

“ El arquitecto del futuro se basará en la imitación de la naturaleza, porque es la forma más racional, duradera y económica de todos los métodos ”

Antoni Gaudi



Figura Río Acelhuate

Fuente: Julieta Castillo



5.

## PLAN PILOTO: QUEBRADA EL PIRO

## JUSTIFICACIÓN ZONA PILOTO

A lo largo de los 1,072.98 km<sup>2</sup> de la cuenca del río Acelhuate (UCA – FIAES, 1996), existen diferentes puntos de mayor contaminación que otro, al mismo tiempo, la historia de El Salvador ha demostrado que la pobreza de muchos sectores de la población han venido acompañados con el desarrollo de zonas marginales alrededor de ríos y quebradas, por lo cual, toda la extensión del río Acelhuate no queda eximida.

Una de esas zonas marginales o asentamientos urbanos precarios (AUP), son las comunidades El Tanque y La Cuchilla, las cuales están ubicadas en la quebrada El Piro, una zona que según datos de estudios realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales posee Índice de Calidad del Agua mala (ICA).

Es por ello que la presente propuesta busca ser un plan piloto de 1km de longitud, el cual, no solo ayude a tratar uno de los puntos de mayor contaminación del río Acelhuate; sino también un proyecto que ayude a mejorar las condiciones de vida de la población que vive en asentamientos urbanos precarios, como son la comunidad El Tanque, y la comunidad La Cuchilla en la quebrada El Piro, y que consecuencia sea un proyecto contagioso que se pueda replicar, no solo en los demás puntos de mayor contaminación del río Acelhuate, sino también en todas las zonas marginales de los diferentes ríos y/o quebradas en la República de El Salvador.

Este plan piloto de un kilómetro, con el apoyo de las comunidades en la quebrada El Piro, no busca excluir el trabajo que se puede realizar con las plantas de tratamiento para la descontaminación del río Acelhuate, sino más bien, busca ser una ayuda auxiliar de bajo costo, con estrategias naturales, que se puedan desarrollar con las comunidades seleccionadas para que no solo permita reducir la contaminación, sino que también contribuya al beneficio de la población de los asentamientos precarios del Tanque y La Cuchilla y a

## 5.1

su vez las soluciones aquí planteadas puedan ser extensibles al resto del cauce urbano del río Acelhuate y se logre aumentar la resiliencia del río frente a las agresiones externas.

Por otra parte, tal como se ha comentado en el capítulo 3, los trabajos realizados hasta la fecha por parte del MARN y de la Universidad José Simeón Cañas, significan un contenido importante de información en la cual no solo se han dado a conocer los datos de calidad de agua sino también algunos criterios tomados en cuenta para la decisión de las zonas de intervención como primera etapa de la recuperación del río Acelhuate. Algunos de estos criterios son:

- Zona cercana al nacimiento del río, para que desde aguas arriba el río se vaya descontaminando hasta su desembocadura.
- Tramo cercano a asentamientos precarios, ya que la falta de espacios públicos se suma a la lista de problemáticas con las que cuentan, tal como la insalubridad, inseguridad y falta de viviendas dignas.
- Zona con diversidad de usos, que permita una integración de todos los ámbitos para el mayor disfrute de los espacios públicos, contribuyendo con una mayor conciencia ambiental.

Estos criterios, con los que comparto mi acuerdo, son los que le permitieron al MARN, la selección de la Quebrada el Piro, como uno de los tres tramos que cumplían con lo planteado anteriormente.

Adicional a estos criterios, vale la pena mencionar que cerca de la zona de la Quebrada El Piro se encuentran 57 industrias cuyas aguas servidas son vertidas a la quebrada. Ello contribuye a que la calidad de agua en este sector sea considerada mala y por lo tanto, es necesaria la pronta actuación para revertir los efectos.

Antes de indagar en las estrategias planteadas a lo largo del kilómetro, a continuación se despliega información de la quebrada El Piro así como también de las comunidades seleccionadas.

## 5.2

## QUEBRADA EL PIRO

La microcuenca de la Quebrada El Piro (Figura No.) tiene una superficie de 25.72 km<sup>2</sup> y 6.1 km de longitud. Geográficamente nace a la altura del volcán de San Salvador y se extiende principalmente entre los municipios de Antigua Cuscatlán y Santa Tecla y con menor superficie en el municipio de San Salvador, donde cambia el nombre a Quebrada La Lechuza. (SIT-OPAMSS, 2015)

Los 4 afluentes que alimentan la quebrada El Piro son:

- Quebrada Merliot o Santa Teresa
- Quebrada Buenos Aires
- Quebrada El Saucita
- Quebrada El Triunfo

Es importante acotar que en la microcuenca El Piro posee 8 cantones con un total de 454,983 habitantes, de las cuales 347,828 son mujeres, y 107,155 son hombres, por otra parte, se pueden localizar en la superficie de la microcuenca:

- 9 oficinas instituciones de administración pública
- 32 instituciones de educación pública y privada (Colegios y Universidades)
- 7 unidades medidas y hospitales
- 43 empresas industriales (MARN, 2016).

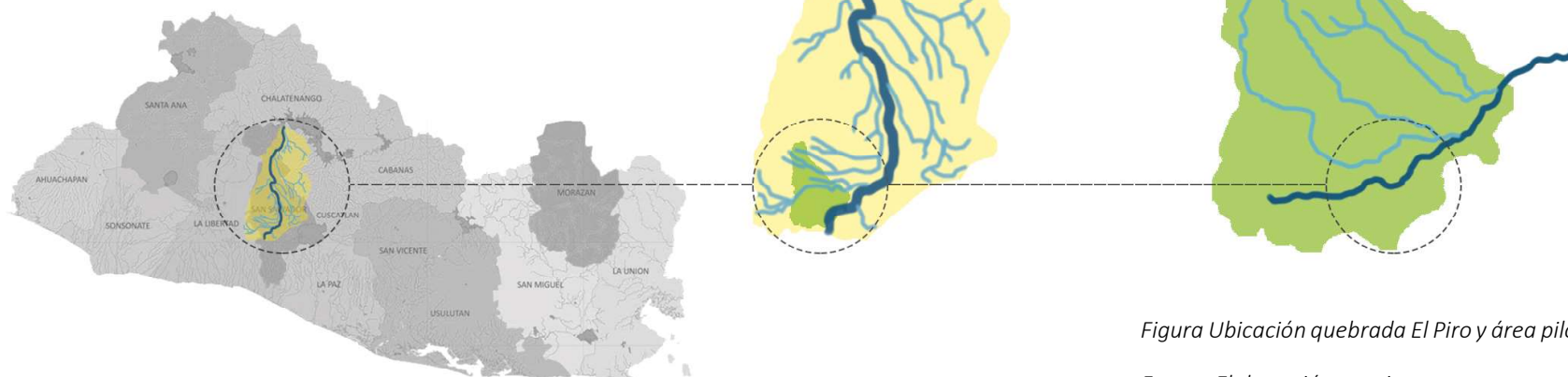


Figura Ubicación quebrada El Piro y área piloto

Fuente:Elaboración propia

SUBCUENCA RÍO ACELHUATE

MICROCUENCA EL PIRO

AREA PILOTO-QUEBRADA EL PIRO

## DATOS GENERALES

**Departamento:** La Libertad

**Municipio:** Antiguo Cuscatlán

**Área:** 83,756.85 m<sup>2</sup>

**Cantidad de hogares:** 308

**Cantidad de habitantes:** 1133

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

**Geomorfología:** Planicie Volcánica Fluvial

**Pendiente:** 1-7 grados

**Zonificación ambiental:** zonas urbanizadas (Áreas urbanas discontinuas) y zonas de protección ambiental (área de usos restringidos)

## CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

**Recarga hídrica:** Muy alta

**Riesgo de inundación:** Inundable

**Contaminación hídrica:** Mediana (mala)

**Susceptibilidad a erosión:** Mediana

**Susceptibilidad a deslizamiento:** Baja

## CARACTERÍSTICAS URBANAS Y ARQUITECTÓNICAS

**Precariedad:** Alta

**Existencia de espacio público:** Inexistente (Propuesta de espacios públicos en ríos y quebradas en el AMSS, 2015)

**Tipología de vivienda:** viviendas unifamiliares, en su mayoría con materiales inadecuados desglosados de la siguiente forma:

- Materialidad de techo: paja, palma, plástico o materiales de desecho
- Materialidad de paredes: lámina metálica, madera, paja, palma, plástico, bambú, vena de coco o materiales de desecho
- Materialidad de piso: tierra
- Hacinamiento: vivienda sin habitaciones o más de 3 personas por habitación
- Falta de acceso a agua potable y servicio sanitario
- Exposición de la vivienda a riesgos y daños ambientales: lluvia, inundación, derrumbe o alud, o corriente de agua
- Tenencia inadecuada de la vivienda: propietario de la vivienda construida en terreno ajeno; no propietario, colono o guardián. (PNUD, 2014)

## DATOS GENERALES

**Departamento:** La Libertad

**Municipio:** Antiguo Cuscatlán

**Área:** 67,552.94 m<sup>2</sup>

**Cantidad de hogares:** 116

**Cantidad de habitantes:** 409

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

**Geomorfología:** Cono Aluvial Activo y Ladera de erosión o Denudación

**Pendiente:** 1-7 grados, 7-15 grados (Sureste)

**Zonificación ambiental:** Zonas Urbanizadas (Áreas Urbanas continuas, áreas con restricción al desarrollo humano) y zonas de protección ambiental (área de uso restringido)

## CARACTERÍSTICAS URBANAS Y ARQUITECTÓNICAS

**Precariedad:** Alta

**Existencia de espacio público:** cuenta con 1 cancha de fútbol en malas condiciones (Propuesta de espacios públicos en ríos y quebradas en el AMSS, 2015) Tipología de vivienda: viviendas unifamiliares, con las mismas descripciones que las mencionadas para la comunidad El Tanque

## CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES:

**Recarga hídrica:** muy alta

**Riesgo de inundación:** inundable

**Contaminación hídrica:** media

**Susceptibilidad a erosión:** media (Propuesta de espacios públicos en ríos y quebradas en el AMSS, 2015)



Figura Tipología de viviendas

Fuente: Unicef



Figura Quebrada El Piro

Fuente: Unicef



Figura Cancha de fútbol

Fuente: PNUD

## VULNERABILIDADES Y RIESGOS:

Para afirmar las características ambientales mencionadas anteriormente, cabe mencionar que la Alcaldía Municipal de Antiguo Cuscatlán junto con el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) y el Instituto Salvadoreño de Desarrollo Municipal (ISDEM) trabajaron y presentaron durante los años 2013 y 2014, el “Informe ejecutivo del diagnóstico y mapas del análisis de amenaza, de exposición y de riesgos - Plan Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres del Municipio de Antiguo Cuscatlán, Departamento de La Libertad”.

Este diagnóstico tenía la finalidad de mostrar las características de los fenómenos naturales o los causados por el hombre, para determinar la forma en que estos eventos afectan a los asentamientos humanos, a la infraestructura instalada y al entorno. Para ello, los ejecutores identificaron los diferentes escenarios de riesgo y los eventos más desfavorables, la probabilidad relacionada a la frecuencia en la cual ocurren, así como el periodo de retorno en términos probabilísticos basados en las estadísticas. El registrar el tipo de peligro o amenaza que existe en un determinado sitio, implica conocer las diferentes consecuencias que estos pueden originar, así como su grado de afectación (lo cual depende de las características físicas, de la infraestructura localizada y del grado de preparación de los ciudadanos para enfrentar y aminorar los efectos de un determinado evento). Es por esa razón que se describieron las zonas y los sectores vulnerables identificados por medio de los talleres participativos, visitas de campo y entrevistas con actores claves.

Entre las zonas con mayor vulnerabilidad destacan nuestras comunidades del ámbito de propuesta, El Tanque y La Cuchilla.

Estas comunidades por estar ubicadas en la quebrada El Piro están expuestas a las siguientes vulnerabilidades, y por lo ende potenciales riesgos que se citan a continuación (Alcaldía Municipal de Antiguo Cuscatlán, 2014):

- Vulnerabilidad por Inundación: con riesgos de viviendas afectadas o destruidas, insalubridad y foco de infección debido al desbordamiento, estancamiento de aguas, daño a obras de protección existentes y pérdida de vidas.

- Vulnerabilidad por riesgos biológicos por contaminación por agua residual circulando en quebradas y dentro de las comunidades, así como acumulación de residuos sólidos que afecta a los ecosistemas, provocando el riesgo de la propagación de enfermedades graves por las condiciones sanitarias existentes que afectan la salud de población y al medio ambiente.

- Vulnerabilidad por contaminación ambiental en donde circula agua servida, con servicios sanitarios inservibles, acumulación de basura, que provoca el aumento de enfermedades respiratorias, pérdida de sueño, daños auditivos, estrés, pérdida de concentración, enfermedades infectocontagiosas y afectaciones irreversibles a la salud de los habitantes por contaminación electromagnética, así como también la degradación y pérdida de los recursos naturales del municipio.

- Vulnerabilidad por deslizamientos en viviendas localizadas a orillas de la quebrada, con los posibles potenciales riesgos de Destrucción de infraestructura pública y privada, pérdida y daños en líneas vitales, pérdidas económicas en zonas industriales y comerciales, pérdidas de vida, daños al medio ambiente, cambios en la morfología del terreno e incremento en la susceptibilidad a deslizamientos.



Figura Ubicación área piloto de propuesta

Fuente: elaboración propia



Cuando hablamos de renaturalizar, nos referimos al proceso en el que se busca restablecer el equilibrio de la naturaleza, que se ha roto por las actividades antrópicas. Dentro del plan piloto de 1000 metros, se pretende recuperar el estado del río a un estado cercano a su situación original y que sea compatible con el entorno urbano donde se sitúa. Al naturalizar se emite menos CO<sub>2</sub>, los espacios generados son mejores, se gasta menos energía, a la vez que se genera economía cercana.

