

11

Sistemas de depuración natural de aguas residuales En Moxos, Amazonia boliviana

ELISENDA PASTÓ^{1,2}

¹CEAM, ²Hydro-Sfera

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de depuración natural se usan desde tiempos antiguos, sobre todo en las zonas cálidas y subtropicales de Asia. Estos sistemas son sencillos, de fácil aplicación y no requieren productos químicos para su funcionamiento; además, se adaptan al entorno, sin causar impacto ambiental y al mismo tiempo son productivos.

El funcionamiento básico de este tipo de tratamiento de las aguas residuales consiste en establecer una cadena trófica usando como fuente principal de alimento la carga contaminante del agua, normalmente debida a un exceso de materia orgánica en el agua. Esta carga contaminante es consumida y degradada por los organismos acuáticos (bacterias, plancton, plantas o algas, etc.).

El objetivo principal al diseñar una depuradora natural es someter el agua a diferentes condiciones ambientales dentro del sistema: variaciones de temperatura, de concentración de oxígeno, de pH, de incidencia solar, etc. Eso permite que los sistemas tengan una gran versatilidad y capacidad para depurar distintos tipos de contaminantes, los cuales, a su vez, son eficaces en la eliminación de patógenos.

ANTECEDENTES

Los problemas de saneamiento y abastecimiento de aguas detectados en la región de Moxos se deben a la falta de redes de evacuación de aguas residuales y al uso generalizado de letrinas (pozos ciegos); esto ha creado una situación de riesgo de contaminación de las aguas de consumo por infiltración. Por otra parte, durante la época seca el nivel de los ríos es inferior al nivel general del terreno, lo que dificulta el abastecimiento de agua.

La ciudad de San Ignacio, con una población de 7.000 habitantes, carece sin embargo de redes de cloacas: las aguas residuales urbanas se vierten en zanjas a cielo abierto que

desaguan en la Laguna Isirere, de la que a su vez se extrae el agua de consumo por simple bombeo y sin ningún tipo de tratamiento de potabilización. Esta situación genera una grave epidemia de parasitosis intestinal crónica, con índices superiores al 63,6%¹ de diarreas agudas en el total de población de San Ignacio, que afectan fundamentalmente a la población infantil.

En el año 2000 se construyó un módulo de depuración de aguas residuales mediante sistemas de depuración natural en el Internado Arajuruana de San Ignacio de Moxos.

La mayoría de los estudiantes de este internado provienen de las comunidades indígenas de la provincia de Moxos, de familias pobres con pocos recursos económicos y que dependen de una agricultura de subsistencia. En estas comunidades sólo se imparte el ciclo básico de primaria, y para muchos jóvenes la única forma de continuar los estudios es accediendo a los internados. En Bolivia existen muchos internados de este tipo promovidos por la Compañía de Jesús.

Actualmente en el Internado Arajuruana hay unos 90 alumnos y alumnas de distintos ciclos, el director, dos responsables encargados del internado y profesores auxiliares, que acostumbran a ser chicas y chicos voluntarios de distintas partes de Bolivia.

ELEMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA CONSTRUIDO EN EL INTERNADO Y PRINCIPALES PROCESOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN

Características del agua del Internado Arajuruana:

Población: 100 personas equivalentes.

Caudal: 9 m³.

DBO entrante: 600g/día de DBO₅.

Las aguas residuales del Internado proceden de los baños, las duchas y la cocina; por lo tanto, la carga contaminante es básicamente orgánica y el agua no lleva ningún tipo de contaminante duro.

Elementos del sistema

Fosa séptica

En la fosa se produce una separación de las grasas y los sólidos. Presenta dos cámaras donde se precipitan los sólidos en suspensión. En esta primera fase se produce una digestión anaeróbica de la materia orgánica contenida en el agua, transformando la materia orgánica en forma de mineral asimilable.

Laguna anaeróbica

Esta laguna presenta unas condiciones de anaerobiosis en toda la columna de agua excepto en los primeros centímetros de la superficie; de este modo se evitan los posibles malos olores generados por la fermentación.

