

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Universidad Nacional  
Universidad Estatal a Distancia**



**Plan de rehabilitación ecológica, manejo y conservación de los  
humedales de la quebrada El Estero, San Ramón, Alajuela**

**Trabajo sometido a consideración del Tribunal Evaluador como  
requisito para optar por el grado de Doctorado en Ciencias  
Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión de Recursos  
Naturales**

**Estudiante**

Cindy Rodríguez Arias

**Tutora**

Ph. D Margarita Silva Benavides

Heredia, 22 de junio, 2017

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Universidad Nacional  
Universidad Estatal a Distancia**



**“Plan de rehabilitación ecológica, manejo y conservación de los  
humedales de la quebrada El Estero, San Ramón, Alajuela”**

Trabajo sometido a consideración del Tribunal Evaluador como requisito para optar por el grado de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, con énfasis en Gestión de Recursos Naturales

**Sustentante**

Cindy Rodríguez Arias

**Tribunal examinador:**

Dra. Margarita Silva Benavides  
Directora de Tesis

Dra. Claudia Charpentier Esquivel  
Asesora de Tesis

Dra. Gabriela Jones Román  
Asesora de Tesis

Dr. Freddy Araya Rodríguez  
Coordinador General del DOCINADE

Dr. Francisco San Lee Campos  
Representante del Sistema de Estudios de Posgrado de la UNA

Junio, 2017

## **Agradecimientos**

A Marco y María José por ser mi mayor motivación para superarme y por la paciencia que me tuvieron durante estos 4 años.

A mis padres, quienes me hicieron la persona que soy el día de hoy y por permitirme realizar mi sueño de ser bióloga.

A Margarita, Claudia y Sally por su guía y apoyo durante todo el proceso de mi tesis y a todo el cuerpo docente y administrativo del DOCINADE por su acompañamiento.

A mis amigos, compañeros de trabajo y estudiantes que apoyaron mi proyecto y en especial a quienes me ayudaron con el trabajo de campo: Marco, Elías, Víctor, Óscar, Carlos, Enzo, Diego, y a todos los ramonenses que de una u otra forma se han interesado en el proyecto.

A la Universidad de Costa Rica que me otorgó el permiso-beca SEP-CONARE y la beca corta para hacer mi pasantía en México. Un agradecimiento especial a la directora de la Sede de Occidente Roxana Salazar y a los integrantes del programa de investigaciones para el rescate y sostenibilidad de la microcuenca alta de la Quebrada Estero por creer en este proyecto y todo el impulso y el apoyo que me brindaron.

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología, que mediante el programa de incentivos del CONICIT me permitió financiar este programa de doctorado.

Al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sostenibilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme realizar allí mi pasantía y en especial a Roberto y Mariela por todo lo que me enseñaron.

## Tabla de contenido

Lista de figuras .....	ii
Lista de cuadros .....	iii
Resumen .....	v
Abstract .....	vii
1. Introducción .....	1
1.1. Justificación.....	1
1.2. Objetivos .....	3
2. Marco teórico.....	5
2.1. Los ecosistemas acuáticos o humedales.....	5
2.2. Tipos y clasificación de los humedales de agua dulce.....	5
2.3. La cuenca hidrográfica como unidad de análisis.....	6
2.4. Importancia de los humedales .....	7
2.5. Amenazas a los humedales .....	7
2.6. Manejo, conservación y restauración o rehabilitación de humedales .....	8
2.7. Evaluación de las características ecológicas de los humedales .....	9
3. Materiales y métodos .....	11
3.1. Descripción del área de estudio .....	11
3.2. Métodos .....	16
4. Resultados y discusión.....	20
4.1. Análisis físico-químico y microbiológico de la calidad del agua .....	20
4.2. Análisis del estado de conservación de las comunidades biológicas.....	28
4.3. Servicios ambientales brindados por los humedales de la quebrada Estero .....	41
4.4. Principales amenazas provocadas por las actividades humanas y sus impactos en los ecosistemas acuáticos de la microcuenca .....	45
4.5. Plan de rehabilitación y conservación de los humedales en la microcuenca alta de la quebrada Estero .....	52
4.6. Avances en la ejecución de esta propuesta de rehabilitación.....	110
5. Conclusiones.....	114
6. Recomendaciones.....	116

7. Bibliografía .....	118
8. Anexos .....	131

## **Lista de figuras**

Figura 1. ....	11
Figura 2. ....	26
Figura 3. ....	30
Figura 4. ....	51
Figura 5. ....	91

## Lista de cuadros

Cuadro 1. Resultados del índice holandés de calidad del agua y segregación de los valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5,20</sub> ), el Porcentaje de Oxígeno Disuelto (POD) y el Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) por sitio y por época.....	21
Cuadro 2. Resultados promedio de los parámetros complementarios durante la época seca (S) y lluviosa (LI) por sitio de muestreo.....	24
Cuadro 3. Abundancia absoluta de aves acuáticas por punto de muestreo (de marzo del 2014 a febrero del 2015).....	29
Cuadro 4. Riqueza, diversidad y dominancia de especies de aves acuáticas en cada uno de los sitios muestreados.....	31
Cuadro 5. Especies vegetales encontradas en los humedales de la quebrada Estero y su porcentaje de cobertura por punto de muestreo.....	34
Cuadro 6. Riqueza, diversidad y dominancia de especies y porcentaje del área cubierta por vegetación en cada uno de los sitios muestreados.....	38
Cuadro 7. Cambios en el uso del suelo entre 1989 y el 2015.....	51
Cuadro 8. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación del régimen hidrológico, hidroperíodo y topografía.....	54
Cuadro 9. Especies recomendadas para reforestación en la microcuenca alta de la quebrada Estero.....	61
Cuadro 10. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de la calidad del agua.....	66
Cuadro 11. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de suelo y disminución de la carga de sedimentos.....	73

Cuadro 12. Especies nativas y naturalizadas recomendadas para reducir la erosión en la microcuenca alta de la quebrada Estero, por sus buenas propiedades de crecimiento, resistencia, cobertura abundante y raíces profundas, para el control de la erosión y estabilización de taludes.....	75
Cuadro 13. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para el control de especies exóticas, invasoras y depredadores domésticos.....	78
Cuadro 14. Especies de vegetación acuática exóticas y/o invasivas conocidas para Costa Rica y cuyas poblaciones deben ser sometidas a control preventivo en caso de que se establezcan en los humedales de la quebrada Estero. ....	81
Cuadro 15. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de la flora y fauna nativas.....	84
Cuadro 16. Especies de vegetación acuática y semiacuáticas nativas de Costa Rica.....	92
Cuadro 17. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa de participación social.....	96
Cuadro 18. Ejemplos de indicadores para el monitoreo participativo comunitario.....	103

## Resumen

Los humedales de la microcuenca alta de la quebrada Estero están conformados por esta, un afluente, un pantano y dos embalses, que constituyen el último remanente de un antiguo lago que existió en la zona de San Ramón. Estos son considerados una prioridad de conservación por su representatividad y ubicación, que los hacen únicos en su tipo. Sin embargo, en las últimas décadas han sufrido procesos de degradación que no solo amenazan la conservación de los ecosistemas, sino a la seguridad de la población. Por eso, se planteó el objetivo de formular una propuesta de plan de rehabilitación, manejo y conservación de estos humedales para el restablecimiento de los servicios ecosistémicos de conservación de biodiversidad, mitigación de inundaciones, recreación, educación ambiental e investigación científica. Para esto, primero se realizó una evaluación del estado actual de los humedales, la cual incluyó: estudio de la calidad físico-química y microbiológica del agua, estado conservación de las comunidades de aves y plantas acuáticas como bioindicadoras, y la identificación de los servicios ecosistémicos que brindan, así como de las amenazas e impactos que tienen las actividades humanas en ellos. Finalmente, con base en esta evaluación, se propuso el plan de rehabilitación ecológica. Se determinó que los humedales están siendo degradados debido a los rápidos procesos de urbanización en su microcuenca alta, los cuales han provocado contaminación del agua principalmente por fuentes domésticas, proliferación de especies invasoras, pérdida de hábitat para especies acuáticas, rellenos en algunas zonas del pantano, invasión de las zonas de protección, eutrofización y colmatación de los embalses y disminución de su capacidad para mitigar inundaciones en la ciudad de San Ramón. Por lo tanto, debido al estado de degradación y ante la falta de un ecosistema de referencia o información ecológica previa a la degradación, se elaboró un plan de rehabilitación ecológica enfocado en solucionar los problemas detectados y la recuperación de servicios ecosistémicos. El plan consta de seis programas según los siguientes elementos a intervenir: régimen hidrológico e hidroperíodo, calidad del agua, suelo y sedimentos, especies invasoras, exóticas y depredadores domésticos, y flora y fauna nativas. Además, se incluyó un

programa que permita la participación de la sociedad civil en las diferentes etapas del proyecto. Finalmente, se incluyen estrategias para el monitoreo y el manejo de los humedales una vez que sean rehabilitados. Como resultado de esta investigación, y ante la importancia social y ambiental de estos humedales, la Sede de Occidente de Universidad de Costa Rica creó el programa de investigaciones para el rescate y la sostenibilidad de la microcuenca alta de la quebrada Estero, conformado por 11 proyectos de investigación y acción social en distintas disciplinas. Este programa se ha coordinado con otras instituciones, grupos civiles y empresas locales, lo cual ha permitido que algunas de las acciones incluidas en esta propuesta ya se estén llevando a cabo.

## **Abstract**

The wetlands of the high watershed of the Estero creek are formed by this stream and a tributary, a swamp and two reservoirs that are the last remnants of an ancient lake that existed in the San Ramon area and are considered a conservation priority due to their representativeness and location that makes them unique in its kind. However, in recent decades they have suffered a degradation processes that not only threaten the conservation of ecosystems, but the security of the human population. Therefore, the objective of this investigation was to formulate a proposal for a rehabilitation, management and conservation plan for these wetlands in favor of the rehabilitation of ecosystem services such as biodiversity conservation, flood mitigation, recreation, environmental education and scientific research. To begin with, an assessment of the current state of the wetlands was carried out, including the study of the physico-chemical and microbiological water quality, conservation status of birds and aquatic plants communities as bioindicators and the identification of ecosystem services provided by the wetlands and the threats and impacts of human activities on them. Based on this assessment, an ecological rehabilitation plan was proposed. It was determined that these wetlands are being degraded due to rapid urbanization in its upper watershed, which has caused water pollution mainly by domestic sources, spread of invasive species, loss of habitat for aquatic species, stuffing in some areas of the swamp, invasion of protection zones, eutrophication and silting of reservoirs and decrease in their ability to mitigate floodings in the city of San Ramon. Therefore, due to the state of degradation and the lack of a reference ecosystem or ecological information prior to degradation, an ecological rehabilitation plan was proposed, aimed at solving the problems identified and to the recovery of ecosystem services. The plan consists of six programs based on the following elements to intervene: hydroperiod and hydrological regime, water quality, soil and sediments, invasive exotic species and domestic predators and native flora and fauna. In addition, a program that allows the participation of civil society in the different stages of the project was included. Finally, strategies for monitoring and

management of wetlands once they are rehabilitated are also included. As a result of this investigation and because of the social and environmental importance of these wetlands, the Western Headquarters of the University of Costa Rica created the research program for the recovery and sustainability of the upper watershed of the Estero creek, composed of 11 research and social action projects in different disciplines. This program has coordinated with other institutions, civic groups and local companies, which have allowed that some of the actions included in this proposal are already underway.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación

Los humedales son zonas terrestres inundadas temporal o permanentemente según los factores climáticos. Debido a su permanente interrelación con los seres vivos que los habitan, son altamente productivos y constituyen un componente vital del ciclo hidrológico (Anda-Martín *et al.* 2013). Además, ofrecen una serie de bienes y servicios ecosistémicos de gran valor (Secretaría de la Convención de Ramsar 2013). Sin embargo, a finales del siglo XX se documentó una pérdida global del área de los humedales mayor al 50% y esta continúa durante el siglo XXI (Comín 2015). En particular, los humedales urbanos son los más amenazados, por ubicarse en áreas densamente pobladas o en expansión. Ahí, sufren con mayor frecuencia alteraciones, las cuales los degradan y los hacen desaparecer de manera más rápida que otros ecosistemas (Fox 2013).