Por naturaleza, un río, tiene la capacidad de autodepuración, es decir, eliminar el exceso de materia orgánica en su cauce con los elementos naturales como los choques de agua con las piedras, que permitan un ingreso de oxígeno, así como también a través de plantas que naturalmente absorben dichos excesos; sin embargo, la elevada carga contaminante que posee el tramo de intervención (al igual que el resto del río), superan con creces la capacidad natural de la autodepuración del río. Al no ser degradados, se producen los problemas que conlleva la contaminación como ya hemos mencionado en capítulos anteriores.

Esta concentración de carga contaminante genera una disminución de oxígeno disuelto en el agua. Para compensar esta problemática, las primeras tres propuestas aquí desarrolladas, buscan aumentar el oxígeno disuelto en el agua para diluir los contaminantes a partir de la turbulencia del agua. Así, generar de forma similar una “planta de tratamiento” natural.

Las tecnologías expuestas en este apartado del trabajo han sido pensadas por el grupo de investigación de Ingeniería del Agua, Tratamiento del agua, Saneamiento, Abastecimiento (TAR) de la Escuela Politécnica Superior de Sevilla, las cuales están formuladas para acelerar los procesos naturales sin necesidad de utilizar químicos ni energía eléctrica, lo cual conviene para su construcción para minimizar los recursos económicos.

Las primeras tres intervenciones son la revegetación, el tratamiento de aguas residuales y la creación de “rápidos” en los sectores identificados. La primera de las intervenciones es considerando plantas acuáticas de ribera, humedales flotantes, hasta bosques autóctonos, que aportarán beneficios adicionales, según detalles.

El resto de propuestas contribuirá a un mejor tratamiento y disposición de los residuos sólidos urbanos así como también de la creación de espacios libres de esparcimiento para la población.

En la siguiente figura se muestra un esquema indicando los tramos donde se propone cada una de las propuestas a lo largo del kilómetro de la Quebrada El Piro, donde se ubican las dos comunidades de La Cuchilla y El Tanque.

## PLANO DE INTERVENCIONES DE PLAN PILOTO

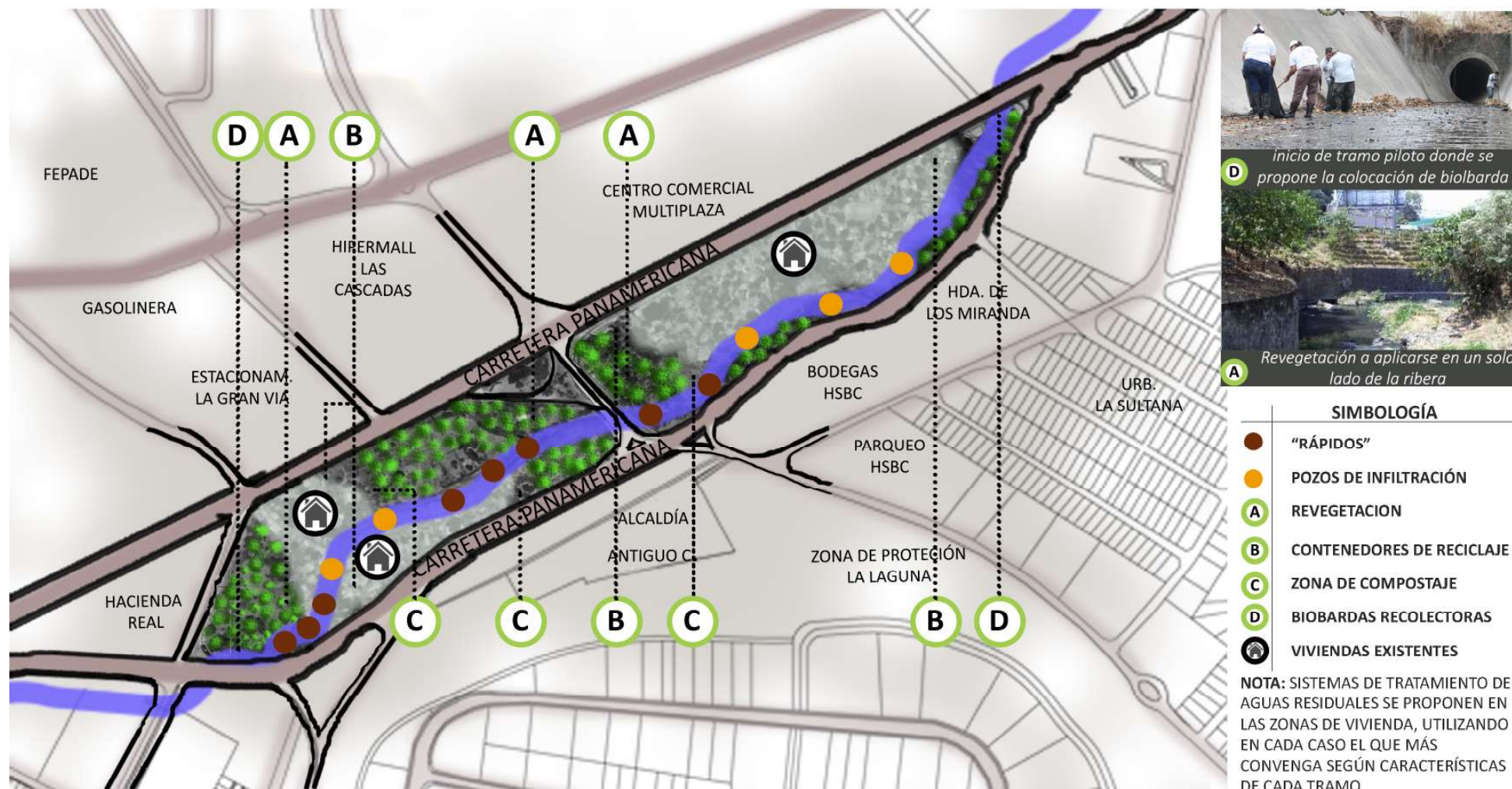


Figura Plano de Intervenciones en el kilómetro piloto de actuación

Fuente: elaboración propia

## 5.5.1. REVEGETACIÓN ..... **A**

A pesar que urbanizaciones y el crecimiento de San Salvador esté provocando la pérdida de espacios naturales, cada vez se hace más necesario integrarla con la ciudadanía, no solo por los beneficios ambientales, sino también por salud y bienestar de los ciudadanos, cito a Fariña en “La ciudad y el medio natural”:

“Esta necesidad se debe a razones de diversos tipos, entre las que destacan las ecológicas, las educativas y las psicológicas. El progresivo alejamiento de las áreas naturales de los centros de las ciudades al aumentar éstas cada vez su tamaño hacen que cada vez sea mayor la apetencia física, psicológica o educativa, de naturaleza. Para evitarlo, la ciudad debería de relacionarse con el paisaje que la rodea de forma que unas zonas interpenetraran a otras, evitando en la medida de lo posible saltos bruscos y posibilitando áreas de transición, necesarias en buena parte de los casos.” (Fariña Tojo, 2007)

“Esta necesidad de presencia de la naturaleza en la ciudad tiene su justificación en motivos muy diferentes. Entre otros se suelen citar los siguientes:

Ornamentar la ciudad

Proporcionar espacios recreativos, para la expansión de la población y favorecer el contacto de ésta con la naturaleza

Mejorar las condiciones climáticas de la ciudad: aumento de humedad y control de la temperatura

Reducir la contaminación ambiental, ya que las hojas sirven para el depósito de las partículas contaminantes en suspensión.

