planteado de hacer más universal este conocimiento para que llegue a todos lugares donde pueda ser útil.



9

El grupo Tar sigue en estos momentos ideando nuevas soluciones a los problemas ambientales de los desfavorecidos.

Aplicando los SNAV en aguas de consumo humano, riego, piscifactoría, huerta y generación de energía eólica, biomasa en digestores anaerobios rurales y solar, que irán apareciendo en las próximas ediciones de esta publicación, que desde ya nos comprometemos a aplicar y a contar después.



10

Por último, creemos que la universidad pública occidental tiene una responsabilidad directa con los miles de millones de personas que no disponen de economía.

Debe asumirla urgentemente abriendo líneas de investigación y formando técnicos y graduados en este sentido.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, A. L. De Paz, C. Cazorla, P. Soler & D. Díaz, "Fabricación casera de herramientas e implementos para la huerta. Herramientas de huerta para personas," *AUREA Estud. Diseño*, vol. 1, pp. 1-140, 2000, [Online]. Disponible: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-fabricacion_casera_de_herramientas.pdf.
2. W. B. World Bank, *Education in the Democratic Republic of Congo*. Washington, U.S.A.: The World Bank, 2005.
3. D. Medrano Campillo, "Diseño sistema autoconstruible de saneamiento de aguas en Aberta Nova, Melides (Portugal)," 2008, doi: 10.13140/2.1.1934.1766.
4. G. Lasserre & J. Coma, "Valorización de los Efluentes de Depuración, de los Residuos agrícolas y domésticos por la Piscicultura de las Carpas et de los Tilapias," Universidad de Sevilla, 2009.
5. M. D. Curt, "Relación de macrófitas utilizadas en fitodepuración," *Macrófitas interés en fitodepu*, pp. 91-105, 2010.
6. G. Lasserre, J. Coma & grupo Tar, "Valorización de los Efluentes de Depuración, de los Residuos agrícolas y domésticos por la Piscicultura," Universidad de Sevilla, 2010.
7. L. C. Pozo Morales, M. D. Garvi Higuera, M. Franco Tovar, M. del C. Morón Romero & E. Ramírez Juidias, "Auto-Constructible Canal Sanitation." Comunicación en congreso. 3rd International Congress Smallwat11, Seville, Spain, 2011, [Online]. Disponible: https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=2324.
8. P. M. De Silva and J. M. Marshall, "Factors contributing to urban malaria transmission in sub-saharan Africa: A systematic review," *J. Trop. Med.*, vol. 2012, 2012, doi: 10.1155/2012/819563.
9. L. Pozo Morales, M. Franco Tobar, Garvi Higuera, Dolores & J. Lebrato Martínez, "Canal de Saneamiento." 2012, [Online]. Disponible: <https://consultas2.oepm.es/InvenesWeb/detalle?referencia=P201200606>.
10. J. García Garrido, "Desarrollo de sistemas naturalizados para la mejor sostenibilidad de la laguna de la Albufera de Valencia," 2012.
11. L. Pozo-Morales, M. Franco, D. Garvi & J. Lebrato, "Influence of the stone organization to avoid clogging in horizontal subsurface-flow treatment wetlands," *Ecol. Eng.*, vol. 54, pp. 136-144, 2013, doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.01.008.
12. L. C. Pozo Morales & J. Lebrato Martínez, "Desarrollo del Canal de Saneamiento de Managua." II Congreso Internacional de Hidroclimatología, Jujuy, Argentina, 2013, [Online]. Disponible: https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=2324.
13. L. Pozo-Morales, M. Franco, D. Garvi, & J. Lebrato, "Experimental basis for the design of horizontal subsurface-flow treatment wetlands in naturally aerated channels with an anti-clogging stone layout," *Ecol. Eng.*, vol. 70, pp. 68-81, 2014, doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.04.010.
14. L. Pozo Morales, M. Franco Tobar, D. Garvi Higuera, & J. Lebrato Martínez, "High speed anaerobic pit," *ES2432824 A2*, 2014.