Aunque Costa Rica sea reconocida por su historia conservacionista, los esfuerzos para la preservación de la biodiversidad no han incluido, de forma sistemática, los humedales de aguas continentales (Paaby-Hansen 2008). Además, no se ha logrado generar el conocimiento ni la conciencia en las poblaciones humanas sobre la importancia de conservar y hacer uso racional de estos. Más bien, la pérdida de tales ecosistemas y la distorsión en sus funciones han tenido un costo muy elevado, que reclama un nuevo enfoque de manejo (Sistema Nacional de Áreas de Conservación y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo SINAC-PNUD y Proyecto Humedales 2015). La mayoría de humedales no tiene ningún instrumento de planificación o mecanismos de protección, mientras que un gran porcentaje se encuentra fuera de alguna categoría de manejo tradicional y muchos están siendo utilizados por las comunidades aledañas de manera no sostenible. Incluso, algunos son prácticamente desconocidos para la mayoría de los costarricenses (Córdoba *et al.* 1998). Además, se les ha percibido como tierras

poco productivas y esto ha incentivado prácticas dirigidas hacia su eliminación o deterioro (MINAE *et al.* 2001).

Por lo tanto, es fundamental conservar la diversidad de los humedales que aún prevalecen, es decir, mantener los procesos ecológicos esenciales, preservar la diversidad genética y aprovechar de manera sostenible los recursos naturales del ecosistema. De manera paralela, se debe encausar esfuerzos que busquen restaurar y recuperar los humedales ecológicamente deteriorados (SINAC-PNUD y Proyecto Humedales 2015). Para esto, es indispensable analizar estos ecosistemas y diseñar los esfuerzos necesarios para su adecuada conservación, restauración y manejo (Paaby-Hansen 2008). También, es necesario monitorearlos y utilizar indicadores clave que reflejen su estado, así como diseñar planes de protección y conservación a través de la designación de áreas prioritarias (Aguirre *et al.* 2016).

Al oeste de la ciudad de San Ramón de Alajuela, existe un sistema de humedales que forma parte de la microcuenca alta de la quebrada Estero y que en conjunto se conocen como Lagunas quebrada Estero, según el Inventario Nacional de Humedales (Córdoba *et al.* 1998). Este se encuentra compuesto por la quebrada, un afluente y dos embalses artificiales conocidos como El Laguito y El Porvenir, creados para evitar inundaciones (Mora 2007), pero ubicados en sitios que históricamente fueron humedales. También, hay un pantano, el cual es remanente de un lago que existió en la zona durante el periodo Cuaternario (Bergoeing y Murillo 2012). Actualmente, presentan problemas de degradación debido a la actividad urbana en sus alrededores (Quesada 2003, Mora 2007) y no han sido protegidos bajo ninguna figura legal o categoría de manejo<sup>1</sup>.

Sin embargo, estos humedales fueron identificados como una prioridad de conservación por su representatividad y ubicación, según el Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica (SINAC 2007). Esto significa que deben ser

---

<sup>1</sup> Veas, N. 2017. Situación legal de los humedales de la quebrada Estero. Costa Rica, vía e-mail. Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

conservados como zonas núcleo que orienten la gestión de la biodiversidad dulceacuícola general o funcional a escala de paisaje en la cuenca del Río Grande de Tárcoles (Paaby-Hansen 2008). Además, todos los humedales de Costa Rica tienen un decreto que los ampara, el 35803, junto con otras leyes como la Ley Forestal 7575, en los que se establecen restricciones de uso y/o áreas de protección, las cuales cobijan a todos los ecosistemas de humedal <sup>2</sup>.

Bajo esta premisa, es necesario tener conocimiento del estado de conservación actual de estos ecosistemas, su funcionalidad básica, los servicios ecosistémicos provistos a las comunidades locales (Gallo y Rodríguez 2010) y las causas que han llevado a su degradación, para proponer un proceso eficaz de planificación del manejo y monitoreo (Secretaría de la Convención de Ramsar 2010a). Además, la rehabilitación, manejo y conservación de estos humedales traería una serie de servicios a las comunidades vecinas, como la educación ambiental *in situ*, importante para la valoración de estos espacios naturales (Fox 2013). Por otro lado, la recuperación de humedales en entornos urbanos es uno de los campos más importantes de los últimos años, tanto desde el punto de vista ambiental como cultural (González 2011).

## **1.2. Objetivos**

### **Objetivo general**

Formular una propuesta de plan de rehabilitación, manejo y conservación de los humedales de la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, para el restablecimiento de los servicios ecosistémicos de conservación de biodiversidad, mitigación de inundaciones, recreación, educación ambiental e investigación científica.

---

<sup>2</sup> Veas, N. 2017. Situación legal de los humedales de la quebrada Estero. Costa Rica, vía e-mail. Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

**Objetivos específicos:**

- a) Evaluar el estado actual de los humedales para la definición de las acciones necesarias para su rehabilitación, manejo y conservación de acuerdo con su grado de degradación ambiental.
- b) Identificar las principales causas de la degradación de los humedales para el establecimiento de las acciones concretas que se deben realizar en la recuperación exitosa de estos.
- c) Determinar las medidas de rehabilitación y manejo necesarias para el restablecimiento de los ecosistemas acuáticos, y su zona de protección para la recuperación de sus servicios ecológicos.
- d) Elaborar un plan de rehabilitación y conservación de los humedales, para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Los ecosistemas acuáticos o humedales**

Según la Convención de Ramsar sobre los Humedales (1971: 1), estos son

Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.

Para efectos de esta investigación, se considerarán sinónimos los términos humedal y ecosistema acuático. Además, se utilizarán las definiciones de humedal y sus tipos aprobadas para Costa Rica por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET 2010).

### **2.2. Tipos y clasificación de los humedales de agua dulce**

Los humedales dulceacuícolas o límnicos, (continentales o de aguas interiores), se clasifican en: aguas lénticas o estancadas (lagos, lagunas, ciénagas, pantanos y embalses) y aguas lólicas o corrientes que fluyen en forma permanente (ríos, arroyos, quebradas, acuíferos) (Andrade 2004). El Sistema de Clasificación de Humedales de Costa Rica incluye los siguientes (MINAE 2007): A) sistema fluvial: ríos y arroyos tanto permanentes como estacionales; B) sistema lacustrino: meandros, lagos en llanuras de inundación y zonas inundadas estacionales, y C) sistema palustrino: yolillales, bosques anegados de agua dulce, pantanos, esteros, charcas, lagunas de carga y recarga, “potholes”, praderas inundadas estacionalmente, pantanos de ciperáceas, turberas, bofedales, bosques pantanosos de agua dulce, bosques inundados estacionalmente y pantanos arbolados.

### **2.3. La cuenca hidrográfica como unidad de análisis**

Los humedales son parte de un sistema hídrico cuya fase terrestre se une, desde su fuente hasta su desembocadura, mediante la unidad de cuenca hidrográfica (SINAC-PNUD y Proyecto Humedales 2015). Esta se define como el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río, un lago o al mar. Está compuesta por determinadas partes: según la altura, se distingue la parte alta, media y baja, y, de acuerdo con la relación entre el drenaje superficial y la importancia con el curso principal, se puede dividir en espacios definidos como una subcuenca, cuando al curso principal llega un afluente secundario (World Vision 2007), y microcuenca, si llega uno terciario.

La cuenca incluye componentes biofísicos (agua, suelo), biológicos (flora y fauna) y antropogénicos (socioeconómicos, culturales, institucionales). Estos se encuentran interrelacionados y deben mantener un equilibrio entre sí, ya que en este espacio se llevan a cabo todos los procesos naturales, así como el desarrollo agrícola, ambiental y socioeconómico. Por lo tanto, el crecimiento demográfico y el aumento progresivo de las necesidades de alimentos, urbanización e industrialización afectan el uso actual de las cuencas, en especial del suelo y los acuíferos (Mora y Bolaños 2008). En consecuencia, la cuenca se considera una buena escala de evaluación, pues el ciclo hidrológico y todas sus variables de medición se pueden analizar a este nivel, de ahí que sea considerada como la unidad lógica para la gestión del recurso hídrico y para el planeamiento de acciones de conservación (Fanlo 2007).

Además, dado que las interacciones ecológicas más intensas en el territorio ocurren dentro de las cuencas, la planificación y ejecución de la restauración, rehabilitación y/o creación de humedales a escala de estas es primordial. Con esas acciones, se mejoran las características del medio ambiente de la cuenca, a través del intenso papel de los humedales al conectar flujos hídricos en las relaciones entre las partes de esta. Por lo tanto, es necesario integrar las actuaciones de restauración y creación de humedales como parte del desarrollo

del territorio, pues en la cuenca hidrográfica tienen lugar los usos principales de los recursos naturales (tierra, agua) (Comín 2015).

#### **2.4. Importancia de los humedales**

De acuerdo con el informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM 2005), los servicios ecosistémicos de los humedales corresponden a los beneficios que las personas obtienen de ellos. Entre estos, se pueden citar: control de inundaciones, reposición de aguas subterráneas, estabilización de costas, protección contra tormentas, retención y exportación de sedimentos y nutrientes, depuración de aguas, reservorios de biodiversidad, valores culturales, recreación, y mitigación y adaptación al efecto del cambio climático. Además, suministran productos aprovechables para los habitantes de comunidades locales rurales o de grandes centros urbanos. Dentro de estos, productos vegetales, como arroz, leña y plantas medicinales; productos animales como peces o bivalvos, y recursos minerales (SINAC-PNUD y Proyecto Humedales 2015).

#### **2.5. Amenazas a los humedales**

A pesar de su importancia, muchos sectores siguen considerando que los humedales son áreas improductivas o reemplazables por otros usos de suelo, por lo que la pérdida de estos mantiene tasas aceleradas (Berlanga-Robles y Ruiz-Luna 2004). Asimismo, el estado de las especies acuáticas presenta un deterioro más rápido que el de las terrestres. Las principales causas de esto son el crecimiento poblacional y la urbanización, el drenaje para la agricultura, el desarrollo de infraestructuras, deforestación, construcción de represas y canales fluviales, extracción de turba, contaminación, pesca ilegal y acuicultura intensiva, sobrepastoreo, e introducción de especies invasoras (EEM 2005).

Adicionalmente, existen amenazas de carácter global, como el cambio climático que conlleva a la alteración de los regímenes hidrológicos, cambios en calidad y cantidad del suministro de agua, modificaciones en los hábitats, aumento del nivel del mar, entre otros (Erwin 2009). Otras son la globalización del comercio

pesquero, la privatización de servicios de agua y la falta de voluntad política de los gobiernos en materia de conservación (Stolk *et al.* 2006).

Además, una de las grandes amenazas sobre los humedales es el desconocimiento de cómo funcionan, sus especies asociadas y la reacción a perturbaciones de origen antrópico, que generan vacíos a la hora de analizar la trayectoria que estos seguirán tras una intervención (Fisher 2013).

## **2.6. Manejo, conservación y restauración o rehabilitación de humedales**

Desde finales del siglo pasado, debido a un cambio en la sensibilidad de la sociedad, se han comenzado a valorar estos ecosistemas y ha surgido un creciente interés por su conservación y recuperación. Una función muy importante de los programas de conservación, rehabilitación y/o restauración es restringir futuras pérdidas ecológicas, mantener los humedales que existen y paralelamente reparar los sistemas naturales afectados (Del Olmo 2008).

La necesidad de manejar los humedales de forma adecuada para garantizar un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad obliga a incorporar de modo eficiente diversas estrategias (Lindig-Cisneros y Zambrano 2007). Además, en respuesta a las pérdidas de superficie y a la importancia de los humedales en términos ecológicos y sociales, su manejo, conservación y restauración son prioridad en muchos países (Lindig-Cisneros y Zedler 2005) para restringir futuras pérdidas ecológicas, mantener los que existen y paralelamente reparar los sistemas naturales afectados (Montes *et al.* 2007).

