

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DEL PACÍFICO
VII JORNADA DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL PACÍFICO COSTARRICENSE

Ponencia – Área turismo, ambiente y desarrollo sostenible
“Humedales artificiales: su dimensión económica, social, ambiental y paisajística”

ELABORADO POR
Oscar Julián Chavarría Valverde
Jenny Andrea Calderón Castro

Puntarenas, Costa Rica

2016

Oscar Julián Chavarría Valverde, Egresado en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, osjuchava@hotmail.com
Jenny Andrea Calderón Castro, Licenciada en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, jencalca@gmail.com

1. Introducción

El distrito de Lepanto forma parte de la provincia de Puntarenas y está ubicado en la región sur del Golfo de Nicoya. Entre los poblados que pertenecen a este distrito se encuentran Rosaclaus y Macondo. Estas comunidades han sido el enfoque principal de un proyecto financiado por el Consejo Nacional de Rectores de Costa Rica (CONARE), bajo el nombre de “Desarrollo participativo de alternativas para el tratamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos en las comunidades de Rosaclaus y Macondo, Distrito de Lepanto, Puntarenas”.

Desde inicios del 2015 se han realizado convocatorias en la población para informar sobre el proyecto, caracterizaciones sociales y de percepción para conocer el uso, manejo y posible aprovechamiento de los residuos orgánicos, y caracterizaciones físico-químicas que otorguen información cuantitativa sobre la situación de los residuos.

Una problemática encontrada en los hogares es el inadecuado tratamiento de las aguas residuales provenientes de las labores domésticas. Estas aguas son encausadas hacia los patios, donde se quedan estancadas durante un largo tiempo, lo cual crea diversas situaciones negativas, especialmente en las áreas de salud, paisajismo, ambiente y calidad de vida. Por lo tanto, se trata de encontrar una solución para tratar las aguas grises de una manera efectiva, por lo que se decide utilizar la tecnología de biojardinera.

La biojardinera es un tipo de humedal artificial que se puede utilizar en los hogares, el cual utiliza las aguas residuales y reduce la cantidad de contaminantes que tienen, hasta conseguir un líquido purificado que puede ser depositado o reutilizado, dependiendo de las necesidades de los usuarios. En el presente documento, se exponen los resultados conseguidos y el beneficio que los mismos han traído a familias de Lepanto en diversos ámbitos.

2. Desarrollo

La puesta en marcha de la biojardinera involucra diversos pasos para que trabaje de manera óptima. Se debe conocer a fondo su funcionamiento, diseñarla para las condiciones del lugar y darle mantenimiento regular. Los resultados obtenidos involucran aspectos variados, tales como económico, social, ambiental, paisajístico y otros que giran alrededor de la correcta manipulación de aguas residuales y su posterior aprovechamiento.

2.1. Funcionamiento de la biojardinera

La biojardinera es un equipo depurador de aguas residuales, que puede ser instalado en hogares con problemas de aguas estancadas en los patios, las cuales la mayoría de veces son aguas residuales de labores domésticas, como higiene personal, lavado de platos y lavado de ropa.

En las comunidades de Rosaclaus y Macondo no existe un buen manejo de aguas residuales, debido a que no existen alcantarillados o sistemas de tratamiento, por lo que las familias resuelven encausar las aguas de las pilas, lavamanos, duchas y fregaderos hacia los patios, como se observa en la Figura 1. Esto crea varios problemas ambientales y de salud, como criaderos de mosquitos que portan enfermedades, exposición de sustancias nocivas para animales que las consumen, filtración en la tierra que puede contaminar mantos acuíferos y otras situaciones de peligro.



Figura 1. Acumulación de aguas residuales en los patios de las casas.

Esta tecnología es capaz de tratar las aguas residuales domésticas para obtener un agua clara y sin olor, la cual se puede utilizar en labores de campo y limpieza, tales como

[Escriba aquí]

riego de sembradíos ornamentales, lavado de automóviles, aseo de herramientas y otros. Es importante tener en cuenta que el agua tratada no es potable y no es recomendable utilizarla para riego de vegetales o frutas, ya que es posible que esta vegetación pueda ser contaminada [CITATION Pér132 \l 5130].

El principio de funcionamiento de los humedales construidos es la filtración del agua, la cual reduce su velocidad cuando entra al humedal, para que las plantas y microorganismos beneficiosos que están en contacto con el medio atrapen los sólidos suspendidos, inactiven los contaminantes e interactúen entre sí para transformar las sustancias en otras que se puedan retirar más fácilmente [CITATION Hod06 \l 5130].