Servir como filtros y freno a la velocidad del viento

Amortiguar el ruido de baja frecuencia

Proporcionar espacios adecuados para el desarrollo de la vida animal (Fariña Tojo, 2007)

En nuestro caso, la vegetación correctamente seleccionada para la ribera, también contribuirá a la descontaminación de las aguas del río por sus características naturales.

Ya que la mayoría de las riberas de la quebrada el Piro están sin coberturas vegetales o con muros de retención de concreto así como también tramos embovedados, con las crecidas del río, estos tramos de las orillas sin coberturas vegetales se han ido erosionando, lo que contribuye a que la ciudad y sobre todo las comunidades de El Tanque y La Cuchilla sean vulnerables a los deslizamientos de tierra y los riesgos de inundación antes mencionados.

El río Acelhuate, y específicamente la zona escogida para la revegetación de la quebrada El Piro, presenta un clima húmedo subtropical, por lo cual, para el proyecto de revegetación se han escogido especies propias del clima, alineadas con las recomendadas por el MARN, donde se consideran especies autóctonas, las cuales facilitarán su adaptación y conservación en la zona.

Para establecer el correcto equilibrio en el nuevo ecosistema, la vegetación, por sus características, se deberá distribuir según el esquema de la figura xx. Aunque se describan las especies autóctonas a utilizar, la mejor opción siempre será observar las zonas del río que estén menos alteradas y seleccionar las mismas especies que estén en ellas para replicarlas en nuestra ribera, para imitar la naturaleza.

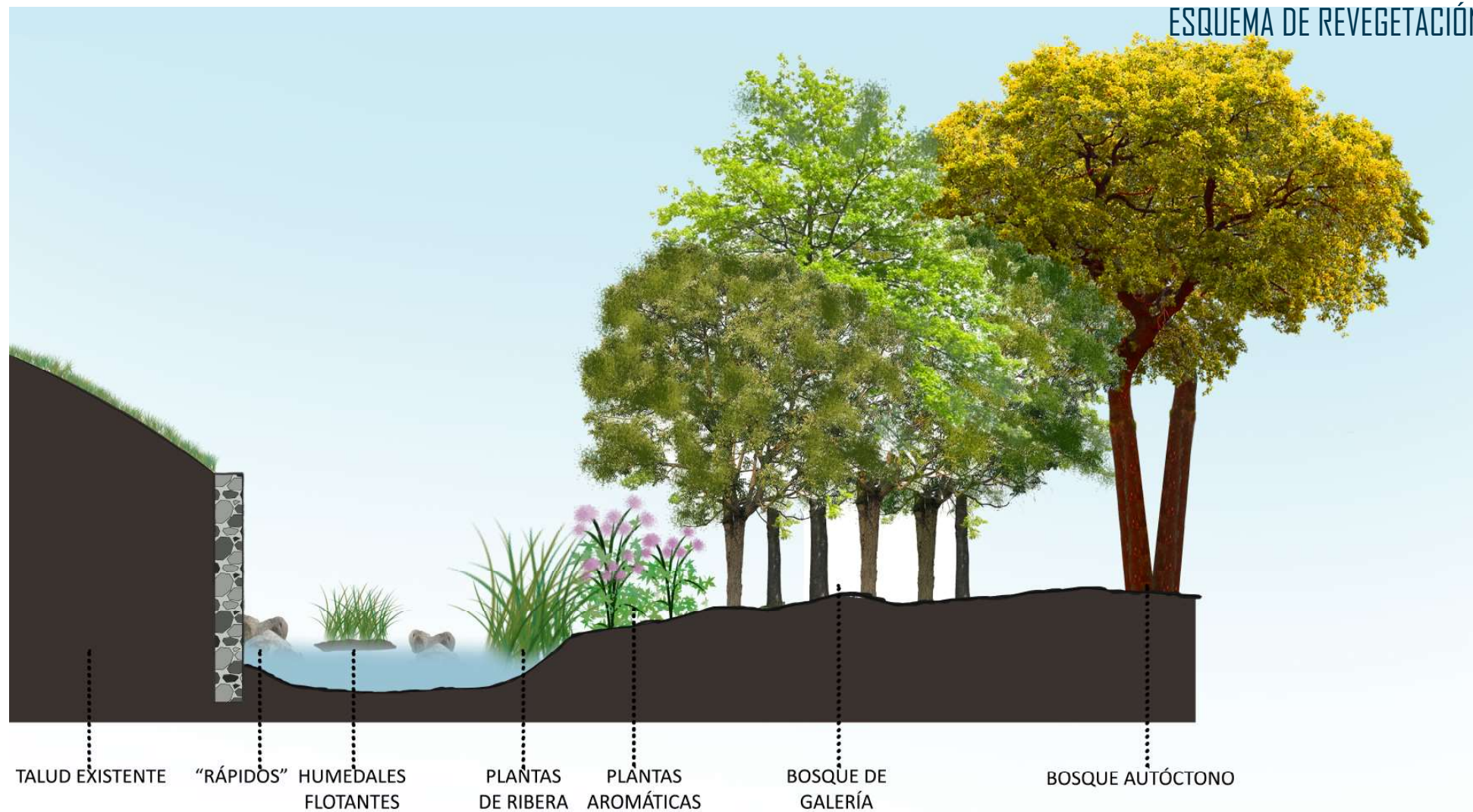


Figura Esquema de revegetación

Fuente: elaboración propia

## PLANTAS DE RIBERA Y PLANTAS FLOTANTES

Estos tipos de vegetación tienen las características de aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el agua a partir de los rizomas de las raíces y absorber nitrógeno y fósforo, presentes en las heces y orina, producto de las aguas residuales vertidas sin tratamiento al río. Además, gracias a la facilidad de implantación, el bajo coste y su capacidad de absorción de metales pesados procedentes de industrias, granjas y agricultura, hacen de estas plantas una alternativa sostenible para la recuperación física, química y biológica del agua y suelo.

En los tramos del río donde no hay tierra, las plantas de ribera se pueden sostener con 3 ó 4 piedras a cada metro.

En cuanto a las plantas flotantes, de igual forma ayudan a la descontaminación del agua a partir de la absorción de nutrientes incorporados a su biomasa, al mismo tiempo que introduce oxígeno y por estar en el agua, se aumenta el área útil como si el río tuviera más ribera. Para la elaboración de dichos humedales, se ha tomado la explicación del trabajo fin de master “Renaturalización del río Choluteca a su paso por Tegucigalpa”:

“Los humedales flotantes consisten en una estructura flotante, compuesta de materiales poco densos como son los polímeros plásticos o maderas ligeras que actúan como material flotante, a modo de balsa, ayudando a la flotabilidad de los rizomas de las plantas



Figura Eneas

Fuente: google fotos



Figura Carrizo

Fuente: google fotos



Figura Zacate Limón

Fuente: google fotos

acuáticas. Sobre esta estructura se añade un sustrato de turba, que permiten el almacenamiento de agua y el desarrollo de las raíces. Los humedales flotantes son diseñados de forma que sean modulares. De modo, que estos puedan ser retirados ante una eventual, gran crecida y ser fácilmente recolocados posteriormente.” (Hinojosa, 2017)

En nuestro planteamiento propuesta, se han colocado las plantas flotantes en el tramo donde existe menos corriente del río y con menos pendiente.