Restaurar humedales degradados o recuperar zonas de estos ecosistemas transformadas por otros usos es una prioridad, porque siempre conservan pequeños espacios o restos del humedal original que pueden servir de orientación e inóculo para recuperarlo (Comín 2015).

La restauración y la conservación representan dos estrategias entre las que se puede elegir según el nivel de degradación del ecosistema. Por ejemplo, en situaciones intermedias de perturbación, aplicar medidas concretas de restauración permitiría redirigir las trayectorias del sistema hacia estados más

deseables; mientras que las medidas de conservación perseguirían que el sistema se mantenga en dichos estados. En algunos casos la degradación es irreversible, por lo tanto, el manejo tendría que plantear otras metas, como crear estados alternativos que cumplan con funciones específicas mediante técnicas de rehabilitación ecológica. Además, el estado de conservación de los alrededores es particularmente crítico en el caso de humedales que se encuentran en las partes bajas de las cuencas, pues reciben directamente muchos de los impactos provocados por la degradación de las cuencas que los alimentan (Lindig-Cisneros y Zambrano 2007).

Para decidir cuál de estas estrategias es más apropiada, primero se debe identificar la fuente de los problemas, observar cómo funciona el sitio y qué factores están causando el impacto. Además, es importante conocer las principales características ecológicas en ese momento del sitio y las condiciones anteriores del paisaje (Villareal 2011).

## **2.7. Evaluación de las características ecológicas de los humedales**

Estas son la combinación de los componentes, procesos y beneficios/servicios del ecosistema que caracterizan al humedal en un determinado momento (Secretaría de la Convención Ramsar 2010b). Ante la imposibilidad de estudiarlas todas, se usan indicadores ambientales. Estos son variables bióticas y abióticas que ayudan a recrear procesos de forma indirecta, apoyan en la toma de decisiones a corto plazo, así como en el monitoreo y reducción del deterioro de los ecosistemas y aumentan la comprensión de estos últimos (Aguirre 2016). Algunas de las características ecológicas de los humedales más útiles para la toma de decisiones son:

**A. Condiciones hidrológicas:** se refiere a la presencia de agua en el ecosistema. Por ejemplo, cómo fluye esta, cuánto dura inundado o seco el humedal, si se inunda o seca por partes, con qué frecuencia se inunda, cuánta cantidad de agua llega a acumularse o fluir y por dónde drena (Villareal 2011).

**B. Calidad del agua:** la contaminación provoca una serie de modificaciones fisicoquímicas en el agua, que repercuten en la composición y distribución de las comunidades biológicas (Alvitez *et al.* 2012). Por lo tanto, evaluar su calidad, considerando factores físicos, químicos y biológicos, constituye un insumo fundamental para la toma de decisiones (Leandro *et al.* 2010).

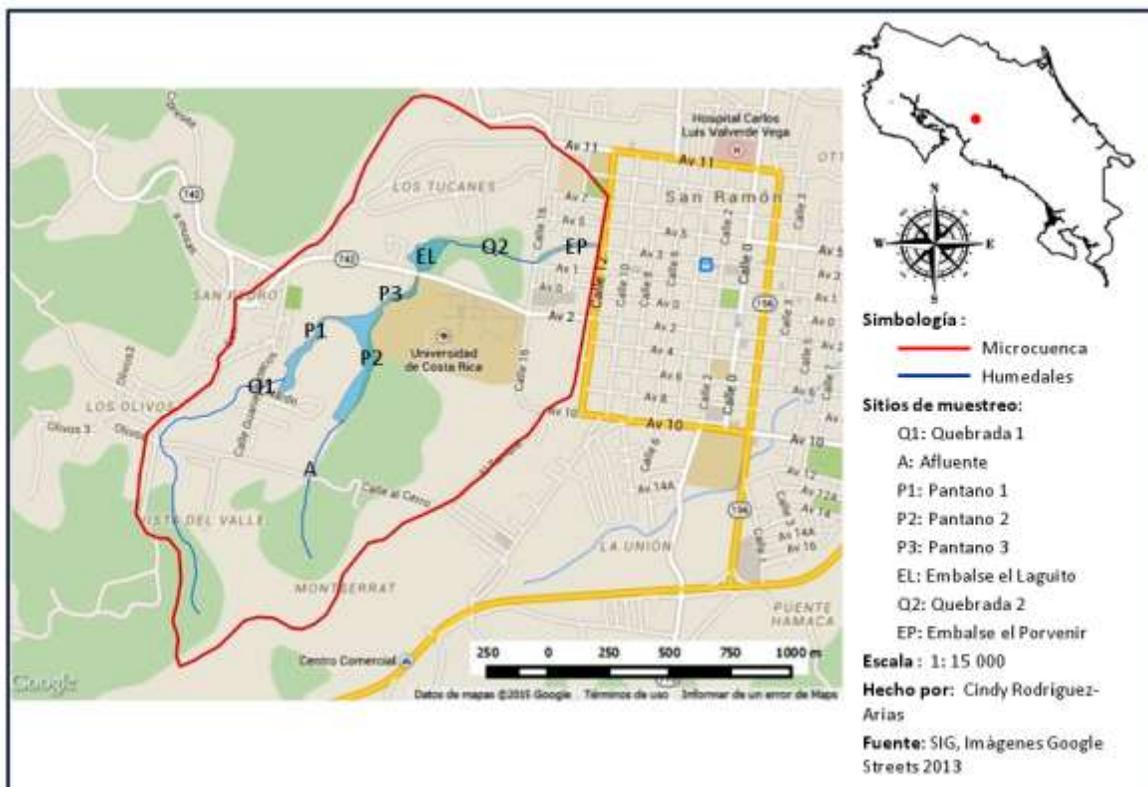
**C. Estado de conservación de comunidades y ecosistemas acuáticos:** para esto, se emplean diferentes tipos de índices ecológicos (Ortega *et al.* 2010). Entre los más comunes están los de diversidad y los de similitud (Pérez *et al.* 2007).

**D. Bioindicadores:** se considera que un organismo es un indicador de calidad, cuando se encuentra de manera invariable en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat (Roldán 1999). Algunos de los principales grupos de organismos utilizados como indicadores de la calidad o estado de conservación de los humedales son las aves y las plantas acuáticas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

La microcuenca de la quebrada Estero (ver la Figura 1) está ubicada en la provincia de Alajuela, cantón de San Ramón, distrito de Alfaro. Forma parte de la subcuenca del río Grande de San Ramón y la cuenca del río Tárcoles (Paaby-Hansen 2008).



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca alta de la quebrada Estero y de los puntos de muestreo.

La parte alta de la microcuenca tiene un área de 249 ha y la zona de vida es la de bosque premontano húmedo (Mora 2007). En San Ramón, prevalecen dos temporadas climáticas distintas, una estación seca de noviembre a abril y una estación lluviosa de mayo a octubre (Masik 2003). Suele llover más en septiembre

con más de 400 mm y febrero suele ser seco con aproximadamente 25 mm. La precipitación promedio anual es de 2 200 mm y la temperatura oscila entre 21 °C y 23 °C (Mora 2007).

El uso del suelo incluye parches de bosque, cultivos (principalmente café), pastos y residencial (Mora 2007). No existen en la microcuenca industrias ni beneficios de café. La municipalidad brinda el servicio de recolección de basura, pero no hay alcantarillado sanitario, por lo que las aguas residuales domésticas de muchas viviendas son vertidas a la quebrada.

En esta microcuenca, existen varios humedales (Figura 1). Para su estudio, se eligieron ocho puntos de muestreo a lo largo del recorrido de la quebrada Estero y su afluente, con base en la representatividad de cada uno de los ecosistemas y su ubicación a lo largo del recorrido de la quebrada. La descripción de los sitios de muestreo es la siguiente:

- *Quebrada1 (Q1)*: se encuentra rodeada de casas de habitación y recibe la descarga directa de aguas residuales y alcantarillado pluvial. Además, está rodeada por estructuras de concreto, por lo que las condiciones no son naturales y limitan el establecimiento de vegetación. La profundidad es de unos pocos centímetros.
- *Afluente (A)*: este tributario de la quebrada Estero se encuentra rodeado de potreros en el punto donde se hizo el muestreo. La profundidad es de unos pocos centímetros y la vegetación alcanza hasta dos metros de altura.
- En el área pantanosa conocida como Lagunas Quebrada Estero (Paaby-Hansen 2008) o La ciénaga (Quesada 2001), se ubicaron tres puntos:
- *Pantano 1 (P1)*: se localiza en medio de un potrero rodeado por áreas urbanizadas o en proceso de serlo. Es alimentado por la Q1 y tiene presencia de ganado. La profundidad del agua es de unos 10 cm y la vegetación puede llegar a tener una altura de hasta 1,5 m.
- *Pantano 2 (P2)*: es alimentado por el afluente y está rodeado por áreas de pastos y el bosque de la Universidad de Costa Rica (UCR), Sede de Occidente. Se inunda solamente durante el pico de la estación lluviosa,

aunque mantiene suelos muy húmedos todo el año. La vegetación tiene 2 m de altura.

- *Pantano 3 (P3)*: antes de este punto confluyen las aguas provenientes de P1 y P2. Está cubierto por vegetación acuática emergente y rodeada por el bosque de la UCR, una urbanización y un área por urbanizar. La profundidad del agua alcanza los 50 cm y la vegetación tiene una altura máxima de 2 m.
- *Embalse El Laguito (EL)*: es artificial, propiedad de la UCR, con un área de 13 506 m<sup>2</sup>. Sin embargo, al momento de realizar esta investigación, todo el lugar tenía características de una zona pantanosa, totalmente cubierta por vegetación acuática emergente. Está rodeada por urbanizaciones en crecimiento, algunas de las cuales descargan sus aguas residuales en este. Sus aguas provienen del sector del P3. La profundidad de estas es de aproximadamente 10 cm y la vegetación alcanza hasta 1,75 m de altura.
- *Quebrada 2 (Q2)*: es la sección de la quebrada que se encuentra entre los embalses El Laguito y El Porvenir. En el punto donde se tomaron las muestras está rodeado de una plantación de café, sin zona de protección. A sus orillas crece, vegetación herbácea.
- *Embalse El Porvenir (EP)*: tiene un área de 6 898 m<sup>2</sup>. Es alimentado por la Q2, y está rodeado por urbanizaciones y terrenos por construir. Recibe la descarga directa de varias alcantarillas. Es una propiedad municipal, cuya función consiste en retener el agua de lluvia para evitar inundaciones, por lo que la vegetación herbácea es manejada regularmente mediante corta manual y en algunas ocasiones con herbicidas. La profundidad máxima del embalse es de 1,5 m, aunque es menor en la mayor parte de su extensión.

**Caracterización socioeconómica de la población en la periferia de los humedales:** De acuerdo con Araya (2015), la población de San Ramón se caracteriza por las siguientes variables socioeconómicas: de los económicamente activos, el 97 % se encuentran ocupados. Al respecto, en el sector público se desempeñan 5 738 personas, mientras que en el privado son un total de 24 528

empleados. El 17 % de la población labora en el sector primario; en el secundario, se emplea el 18 % de los ramonenses y en el terciario, el 65 %. Se tiene una tasa neta de participación de 51 %, una tasa de ocupación de 49 %, el desempleo es del 3 %, mientras la población económicamente activa es de 49 % y la relación de dependencia económica es de 2 %. En cuanto al nivel educativo, la alfabetización en el cantón alcanza a 66 677 personas; el 4 % no posee ningún tipo de educación formal, el 15 % cuenta con algún grado de educación primaria que no fue completada, el 27 % completó la educación primaria, el 18% de los pobladores tiene educación secundaria incompleta, el 12 % posee secundaria completa y el 23 % de la población cuenta con algún nivel de educación superior.

La microcuenca de estudio se ubica en el distrito de Alfaro, cuya población aproximada de 6 600 personas (Moya y Brenes 2014). Esta presenta altos valores del índice de desarrollo social, el cual se basa en las dimensiones de educación, salud, economía y participación electoral (Araya 2015).