Los procesos de descontaminación se dan gracias a la interacción entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación y la fauna; esta última también juega un papel significativo y debe ser considerada para la instalación de la biojardinera. Otros elementos que ayudan al tratamiento de las aguas involucran la vegetación de la zona, el tipo de tierra y las colonias de bacterias que se forman durante el proceso de purificación [CITATION Hod06 \l 5130].

Los métodos mencionados también se llevan a cabo en los humedades naturales, por lo que se busca simular estos procesos de una forma más controlada, pues se utilizan aguas que han sido usadas en labores humanas y por lo tanto, se puede precisar de manera más estándar la composición de la misma.

La biojardinera utilizada en el proyecto se conoce como un humedal artificial de flujo subsuperficial de tipo horizontal, el cual se observa en la Figura 2. Este posee dos elementos importantes para su funcionamiento que lo diferencia de los humedales naturales: camas de piedra o grava y una capa que impermeabiliza el humedal, formado por tierras arenosas o un material sintético instalado para ese fin. La remoción de contaminantes se realiza por métodos biológicos, químicos y físicos, mediante degradación microbiana y procesos aeróbicos y anaeróbicos, siendo estos últimos los predominantes.



Figura 2. Humedal artificial de flujo subsuperficial de tipo horizontal

Entre las ventajas de este tipo de tecnología se encuentran [CITATION Gar08 \l 5130]:

- Facilidad de operación: la labor humana se concentra en el recorte de las plantas para su crecimiento controlado y la eliminación de los residuos sólidos.
- No hay consumo de energía externa.
- La elevación espontánea los caudales no genera problemas en el funcionamiento si se manejan tiempos de retención grandes.
- No causan contaminación visual, debido a la buena apariencia de la vegetación usual para las biojardineras.
- No hay afectación del sistema por la lluvia.
- Debido a que no se manejan equipos mecánicos, no hay averías que se tengan que mantener en revisión continua.
- La vegetación superficial produce una protección contra los malos olores, además de que se utilizan aguas con contaminación leve o moderada.
- El flujo de agua no requiere de bombeo, se transporta por gravedad.
- El agua se puede disponer luego para otros usos, como riego o para consumo animal.

Estos humedales tienen numerosos mecanismos para la remoción de contaminantes. Los sólidos son retenidos mediante filtración y sedimentación con una eficiencia bastante alta. La eliminación de nitrógeno se da por procesos de desnitrificación, mientras que el fósforo se remueve por medio de reacciones de intercambio con fosfatos que desplazan el

agua o hidroxilos de la superficie de óxidos de hierro y aluminio. En general, la remoción de fósforo es baja. [CITATION Gar08 \l 5130]

En cuanto al costo, la construcción de una biojardinera tiene una inversión aproximada de un millón de colones, con la ventaja de que funciona sin ningún tipo de energía externa, pues los componentes de la misma y la ubicación adecuada para el flujo de las aguas son suficiente para que trabaje de forma autónoma. Se necesita, sin embargo, de un grupo numeroso de personas para su instalación, entre 10 y 15, pues las labores físicas son demandantes, aunque con una buena coordinación es posible tenerla lista en cuestión de 4 o 5 días.

2.2. Instalación

La instalación de la biojardinera consta de numerosos pasos, los cuales se deben seguir con cuidado para evitar futuros daños en el equipo. Las medidas principales se utilizan para mantener el equipo completamente filtrado del suelo, puesto que es imperativo que las aguas residuales se mantengan el mayor tiempo posible en contacto con la vegetación y que tengan un tiempo de sedimentación óptimo, para que los sólidos más pesados sean separados de las aguas que se tratan. La construcción de este equipo se basó en el “Manual para la construcción y Mantenimiento de Biojardineras” [CITATION Mar10 \l 5130], elaborado por la Asociación Centroamericana Para la Economía, Salud y el Ambiente (ACEPESA).