¹ INE, Bolivia, 1997.

La digestión anaeróbica que se produce en esta primera laguna permite reducir la carga orgánica en poco tiempo y eliminar sólidos en suspensión. La tasa de reducción de la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y de sólidos en suspensión puede ser superior al 70%.

La asimilación de los nutrientes, resultantes de la degradación de la materia contaminante por parte de las bacterias, la realizan plantas que utilizan esos nutrientes para su crecimiento.

Las plantas acuáticas presentes en el sistema son el tarope (*Eichhornia crassipes*), planta flotante que cubre la superficie de la laguna para obtener condiciones de anaerobiosis, y otras plantas marginales, como la cañuela (*Hymenache amplexicaulis*) y el arrocillo (*Echinochloa sp.*), que se ponen en los márgenes de la laguna y contribuyen a aportar oxígeno a la capa superficial del agua (véase la figura 11.3 y 11.4).

Laguna de maduración

Esta laguna es menos profunda que la anterior; de este modo se consigue maximizar la entrada de luz en la columna de agua ayudando a la desinfección. Se dan procesos de degradación de los compuestos solubilizados y extracción de nutrientes presentes en el agua.

La extracción de nutrientes es efectuada por las plantas marginales y la oxigenación, por planta sumergidas.

Laguna de estabilización

La laguna de estabilización es un poco menos profunda que la anterior y no tiene plantas marginales; se logra así estabilizar el agua antes de emplearla para riego.

El uso del tarope

La introducción de la planta flotante *Eichhornia crassipes* en el sistema de depuración permite que los nutrientes sean absorbidos directamente del agua por las raíces de la planta. El agua residual lleva compuestos nitrogenados, fosfatos, etc., que el tarope necesita para su crecimiento. El uso controlado de estas plantas aumenta la capacidad de reducción de la DBO₅ y de los sólidos en suspensión. Además, disminuye también los patógenos del agua.

La biomasa vegetal generada a partir del tarope tiene múltiples aplicaciones: como fertilizante, forraje para animales, generación de biogás...

Descripción y biología del tarope

Familia Pontederiaceae.

Especie *Eichhornia crassipes*



Figura 11.1 Dibujo de la planta de tarope

Figura 11.2 Detalle de la flor del tarope

Planta acuática perenne, flotante libre. Presente en aguas dulces estancadas, estanques, lagunas, canales y arroyos. Originaria de la Cuenca Amazónica.

Las raíces son numerosas y tienen un aspecto plumoso. Las hojas son gruesas y brillantes y los pecíolos están hinchados en su parte media-basal, debido a que en su interior se forma tejido aerenquimático para permitir la flotación de la planta.

Las flores nacen en inflorescencia terminal, en el ápice del tallo, y presentan una coloración púrpura o lilácea con manchas amarillas.

La reproducción de la *Eichhornia crassipes* puede ser vegetativa o sexual. La propagación vegetativa es muy importante por su gran capacidad de expansión y colonización; se realiza mediante la formación de estolones o tallos horizontales en cuyo extremo se forma una nueva planta con raíces y hojas.

El tarope en Moxos

El tarope es originario del Amazonas, pero actualmente se encuentra extendido por todo el mundo, sobre todo como planta ornamental. En muchos lugares es considerado una plaga, pues, debido a su gran capacidad de colonización y expansión, puede crear problemas de drenaje de canales, desplazar especies autóctonas, etc. En los Llanos de Moxos, sin embargo, el tarope tiene un hábitat favorable, y no causa ningún problema. Las condiciones ambientales y la competencia creada por otras plantas acuáticas lo mantienen en equilibrio dentro del ecosistema.

Aunque el término “tarope” puede emplearse para aludir a todas las plantas flotantes acuáticas, con rigor designa al jacinto de agua. Localmente la planta es conocida con otros nombres relacionados con el uso tradicional que se hacía de ella. También se la conoce como “ichebe”, hierba que da sal, o “chevijí”, tallo tierno de sal; de ahí el nombre del río Chevejecure (río del Tarope).