Por otro lado, según Quesada (2001), en esta microcuenca, el uso de la tierra y la organización del espacio ha respondido a criterios socioeconómicos. Esto ha provocado que en las últimas décadas haya tenido una transformación acelerada, en la cual el bosque ha sido eliminado para dar paso a cultivos, pastos, áreas residenciales, comerciales y de servicios, entre otras. De manera que no se ha pensado en preservar áreas para bosque, recreación, o con el fin de protegerse contra las inundaciones o la pérdida de suelos.

Según el mismo autor, los precios y niveles de rentabilidad han determinado el tipo de cultivo (en ciertos periodos el café; en otros, la caña de azúcar o las hortalizas), pero la prioridad ha sido la construcción de infraestructuras para usos habitacionales o comerciales. Además, las prácticas agrícolas predominantes han seguido los criterios de mercado y de campañas publicitarias de emplear productos agroquímicos para eliminar las malezas o abonar los suelos. La mayoría de los cultivos se siembran sin prácticas agrícolas que impidan la erosión del suelo, por lo tanto, lo dejan prácticamente desnudo, con cual favorecen su

pérdida, especialmente, cuando hay aguaceros de gran intensidad, los cuales provocan el arrastre de sedimentos hasta los cauces de la quebrada.

**Características hidrológicas de la microcuenca Estero:** La quebrada Estero descarga sus aguas en el Río Grande de San Ramón (Mora 2007) y este en el Río Grande de Tárcoles (Quesada 2003). El largo del cauce principal es de 4,5 km y la longitud total del sistema mide 10,9 km. La microcuenca es exorreica y tiene un perímetro de 13 158 m. Por su pequeño tamaño (2,49 km<sup>2</sup>), responde principalmente a lluvias de fuerte intensidad y de corta duración (Mora 2007).

El rango de elevaciones va de los 930 a los 1230 m.s.n.m. y la altitud media es 1090 m.s.n.m. (Mora 2007). En la parte alta, la topografía es irregular, con pendientes entre un 20 % y un 30 %, incluso del 40 % en un pequeño sector. En otros sectores, estas son de entre un 10 % y 20 % (Quesada 2001). Tanto la pendiente del cauce principal como la media de la cuenca son del 3 %. Esto indica que el terreno se clasifica como suave, lo cual aumenta la posibilidad de inundación (Mora 2007).

Se reconocen dos formaciones geológicas, la Aguacate (áreas volcánicas) y una antigua área lacustre (áreas sedimentarias) (Quesada 2001). Para el periodo que comprende de los años 300 a.C.-300 d.C., era una depresión lacustre-pantanosa (Bergoeing y Murillo 2012). Posteriormente, se rellenó de forma parcial por materiales de origen piroclástico, andesítico, ignimbrita y cenizas (Quesada 2001). En la parte alta, predominan las arenas bien graduadas con altas tasas de infiltración, bajo potencial de escurrimiento y bien drenado. En las bajas, el suelo se clasifica como arenas limosas (SM) y arcillosas (SC). Estas últimas son el tipo dominante, tienen bajas tasas de infiltración y alto potencial de escurrimiento cuando se encuentran saturadas (Marsik 2003 y Mora 2007).

## **3.2. Métodos**

### **3.2.1. Análisis físico-químico y microbiológico de la calidad del agua**

Para cumplir, en parte, el objetivo específico uno, se realizó un muestreo en la época seca (abril del 2014) y uno en la estación lluviosa (octubre del 2014) en cada uno de los puntos elegidos para esta investigación. En el campo, se midieron la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y la turbidez con un medidor digital multiparámetro, LQ2-WQ-DX LabQuest 2. Además, en cada punto se colectaron cuatro muestras de agua que se preservaron en una hielera a 4 °C. Dos de estas se recogieron en recipientes de plástico oscuro de 1 litro y se transportaron al Centro de Investigaciones de Contaminación Ambiental (CICA, UCR), donde se analizó la demanda bioquímica de oxígeno, el nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos. Otro grupo de dos muestras por punto se colectaron en frascos plásticos estériles de 100 ml y fueron llevadas al Laboratorio de Microbiología de Aguas de la UCR, para el análisis de la concentración de coliformes fecales. Para la toma, transporte y análisis de las muestras, se siguieron los procedimientos y cuidados establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA 2012).

Se calculó el Índice del Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua (MINAE 2007), basado en los valores de la demanda bioquímica de oxígeno, el oxígeno disuelto y el nitrógeno amoniacal. El valor de la temperatura, pH, oxígeno disuelto y turbidez se compararon con lo establecido por MINAE (2007) y otros autores (Pérez-Castillo y Rodríguez 2008).

Para comprobar si había diferencias significativas en la calidad físico-química y microbiológica del agua entre puntos y entre la época seca y la lluviosa, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico con el programa SPSS.

### **3.2.2. Análisis del estado de conservación de las comunidades biológicas**

Para complementar el objetivo específico uno, se eligieron las plantas y las aves acuáticas como indicadores.

*A. Aves acuáticas:* se realizaron conteos una vez al mes entre marzo del 2014 y febrero del 2015, así se cubrieron las distintas épocas en que las aves migratorias de los hemisferios norte y sur visitan el país (Córdova-Avalos *et al.* 2009). La abundancia y riqueza de especies se evaluó mediante puntos de conteo sin radio fijo (Ralph *et al.* 1996) en los mismos puntos de muestreo de la Figura 1. En cada de estos, el muestreo se extendió durante 10 minutos y en una secuencia diferente en cada salida que se realizó entre las 6:00 a.m. y las 9:00 a.m. Las especies fueron identificadas con la ayuda de binoculares y una guía de campo (Garrigues y Dean 2007).

*B. Plantas acuáticas:* entre julio y setiembre del 2014, se realizó un muestreo de la vegetación acuática en cada punto (Figura 1). Para esto, se hicieron transectos en banda, compuestos de 10 cuadrículas de 1 m<sup>2</sup> para determinar la composición de la vegetación y el porcentaje de cobertura de cada especie. En los ecosistemas de pantano y los embalses, se muestreó la vegetación dentro del área de cada humedal, mientras que en las quebradas (Q1, Q2 y A), se incluyó la vegetación de ribera. Para la identificación de las especies, se utilizó bibliografía especializada (Hammel *et al.* 2003 a y b). Además, se siguió la nomenclatura de World Checklist of Selected Plant Families (s.f.).

*C. Análisis de datos:* para determinar el estado de conservación de comunidades y ecosistemas acuáticos, se calculó la riqueza de especies de aves y plantas acuáticas, la abundancia relativa de cada una, el índice de diversidad (Shannon y Wiener H') y de dominancia (Simpson D') en cada punto y el de similitud entre sitios (Sorensen) (Smith y Smith 2007).

Después, se realizaron correlaciones de Pearson para conocer el grado de relación existente entre la calidad del agua y los índices de diversidad tanto de aves como de plantas acuáticas en cada ecosistema estudiado.

### **3.2.3. Identificación de los servicios ambientales**

Como parte del cumplimiento del objetivo específico uno, se revisó información secundaria, visitas a los humedales y consulta a actores clave (funcionarios del Ministerio de Ambiente y Energía, de la Universidad de Costa Rica y de la municipalidad, así como a vecinos de la microcuenca y de la comunidad en general). Esto permitió completar la lista de chequeo de servicios ambientales brindados por los ecosistemas acuáticos, según establece la Secretaría de la Convención Ramsar (2010a), que se presentan en el Anexo 1.

### **3.2.4. Identificación de las principales amenazas provocadas por las actividades humanas y sus impactos en los ecosistemas acuáticos**

Para cumplir con el objetivo específico dos, se realizaron recorridos a lo largo de la microcuenca para ubicar las fuentes de contaminación, las principales actividades económicas y otros factores que puedan impactar a los ecosistemas. Además, se revisó información secundaria y se consultó a actores clave. Esto último se llevó a cabo mediante la técnica del grupo focal, que se aplicó durante una serie de talleres hechos el 29 de julio del 2015, y el 1 de julio y el 19 de agosto del 2016. En estos, participaron representantes de la Municipalidad de San Ramón y el Consejo Cantonal de Coordinación Interinstitucional de San Ramón, SINAC-MINAE Oficina Regional de San Ramón, Red de Áreas Protegidas de la Universidad de Costa Rica, Consejo de Sede de la UCR SO, Asociación de Desarrollo de San Pedro, Fundación Carbono Neutro y vecinos. Con lo cual, se completó la lista de chequeo propuesta por el Instituto de Estudios Ambientales IDEA (2008) (Anexo 2).

Además, se realizó un análisis de cambio de uso del suelo con el programa Quantum Gis 2.8.1, con base en la fotografía aérea de Google Satellite del 21 de diciembre del 2013 y complementada con verificación de campo. El resultado se comparó con el elaborado por Mora (2007) en el año 2005.

### **3.2.5. Plan de acción para el manejo, la rehabilitación y la conservación de los humedales de la microcuenca**

Para cumplir con los objetivos específicos tres y cuatro se hizo una revisión de información secundaria sobre estos humedales. También, se tomaron en cuenta los resultados de las secciones anteriores.

Con el fin de elaborar el plan de acción, se consultó a expertos en restauración de humedales mediante la técnica Delphi (Sánchez 2003); así, se pudo definir cómo debe estar estructurado y qué elementos debe incluir un plan de rehabilitación de humedales en un entorno urbano. Los detalles de esta técnica y de los participantes se encuentran en el Anexo 3. Además, se utilizó como guía el protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos (SDA 2008), el manual de restauración de humedales mediterráneos (Del Olmo 2008) y la bibliografía citada.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el propósito de comprender mejor el funcionamiento de los ecosistemas y planificar de manera estratégica su conservación y aprovechamiento, es fundamental contar con información básica acerca de las características ambientales, propiedades físicas, químicas, biológicas y socioeconómicas de los componentes y procesos de los ecosistemas. Con esta información se evalúan las tendencias de cambios o se analizan datos periódicos y comparables para describir el estado del ambiente, o el éxito de acciones de manejo o restauración (Aguirre *et al.* 2016).

A continuación, se hace un análisis del estado actual de la calidad del agua y de las comunidades biológicas de los humedales de la quebrada Estero, así como de los servicios ecosistémicos que brindan y las amenazas e impactos que enfrentan. Esta información servirá para estudios futuros, además, se empleó como base para elaborar un plan de acción para la rehabilitación ecológica y conservación de estos humedales.

### 4.1. Análisis físico-químico y microbiológico de la calidad del agua

Los resultados de esta sección ya fueron publicados (Rodríguez y Silva 2015).

#### 4.1.1. Índice del Sistema Holandés de Calidad del Agua (IHCA-CR)

Este índice categoriza los cuerpos de agua superficiales según su grado de contaminación orgánica y nitrogenada, cuyo efecto en el sistema acuático se evalúa mediante el porcentaje de oxígeno disuelto (POD). Estas condiciones se reflejan en las aguas superficiales que reciben descargas de aguas residuales producto de las actividades humanas (Zhen-Wu 2010), como es el caso de los sitios estudiados, los cuales presentaron distintos grados de contaminación tanto en la época seca como en la lluviosa (Cuadro 1).

El punto más contaminado corresponde a la Q1 en época seca, se clasificó con contaminación muy severa, seguido por P1, P3, Q2, EP con contaminación severa. En los puntos A, P2 y EL fue moderada.

**Cuadro 1.** Resultados del índice holandés de calidad del agua y segregación de los valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ), el Porcentaje de Oxígeno Disuelto (POD) y el Nitrógeno Amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) por sitio y por época.