### Tipos de plantas de ribera y flotantes autóctonas:

- Eneas (*Typha latifolia*), esta planta puede utilizarse para realizar canastos, asientos de sillas, entre otros usos.

- Carrizo (*Phragmites australis*), planta utilizada para techar chozas

### PLANTAS DE FONDO

Las plantas de fondo deben ser colocadas con sus raíces y para montarlas se hace por medio de piedras para que se mantengan fijas en el lugar y les permita crecer con su raíz. Es importante que se considere que la máxima profundidad es hasta donde llega la luz del sol, es decir alrededor de 20 -30 centímetros.

## PLANTAS AROMÁTICAS

Muchas enfermedades son propiciadas por insectos que se desarrollan en agua estancada, por lo que a continuación de las plantas de ribera, se propone la colocación de plantas herbáceas aromáticas, que por estar siempre cerca de la corriente de agua, actúa como repelente frente a los mosquitos.

### Tipos de plantas aromáticas:

- Menta acuática (mentha acuática),
- Zacate de limón (cymbopogon citratus)

## BOSQUE DE GALERÍA:

Estos árboles sirven como filtro para no dejar pasar residuos agrícolas y ganaderos a la corriente del río retrasando su eutrofización y reduciendo así la temperatura del mismo debido a la sombra que generan en el cauce. Asimismo, ayudarán a mantener la estructura del suelo ya que debido a las inundaciones en algunos periodos del año tienden a erosionarlo y a modificar el cauce natural del río. Igualmente, el bosque de galería, proveen de hábitat a invertebrados que son fuente de alimento para la fauna acuática y terrestre.

Dado las condiciones sociales en las cuales viven la población de las comunidades El Tanque y La Cuchilla, los árboles que conformarán el “bosque de galería” van a proveer bienes y



Figura Menta acuática

Fuente: naturespot



Figura Cedro

Fuente: naturespot

servicios tanto sociales como económicos y ambientales. Desde el ámbito social se puede mencionar que el bosque de galería creará beneficios en las comunidades, esto es reflejado en las condiciones climáticas, así como también sitios de recreo-educación; por otro lado, en el campo económico, el “bosque de galería” conforma una fuente de ingresos permanentes, siempre y cuando la explotación sea sostenible y equilibrada.

### Tipos de árboles de galería:

Este tipo de árboles tiene su tronco en tierra pero las raíces en el agua. Considerando las condiciones climáticas y sociales de El Salvador, la propuesta de árboles para el “bosque de galería” se basa en el trabajo realizado sobre estructura y composición florística del bosque de galería del río la Presita, comunidad la haciendita II, municipio de Suchitoto, departamento de Cuscatlán, El Salvador (López García, 2010), donde se puede plantear 4 tipos de árboles que puede beneficiar a la población:

- Mango (indica L.),
- Anona (diversifolia L.),
- Zapote (Mammosum Pierre)
- Aguacate Montes (Globosa (Aubl.) Mez.)
- Cedro (Cedrela odorata L.), árbol maderero.

■ Guachipilín (*Diphysa americana*), árbol maderero, se utiliza en construcciones rurales y las hojas constituyen un excelente material para hacer abono orgánico.

## BOSQUE AUTÓCTONO

Las últimas especies de árboles a sembrar son los que conformarán el bosque urbano, configurado por árboles coloridos, de mayor tamaño, con su tronco y raíces en tierra. Su función consiste en la compactación del terreno para evitar mayores desprendimientos de tierra hacia el río y disminuir la erosión hídrica y eólica. Además, estos árboles nos servirán de gran ayuda para la vegetación de parques en la zona, los cuales nos proporcionaran sombra natural y actuaran en como reguladores de la humedad y temperatura en el ambiente.



Figura Maquilishuat

Fuente: [elsalvador.com](http://elsalvador.com)



Figura Roble

Fuente: [hogarmanía](http://hogarmanía)



Figura Cortés blanco

Fuente: [vivero san andrés](http://vivero san andrés)



Figura Conacaste

Fuente: [wordpress.com](http://wordpress.com)

## Tipos de árboles:

En mayo 2018, el Consejo Nacional de Sustentabilidad Ambiental y Vulnerabilidad (CONASAV) lazo por segundo año consecutivo la gran campaña nacional de reforestación PLANTATON 2018, donde propone 4 tipos de especies de árboles autóctonos de El Salvador (MARN, 2018), y los cuales son propuestos en el presente proyecto para la revegetación. Estas especies son:

- Maquilishuat (*Tabebuia rosea*)
- Conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*)
- Caoba (*Swietenia macrophylla*)
- Roble (*Quercus faginea*)
- Cortés blanco (*Tabebuia chrysantha*)



Figura Caoba

Fuente: [el día](http://el día)

## 5.5.2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Debido a la contaminación del río por aguas residuales urbanas y por aguas industriales, estos sistemas de saneamiento ecológico se presentan como una alternativa a las depuradoras convencionales, pudiendo ejecutarse con ayuda de las comunidades.

Este tramo piloto nos permitirá extrapolar el resultado a todas las zonas posibles del río, para reducir la carga contaminante y hacer del río Acelhuate un río vivo.

Ya que la Comunidad El Tanque y La Cuchilla no cuentan con sistema de alcantarillado de aguas negras, las cuatro tecnologías aquí planteadas están basadas en la imitación de procesos presentes en la naturaleza y se han propuesto realizarlas en los tramos de las viviendas para revertir que las aguas negras sean vertidas directamente sin ningún tratamiento a la quebrada El Piro.

### Sistema escalonado de tratamiento de aguas residuales

La diferencia de altura entre las viviendas y la quebrada el Piro es ventajosa para crear este prototipo en escalera, donde el agua arrastra aire de la atmósfera al caer de un escalón al siguiente, aumentando la cantidad de oxígeno y va perdiendo carga contaminante de manera progresiva al circular entre las piedras que rellenan cada escalón. Se trata de un tratamiento

