

Tecnologías para la rehabilitación en una microcuenca urbana

Tania Bermúdez Rojas*
Lilliana Piedra Castro**
Virginia Alvarado García***
Maikol Castillo Chinchilla****
Abad Rodríguez Rodríguez*****

Recibido: 03-04-2015 Aceptado: 25-10-2015



RESUMEN

La degradación de los ecosistemas acuáticos urbanos que incluye ríos y quebradas ha provocado la pérdida de biodiversidad, disminución de la calidad ambiental y la afectación de la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas. Se presentan tres alternativas científico - tecnológicas para la rehabilitación del suelo y el agua, mediante coberturas vegetales en taludes y dos sistemas de depuración de aguas contaminadas; biojardineras y bacterias nitrificadoras, todas realizadas en la microcuenca urbana del río Pirro, Heredia, siendo estas una contribución para futuras investigaciones en el campo de la restauración ecológica.

Palabras claves: Riberas, Control de erosión, Biojardineras, Bacterias nitrificadoras.

ABSTRACT

Degradation of urban aquatic ecosystems, including rivers and creeks, has ended in biodiversity loss, environmental quality decrease and life quality affectation of urban areas inhabitants. This study presents three scientific - technological options for soil and water rehabilitation, through vegetal coverings on slopes and two polluted waters depuration systems: "biojardineras" (bio-planters) and nitrifying bacteria, all of them realized within Pirro river urban micro-basin, Heredia. These options are a contribution for future research on ecological restoration area.

Key words: River banks, Erosion control, Bio-planters, Nitrifying bacteria.

* Directora de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. tania.bermudez.rojas@una.cr

** Académica e investigadora de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. lilliana.piedra.castro@una.cr

*** Licenciada en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. vicky1610@gmail.com

**** Licenciado en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. maikol.castillo@gmail.com

***** Licenciado en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. abadrr@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las condiciones ambientales que exhiben las zonas urbanas de Costa Rica son similares a la mayoría de las ciudades latinoamericanas. Por ejemplo, la mayor parte de las aguas negras generadas por los asentamientos urbanos en Costa Rica no son tratadas. Para el caso específico de la Gran Área Metropolitana (GAM), cerca de 95% de las aguas negras no reciben tratamiento adecuado, los residuos sólidos no son clasificados, tratados ni reciclados, provocando deterioro de los sistemas acuáticos como ríos y quebradas (Piedra *et al.*, 2013). Sumado a lo anterior, la expansión urbana ha modificado los procesos de erosión, escorrentía e infiltración y ha ocasionado un desgaste progresivo del suelo, agua y vegetación, principalmente de las zonas de ribera (Alvarado *et al.*, 2014).

Estas condiciones hacen que las áreas urbanas dejen de ser amigables para alcanzar calidad de vida y se reducen los servicios ambientales que son capaces de proporcionar. Por tanto, se hace necesario establecer medidas de rehabilitación de estos humedales. La rehabilitación se define como un conjunto de acciones dirigidas a restablecer el equilibrio de los ecosistemas en espacios o territorios degradados, cuyo éxito dependerá de la inclusión de los componentes social, económico, científico y tecnológico (Gualdrón, 2010; González y García, 2007; Comín, 2002).

Este documento presenta un acercamiento a propuestas tecnológicas para la rehabilitación del suelo y el agua, mediante coberturas vegetales en taludes (Alvarado *et al.*, 2014) y dos sistemas de depuración de aguas contaminadas: biojardineras y bacterias nitrificadoras (Rodríguez, 2014). Las propuestas fueron evaluadas en la microcuenca urbana del río Pirro, Heredia, Costa Rica. Esta microcuenca presenta alta contaminación acuática, pérdida de la vegetación de ribera y erosión, que impactan negativamente a la biodiversidad, reducen la calidad ambiental y afectan la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas (Romero *et al.*, 2011).

La primera de estas alternativas es el establecimiento de **coberturas vegetales** como una alternativa para prevenir procesos de erosión (Sancho y Cervantes, 1997), ya que mejoran la estructura del suelo, aumentando así su capacidad de infiltración y por tanto, reducen la escorrentía superficial (Mataix y López, 2007; Rivera *et al.*, 2007).