Sitio	Época seca				Época lluviosa			
	IHCA-CR	POD	$N-NH_4^+$ mg/L	$DBO_5$ mg/L	IHCA-CR	POD	$N-NH_4^+$ mg/L	$DBO_5$ mg/L
Q1	13	21,80	3,59	10,81	7	23,33	<0,03	< 1,3
P1	12	7,87	1,75	13,18	7	21,85	0,04	< 1,3
A	7	13,33	0,04	1,25	7	13,87	<0,03	< 1,3
P2	7	16,39	0,11	2,66	6	44,14	0,07	< 1,3
P3	12	16,07	8,93	5,32	6	42,24	0,33	< 1,3
EL	9	16,71	0,28	7,19	6	42,88	0,04	< 1,3
Q2	10	11,35	1,18	4,4	5	51,07	<0,03	< 1,3
EP	10	27,49	1,76	5,1	5	59,77	0,03	< 1,3

Durante la época lluviosa, el valor del índice disminuyó en todos los puntos, excepto en A, donde se mantuvo igual. Los mayores registros de contaminación detectados en la época seca se deben a que hay más concentración de sustancias nocivas al disminuir el caudal de los ríos en forma sustancial, especialmente, en zonas altamente densas de población, donde el agua residual doméstica es vertida durante todo el año (Calvo y Mora 2012).

Además, en la época lluviosa, el valor del índice disminuye conforme el agua fluye desde la parte más alta de la microcuenca hacia la más baja. Esto se debe a que la pendiente del terreno y la presencia de desniveles, junto con un mayor caudal de las aguas, facilitan el proceso de oxigenación constante y valores más altos de POD que favorecen la autodepuración del agua (Leandro *et al.* 2010). Este comportamiento concuerda con lo encontrado por Calvo y Mora (2007), y Zhen-Wu (2010) en otros ríos y quebradas de Costa Rica. Por otro lado, durante la época seca, la disminución del POD encaja con valores bajos de caudal y una menor aireación del medio, lo que coincide con los resultados obtenidos por Zhen-Wu (2010).

Durante la época seca, el POD (con valores entre 7,9 % y 27,5 %) aportó cinco puntos al índice en todos los sitios, por lo cual, también fue el parámetro más importante para el IHCA-CR, mientras que el amonio y la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_{5,20}$ ) variaron entre sitios y aportaron puntajes de uno a cuatro y uno a cinco, respectivamente. Además, en ambas épocas, los valores promedio de POD presentaron valores inferiores al 60 %, porcentaje mínimo recomendado para aguas superficiales (Leandro *et al.* 2010). En este caso, también se considera que una característica inherente de ciertos humedales es tener bajos niveles de oxígeno (Nahlik y Mitsch 2006), debido a la acumulación de material biodegradable en el fondo y por el lento flujo del agua que limita la capacidad de intercambio gaseoso con el aire (Pérez-Castillo y Rodríguez 2008), como ocurre en los pantanos. Adicionalmente, el aporte de aguas residuales hace que las concentraciones de oxígeno resulten insuficientes para compensar su consumo por la descomposición del material alóctono, el cual continuamente se incorpora desde las orillas (Martínez *et al.* 2013), como ocurre en varios de los sitios de muestreo.

Según Pérez-Castillo y Rodríguez (2008), esta variable es muy importante en los ecosistemas acuáticos, porque define en gran parte la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica. La mayoría de los peces toleran una concentración baja de oxígeno disuelto por cierto período. Sin embargo, reducciones por debajo del porcentaje de saturación generan efectos negativos sobre la diversidad, el crecimiento, la reproducción y la actividad de estos. Además, si su concentración es muy baja, contribuye a que los organismos sean más susceptibles al envenenamiento con metales pesados y plaguicidas.

Por otro lado, durante la época lluviosa, los resultados de la  $DBO_{5,2}$  y el nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4^+$ ) indican que la contaminación por materia orgánica y nitrogenada fue baja. El  $DBO_5$  estuvo por debajo del límite de detección ( $< 1,3$  mg/L  $O_2$ ) en todos los puntos excepto en EP, pero mantuvo un valor de 1 en el IHCA-CR. La concentración de amonio máxima fue en el P3 (0,328 mg/L  $NH_4^+$ ), con lo que ambos aportaron un valor de uno al índice.

El paso del agua por las zonas pantanosas disminuye el valor del índice, debido a que los humedales contribuyen a la purificación del agua (Pérez-Castillo *et al.* 2013), pues las plantas acuáticas tienen una alta capacidad para remover grandes concentraciones de sustancias tóxicas (Nahlik y Mitsch 2006), entre ellos el amonio, cuya formación se debe a la descomposición bacteriana de urea y proteínas (Schlam *et al.* 2006). Por lo tanto, en general, la fuente de  $\text{N-NH}_4^+$  se atribuye a la contaminación por fertilizantes o por la fecal humana y animal. En los ecosistemas estudiados, una reducción importante del caudal durante la época seca en zonas altamente pobladas favorece la disminución en la calidad del agua por concentración de este contaminante, lo que coincide con los resultados de Calvo y Mora (2012).

Por su parte, la demanda bioquímica de oxígeno, o  $\text{DBO}_{5,20}$ , indica la cantidad que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición en condiciones aeróbicas (Martínez *et al.* 2013). Representa, por tanto, una medida indirecta de concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente (Abarca 2007).

En todos los sitios estudiados durante la época lluviosa, los valores de DBO fueron bajos, por lo cual, se consideran sin contaminación por materia orgánica (MINAE 2007), mientras que en la estación seca solo el A y el P2 no tuvieron este tipo de contaminación. Los demás sitios presentaron una contaminación entre incipiente y moderada con valores superiores a 3 mg/l, esto indica aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal (Abarca 2007), las cuales se encuentran más concentradas durante la época seca por la disminución de la cuenca. Esto coincide con los resultados obtenidos por Leiva (2007) en varios afluentes del país. Además, niveles altos de DBO están relacionados con niveles bajos de oxígeno disuelto (Abarca 2007), pues al disminuir el caudal en la época seca, el efecto de la descomposición de la materia orgánica es mayor y las bacterias consumen ese oxígeno en gran cantidad. Además, un porcentaje importante del caudal de la quebrada en la época seca proviene del drenaje de aguas residuales domésticas en la zona.

A los datos de amonio y  $DBO_{5,20}$  no se les aplicó análisis estadístico, debido a que presentaron valores inferiores a los límites de detección en varios puntos. En el caso de POD, no se detectaron diferencias significativas entre sitios ni en la época seca ( $p=0,09$ ) ni en la lluviosa ( $p=0,06$ ), pero sí se encontraron diferencias significativas entre épocas ( $p=0,00$ ), con una media de  $16,43 \pm 6,4$  % en la seca y una de  $37,37 \pm 15,9$  % en la lluviosa.

#### 4.1.2. Parámetros complementarios

Los promedios obtenidos en cada sitio y época se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Resultados promedio de los parámetros complementarios durante la época seca (S) y lluviosa (LI) por sitio de muestreo.

Sitio	Temperatura		pH		Turbidez		Nitratos		Fosfatos		Coliformes	
	°C				NTU		mg/l		mg/l		NMP/100ml	
	S	LI	S	LI	S	LI	S	LI	S	LI	S	LI
Q1	27,05	20,9	6,79	6,20	84,95	75,75	<0,25	8,385	1,17	<0,6	>1600	>1 600
P1	28,1	21,6	5,61	6,25	566,3	66,5	0,56	6,520	<0,6	<0,6	>1600	>1 600
A	24,25	21,05	5,15	6,11	17,45	96,25	0,52	3,419	<0,6	<0,6	>1 600	175
P2	21,55	20,85	5,06	6,12	157,2	85,25	<0,25	<0,25	<0,6	<0,6	>1 600	48
P3	21,65	20,85	5,08	6,21	134,6	29	0,53	0,339	<0,6	<0,6	>1 600	>1600
EL	21,75	20,85	6,33	6,01	157,9	18,5	0,37	0,769	<0,6	<0,6	>1 600	240
Q2	20,95	21,25	6,55	6,39	205,3	23,35	<0,25	1,778	<0,6	<0,6	>1600	>1 600
EP	23,2	21,55	6,40	6,55	33,95	28,9	<0,25	2,736	<0,6	<0,6	>1 600	>1 600

*Temperatura:* durante la época la seca, tuvo una media de  $23,56 \pm 2,70$  °C, con diferencias significativas entre sitios ( $p=0,05$ ). En la lluviosa, tuvo una media de  $21,11 \pm 0,35$  °C, y no se encontraron diferencias significativas entre sitios ( $p=0,65$ ). Sí se encontraron entre épocas ( $p=0,00$ ). Aunque no existe un estándar oficial para la temperatura del agua (Rasoloariniaina *et al.* 2014), las inferiores a 20,2 °C y superiores a 34,2 °C son los valores a partir de los cuales el agua se clasifica como de mala calidad (Martínez *et al.* 2013), por lo que los resultados obtenidos se encuentran dentro del ámbito normal. La diferencia significativa entre épocas

para este parámetro se debe a la cantidad de radiación solar que es mayor en la seca; las variaciones entre sitios, en esta última temporada, tuvo relación con la hora a la que fueron tomadas las muestras, pues los valores más altos corresponden a las recolectadas cerca del mediodía.

*pH*: durante la época seca, tuvo una media de  $5,87 \pm 0,77$  y en la lluviosa, de  $6,23 \pm 0,24$ . No se observaron diferencias significativas entre sitios durante la época seca ( $p=0,1$ ) ni en la lluviosa ( $p=0,4$ ), tampoco entre épocas ( $p=0,33$ ). Según Pérez-Castillo y Rodríguez (2008), solo en el intervalo de 6,5 a 8,5, el agua es apropiada para la subsistencia de muchos sistemas biológicos, mientras que valores mayores a 9,0 y menores de 5,8 producen limitaciones para el desarrollo y a la fisiología de los organismos acuáticos. En los ecosistemas estudiados, solo Q1 y Q2 se mantuvieron dentro del primer ámbito en la época seca y solamente el EP durante la lluviosa. Además, en la época seca, el afluyente y los pantanos tuvieron pH inferiores a 5,8, lo que dificulta la presencia de vida acuática.

*Turbidez*: durante la época seca, tuvo una media de  $169,70 \pm 177,71$  NTU y en la lluviosa de  $52,94 \pm 35,20$  NTU. No se observaron diferencias significativas entre sitios durante la época seca ( $p=0,10$ ) ni la lluviosa ( $p=0,88$ ), tampoco entre épocas ( $p=0,20$ ). En otras investigaciones, se determinó que la turbidez es mayor en la época lluviosa (Leandro *et al.* 2010), debido al arrastre de materiales provocado por la erosión pluvial (Sánchez 2007). Sin embargo, en este caso se obtuvo el resultado contrario, pues el muestreo se hizo en plena época lluviosa, cuando la tierra estaba ya muy saturada y los materiales fácilmente transportables habían sido acarreados en los meses anteriores. Por otro lado, en la época seca, el bajo caudal de la quebrada combinado con las aguas residuales que son depositadas en esta provocó que la turbidez fuera mayor debido a la contaminación, como se puede observar en la Figura 2. Este parámetro es importante, porque puede causar efectos perjudiciales en el ecosistema acuático. Por ejemplo, al aumentar la turbidez, las partículas dispersan la luz e impiden que esta alcance las plantas

más profundas, lo cual afecta la actividad fotosintética y causa la muerte de estas (Elmore y Welch 2010).



**Figura 2.** Diferencias en la turbidez del agua durante los muestreos de época seca (izquierda) y lluviosa (derecha) en el punto Q1.

*Nitratos:* en la época seca, los puntos Q1, P2, Q2 y EP presentaron concentraciones inferiores al límite de detección, mientras que los demás puntos estuvieron entre los 0,37 y 0,56 mg/l. Esto se puede considerar normal, debido a que el agua puede contener nitratos en pequeñas concentraciones, como parte de su composición química normal, que rara vez excede 0,45 mg NO<sub>3</sub>/l (Pérez-Castillo y Rodríguez 2008). Valores de 0,5 a 1 mg/L son los adecuados para prevenir los procesos de eutrofización en los sistemas acuáticos (Espinal *et al.* 2013).

Durante la estación lluviosa, la concentración de nitratos aumentó en la mayoría de los sitios de muestreo. Los puntos Q1, P1, A, Q2, EP tuvieron concentraciones superiores a 1 mg/l, indicador de contaminación causada por el escurrimiento de tierras agrícolas y pastos, aguas negras, detergentes, desechos de animales y sistemas sépticos con fugas (Schlam *et al.* 2006).