a partir de la generación de espacios públicos nogales

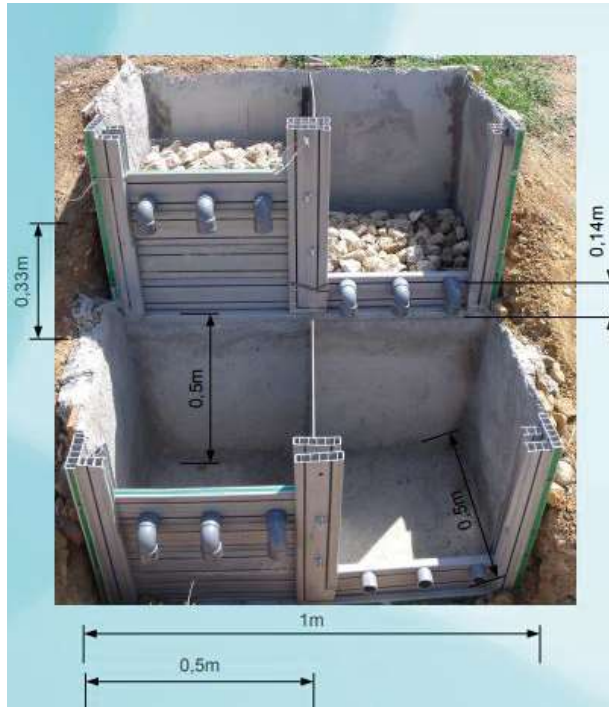


Figura Sistema escalonado tratamiento aguas residuales

Fuente: grupo TAR

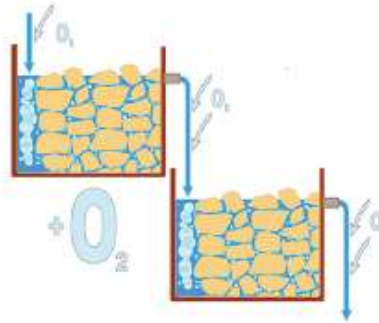


Figura Sistema escalonado tratamiento aguas residuales

Fuente: grupo TAR

aerobio, ya que obtiene oxígeno necesario sin aporte energético externo.

La construcción y mantenimiento del escalonado es sencillo, y permite la disminución de metales disueltos por oxidación y decantación, así como la eliminación de gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{COVS}$ ) y el aumento del oxígeno disuelto. (Hernández Lizarraga, 2014).

Este sistema se formula por dos principios diferentes:

La depuración bajo lecho rocoso: en la que el agua residual va perdiendo carga contaminante progresivamente al circular entre las piedras que rellenan cada escalón debido a la actividad biológica de los microorganismos que crecen adheridos a la superficie de las rocas y a la sedimentación de partículas no disueltas.

La aireación por gravedad: en la que el agua arrastra aire ( $\text{O}_2$ ) de la atmósfera al bajar de escalón, produciéndose una transferencia de  $\text{O}_2$  durante la caída y al disolverse el  $\text{O}_2$  presente en las burbujas que se generan en el peldaño inferior, lo cual provoca un aumento del  $\text{O}_2$  contenido en el agua. (Serrano, 2017)

### Escalera con piedras y plantas

Este sistema de saneamiento del agua es igual al anterior de aireación por gravedad, aunque a la escalera se añaden en cada peldaño piedras y plantas. Las plantas absorben el nitrógeno N y fósforo P, que conforman la urea, que para ellas



es necesaria y que el propio humano trabaja para eliminarla, por tanto, un perfecto equilibrio natural.

## Canal de saneamiento

Consiste en un sistema de transporte y tratamiento de aguas residuales en régimen subsuperficial mediante un canal de piedras organizados por tamaños según la diagonal del canal. Para los tramos del río donde no exista una diferencia tan grande de nivel entre las viviendas y el cauce, se planteará esta alternativa, en la cual también se incorpora vegetación que absorba el nitrógeno y fósforo.

Esta estrategia fue la utilizada en la recuperación de la ribera del río Choluteca, Honduras, para sanear las aguas residuales del mercado 1° avenida, según figura xx

## Fosa anaerobia de alta velocidad

Su funcionamiento se asemeja al de una fosa séptica. La fosa anaerobia está multi-compartimentada en su interior, en la cual hacemos que suceda una circulación forzada del agua de manera natural entre las cámaras gracias a una pequeña pendiente, provocando una mezcla total en cada una de las cámaras. El principio de funcionamiento de este sistema está basado en que el aumento de contacto agua-fango provocado con este recorrido forzado el agua evita zonas muertas, garantizando el aprovechamiento de todo el volumen útil de



Figura Fosa anaerobia a base de llantas

Fuente: Grupo TAR



Figura Fosa anaerobia a base de llantas

Fuente: Grupo TAR

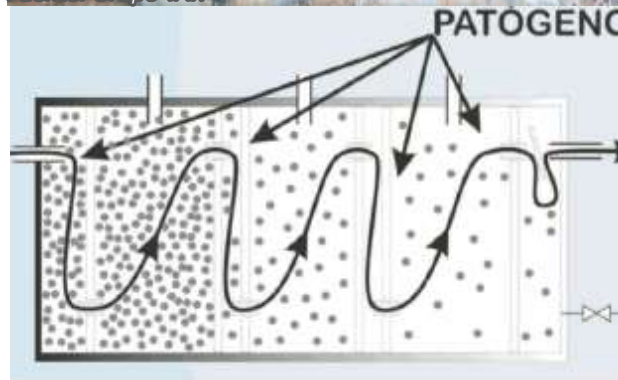


Figura Esquema funcionamiento fosa anaerobia

Fuente: Grupo TAR

la fosa, aumenta la velocidad de los procesos y favorece la eliminación de patógenos. Cabe destacar que los rendimientos obtenidos son comparables con los de los procesos aerobios en tiempos de residencia y volumen de reactor.

La construcción de dicha instalación conllevará una inversión económica ya que se necesitarán de algunos materiales específicos para la construcción de la fosa y su división en cámaras. Para poder disminuir los costos y reutilizar materiales, se propone la realización de una fosa a partir de neumáticos según imagen xx.

Según un diseño investigado por el Grupo TAR, en esta fosa se aprovecha la energía hidráulica del agua de entrada, que, al acceder por debajo a cada cámara, agite y remueva el lecho de fangos sin coste energético.

## 5.5.3. CREACIÓN DE "RÁPIDOS"

Para acelerar el proceso natural de un río, que permiten mayor ingreso de oxígeno como es el caso de los choques de agua con las piedras, se colocarán piedras de gran tamaño al azar en medio del cauce del río, de manera que se genere un mayor movimiento del agua para forzar entrada de oxígeno. Esta estrategia tendrá mejores resultados en época de lluvias, que es cuando aumenta el nivel de agua del río.

## 5.5.4. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los residuos sólidos urbanos suponen un grave problema para río Acelhuate al ser arrojados directamente al propio río por la población. Todo esto hace que el río Acelhuate sea un río inerte y no puedan vivir en él distintas especies de animales y plantas, propias de un río vivo, que puedan disfrutar los propios vecinos. Quizás de cara a un futuro cercano puede resultar utópica la idea de conseguir un río que genere economía mediante actividades como la pesca, dado que la primera intervención propuesta de plan piloto es en un tramo del río de un kilómetro. No obstante, lo que si vamos a lograr en un futuro cercano es que los propios vecinos puedan hacer uso de sus aguas para los huertos urbanos y para mejorar el hábitat entre la comunidad y el río, teniendo lugares de esparcimiento social sin el problema de malos olores.

La forma en la que vamos a intentar que los vecinos no arrojen residuos al río , será ofreciéndole propuestas para que generen economía, como también educación social, la cual permitirá que ellos mismos se autoayuden a través de programas de bajo costo, que generará mejores condiciones de vida para ellos.