En primer lugar se realiza la evaluación del terreno. Es muy importante ubicar todas las salidas de agua de la casa que se van a conectar a la biojardinera y trazar bien los niveles respecto al suelo, para que el flujo no se devuelva o se quede estancado. Se debe verificar que no existan mantos acuíferos a más de 4 metros bajo el nivel de tierra y que el suelo sea relativamente plano. Dependiendo del tipo de sedimento que se esté trabajando, será necesario utilizar materiales impermeables para que el agua no se filtre: si es arcilloso se necesita de un material resistente y grueso, generalmente plástico con un espesor no menor a los 0.7 mm, y en caso de sea arenoso, es posible que el agua no se filtre por la naturaleza del mismo, por lo que no será necesario el uso de material adicional.

Seguidamente se evalúan las dimensiones de biojardinera y se realiza la preparación del terreno. La sección principal en el proceso de purificación de aguas consiste en una

[Escriba aquí]

zanja cavada en el suelo que se llena de piedras pequeñas, las cuales sirven como sustrato de amarre para las plantas y que ayudan a filtrar las aguas. Las dimensiones de la misma dependen del consumo de agua de la familia y la cantidad de miembros que viven en el hogar, con lo cual se obtiene el valor de litros de agua utilizada por mes y por persona. Por ejemplo, para un gasto mensual de 20 m³ aproximadamente y una familia de 4 miembros, el cálculo es como sigue:

$$\frac{V}{t \cdot n} = \frac{24000 L}{30 \text{ días} \cdot 4 \text{ personas}} = 200 \frac{L}{\text{día} \cdot \text{persona}}$$

Donde:

V= volumen, L

t = tiempo, días

n = número de miembros en el hogar

De acuerdo a datos recolectados y modelos matemáticos, se puede relacionar el cálculo anterior con la longitud y ancho que tendrá la biojardinera. La profundidad del agua suele ser de 60 a 90 cm, la cual nunca sobrepasa la superficie del humedal, sino que se mantiene a 5 o 10 cm por debajo. En el caso de las biojardineras elaboradas en el proyecto, se utilizaron longitudes de 4, 5 o 6 m, con anchos de 1,5 m y profundidad de 70 cm.

Una vez que se obtienen las dimensiones, se pasa a cavar la zanja y rellenarla con el material filtrante. Es esencial que las medidas sean las indicadas y exista una nivelación correcta, pues de lo contrario es posible que se generen acumulaciones de líquido o puntos muertos donde no pasa el flujo, con lo cual se reduce la eficiencia general del equipo. Se utilizan dos tipos de relleno, piedra bola y piedra cuarta, observadas en la Figura 3. La primera es un material con un diámetro de 15-30 cm y se utiliza como soporte para las tuberías y para asegurar una buena repartición de las aguas entrantes. El otro tipo es la piedra cuarta, la cual tiene un diámetro de 1-2 cm y se usa como material filtrante, medio formador de películas orgánicas para el tratamiento de contaminantes y elemento de distribución de las aguas a lo largo del equipo.



(a)

(b)

Figura 3. Colocación de relleno en la biojardinera. (a) Piedra bola. (b) Piedra cuarta.

Para asegurar el correcto funcionamiento del equipo, es necesario el uso de pretratamientos que eliminen la mayor cantidad posible de contaminantes sólidos y elementos que puedan obstruir conectados a la biojardinera. Estos consisten en uno o más tanques donde las aguas se asientan, para que los sólidos más pesados se sedimenten y las grasas y aceites se separan del líquido y se asienten en la superficie; de esta manera entra a la biojardinera un agua sin exceso de contaminantes.

Otra serie de elementos indispensables son las tuberías y equipos auxiliares. Se debe diseñar con cuidado la conexión de las tuberías que van a dar hasta los tanques de pretratamiento, así como las que van dentro de la biojardinera y se encargan de distribuir las aguas equitativamente. También es importante colocar trampas de grasa y cajas de registro para evitar las obstrucciones en el equipo, así como un foso de filtración después del tanque de salida, para que no haya inundaciones en caso de que el mismo tenga un rebalse.