En Costa Rica se ha documentado poco acerca de las especies vegetales nativas que pueden actuar como retenedoras de sedimentos en taludes de ríos, y menos en ríos que se encuentran insertos en áreas urbanas (Porrás, 2000; Alvarado *et al.*, 2014). El deterioro ambiental de la microcuenca y la necesidad de estudios en esta línea, motivó a realizar un primer acercamiento para evaluar la eficiencia de plantas en el control de la erosión.

Partiendo de un listado preliminar de plantas utilizadas para el control de la erosión (Alvarado *et al.*, 2011), se seleccionaron tres especies con hábito herbáceo, sistema radicular profundo y fasciculado, denso follaje, tolerancia a condiciones desfavorables, rápida propagación y disponibilidad comercial. Dos de ellas fueron nativas, *Costus pulverulentus* (Caña agria) y *Heliconia tortuosa* (Platanilla) y una tercera fue exótica, *Vetiveria zizanioides* (Vetiver).

En un talud colindante en la ribera del río Pirro se colocaron 10 parcelas (4 x 2 m) donde se sembraron las plantas de la siguiente manera: dos para cada especie, más dos de mezcla (las tres especies juntas) y dos de control (sin vegetación), además, se instaló un recolector de sedimentos a cada una de las parcelas. Durante 20 semanas, en época



lluviosa, se recolectó y se pesó los sedimentos producidos (Alvarado, 2013).

Entre los resultados sobresalientes se obtuvo que el sedimento aumentó con la precipitación, principalmente en ausencia de cobertura vegetal. Los sedimentos en las parcelas sin vegetación (control) sobrepasaron seis veces los demás tratamientos con plantas (Figura 1). Las tres especies utilizadas demostraron una efectividad similar, lo cual apoya que la vegetación ayuda a controlar la erosión (García, 2004). No se mostró una diferencia entre las plantas, pero las especies nativas y sobretodo *H. tortuosa*, arrojó los datos más bajos en producción de sedimentos.

Lo anterior concuerda con Hernández (2011); Porras (2000); Laporte y Porras (2002) y Bochet y García (2004), quienes afirman que la vegetación incrementa la protección del suelo, disminuye la escorrentía y facilita la infiltración. Si bien, el vetiver es ideal para la conservación del suelo y se ha utilizado exitosamente para el control de la erosión (Briceño y Bolívar, 2007), el uso de especies nativas es una mejor alternativa de manejo en taludes en ríos urbanos, debido al valor ecológico, paisajístico, ornamental y geotécnico que implican.

La segunda propuesta analizada fue las biojardinerías, son una alternativa para el tratamiento de

aguas residuales en zonas urbanas. Son importantes debido a que son tratamientos individualizados a nivel de vivienda y de bajo costo. Estos sistemas son conocidos como humedales de flujo superficial, en los cuales se desarrollan procesos biológicos, físicos y químicos que en conjunto permiten eliminar algunos de los contaminantes presentes en el agua residual.

Con el objetivo de propiciar el uso de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los hogares aledaños al río Pirro, se construyó un sistema de humedales a escala en laboratorio para tratar las aguas residuales que fueron extraídas de este río. Algunas de las características consideradas como alternativa de manejo fueron: la sencillez, su fácil construcción y operación, así como el poco espacio requerido para su instalación. Es un sistema que permite la evaluación de algunos contaminantes que eutrofizan los cuerpos de agua, sumado al uso de plantas atractivas para los usuarios y con potencial ecosistémico.

Se realizó un listado de plantas con potencial fitodepurador, a partir de entrevistas a 27 especialistas en botánica. 112 especies fueron recomendadas, se seleccionaron 2 plantas nativas: avecilla del paraíso (*Heliconia psittacorum*), Platanilla (*Canna indica*) y una exótica: la cala (*Zantedeschia aethiopica*) para el prototipo de humedal.