“El tratamiento de residuos sólidos es un proceso que modifica las características físicas, químicas o biológicas de los desechos sólidos para aprovecharlos, estabilizarlos o reducir su volumen antes de la disposición final”(PROARCA, 2003) De acuerdo a la Guía para el Tratamiento de los Residuos Sólidos PROARCA, los tratamientos más comunes son: compostaje, compactación, digestión anaeróbica, incineración, pirolisis y gasificación. Los desechos sólidos se dividen en dos grandes grupos, como se especifica en el siguiente cuadro:

<b>Orgánicos</b>	<p><b>Descomposición rápida:</b> restos de alimentos, papel, corta de césped, poda de árboles, etc.</p> <p><b>Descomposición lenta:</b> textiles, cueros, etc.</p>
<b>Inorgánicos</b>	<p>Todos los elementos que no se degradan biológicamente (vidrio, aluminio, chatarra y latas).</p>

*División de residuos*

*Fuente: (PROARCA, 2009)*

En base a esto, un sistema de gestión de desechos sólidos se puede definir como: “la aplicación de técnicas, tecnologías y programas para lograr objetivos y metas óptimas en el tratamiento de los desechos sólidos para una localidad en particular”. (PROARCA, 2009).

Esta definición implica que primero hay que establecer una visión que considere los factores propios de cada localidad, para asegurar su sostenibilidad y beneficios; y después, se debe implementar un programa de manejo para lograr esta visión.

## RECICLAJE.....**B**

Previo a reciclar es necesario clasificar y separar los desechos sólidos que se generan, según la clasificación del cuadro xx (orgánicos e inorgánicos) Con los desechos orgánicos se puede hacer compost y los inorgánicos deben ser entregados a los diferentes centros de acopio o empresas recicladoras, las cuales los transformarán en nuevos productos.

Basado en el contexto que implica el reciclaje, así como también la condición social y económica en las que vive la población de las comunidades El Tanque y La Cuchilla, la presente propuesta de reciclaje estará basada y fundamentada en la educación de la población a través del apoyo y recursos de la Alcaldía de Antigua Cuscatlán y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), con las

siguiente misión y visión:

**Misión:** Reducir la contaminación en la quebrada El piro por parte los habitantes de la comunidad El Tanque y La Cuchilla, a través del reciclaje de sus desechos sólidos, mejorando su condición de vida a través de la reducción de contaminantes, como también fuente de ingresos por el material reciclado.

**Visión:** Ser un proyecto de bajo costo, que permita ser ejemplo para que Alcaldías y entes gubernamentales y no gubernamentales, los cuales trabajen y apoyen otras comunidades que viven en condiciones desfavorables, buscando mejorar sus condiciones de vida, como también descontaminando los respetivos ríos y quebradas.

Como primer punto, se realizarán talleres, capacitaciones y campañas de divulgación dentro de las comunidades, solicitando el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como también con el apoyo económico de la Alcaldía Municipal de Antiguo Cuscatlán, con la compra de contenedores para el almacenamiento de basura.

Se debe recalcar la importancia de las capacitaciones, ya que aunque se tenga toda la voluntad de implementar este programa de reciclaje y contar con recursos económicos para ponerlo en marcha, si no se genera conciencia sobre la población para que colaboren con la separación de residuos en sus viviendas, el programa no tendrá el éxito deseado y por ende, las personas no recibirán en retorno los ingresos de su trabajo.

Para el reciclaje, la Alcaldía tendrá la labor de recoger los residuos inorgánicos que los usuarios de las viviendas habrán depositado en contenedores habilitados para ello, en los cuales, los residuos se encontraran debidamente separados por papel, plástico y vidrio. Esto implica que también será necesario implementar un sistema de recolección municipal que considere la separación.

En el caso de los plásticos, cartón y papel, se podría gestionar la venta del reciclado a través de las 2 empresas papeleras (Alas Doradas y Kimberly Clark) con las que El Salvador cuenta, así como también empresas plásticas que podrían reutilizar dichos materiales, y que al final generarán una fuente de ingreso para las comunidades.

Dentro de los talleres, es posible enseñar a la población la elaboración de productos artesanales hechos con materiales desechados, que partiendo de la creatividad y manualidad se convierten en elementos de usos diferentes. Estos a su vez, podrán ser fuente de ingresos para las comunidades.

Para que se obtenga una mayor rentabilidad de venta con los plásticos y vidrios, al hacer extensivo este programa por la ciudad, es necesario implementar una logística eficiente para la recolección del material y lo ideal sería contar con centros de acopio para almacenar los materiales reciclables y complementar el trabajo realizado por los usuarios, subclasificándolos de forma manual. Esto permitirá a su vez la generación de más puestos de empleo.

## COMPOSTAJE .....

El siguiente tratamiento, hace que los residuos sólidos orgánicos puedan convertirse por transformación biológica en compostaje, el cual se obtiene de la descomposición anaeróbica (en presencia de oxígeno) de los materiales orgánicos biodegradables por microorganismos, bajo condiciones controladas a altas temperaturas a través del tiempo, para producir un material estable parecido a la tierra llamado compost. El compostaje contiene nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, por ello, se utiliza en la producción de hortalizas, flores y árboles como mejorador de suelos para ser utilizado como un mejorador de suelos, lo cual se propondrá en la presente propuesta.(PROARCA, 2003)

el interés por el compostaje radica sobre todo en la necesidad de buscar soluciones a la gestión de los residuos orgánicos, recuperando

los recursos en forma de COMPOST, producto que obtenemos del proceso de compostaje y que contribuye a la protección del suelo contra la erosión, a incrementar los niveles de materia orgánica, la mejora de la retención del agua en los suelos, etc., aspectos esenciales para la protección de un recurso tan valioso como son los suelos. Las características más destacables del proceso de compostaje son las siguientes: I) Reduce el volumen de residuos, facilita el almacenamiento de estos residuos, permite un mejor aprovechamiento agrícola, y más flexible, y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores. II) Tiene un fundamento simple, es muy robusto y versátil, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos orgánicos y mezclas, y a escalas de trabajo muy diversas, y requiere sistemas tecnológicos mucho o poco sofisticados

Para el compostaje, lo primero será crear un pequeño taller en el que les enseñemos a crear pilas de compost a los vecinos, y le hagamos ver la importancia que tiene obtener un compostaje de calidad de cara a los huertos. Todo esto, además de generar economía para las comunidades, se conseguirá de nuevo contribuir a la mejora de la calidad del río, al ser usados estos residuos orgánicos en fabricar compost, en lugar de ser arrojados al río.



Aunque generalmente se utilicen recipientes para realizar compost, la técnica facilitada por grupo TAR consiste en realizarlo sin ningún contenedor, en un lugar seco y con tierra suelta, teniendo la ventaja de ser fácil de manipular y de poca o nula inversión, además de ser adecuado para áreas pequeñas.

Las pilas de compost tendrán forma de "iglú", de aproximadamente 1,20 m, (no menor de 0,75 m), y que constará de sucesivas capas. La primera capa, colocada sobre tierra, constará de hojas secas, hasta una altura de 0.20 metros, Sin aplastar la primera capa, se agregará la materia orgánica. Sobre esta capa se puede espolvorear una pequeña cantidad de cenizas o cal para evitar los olores cuando empiece la descomposición. La siguiente capa será de lignina machacada y sobre esta la capa de hojas secas, para cubrirlo por último con tierra fértil, según figura xx.