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANÁLISIS

Los análisis efectuados hasta el momento son parciales y comparan el agua de entrada con la de la salida de la laguna anaeróbica. Los valores de la tabla 11.1 muestran los resultados obtenidos en la reducción de los contaminantes durante el proceso de depuración, realizados en dos años consecutivos. Se llevaron a cabo con la colaboración de los Laboratorios de SAGUAPAC, Cooperativa de Servicios Públicos Santa Cruz, LTDA.

Tabla 11.1. Resultados de los análisis de las agua

Parámetros	Entrada de agua (nov. 2000)	Salida de agua (nov. 2000)	Entrada de agua (nov. 2001)	Salida de agua (nov. 2001)
Temperatura (° C)	26,9	25,6	26,8	23
pH	7,47	7,26	6,97	7,63
Oxígeno disuelto (mg/l)	–	–	–	
Conductividad eléctrica (umhos/cm)	1.502	897	3.470	1.026
Sólidos en suspensión Totales (mg/l)	181	60	42	55
Sólidos sedimentables (cc/l)	22	2		
Nitratos (mg/l)	–	–	–	0,01
Fosfatos (mg/l)	30,65	14,75	109	34,9
DQO (mg/l)	462	168	DBO ₅ -190	DBO ₅ -50
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4,6x10 ⁶	1,5x10 ⁵	9,3x10 ⁵	1,5x10 ⁴
Coliformes fecales (NMP/100ml)	9,3x10 ⁵	2,3x10 ⁴	4,3x10 ⁵	7,3x10 ³

En el cuadro se aprecia que los parámetros de conductividad, sólidos en suspensión y fosfatos se han reducido casi a la mitad entre la concentración inicial y la primera muestra. En el caso del segundo análisis, existe una variación en los sólidos en suspensión, que pasan de

42 mg/l a 55 mg/l; este aumento puede deberse a un mal mantenimiento del sistema, por no extraer las plantas de tarope o por las lluvias típicas de esta época.

La DQO (Demanda Química de Oxígeno) indica la materia orgánica presente en el agua mediante la oxidación química de los compuestos. La reducción es de alrededor de un 70%, lo cual indicaría que la materia orgánica contaminante ha sido degradada y metabolizada por bacterias y aprovechada por el tarope. En la segunda muestra se analizó la DBO₅; también en este caso se apreció una gran reducción (73,6%), aunque podría haberse producido alguna pequeña variación de los datos reales debido al tiempo empleado para el traslado de las muestras al laboratorio (24h).

La reducción de los coliformes totales y fecales es considerable, lo cual revela que la *Eichhornia crassipes* tiene un gran poder para eliminar patógenos del agua. Aunque estos análisis no permiten conocer la eficacia total del sistema en la reducción de patógenos (como se ha dicho, sólo se ha podido analizar el agua de salida de la laguna anaeróbica), los resultados hacen suponer que la eliminación es mayor una vez el agua ha pasado por todo el sistema.

La ausencia de nitratos es debida a las condiciones de anaerobiosis: al no haber oxígeno, no pueden darse las reacciones de oxidación del amonio. La ausencia de oxígeno disuelto, o su presencia en una concentración indetectable, se debe a que la laguna está cubierta por el tarope, que la deja anaeróbica.

REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Una vez depuradas, las aguas residuales pueden usarse perfectamente para el riego del huerto, las cisternas de los baños, etc.

Un uso muy interesante del agua residual sería el establecimiento de un sistema integrado con la piscicultura o con la cría de patos. Las aguas de la última laguna presentan cualidades aptas para criar peces autóctonos, apreciados para el consumo de los habitantes. Estos sistemas integrados podrían contribuir a mejorar la dieta de los estudiantes y docentes del Internado, aportando fósforo, proteínas, etc.

CONCLUSIÓN

La depuración de aguas residuales por lagunaje es un sistema sencillo y adecuado para pequeñas comunidades, ya que no requiere grandes inversiones económicas para su aplicación. Es un sistema sostenible, que no necesita ningún tipo de suministro energético para su funcionamiento ni para su mantenimiento.