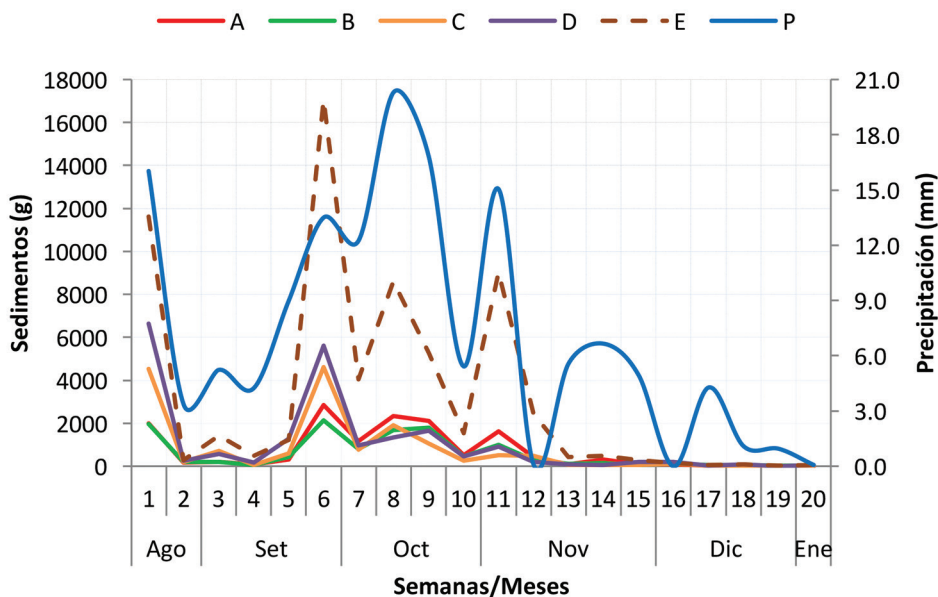


Figura 1. Precipitación (P) y producción de sedimentos por tratamiento. (A) Caña agria. (B) Platanilla. (C) Vetiver. (D) Mezcla de las tres especies. (E) Control. Extraído de Alvarado, 2013.

La selección incluyó características como: fáciles de adquirir en viveros u orillas de carreteras, comunes en los jardines costarricenses y con producción de flores llamativas, que las hacen atractivas, además frecuentadas por aves y mariposas.

Se construyeron 3 biojardineras de 2,50 m de longitud, 50 cm de ancho y 50 cm de profundidad. Se colocó tres tipos diferentes de grava como sustrato. En cada uno se sembró una especie de planta con densidades de 10 individuos/m². Los sustratos funcionan como filtros que actúan como retenedores de partículas gruesas, las cuales son utilizadas por las plantas como fuente de nutrientes, se produce intercambio de oxígeno entre éstas y los microorganismos ubicados en las raíces. Algunos elementos, como el nitrógeno, son asimilados en los tejidos de las plantas y se evita que éstos lleguen a los cuerpos de agua. Se evaluó semanalmente en las biojardineras, temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad del agua y estado de las plantas.

Los resultados muestran que la temperatura y el pH no mostraron variación con respecto al agua de la entrada y la salida. Para el oxígeno disuelto, las variaciones observadas (Cuadro 1) podrían tener relación con el uso del oxígeno que hace cada una de las plantas o bien, por los microorganismos que se adhieren al sustrato y a las raíces de las mismas. El análisis de parámetros químicos demostró una buena eficiencia para la remoción de nitrógeno en cada una de las biojardineras.

El uso de las biojardineras en cuencas urbanas resulta una alternativa sencilla, fácil de instalar y de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales de las viviendas. Además, son sistemas

que resultan agradables a la vista y proveen servicios ecosistémicos a las zonas urbanas. El reto es convencer a los habitantes de las ciudades de la importancia de utilizarlas.

Además de las tecnologías mencionadas, haremos referencia al uso de **bacterias nitrificadoras** como tratamiento biológico para la depuración de aguas contaminadas en ríos. En las últimas décadas se utilizan procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de aguas residuales, cada uno se caracteriza por limitaciones relativas a su grado de aplicabilidad, eficiencia y costo (Templeton y Butler, 2011).

Los tratamientos biológicos son los preferidos porque se trata de procesos con un rendimiento adecuado, a un costo inferior de explotación y mantenimiento; se basan en el empleo de microorganismos, fundamentalmente bacterias, que depuran de contaminantes, como el nitrógeno (Arnáiz *et al.*, 2000).

El nitrógeno es uno de los contaminantes más importantes del agua, pues las actividades agrícolas e industriales han aumentado casi al doble la concentración fijada anualmente en la biosfera y gran cantidad de éste llega a los diferentes sistemas hídricos en la forma de amonio mayoritariamente, nitrato y nitrito, provocando toxicidad para los organismos acuáticos, además de alteraciones ambientales como la eutrofización que acarrea muchos problemas a la salud humana y el ambiente (Cervantes *et al.*, 2000). La estrategia de tratamiento biológico para remover el nitrógeno de las aguas residuales es la desnitrificación, que consiste en un proceso aerobio donde este elemento es consumido por los microorganismos.