Es necesario para favorecer la aireación de toda la pila, colocar una caña de bambú vertical al centro, desde el suelo, la cual se encontrará agujereada para permitir el paso de aire. Pondremos otra caña de bambú horizontal por la parte inferior, con una pendiente de aproximadamente un 1%.



## 5.5.5. POZOS DE INFILTRACIÓN

Uno de los mayores riesgos de las comunidades cercanas al Piro es la vulnerabilidad por inundaciones por una variedad de factores tales como la erosión de márgenes que producen desprendimientos de suelo, eliminación de árboles que protegen la ribera, la cercanía de las viviendas al borde de la quebrada que reducen el cauce; y por último, que es la razón en la que nos concentraremos, el embovedamiento, taludes y lechos de hormigón en una gran parte de tramos del río, tal como se observa en la figura xx. Estos trabajos realizados como obras de mitigación y protección, lejos de cumplir su objetivo, provoca que en el fondo del lecho no se tenga la capacidad suficiente para infiltrar o retener tal cantidad de lluvia que circula, produciéndose altos caudales de manera rápida.

Es por ello que se propone la realización de pozos de infiltración que permitan evacuar el agua estancada con mayor rapidez para ser absorbida por el manto acuífero.

Las siguientes indicaciones para la realización de los pozos se han obtenido de Grupo Biotar:

El pozo consta de las siguiente partes: 1-Pared recubierta de botellas de plástico rellenas de tierra 2- Fondo de piedra 3- Sobre la piedra, grava o piedras de menor tamaño 4-Sobre la grava, gravilla o piedras aún más pequeñas que las anteriores

### Pasos para la elaboración:

Realizar un primer agujero de un paso de largo por uno de ancho y una brazada de profundidad. Para medir la brazada usaremos una cuerda a la que le ataremos al final algo con cierto peso (piedra) para que la cuerda descienda perpendicular al suelo. Mediremos la brazada desde el nivel 0 del agujero. Este agujero lo usaremos para determinar hasta que profundidad debemos llegar para que el suelo drene con mayor facilidad el agua que le llega.

Determinar la profundidad del pozo: Para saber si la profundidad del pozo es suficiente, se llena de agua unos 30cm aprox. Y se mide cuánto tiempo tarda en drenarse. Si tarda más de 3 horas significa que el agujero es poco profundo por lo que habría que añadir media o 1 brazada más de profundidad y volver a comprobar el tiempo de drenaje. Por el contrario si tarda menos se pasa al siguiente paso.

Construcción del pozo de infiltración: Una vez encontrada la profundidad adecuada del pozo, se realizará el agujero de éste. El tamaño del pozo dependerá de la cantidad de agua estancada que halla en la zona donde se quiera construir el pozo, para evitar dudas, usaremos las siguientes reglas. 1- Aumentaremos como mínimo 1 paso de ancho en zonas donde la cantidad de agua a drenar sea pequeña. 2- Si la cantidad de agua a drenar es considerable aumentaremos 1-2 pasos de ancho y de alto.

\*Nota: Estos pozos previos servirán de guía para encontrar un pozo óptimo para la zona, si después de su construcción se observa que no está drenando agua con la suficiente rapidez se volverá a aumentar el tamaño del pozo en función de las necesidades de la zona, hasta conseguir eliminar o al menos disminuir el agua estancada a niveles menos peligrosos.

Construcción de las paredes del pozo Debemos evitar desprendimientos de tierra dentro de los pozos para que estos no se atasquen y sigan cumpliendo su función, para ello usaremos botellas de plástico. Las cortaremos de dos maneras: 1- Las botellas del fondo las cortaremos por la zona donde comienzan a estrecharse y nos quedaremos con la parte ancha. 2- Para el resto de botellas, cortaremos aproximadamente a 4 dedos del fondo, quedándonos esta vez con la parte opuesta.

Llenaremos las botellas de tierra dejando unos 5 dedos libre y las iremos colocando de manera vertical. En la primera línea colocaremos el primer tipo de botella con la parte libre hacia arriba, desde la segunda línea hasta la última usaremos el segundo tipo de botella la cual

colocaremos en posición invertida encajando la zona estrecha en la anterior botella.

\*Nota: La función de las botellas es evitar que se desprenda la tierra de alrededor, en el caso de que no fuese posible la utilización de este material en todos los agujeros podemos optar por diseñar algún tipo de malla con madera u otros materiales típicos de la región que puedan evitar estos desprendimientos.

Materiales de relleno: Finalizado el agujero pasamos a rellenarlo de piedra, grava y gravilla en orden de mayor a menor profundidad, debemos evitar que las piedras pequeñas de los niveles superiores lleguen a niveles inferiores, por lo que debemos tener cuidado con la diferencia de tamaño entre éstas. (Grupo TAR, n.d.) Las proporciones serán:

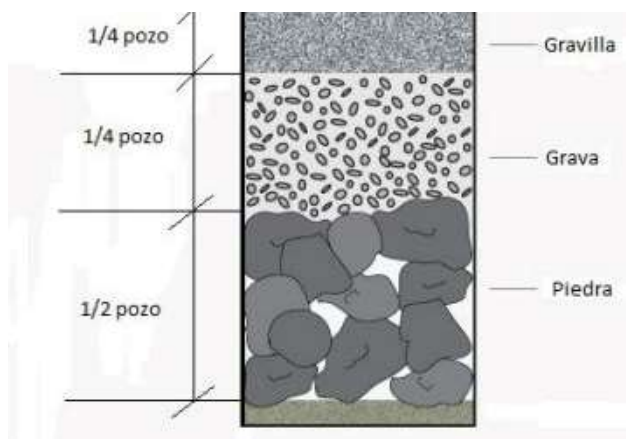


Figura Detalle pozo de infiltración

Fuente: Grupo TAR



Figura Biobardas recolectoras

Fuente: twitter-biobardas



Figura Biobardas recolectoras

Fuente: guatemala.com



Figura Proceso elaboración Biobardas recolectoras

Fuente: Diario La Tribuna

## 5.5.6. BIOBARDAS RECOLECTORAS ..... D

A partir de la implementación de las biobardas en los ríos de Guatemala y su recién aplicación en Honduras, se propone para la quebrada El Piro estas trampas artesanales que sirven para detener el arrastre de residuos y desechos sólidos sobre la superficie del agua, de tal forma que el proceso de recolección se facilite en un solo punto y no sigan recorriendo el cauce hasta sus desembocaduras.

Los materiales para la elaboración son: lazo, malla de pescar y envases de plástico de 2 litros.

Para la elaboración, los envases plásticos son colocados boquilla con boquilla y fondo con fondo. Cada sección se compone de 5 envases, de los cuales 1 contiene agua, la siguiente sección se compone de 5 envases vacíos y así sucesivamente hasta alcanzar la longitud del ancho del río. Luego, con los envases ya dentro de la malla y el lazo atravesando de extremo a extremo, se sujeta a postes a cada extremo del río o a árboles que resistan a la fuerza de la corriente del río.

En nuestro proyecto piloto, ya que está conformada por 1 kilómetro, se propone colocar una biobarda al inicio y al fin de nuestro tramo de intervención, para facilitar la recolección en esos puntos específicos de los residuos superficiales y contar con un kilómetro de río limpio.