*Fosfatos:* el fósforo es un componente esencial del ciclo biológico en los cuerpos de agua; suele ser el agente limitante del crecimiento de las algas y plantas acuáticas en humedales de agua dulce, por lo que su concentración sirve de

criterio para reconocer un problema de eutrofización. En un ambiente sin contaminación, las concentraciones de fósforo total son menores a 0,05 mg P Total/l y, en uno de calidad de regular a mala, el fósforo total presenta valores de 0,051 mg/l a 0,100 mg/l. A partir de 0,100 mg/l de fósforo total, un humedal se considera en estado hipereutrófico, de calidad muy mala y no apta para la vida acuática (Pérez-Castillo y Rodríguez 2008).

Solamente el punto Q1 presentó una concentración 1,17 mg/l durante la época seca. Esto se debe a que recibe la descarga directa de aguas residuales domésticas de la comunidad de San Pedro, cargadas de residuos de detergentes, una de las principales fuentes de fosfatos en aguas superficiales. Los demás estuvieron por debajo del límite de detección.

*Coliformes fecales:* durante la época seca, todos los sitios presentaron concentraciones de coliformes superiores al límite máximo de detección (1 600 NMP/100ml), cuando lo recomendado para aguas naturales es 200 NMP/100 ml (Leandro *et al.* 2010) y a partir de los 1 000 NMP/100 ml ya se considera contaminada (MINAE 2007). En la época lluviosa, esta condición se mantuvo en la mayoría de los sitios y disminuyó a la categoría de contaminación incipiente en A, P2 y EL (entre 20 y 1 000 NMP/100 ml, según MINAE 2007).

Aunque normalmente los coliformes fecales se encuentran en bajas concentraciones en la naturaleza (Rasoloariniaina *et al.* 2014), valores altos como los detectados en la mayoría de los puntos de esta microcuenca son consecuencia de la presencia de ganado en las márgenes (Martínez *et al.* 2013), descarga de aguas residuales domésticas no tratadas, los lixiviados provenientes de tanques sépticos y la erosión por efecto de la deforestación (Barrantes *et al.* 2013).

La concentración de coliformes fecales, turbidez y DBO presentan valores mayores en la época seca, contrario a lo encontrado en otras investigaciones en el país (Zhen *et al.* 2010, Leandro *et al.* 2010, Calvo y Mora 2012, Barrantes *et al.* 2013, Martínez *et al.* 2013), donde estos parámetros son más altos durante la temporada de lluvias, debido al aumento en la erosión y arrastre de materiales por

escorrentía. Por lo tanto, cuando se tomaron las muestras en esta microcuenca, el impacto de las aguas residuales fue mayor que el arrastre de materiales provenientes de la erosión pluvial.

## **4.2. Análisis del estado de conservación de las comunidades biológicas**

**4.2.1. Aves acuáticas:** varias investigaciones demuestran que las aves acuáticas pueden ser utilizadas como bioindicadoras de las condiciones de los humedales, pues existen importantes relaciones entre estas y los factores bióticos y abióticos de estos ecosistemas. A su vez, los efectos de las aves en estos hábitats pueden tener importantes consecuencias en las cadenas alimenticias (Amat y Green 2010).

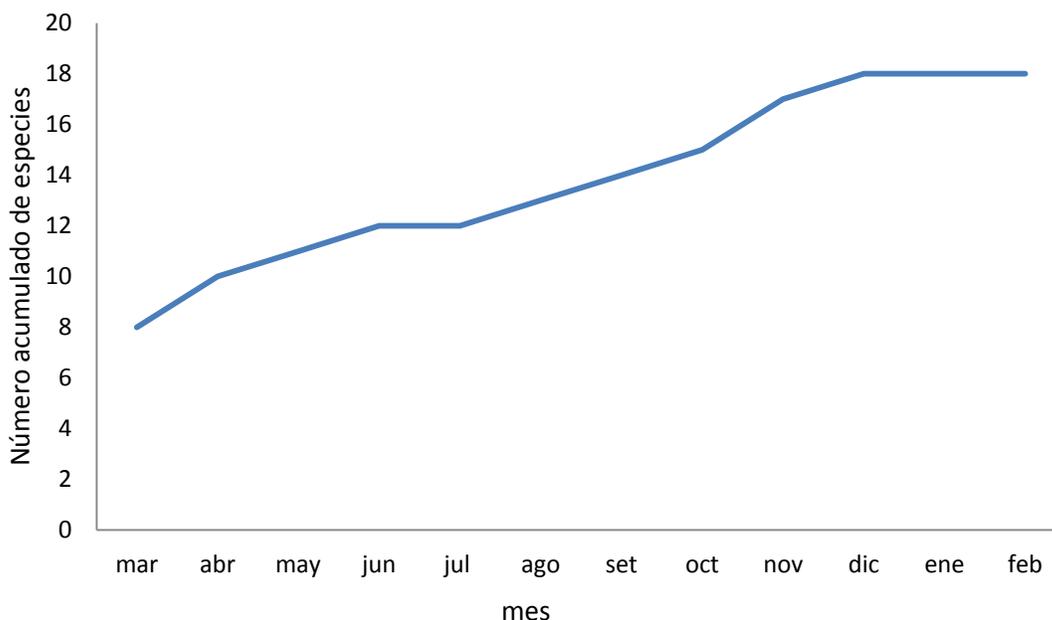
En esta investigación, se registró un total de 18 aves acuáticas, cuya abundancia absoluta por punto de muestreo y la abundancia relativa total de cada especie se presenta en el Cuadro 3. Pertenecen a ocho familias, de las cuales la que presentó el mayor número de especies (cinco) fue Ardeidae (garzas). Todas son nativas y cinco son migratorias.

Como se observa en Figura 3, durante los tres últimos meses, no se presentaron nuevos reportes, por lo que la muestra se considera representativa de la avifauna acuática local.

En estudios anteriores realizados en la misma zona, el número de aves acuáticas fue mayor. Por ejemplo, para el área de la ciudad de San Ramón y sus alrededores se reportaron 23 aves acuáticas (Guido y Rodríguez 2011) y anteriormente se podían observar hasta 18 especies solamente en EL (Rodríguez y Guido 2008), cuando el embalse aún mantenía un espejo de agua con cierta profundidad y zonas de playones abiertos. Esto contrasta con las tres especies observadas en ese punto, debido al proceso de colmatación que ha sufrido este embalse durante los años recientes, como consecuencia de la deposición de sedimentos, y la contaminación por aguas negras, servidas y desechos sólidos (Mora 2007, Rodríguez y Guido 2008).

Cuadro 3. Abundancia absoluta de aves acuáticas por punto de muestreo (de marzo del 2014 a febrero del 2015).

Familia y especie		Individuos por puntos de muestreo							Abund. relativa	
		EP	Q2	EL	P3	P2	P1	Q1		A
<b>Anatidae</b>										
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	R	3								1,3
<i>Cairina moschata</i>	R	3								1,3
<i>Anas discor</i>	M	35								15,2
<b>Ardeidae</b>										
<i>Ardea alba</i>	R	7					1		1	3,9
<i>Egretta thula</i>	R	19					2			9,1
<i>Egretta caerulea</i>	R	10					5			6,5
<i>Butorides virescens</i>	R	24			1	1	8	3		16,1
<i>Bubulcus ibis</i>	R						1			0,4
<b>Rallidae</b>										
<i>Laterallus albigularis</i>	R			5	14	2	7			12,2
<i>Aramides cajaneus</i>	R		1	1	1	5	6	2		7
<i>Porphyrio martinicus</i>	R	4					10			6,1
<b>Jacanidae</b>										
<i>Jacana spinosa</i>	R	24								10,4
<b>Scolapacidae</b>										
<i>Actitis macularius</i>	M	3					1			1,7
<i>Tringa solitaria</i>	M	9								3,9
<i>Gallinago delicata</i>	M	1					4			2,2
<b>Alcedinidae</b>										
<i>Chloroceryle americana</i>	R			1					1	0,9
<b>Parulidae</b>										
<i>Parkesia motacilla</i>	M	2							1	1,3
<b>Icteridae</b>										
<i>Agelaius phoeniceus</i>	R	1								0,4
<b>Total de individuos por sitio</b>		145	1	7	16	8	45	7	1	



**Figura 3.** Curva de acumulación de especies de aves acuáticas durante un año de muestreo (de marzo del 2014 a febrero del 2015).

Las especies que antes se podían encontrar en los embalses EL y EP, y que en esta ocasión no fueron reportadas son *Chloroceryle amazona*, *Nomonyx dominicus*, *Tigrisoma fasciatum*, *Tigrisoma mexicanum*, *Charadrius vociferus*, y *Tachybaptus dominicus*.

Sin embargo, sí se notifican cinco especies que no se habían observado en dichos estudios: *Dendrocygna autumnalis*, *Cairina moschata*, *Anas discor*, *Tringa solitaria* y *Agelaius phoeniceus*.

Con respecto a la abundancia relativa de las especies a nivel de la microcuenca, no se observó una dominancia importante de ninguna. La que más se presenta es *Butorides virescens*, residente que se observa durante todo el año y en la mayoría de los puntos de muestreo, seguida de *A. discor* que es migratoria y suele encontrarse en grupos grandes (Garrigues y Dean 2007), pero que solo se encontró en el EP.

Por otro lado, si se analiza la abundancia por punto de muestreo, los resultados son distintos. En el Cuadro 4, se muestra que el sitio con el mayor número de especies, mayor índice de diversidad y menos dominancia fue el Embalse El Porvenir, seguido por el Pantano 1. El caso opuesto está representado por el Afluente y Quebrada 2, donde solamente se registró un individuo.

**Cuadro 4.** Riqueza, diversidad y dominancia de especies de aves acuáticas en cada uno de los sitios muestreados.

Punto de muestreo	Riqueza de especies	Índice de diversidad de Shannon y Wiener H'	Índice de dominancia de Simpson D'
Afluente	1	0	1
Quebrada 1	4	1,28	0,19
Pantano 1	10	2,05	0,13
Pantano 2	3	0,9	0,39
Pantano 3	3	0,46	0,76
Embalse El Laguito	3	0,8	0,48
Quebrada 2	1	0	1
Embalse El Porvenir	14	2,18	0,14

En cuanto a la similitud de especies, los sitios P2 y P3 resultaron idénticos en su composición. Según el coeficiente de Sorensen (S), solamente tres pares adicionales de sitios presentaron similitudes superiores al 50 %, los Q1 y P2 fueron los más similares entre sí, con tres especies en común ( $S=0,86$ ), seguidos con los pares EI-P3 ( $S=0,67$ ) y EL-P2 ( $S=0,67$ ). Estas diferencias entre los puntos de muestreo se explican porque la oferta ambiental que presenta un hábitat es un factor fundamental en la presencia de aves acuáticas. El cambio de unas coberturas por otras genera tanto la presencia como la abundancia marcada de unos gremios de aves y el decrecimiento de otros (Ortiz 2014), esto depende de la composición y estructura de la vegetación, como se discutirá más adelante.

Este tipo de estudios de la estructura de las comunidades de aves proporciona un medio rápido, confiable y replicable de evaluación del estado en el que se conservan la mayoría de hábitats acuáticos. También, si se les da seguimiento, permite realizar comparaciones a lo largo de gradientes climáticos y ecológicos en cuanto a la riqueza, recambio y abundancia de especies. Con la información recopilada en los inventarios, también se pueden documentar algunos aspectos de la historia natural de las especies, como dietas, periodos reproductivos, migraciones, estructuras sociales y hábitos entre otros (Cabrera-Cruz *et al.* 2015).