Cuadro 1.
Temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad en tres biojardineras.
Microcuenca del río Pirro, Heredia.

Parámetros	Entrada sistema	Cala <i>Z. aethiopica</i>	Platanilla <i>Canna indica</i>	Ávecilla <i>H. psittacorum</i>
Temperatura	19.5°C	22°C	21°C	22°C
pH	7.2	7.1	7.2	7.4
Oxígeno disuelto	13.07 mg/L	3.38 mg/L	7.38 mg/L	7.03 mg/L
Conductividad	112 µs/cm	244 µs/cm	144 µs/cm	135 µs/cm

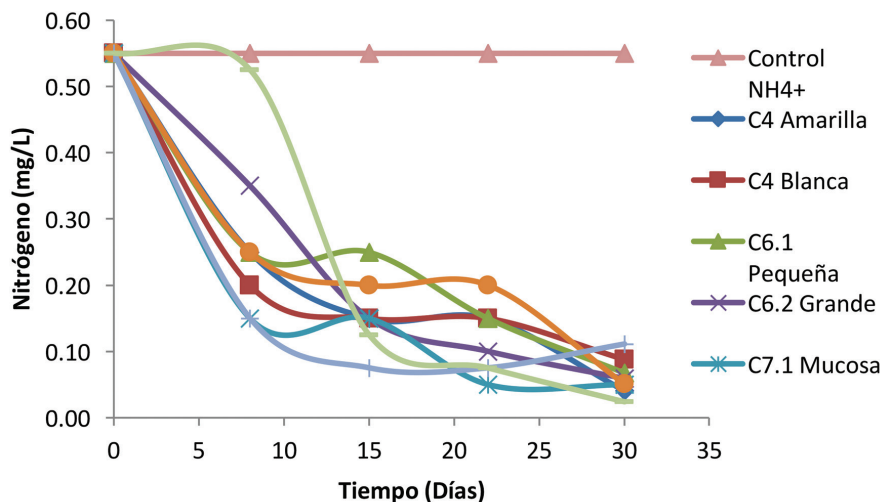


Figura 2. Consumo de nitrógeno de cepas bacterianas aisladas a partir de suelo proveniente del río Pirro. Cada línea de color distinto significa un tipo de bacteria. Extraído de Rodríguez, 2014.

Para encontrar microorganismos con capacidad desnitrificadora, se realizó un aislamiento o extracción de bacterias, colectando muestras del suelo de la ribera del río Pirro. Seguidamente, se aisló, purificó e identificó las bacterias presentes. Se procedió a determinar su capacidad para eliminar el nitrógeno, empleando agua del mismo río y se inoculó con las diferentes bacterias procesadas del suelo. Se analizó el contenido de nitrógeno durante 15 días.

Existen alrededor de 223 000 bacterias consumidoras de amonio y 22 000 bacterias de nitrito por cada gramo de suelo en el río Pirro. Se determinó que la capacidad máxima de remoción de amonio es de 0,050 mg N/L/día y la de nitrito en 0,903 mg N/L/día (Figura 2). A su vez, se encontró que la mayoría de las bacterias aisladas con potencial de consumir nitrógeno, son del tipo Actinomycetes, comunes en suelo y con capacidad de consumir o usar diferentes fuentes alimenticias.

El río Pirro, a pesar de ser un ambiente contaminado por aguas jabonosas, es fuente de microorganismos con potencial de contribuir a su recuperación. El aislamiento de bacterias del suelo es una contribución para la remediación de aguas residuales domiciliarias y el mejoramiento de la calidad ambiental de los ríos urbanos.

En conclusión, existen alternativas científico-tecnológicas que pueden ser empleadas en la

rehabilitación de ecosistemas degradados, como lo es la microcuenca del río Pirro. Su contribución al mejoramiento de la calidad ambiental de los ríos urbanos es esperanzadora. Sin embargo, desde el punto de vista científico, se requiere ampliar y replicar los estudios a otras áreas, de esta forma se estaría sustentando los resultados obtenidos y se validaría el componente metodológico.