[Escriba aquí]

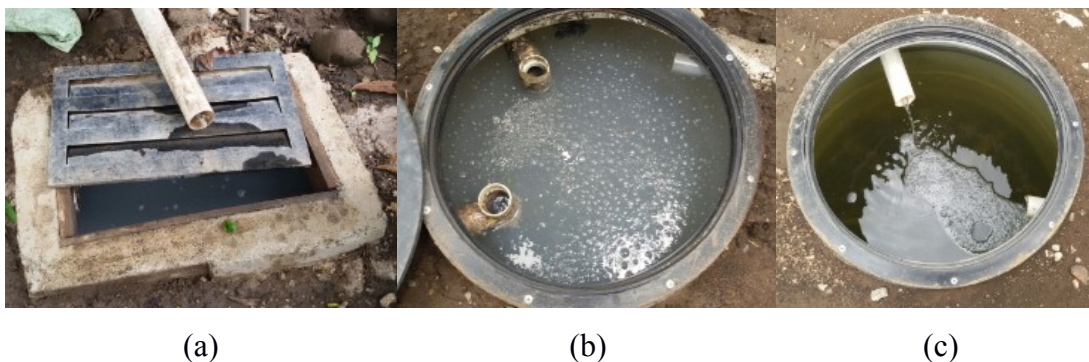


Figura 4. (a) Caja de registro. (b) Tanque de pretratamiento. (c) Tanque recolector de agua tratada.

La vegetación se coloca de último, una vez que el agua dentro del humedal ha alcanzado un nivel tal que pueda salir hacia el tanque recolector, de este modo se asegura que las raíces están captando suficiente líquido para poder sobrevivir. Se utilizan plantas macrofitas, las cuales son capaces de desarrollarse adecuadamente en el ambiente al que se encuentran expuestas en la biojardinera, y son las responsables de brindar el oxígeno necesario para realizar las reacciones de purificación.

Las características más importantes de la vegetación escogida son: sistemas de rizomas eficaces, tamaño considerable para una buena absorción de nutrientes, superficies para crecimiento de biopelícula considerable, buen sistema de transporte de oxígeno, buena productividad, resistencia hacia las aguas residuales, especies propias de la zona [CITATION Wet031 \l 5130]. Se suelen utilizar plantas como carrizos, juncos, ave del paraíso, avecilla, calas y similares. Es importante tomar en cuenta los aspectos meteorológicos al hacer la elección; en Lepanto se tiene una temperatura promedio anual de 27°C, con altitudes menores a los 150 m s. n. m. y precipitaciones anuales que van desde 1565 hasta 2688 mm [CITATION INE11 \l 5130].

2.3. Resultados de funcionamiento

La instalación de la primera biojardinera se realizó en febrero del 2016 y la segunda en abril del mismo año. Desde la fecha de instalación se han realizado chequeos para comprobar su buen funcionamiento, pues es muy importante seguir de cerca el

[Escriba aquí]

comportamiento de los equipos. Además, se ha monitoreado la capacidad de remoción de contaminantes a lo largo del tiempo, así como a la entrada y salida del equipo.

La biojardinera cuenta con varios puntos de muestreo donde se recogen las aguas de tratamiento para evaluar el desempeño del equipo en la remoción de contaminantes. En general, los resultados observados en los Cuadros 1 y 2 van de acuerdo con lo esperado, pues se ha registrado una reducción considerable en lo que se refiere a DQO, DBO y sólidos totales, los cuales son parámetros que denotan la eficacia para purificar las aguas residuales. Además, se observa también una disminución en grasas y aceites, así como nitrógeno y fósforo total, siendo estas dos últimas sustancias las que poseen cambios menos notables, puesto que la biojardinera con flujo subsuperficial de tipo horizontal [CITATION Gar08 \l 5130].

Por otro lado, la comparación entre ambos Cuadros muestra la necesidad de darle a la biojardinera tiempo para que se estabilice y pueda funcionar de manera óptima, puesto que la vegetación necesita habituarse al nuevo espacio de desarrollo, además de que las raíces necesitan crecer para interactuar con los demás elementos del humedal.

Cuadro 1. Análisis de aguas residuales a lo largo de la biojardinera, realizados el 24 de abril de 2016 (Elaboración propia, 2016).

Parámetro	Pre-tratamiento	Chimenea A	Chimenea B
pH	6.65	6.81	6.93
Sólidos totales (mg/L)	696	416	524
DQO (mg/L)	252	150	123
DBOs (mg/L)	120	114	44
Grasas y aceites (mg/L)	16	16	11
Nitrógeno total (mg/L)	11	10	9
Fósforo total (mg/L)	0.39	0.65	0.61

Cuadro 2. Análisis de aguas residuales a lo largo de la biojardinera, realizados el 17 de junio de 2016 (Elaboración propia, 2016).