#### **4.2.2. Vegetación acuática**

La vegetación de agua dulce es un grupo muy heterogéneo, que comprende angiospermas, pteridófitas, briófitas, carófitas y las clorófitas filamentosas (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado 2006, Lot 2010). En esta investigación, se encontró un total de 13 familias y 32 especies vegetales (Cuadro 5): 11 acuáticas estrictas, 7 subacuáticas y 15 tolerantes a la inundación. La mayoría fueron plantas con flores (6 dicotiledóneas, 25 monocotiledóneas). Únicamente, se halló una especie de alga verde. Las familias más numerosas fueron Poaceae con 12 especies y Cyperaceae con 7, resultado que coincide con otros estudios sobre vegetación acuática (Ramos y Novelo 1993, Mormul *et al.* 2010, Alves *et al.* 2011, Lot 2010). Al comparar los números de especies de otros estudios, se debe tener en cuenta que la composición y la distribución de las plantas en ecosistemas acuáticos dependen de características particulares (Posada y López 2011), como la altitud topográfica y el régimen de disturbios (nivel de inundación, pastoreo y fuego). Debido a esto, la dinámica de la vegetación varía espacial y temporalmente (Franceschi *et al.* 2010), lo cual dificulta las comparaciones. Además, en Costa Rica, los principales estudios de la vegetación acuática se han realizado en zonas bajas (Crow y Rivera 1986, Crow 2002, Trama 2005, Nahlik & Mitsch 2006, Garcés *et al.* 2006, Esquivel 2013). Solamente, uno incluye ecosistemas acuáticos en el Valle Central de Costa Rica (Bumby 1982), en el cual se registraron entre

una y cinco especies en cuatro ecosistemas de agua dulce (un lago, dos estanques y un río), ubicados entre los 900 y los 1 014 m.s.n.m., que suman un total de 10 especies y solo una en común con las encontradas en los humedales de la quebrada Estero (*Commelina diffusa*).

Por lo tanto, en esta microcuenca, la riqueza de la vegetación acuática fue relativamente alta, pues se registraron 32 especies (27 nativas). Esto indica que los estos humedales aún se encuentran en buen estado de conservación a pesar de las presiones antropogénicas (Alves *et al.* 2011) y que actúan como importantes reservorios de especies de flora nativa (Ramírez *et al.* 2014).

Las especies exóticas o introducidas, aunque son solamente cinco, representan una potencial amenaza, ya que reducen la riqueza de las nativas, afectan el uso económico y recreacional de los humedales, y, por el cambio climático global, podrían modificar las condiciones físicas y químicas del ecosistema, al crear nuevos ambientes favorables para otras especies introducidas (Riis *et al.* 2012), razón por la cual se debe mantener tanto la vigilancia como el control de estas. Por ejemplo, *Hydrilla verticillata*, encontrada en EP, y nativa de Asia y del norte de África (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado 2006), es una maleza altamente competitiva con las especies nativas, debido a su rápida capacidad de regeneración luego de un disturbio (Alves *et al.* 2011), por lo tanto, su abundancia debe ser monitoreada y manejada en caso de ser necesario.

**Cuadro 5.** Especies vegetales encontradas en los humedales de la quebrada Estero y su porcentaje de cobertura por punto de muestreo.

Familia y Especie	Distribución	Forma	Hábito	Abundancia (porcentaje de cobertura) por						
				A	Q1	P1	P2	P3	EL	Q2
Araliaceae										
<i>Hydrocotyle umbellata</i> L.	N	Em	Ac	10						
Commelinaceae										
<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	N	Em	T							18,4
<i>Commelina paludosa</i> Blume	N	Em	T						10	
Costaceae										
<i>Costus</i> sp.	N	Em	T						1,5	
Cyperaceae										
<i>Pycnus bipartitus</i> (Torr.)	N	Em	Ac			3				
<i>Cyperus haspan</i> L.	N	Em	Ac			1				
<i>Cyperus odoratus</i> L.	N	Em	Sub			1				25
<i>Cyperus virens</i> Michx.	N	Em	Ac							2
<i>Eleocharis interstincta</i> (Vahl)	N	Em	Ac			6				
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	N	Em	T			1				
<i>Kyllinga pumila</i> Michx.	N	Em	T							0,8
Euphorbiaceae										
<i>Euphorbia lancifolia</i> Schtdl.	N	Em	T						17,5	
Hydrocharitaceae										
<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle	Ex	Sum	Ac							6,8
Lamiaceae										
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.	N	Em	Sub	2		5				
Onagraceae										
<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.)	N	Em	Sub			6				0,5
<i>Ludwigia peruviana</i> (L.) H.Hara	N	Em	Sub			0,2			1	
Poaceae										
<i>Coix lacryma-jobi</i> L.	Ex	Em	T	68			99	8		

<i>Digitaria setigera</i> Roth	Ex	Em	T	1						
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	N	Em	T							1,5
<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	N	Em	Sub				39			2,2
<i>Leersia hexandra</i> Sw.	N	Em	Sub	0,2	59		39	67		
<i>Panicum hylaeicum</i> Mez	N	Em	T						10.5	
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	Ex	Em	T	2						
<i>Panicum parvifolium</i> Lam.	N	Em	Ac		2					
<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex	N	Em	Sub			0.3				
<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	N	Em	T	14						
<i>Paspalum repens</i> P.J.Bergius	N	Em	Sub			1	6			
<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka	Ex	Em	Sub							6,5
Polygonaceae										
<i>Persicaria acuminata</i> (Kunth)	N	Em	Ac			1	7	33		
Pontederiaceae										
<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz &	N	F	Ac	0,1	15	2				16
Zingiberaceae										
<i>Hedychium coronarium</i> J.	Ex	Em	Ac			9			18	
Zygnemataceae										
<i>Spirogyra</i> sp.	N	Sum	Ac							2

N=nativa; Ex=exótica; Em=emergente; Sum=sumergida; F=flotante; Ac=acuática; Sub=subacuática; T=tolerante; A=afluente; Q1=quebrada 1; P1=Pantano 1; P2=Pantano 2; P3=Pantano 3; EL=Embalse El Laguito; Q2=Quebrada 2; EP=Embalse El Porvenir.

El pasto llamado lágrimas de San Pedro (*Coix lacryma-jobi*), originaria de Asia (Mormul *et al.* 2010), aunque no es considerada una maleza, tuvo una densidad muy alta en el sitio P2. Ahí, domina el espacio en detrimento de otras especies por competencia interespecífica (Rial 2013, Zepeda *et al.* 2014), en consecuencia, debería estar sujeta a manejo y monitoreo. Las otras especies exóticas, *Hedychium coronarium*, *Melinis repens* y *Digitaria setigera*, presentaron porcentajes de cobertura muy bajos, por lo que, por el momento, no representan una amenaza.

Como resultado positivo, la planta conocida como lirio de agua (*Eichornia crassipes*), considerada una de las peores malezas acuáticas del mundo (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado 2006), no fue registrada en este estudio. Sin embargo, en el pasado, constituyó un problema serio en el Embalse El Laguito y fue uno de los factores que provocó que este humedal perdiera su capacidad de embalse (Mora 2007) y se convirtiera en la zona pantanosa que es actualmente. Tampoco se encontraron otras malezas introducidas, las cuales serían indicadores de perturbaciones de la calidad del agua y estarían asociadas a sitios con una alta presión antropogénica como *Pistia stratiotes* y *Salvinia minima* (Reyes *et al.* 2012). Ninguna especie estuvo presente en todos los sitios; *Leersia hexandra* y *Heteranthera reniformis* se encontraron en cuatro de los puntos de muestreo, mientras que 21 especies se reportaron solamente en uno de estos. Según la clasificación por escala de abundancia, *C. lacryma-jobi* y *L. hexandra* presentaron valores de 27 % y 25 % respectivamente, por lo tanto, se clasifican como frecuentes, mientras que el resto son raras con porcentajes de cobertura inferiores al 1 %. Sin embargo, a nivel de cada humedal (punto de muestreo), los resultados varían considerablemente; por ejemplo, la especie *C. lacryma-jobi* alcanzó un 99 % de abundancia en el P2 (dominante) y un 68 % en A (abundante); le sigue *L. hexandra* con un 67 % en el EL (abundante) y un 59 % en el P1 (abundante). Según Crow (1993), en los ecosistemas acuáticos tropicales, en comparación con los boscosos, existe una fuerte tendencia a la dominancia. Esto fue especialmente cierto en para las especies *C. lacryma-jobi* y *L. hexandra*. Para el caso de *C.*

*lacryma-jobi*, su gran tamaño le permite modificar el ambiente en detrimento de otras especies al crear sombra; esto le provee grandes ventajas competitivas, pues en ambientes acuáticos la lucha por el factor hídrico queda eliminada y los nutrientes suelen estar disponibles en exceso por fenómenos de eutrofización de las aguas, por lo que la competencia por luz el factor es primordial (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado 2006).

En el otro extremo, el 66 % de las especies tuvieron abundancias iguales o inferiores al 10 %, y un 66 % de ellas se encontró únicamente en un punto de muestreo. Aunque estas son pocas en la estructura de la comunidad, suelen tener alta incidencia en los cálculos de la diversidad (Franceschi *et al.* 2010) y al presentarse en bajas densidades resultan beneficiosas al ecosistema, ya que producen oxígeno, proporcionan un hábitat adecuado para los peces y otros organismos, y purifican el agua al extraer los compuestos tóxicos (Acosta-Arce y Agüero-Alvarado 2006).

La forma de vida más abundante consistió en enraizadas emergentes con 29 especies, mientras que solamente se encontraron dos flotantes y una enraizada sumergida. Las primeras estuvieron presentes en todos los sitios, mientras que las flotantes, en cuatro y la última, solamente en EP. Por otro lado, en todos los sitios, excepto Q1 y Q2, se presentaron especies de hábitos acuáticos, subacuáticos y tolerantes: Q1 tuvo una sola especie acuática y Q2 únicamente especies tolerantes (en este caso todas fueron plantas de rivera).

Los sitios de muestreo con mayores riquezas de especies fueron P1 y EP, y junto con Q2 tuvieron los mayores índices de diversidad. Los tres están sometidos a un régimen de disturbios intermedios, aunque son diferentes: la corta periódica de la vegetación en EP, los cambios en el caudal de la Q2 que durante las fuertes lluvias provoca inundación de las riberas y el pastoreo de ganado de baja intensidad en P1 (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Riqueza, diversidad y dominancia de especies y porcentaje del área cubierta por vegetación en cada uno de los sitios muestreados.

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Riqueza de especies</b>	<b>Índice de diversidad de Shannon y Wiener H'</b>	<b>Índice de dominancia de Simpson D'</b>	<b>Porcentaje del área cubierto por vegetación</b>
Afluente	8	0,76	0,63	97
Quebrada 1	1	0	1	15
Pantano 1	12	1,41	0,42	95
Pantano 2	4	0,08	0,97	100
Pantano 3	5	1,28	0,33	99
Embalse Laguito	3	0,66	0,55	100
Quebrada 2	5	1,44	0,25	58
Embalse Porvenir	11	1,85	0,20	82

El manejo de la vegetación mediante la corta periódica, como ocurre en el EP, constituye un tipo de disturbio que obstaculiza a una o pocas especies establecerse como dominantes, así, favorece la riqueza y diversidad de la comunidad vegetal. Diferentes técnicas, las cuales implican la remoción de la totalidad o parte de la vegetación en humedales ha demostrado su efectividad en este sentido (Escutia-Lara *et al.* 2012, Bufford y González 2012). También, las inundaciones, como las que ocurren en Q2, son consideradas como disturbios (Bornette y Puijalón 2011) que benefician la diversidad de especies.

En cuanto al pastoreo presente en P1, aunque algunos autores consideran que esta práctica altera el suelo y la vegetación, y ahuyenta a la fauna (Ramírez *et al.* 2014), otros han comprobado que puede tener un significativo papel para el control de algunas especies dominantes (Burnidge 2000, González y Valverde 2010). En el pantano de la quebrada Estero, el sector P1 es el único que tiene pastoreo, mientras que P2 y P3, donde el ganado no tiene acceso, muestran bajos valores de riqueza y diversidad, y altos valores de dominancia, especialmente en

P2. Por lo tanto, se comprueba que en este caso en particular, el pastoreo de baja intensidad favorece la riqueza y diversidad de la vegetación.