15. M. Ali, A. R. Nelson, A. L. Lopez, & D. A. Sack, "Updated global burden of cholera in endemic countries," *PLoS Negl. Trop. Dis.*, vol. 9, no. 6, pp. 1-13, 2015, doi: 10.1371/journal.pntd.0003832.
16. International Monetary Fund, "Democratic Republic of the Congo: Selected Issues," IMF Staff Ctry. Reports, vol. 15, no. 281, p. 1, 2015, doi: 10.5089/9781513590189.002.
17. Grupo Tar & PRODELVU España, "Experiencia piloto del 18-20 Mayo 2015," 2015, [Online]. Disponible: <https://aula.aguapedia.org/course/view.php?id=35>.
18. Grupo Tar & PRODELVU España, "PARK," 2015, [Online]. Disponible: <https://aula.aguapedia.org/course/view.php?id=35>.
19. M. Montufar, grupo Tar, & E. P. S. de Sevilla, "Pozos de Absorción en Chimaltenango, Guatemala," 2016, [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/4671/mod_resource/content/0/POZOS.
20. M. E. García Aparcero, "Manual de soporte de plantas para la naturalización de masas de agua degradadas." 2016.
21. S. Cha et al., "Effects of improved sanitation on diarrheal reduction for children under five in Idiofa, DR Congo: A cluster randomized trial," *Infect. Dis. Poverty*, vol. 6, no. 1, pp. 1-12, 2017, doi: 10.1186/s40249-017-0351-x.
22. L. Pozo-Morales, C. Moron, D. Garvi, & J. Lebrato, "Ecologically designed sanitary Sewer based on constructed wetlands technology - Case study in Managua (Nicaragua)," *J. Green Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 421-450, 2017, doi: 10.13052/jge1904-4720.735.
23. Grupo Tar & Escuela Politécnica Superior de Sevilla, "Memoria PARK Fase 1," 2017, [Online]. Disponible: <https://aula.aguapedia.org/course/view.php?id=35>.
24. L. Pozo-Morales, M. D. C. Morón Romero, M. D. Garvi Higuera, & J. Lebrato Martínez, "Ecologically Designed Sanitary Sewer Based on Constructed Wetlands Technology - Case Study in Managua (Nicaragua)," *J. Green Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 421-450, 2017.
25. USAID Global Waters, "Water for the World Country Plan: D. R. Congo," 2017, [Online]. Disponible: https://www.globalwaters.org/sites/default/files/wfw_drc_country-plan.pdf.
26. R. Medina Martín, A. Alvarado Reyes, & grupo Tar, "Sistemas drenantes urbanos y caminos drenantes," 2018, [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/4566/mod_resource/content/0/kempese.
27. Grupo Tar, Fundación MAYELA, J. A. Muñoz, D. Pontes, & E. Ruiz de Castañeda, "Cartelería explicativa Plan de autogestión de residuos urbanos en Kimpese," 2018, [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/4631/mod_resource/content/0/CartelesPARKesp.pdf.
28. A. Rufo Castañeda & J. Lebrato Martínez, "Piscihuerta. Huerta con criadero de peces para consumo humano." 2018, [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/5880/mod_resource/content/0/Piscihuerta.
29. Grupo Tar & Escuela Politécnica Superior de Sevilla, "Memoria PARK-FASE II. 2017-2019," pp. 2017-2019, 2019, [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/4559/mod_resource/content/0/Memoria.

30. A. Chamas et al., "Degradation Rates of Plastics in the Environment," ACS Sustain. Chem. Eng., vol. 8, no. 9, pp. 3494–3511, 2020, doi: 10.1021/acssuschemeng.9b06635.
31. T. P. Agyekum et al., "A systematic review of the effects of temperature on anopheles mosquito development and survival: Implications for malaria control in a future warmer climate," Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 18, no. 14, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/ijerph18147255.
32. UNHCR, "DR Congo Emergency." <https://www.unhcr.org/uk/dr-congo-emergency.html> (fecha de acceso 30 Oct. 2021).
33. J. Lebrato, "Depuración natural, vertido del propio mercado de la primera avenida, Tegucigalpa." [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/3565/mod_resource/content/0/saneamiento.
34. R. Aguilar Torres & J. Rodríguez Páez, "Kimpese, construcción de reja saneamiento para quartier 2."
35. M. Ximénez de Cisneros Mateo & grupo Tar, "Manual para fabricar escobas a partir de botellas de plástico," [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/5835/mod_resource/content/0/tecnología.
36. M. Ximénez de Cisneros Mateo & grupo Tar, "Usos del Plástico."
37. A. Oualal, "Valorización piscícola de las tablas de Arroz en el Bajo Guadalquivir. Reutilización de Agua de riego para cultivo de Peces."
38. PRODELVU España, grupo Tar, & EPAS, "Vertedero controlado." [Online]. Disponible: https://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/5836/mod_resource/content/0/VERTEDERO.pdf.

Ingeniería ambiental basada en la naturaleza

UN INFORME DE:



PROMOVIDO POR:



FINANCIADO POR:



AGENCIA ANDALUZA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL
PARA EL DESARROLLO
Consejería de Igualdad, Políticas Sociales
y Conciliación