Parámetro	Pre-tratamiento	Chimenea A	Chimenea B
-----------	-----------------	------------	------------

[Escriba aquí]

pH	7.11	7.31	7.39
Sólidos totales (mg/L)	480	268	276
DQO (mg/L)	266	86	76
DBO ₅ (mg/L)	150	53	24
Grasas y aceites (mg/L)	24	18	11
Nitrógeno total (mg/L)	8	3.5	11
Fósforo total (mg/L)	2.8	1.2	0.67

2.4. Mejora ambiental y sanitaria

La región de Lepanto posee una incidencia significativa de enfermedades de transmisión tales como el Dengue, la cual aumenta su proliferación debido a la multiplicación de mosquitos que se desarrollan en acumulaciones de aguas residuales, las cuales son muy comunes en los patios de las casas de la zona [CITATION INE11 \l 5130]. Se ha observado que estas acumulaciones se deben principalmente a dos problemas: los residuos de línea blanca, tales como lavadoras y refrigeradoras, y la falta de tratamiento de aguas grises. Estas últimas son especialmente notables, pues crean canales que van desde las tuberías de salida en varios puntos de la casa hasta el interior de los patios, con longitudes de 5 a 10 m aproximadamente.

Gracias a la instalación de las biojardineras, los charcos y canales en los patios se eliminaron por completo, lo cual reduce la cantidad de criaderos para la proliferación de mosquitos. Se debe tener el cuidado de mantener los tanques de agua, cajas de registro y trampas de grasa debidamente tapados y revisarlos al menos una vez por semana, para evitar la proliferación de criaderos, lo cual no se debe descartar como una posibilidad.

Por otro lado, la purificación de las aguas residuales permite la adecuada eliminación del agua en exceso mediante la filtración en la tierra. Como parte de los elementos del equipo, se tiene un pozo de filtración que sirve para manejar el rebalse que puede tener el tanque recolector al final de la biojardinería. Las aguas pueden entonces eliminarse con niveles aceptables de contaminantes a través de los suelos, e incluso en casos donde pasa cerca un río o riachuelo, sería posible encausar las aguas de salidas para depositarlas en la corriente.

2.5. Transformación del espacio y paisajismo

[Escriba aquí]

Al ser la biojardinera un equipo de tratamiento de aguas de uso doméstico, es importante aprovechar al máximo el espacio disponible en los terrenos del domicilio, y hacerlo de un modo que no interfiera con las actividades diarias de las familias o resalte de forma negativa con los alrededores.

Cuando se diseñan las biojardineras se debe tener muy presente la noción de paisajismo, es decir, la capacidad de modificar el medio para embellecer el entorno, así como combinar los elementos naturales, humanos, abstractos y culturales, de modo que se cree un equilibrio entre los fines prácticos de la construcción y la estética del producto final [CITATION Ric04 \l 5130]. A continuación se exponen varios elementos de la tecnología y el modo apropiado de utilizarlos para crear el balance mencionado, los cuales se han puesto en práctica durante el proyecto.

- Tuberías: estas conducen las aguas residuales hasta el equipo purificador y se encargan de distribuir las a lo largo de la biojardinera, por lo que se deben manejar con cuidado y evitar que estén expuestas, lo cual a su vez mejora el aspecto de la zona, ya que no suelen ser muy atractivas. Lo ideal es tenerlas enterradas a no muy baja profundidad y luego cubrir la tierra con piedra o pasto, siempre y cuando no se produzcan daños a estos elementos.
- Piedra bola y piedra cuarta: una vez terminada la biojardinera, se puede hacer un perímetro con la piedra bola, conocido como jardinera, con lo cual se crea un espacio aparte donde pueden crecer las plantas sin problema, y se evita la propagación de hierbas o maleza. Las piedras se pueden utilizar también para crear veredas o caminos desde la casa y a través del patio. Además es posible crear jardineras más pequeñas con plantas ornamentales, que se asemejen a la estética creada por el humedal.
- Vegetación: las plantas utilizadas no sólo tienen una función purificadora de la aguas, sino que le dan mayor atractivo al equipo, más aun tomando en cuenta el uso de elementos grises como el cemento y piedras, y materiales sintéticos en los tanques y tuberías expuestas. La vegetación se debe escoger de modo que pueda sobrevivir en las condiciones de la zona, y que se adapte bien al entorno de la zona.