Con este tipo de sistemas de depuración de aguas se puede llegar a reducir en un 99% la DBO₅ y en un 99,99% los coliformes² presentes en el agua. Esta elevada eficacia ayuda a disminuir las infecciones que se transmiten a través del agua, como por ejemplo el cólera y el

² Fuente: Seoáñez, 1978; Degrémont, 1979; Metcalf-Eddy, 1985; Sierra y Peñalver, 1989; Mujeriego, 1990a.

tifus. Si se aplicaran estos sistemas de depuración de aguas, las tasas de parasitosis seguramente disminuirían mucho y la salud de la población mejoraría.

Aparte de contribuir a mejorar la salud y la higiene, estos sistemas son útiles como reservorios de agua durante la época seca en Moxos, puesto que las pozas y curichis se secan y dejan a muchas comunidades con deficiencia de agua para su uso cotidiano (regar, lavar...). Además, pueden usarse como sistemas integrados de producción para la cría de peces u otros animales acuáticos y el uso de las plantas como forraje, compostaje, etc.

El tarope es una de las plantas acuáticas más eficaces en la depuración de aguas por su capacidad de absorción de materia orgánica. Los mojeños conocen las propiedades de esta planta: saben que su presencia en las pozas o curichis indica que las aguas están más limpias, de modo que el tarope les sirve como punto de referencia para saber si pueden usar el agua aunque no este potabilizada.

CEAM y su contraparte HOYAM han llevado a cabo dos proyectos de depuración de aguas por lagunaje en dos comunidades distintas. Los resultados, de momento, son muy buenos: demuestran que este tipo de tratamiento para depurar las aguas residuales son acertados en países en desarrollo debido a su escaso coste y bajo consumo energético.

Vista general del sistema de depuración

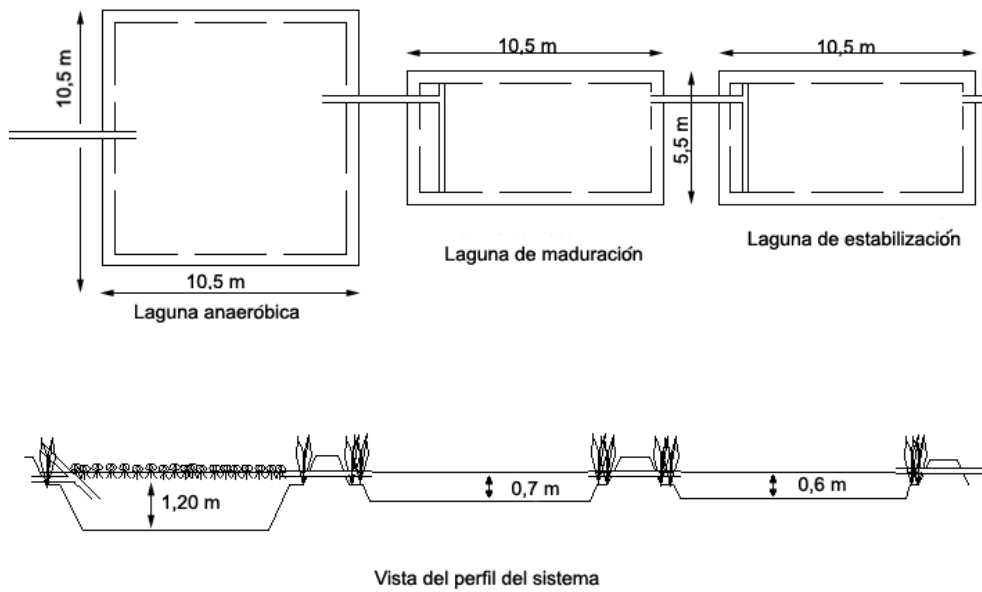


Figura 11.3 Esquema del sistema de depuración por lagunaje



Figura 11.4 Laguna anaeróbica del Internado Aranjuna