Sobre todo en el caso del uso de coberturas vegetales para el control de la erosión, así como la puesta en práctica de las biojardineras en las viviendas y la anuencia de los propietarios para utilizarlas. En el caso de las bacterias desnitrificadoras como tecnología de bioremediación de contaminantes, si bien, es un proceso complejo y costoso, podría ser empleado en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Agradecimientos

Esta investigación se financió por el proyecto Rehabilitación de áreas prioritarias dentro del corredor Verde Fluvial del río Pirro, inscrito en la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional, Costa Rica.

REFERENCIAS

Alvarado- García, V., Bermúdez- Rojas, T., Romero- Vargas, M. y Piedra- Castro, L. (2011). Selección de plantas para el control de la erosión mediante

- la metodología de criterio de expertos, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 63: 41-46.
- Alvarado, V. (2013). Evaluación de la revegetación para el control de la erosión laminar en taludes de la Microcuenca del río Pirro, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional, Costa Rica. 74 pp.
- Alvarado- García, V., Bermúdez- Rojas, T., Romero- Vargas, M. y Piedra- Castro, L. (2014). Plantas nativas para el control de la erosión en taludes de ríos urbanos. *Spanish Journal of Soil Science*, 4(1): 99 -111.
- Arnáiz, C., Isac L. y Lebrato, J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. *Revista Tecnología del Agua*. 7p.
- Bochet, E. & García, P. (2004). Factors controlling vegetation establishment and water erosion on Motorway Slopes in Valencia, Spain. *Restoration Ecology*, 12(2), 166-174.
- Briceño, L. y Bolívar, F. (2007). Evaluación de la eficiencia del vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en la conservación de suelos de laderas en parcelas yuqueras de Macapo Edo. Cojedes. *Agrollania*, 4, 143-148.
- Cervantes, F., Pérez, J. y Gómez, J. (2000). Avances en la eliminación biológica del nitrógeno de las aguas residuales. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42:73-82.
- Comín, F. (2002). Restauración ecológica: teoría vs. práctica. *Revista ecosistemas*, 11. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=305>
- García, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. En F. Valladares (ed.) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: EGRAF.
- González, M. y García, D. (2007). Restauración de Ríos: Guía metodológica para la elaboración de proyectos. s.e. Ed. Rev. ES. 318p.
- Gualdrón, R. (2010). Cerrejón: Hacia la rehabilitación de las tierras intervenidas por la minería a cielo abierto. Primera edición. La Guajira, Col. 238p.
- Hernández, D. (2011). Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos. Tesis de Maestría. Universidad del Bio - Bio. Concepción, Chile. 124 pp.
- Laporte, G. y Porras, G. (2002). Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. In: VIII Seminario Nacional de Geotecnia, III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas. 5-7 Jun 2002; San José, Costa Rica: Memoria del VIII Seminario Nacional de Geotecnia, III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas. 18 pp.
- Mataix, C. y López, J. (2007). Factores ambientales: funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas. En: Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalse. 11-13 Jun 2007; Zaragoza, España: Confederación Hidrográfica del Ebro. Recuperado de: http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Congresos_Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20Factores.pdf.
- Piedra- Castro, L; Bermúdez- Rojas, T. & Romero- Vargas, T. (2013). Costa Rica. En I. MacGregor-Fors y R. Ortega-Álvarez. *Ecología Urbana, Experiencias en América Latina*. Recuperado de http://www1.inecol.edu.mx/libro_ecologia_urbana
- Porras, G. (2000). Uso de la vegetación para la estabilización de taludes. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 114 pp.
- Rivera, J., Sinisterra, J. y Calle, Z. (2007). Restauración ecológica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. Colombia: CIPAV. 10 pp.
- Rodríguez, A. (2014). Aislamiento de cepas bacterianas amonio y nitrito oxidantes a partir de suelo y su aplicación potencial en la disminución de nitrógeno en aguas residuales de tipo doméstico. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional, Costa Rica. 46 pp.
- Romero M, Piedra L, Villalobos R, Marín R y Núñez, F. (2011). Evaluación ecológica rápida de un ecosistema urbano: El caso de la microcuenca del río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 47:41-70.
- Sancho, F. y Cervantes, C. (1997). El uso de plantas de cobertura en sistemas de producción de cultivos perennes y anuales en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 111-120.
- Templeton, M. & Butler. D. (2011). Introduction to Wastewater Treatment. BookBoon.com. 80p.