2.6. Reutilización de aguas para el mejoramiento del desarrollo sostenible y económico

[Escriba aquí]

La zona de Lepanto cuenta con dificultades en el área económica y social, las cuales se han podido analizar a partir de los resultados del Censo realizado en el año 2011 (INEC, 2011). Se resalta, por ejemplo, que el porcentaje de hogares con al menos una carencia es del 33,8%, existe un 11,2% de hogares con carencia de acceso a otros bienes y servicios, los hogares con carencia de vida saludable es de un 9,4%, hogares con carencia de un albergue digno 14,8% y viviendas en mal estado son de un 14,1%. En cuanto a la situación de empleo, la tasa de ocupación existente es de 39,6%.

Estos datos resaltan la necesidad de encontrar soluciones que les den a las familias la capacidad de generar ingresos extra para tener una mejor calidad de vida. Entre las oportunidades generadas por la biojardinera, se encuentra la reutilización de las aguas ya tratadas para distintos fines. Así pues, es posible reducir la cantidad de agua que se consume mensualmente, pues es posible utilizarla en labores de riego y limpieza, lo cual también va de la mano con proyectos que incentivan el cultivo de vegetación ornamental. Un ejemplo es una familia favorecida con esta tecnología, que gracias a la reutilización de las aguas residuales, pudo iniciar un negocio de venta de árboles de teca, sin tener que gastar dinero extra para el riego de los mismos.

2.7. Uso racional del agua

Además de la reducción de costos en el consumo de agua potable, cabe resaltar la concientización en el uso racional del agua. De acuerdo a estudios realizados en la zona [CITATION INE11 \l 5130] en general la utilización de las aguas en los hogares se divide en varias labores de la siguiente manera: preparación de comida y bebida, descarga del inodoro, lavado de platos, lavado de ropa e higiene personal. Los residuos de las tres últimas prácticas son llamados aguas grises y son las que se utilizan como entrada para la biojardinera.

Si bien es cierto que se puede diseñar la tecnología de purificación utilizada para tratar volúmenes elevados de aguas residuales de las casas, es necesario también la educación de la población sobre el uso racional del agua potable, para que la biojardinera funcione de manera óptima y se logra reducir el desperdicio de este líquido. Entre las recomendaciones para manejar el agua de la mejor manera se encuentra:

[Escriba aquí]

- Utilizar poca presión de agua al lavar los platos, así como eliminar la mayor cantidad de restos de comida sólidos posibles.
- No tomar duchas demasiado largas.
- Usar una cantidad reducida de detergente para lavar ropa, para no generar exceso de espuma y jabón, ni tener que enjuagar la ropa más de lo necesario.
- En la medida de lo posible, tratar de no lavar en la pila ropa de bebé o mantillas, ya que la biojardinera no puede tratar grandes cantidades de contaminantes provenientes de heces.

Cabe resaltar que muchas familias utilizan pozos subterráneos cuando les es posible para diversas labores. Durante la época seca, la cual se extiende entre noviembre y abril aproximadamente, estos tienden a secarse por lo que la reutilización de aguas con el uso de la biojardinera es una buena opción para ahorrar este líquido.

Las medidas anteriores se utilizan para poder lograr un desarrollo sostenible, el cual incluye la conservación ambiental, así como el uso de recursos necesarios para tener una buena calidad de vida. Entre las familias beneficiadas se han escuchado comentarios muy alentadores en cuanto al buen manejo del agua potable. Algunas medidas utilizadas por las jefas de hogar es que realizan lavados de ropa menos frecuentes, tratando de no lavar la mayor cantidad de ropa en uno o dos días, por ejemplo.

2.8. Aprendizaje conjunto entre miembros de la comunidad y el proyecto

Los proyectos desarrollados en la zona no solo buscan traer una solución específica a un determinado problema, sino que se quiere que la población obtenga conocimientos sobre los diversos temas tratados y puedan reproducir bajo sus propios medios las tecnologías estudiadas. Por lo tanto fue muy importante involucrar a la mayor cantidad de personas cuando se construyó la biojardinera, para así tener una mejor comprensión sobre la instalación de la misma.

Es importante notar que este aprendizaje involucra tanto a la comunidad de Lepanto, como a los varios miembros del proyecto y gracias a esto se produce un intercambio de conocimientos muy valioso. Es interesante notar, por ejemplo, como los estudiantes de las universidades manejan bien la teoría de comportamiento de fluidos y propiedades de líquidos, pero suelen quedar rezagados en el uso práctico de estos conocimientos al tratar de encausar las aguas mediante tuberías o instalar correctamente entradas y salidas con

[Escriba aquí]

niveles de descenso adecuados. Lo opuesto suele suceder con la gente de la zona, pues saben la forma adecuada de construcción, pero a no siempre manejan bien la razón de un determinado comportamiento.

3. Síntesis final

La colaboración conjunta entre las comunidades e instituciones educativas puede tener un impacto muy positivo en el mejoramiento del área social, económica y ambiental de la zona. Con el desarrollo de la tecnología de biojardinera se logró obtener beneficios y se solucionaron problemas que afectaban la calidad de vida de la población de Rosaclaus y Macondo.

El manejo de las aguas residuales que contaminaban los patios permitió eliminar zonas potenciales de criaderos de mosquitos, con lo cual se consigue disminuir la propagación de enfermedades, especialmente en las zonas cercanas al hogar. También se consigue reducir el impacto ambiental que genera la filtración de aguas grises en la tierra, con lo cual se evita la contaminación de mantos acuíferos y del propio sustrato en los suelos.

La estética lograda con el proyecto también es un punto importante, ya que de esta depende muchas veces la aceptación que una familia le pueda dar a un proyecto, especialmente si es un equipo que se tiene en el hogar o en los patios. Los malos olores, colores poco atractivos, ruido o exceso de espacio utilizado son razones suficientes para rechazar una tecnología, por lo que al haber logrado un diseño que resulta atractivo y se adapta bien a la zona, se consigue que los miembros del hogar aprecien aún más el equipo instalado.

La purificación de las aguas residuales va de la mano con el buen manejo del recurso hídrico. Debe existir un compromiso por parte de las personas beneficiadas con el humedal, de modo que no sólo lo mantengan en buenas condiciones, sino que aprendan a utilizar el agua potable responsablemente. La reutilización de las aguas ya tratadas es también un punto muy importante, de modo que se escogieron familias que se comprometieran a sacarle provecho, ya sea con el riego de plantas o la limpieza del hogar.

Por último, se destaca el conocimiento adquirido por parte de la comunidad de Rosaclaus y Macondo, y los miembros del proyecto. El intercambio de experiencias y teoría científica han enriquecido ambas partes, así como la interacción con zonas con costumbres y prácticas distintas a las habituales, con lo cual se adquieren herramientas útiles para un mejor desarrollo personal.

4. Recomendaciones

Durante el desarrollo del proyecto se han enfrentado dificultades debido a variados factores, ya sea por inexperiencia, descuido o elementos externos que están fuera de control. Para la elaboración de la biojardinera se recomiendan los siguientes cuidados, para evitar al máximo los inconvenientes:

- Explicar detalladamente el uso, mantenimiento y beneficios de la biojardinera a las posibles familias que se puedan beneficiar del humedal artificial. Esta tecnología es un compromiso que requiere un tiempo mínimo de trabajo por semana, por lo que debe haber una persona responsable que esté muy consciente de la responsabilidad que implica tener el equipo en el hogar.
- Elegir una zona propicia para la instalación de la biojardinera. Existen numerosos factores que pueden reducir la eficiencia del equipo e incluso estropearlo de forma indefinida. Las inundaciones en épocas lluviosas, árboles con grandes raíces, animales que puedan arruinar las plantas y demás factores, deben ser considerados y estudiados de antemano.
- La construcción de del humedal es un trabajo arduo que necesita de varios días y un equipo de trabajo grande. Es esencial que exista una buena comunicación entre los miembros, así como una adecuada preparación antes de iniciar el proyecto, en lo que se refiere a preparación del terreno, compra de materiales y uso adecuado del tiempo.

5. Bibliografía

- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos - Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Hoddinott, B. C. (2006). *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands for On-site Wastewater Treatment*. Dayton Ohio: Wright State University.
- INEC. (2011). *Censo de Población 2011*. San José, Costa Rica.
- Marín Araya, M. (2010). *Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras*. Zapote, San José: ACEPESA.
- Pérez Salazar, R., Alfaro Chinchilla, C., Sasa Marín, J., & Agüero Pérez, J. (2013). Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *UNICIENCIA*, 27(1), 332-340.
- Rico, J. C. (2004). *El paisajismo del siglo XXI: entre la ecología, la técnica y la plástica*. Madrid: Sílex.
- Wetlands International - Malaysia Office. (2003). *The use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Selangor, Malaysia: Wetlands International