Por otro lado, sitios como P2, P3 y EL son más estables, no tienen ningún tipo de manejo ni pastoreo, lo cual provoca que unas pocas especies se conviertan en dominantes, pues compiten mejor a largo plazo y eventualmente se convierten en las más abundantes (Martella *et al.* 2012). Además, la ausencia de una columna de agua durante la época seca hace que estas comunidades vegetales sean florísticamente más pobres y reducidas, particularmente de hidrófitas sumergidas que son incapaces de tolerar este cambio. Por lo tanto, las especies con amplia tolerancia a las variaciones ambientales y a la perturbación son los componentes más comunes en estos humedales, como algunas gramíneas y poligonáceas (Zepeda-Gómez *et al.* 2012).

El caso extremo de Q1 se debe al fuerte caudal de la quebrada, el cual aumenta debido a las estructuras de concreto que delimitan su cauce durante lluvias intensas. Esto provoca un transporte de la vegetación y la incapacidad de que pueda establecerse permanentemente.

Según el coeficiente de similitud de Sorensen (S), P2 y P3 son los más similares entre sí, con 3 especies en común ( $S=0,67$ ). P3 y EL tienen dos en común y una similitud de 0,5. El sitio más diferente en cuanto a su composición de especies fue Q2, que solo comparte una especie con P1. Al respecto, se debe considerar la condición de ecosistemas lóuticos (con visible movimiento horizontal y rápido recambio de líquido como ocurre en A, Q1 y Q2) y lénticos (con movimientos lentos y recambio lento, situación de P1, P2, P3, EL y EP). Esto es importante, pues la singularidad de cada cuerpo de agua, y características como el volumen del agua y su movilidad (o la falta de esta) imponen limitaciones significativas a factores críticos para la existencia de distintas formas de vida acuática que, si cambian de manera sensible, pueden alterar de modo permanente el ecosistema. Por ejemplo, la vegetación de los arroyos o quebradas es pobre en especies sumergidas emergentes y flotantes, y se compone principalmente de vegetación capaz de tolerar condiciones de saturación de humedad sin efectos osmóticos

nocivos sobre sus raíces (Sánchez 2007). Este tipo de vegetación fue la característica de los sitios A y Q2, pero sin presentar especies en común. Esto último se debe a las diferencias ambientales en cuanto a la sombra, pues A se encuentra totalmente expuesto al sol, mientras que Q2 presenta sombra de la plantación de café que la rodea.

Por otro lado, en áreas donde el nivel del agua cubre la superficie del terreno, como ocurre en P1, P2, P3 y EL, su carácter somero hace que su dinámica hidrológica esté sujeta a variaciones muy considerables de temperatura y que frecuentemente no exista una estratificación, por lo que predominan las gramíneas y otras plantas de ribera (Sánchez 2007).

Finalmente, el EP, por su condición de embalse, es el que presenta mayor profundidad y características similares a las de un lago poco profundo y eutrófico, lo que permite la existencia tanto de especies emergentes como flotantes y sumergidas.

Los resultados de esta sección ya fueron publicados (Rodríguez y Silva 2016).

#### **4.2.3. Análisis de datos de las comunidades biológicas**

No se encontraron correlaciones significativas entre riqueza, abundancia o diversidad de aves con la riqueza, diversidad y dominancia de las plantas, ni con los valores del Índice Holandés de Calidad del Agua (ver el Anexo 4).

A pesar de esto, se encontró que los sitios con mayor cantidad de especies vegetales proveen una estructura física más compleja, con variedad de microhábitats, que favorecen la presencia de un mayor número de aves acuáticas, las cuales dependen de los humedales para llevar a cabo diferentes actividades, como alimentación, reproducción, descanso, entre otras; además, demandan hábitats heterogéneos donde puedan satisfacer estas necesidades, debido a la separación de nichos de las especies, donde cada una se especializa en un tipo de hábitat, tamaño de presa, zona de forrajeo o estrategia de captura. (Vargas 2010). Por ejemplo, el EP presentó 11 especies vegetales que incluyeron especies sumergidas, flotantes y emergentes. Además, en este sitio, la cobertura vegetal

acuática total corresponde a un 82 %, esto significa que mantuvo un espejo de agua durante todo el año. Esta complejidad estructural permite la visitación de especies nadadoras (anátidos), vadeadoras (garzas, rallidos, scolapácidos) y voladoras asociadas a humedales (reinitas e ictéridos). Asimismo, permite la presencia de especies que dependen de la vegetación flotante (jacanas) o emergente (rallidos) para anidar.

Por otro lado, el P1 fue el segundo sitio en riqueza de aves (10) y el primero en número de especies vegetales (12), sin embargo, el porcentaje de cobertura en este sitio fue del 95 % y tiene pocos centímetros de profundidad, razón por la cual solamente se registraron especies vadeadoras (garzas, rallidos y scolapácidos). Estas dos variables -área y profundidad- son factores importantes que definen la comunidad de aves acuáticas presentes en un humedal (Vargas 2010).

En los sitios con porcentajes de cobertura de vegetación enraizada emergente iguales o cercanos al 100 % (sin espejos de agua) únicamente se encontraron tres especies de aves, cuyos hábitos las hacen preferir la flora densa como rallidos y la garcilla verde *B. virecens* (excepto un martín pescador, *Chloroceryle americana*, observado de paso en el EL). Por último, los puntos de quebradas Q2 y A solo registraron una especie de ave acuática cada uno.

Esta relación entre el tipo de hábitat, definido por la diversidad, composición y estructura florística, con las comunidades de aves acuáticas ha sido analizada en otras investigaciones similares en áreas tropicales (Davidar *et al.* 2001, Gillespie y Walter 2001, Kessler *et al.* 2001, Waltert *et al.* 2005, Rompré *et al.* 2007, citados por Mistry *et al.* 2008).

#### **4.3. Servicios ambientales de los humedales de la quebrada Estero**

El concepto de servicios ecosistémicos permite establecer una relación entre el estado y el funcionamiento de los ecosistemas con el bienestar humano. Ésta puede ser directa o indirecta y los seres humanos pueden o no estar conscientes de su existencia (Alcocer *et al.* 2016). Según Acosta *et al.* (2016a), estos servicios

se clasifican en tres grandes tipos: provisión, regulación y culturales. Los primeros son los recursos que obtienen los seres humanos de la transformación de los ecosistemas, por ejemplo, alimentos, madera, materiales de construcción, leña, medicinas y ornamentos. Los servicios ecosistémicos de regulación corresponden a los procesos complejos que mantienen las condiciones del ambiente donde habitan las poblaciones humanas, como regular el clima, evitar las inundaciones y sequías, regular la calidad del agua y del aire, el procesamiento de residuos, control de vectores de enfermedades humanas y de plagas forestales, agrícolas, pecuarias y pesqueras, proteger las costas, impedir la erosión y los deslaves, mantener la fertilidad del suelo, las poblaciones de especies útiles y la polinización de cultivos agrícolas. Por último, en los servicios culturales se incluyen todos los beneficios no tangibles que se derivan de las interacciones entre los individuos y los ecosistemas, estos se obtienen a través de experiencias como la reflexión, la recreación o el gozo estético, o a partir de la adquisición de sentimientos de identidad y de autoestima gracias al bagaje cultural o la cosmovisión.

De acuerdo con datos obtenidos a partir de fuentes secundarias, visitas de campo y consulta a expertos y vecinos, se identificaron los siguientes servicios ambientales provistos por los humedales de la quebrada Estero:

#### **Servicios ambientales de regulación:**

- Reservorio de agua dulce y permiten el reabastecimiento de aguas subterráneas, ya que se ubican sobre el acuífero San Ramón-Palmare.
- Purificación de aguas por medio de la retención de contaminantes, depuración o dilución de aguas residuales que se vierten a la quebrada (Rodríguez y Silva 2015).
- El área del pantano y los embalses son un importante medio de control de inundaciones, ya que retienen grandes cantidades de agua durante las tormentas, esto permite disminuir la intensidad y los efectos de las crecidas en la ciudad de San Ramón (Mora 2007).
- Contribución a la protección de suelos, sedimentos y retención de nutrientes.

- Importantes para la adaptación al cambio climático, particularmente para amortiguar las crecidas provocadas por condiciones extremas, que serán más frecuentes a consecuencia de este fenómeno.
- Existen agentes de control biológico para plagas que transmiten enfermedades, por ejemplo, peces y anfibios que controlan las poblaciones de larvas de zancudos<sup>3</sup>.
- Oferta de hábitats y alimento para fauna silvestre acuática y terrestre (Guido y Rodríguez 2011), estas tienen especial importancia para las especies acuáticas, ya que son los ecosistemas que más deterioro han presentado en la región (Guido y Rodríguez 2011).
- Presencia de poblaciones de flora y fauna silvestre de importancia para la conservación, por ejemplo, las aves acuáticas migratorias (Guido y Rodríguez 2011) y plantas acuáticas (Rodríguez y Silva 2016).

**Servicios ambientales de aprovisionamiento:**

- Algunos vecinos toman el agua de las quebradas para usarla en actividades agrícolas y domésticas.
- En un sector del pantano, el humedal provee alimento para el ganado. El manejo de la vegetación invasora podría utilizarse como forraje o para compostaje.
- Es un importante reservorio de material genético.

**Servicios ambientales culturales:**

- Permiten llevar a cabo actividades para estudiar la naturaleza y su relación con el ser humano, esto reviste gran importancia para las investigaciones científicas y la educación ambiental.

---

<sup>3</sup> Cartín, M. y Zumbado, M. 2016. Anfibios, reptiles y peces de la quebrada Estero. San Ramón, CR. Universidad de Costa Rica Sede de Occidente

- Importante patrimonio cultural y natural para la comunidad de San Ramón, en especial el embalse El Laguito, un querido centro turístico y recreacional que le dio a la población un sentido de pertenencia que los motiva a participar en su rehabilitación (Rodríguez *et al.* 2012).
- Registro histórico preservado en los sedimentos: como han demostrado Horn (2007) y Horn y Haberyan (2016), los núcleos de sedimentos en humedales de Costa Rica proporcionan evidencia clave para reconstruir los cambios en el clima y los ambientes del pasado. De esta manera, se comprende la forma cómo los humanos han utilizado el paisaje. En marzo de 2014, un equipo de investigadores de la Universidad de Tennessee y la Universidad de Costa Rica obtuvo un núcleo de sedimento de aproximadamente 4 m de profundidad en el pantano, en P3. De manera preliminar, pequeños trozos de carbón extraídos del núcleo de sedimento a una profundidad de unos 3 m fueron sometidos a un análisis de radiocarbono y se determinó que tenían  $2\,527 \pm 28$  años de antigüedad. Este carbón podría haber sido producto de fuegos naturales causados por un rayo o de los fuegos provocados por los pobladores. Análisis adicionales proporcionarán más datos sobre la ocupación humana y el historial de incendios en el sitio, así como el análisis del polen revelará la historia de la vegetación<sup>4</sup>.
- Potencial valor paisajístico.  
Bajo el concepto de servicio ecosistémico, existe la oportunidad de alinear los objetivos de conservación y de desarrollo, esto aumenta simultáneamente el bienestar humano al proteger los ecosistemas, por lo tanto, el estado actual de los diversos recursos puede ser de gran relevancia como herramienta para diagnosticar y así mejorar su gestión (Amsteins 2013). Por eso, es importante para la comunidad conocer estos servicios, pues las decisiones que las sociedades toman en torno al manejo de los ecosistemas tienen consecuencias en su provisión (Acosta *et al.* 2016a).

---

<sup>4</sup> Horn, S. 2014. Estudio de los sedimentos de humedales de Costa Rica. Costa Rica, vía email. Universidad de Tennessee.

#### **4.4. Principales amenazas provocadas por las actividades humanas y sus impactos en los humedales de la microcuenca de la quebrada Estero**

Resulta necesario y urgente tanto evaluar como determinar los efectos que las actividades humanas tienen en los ecosistemas, con el fin de mitigar sus consecuencias, redefinir y establecer áreas de conservación y generar programas de restauración ecológica en las zonas que así lo requieran (Acosta *et al.* 2016b).

Mediante las visitas realizadas a los humedales y la revisión de fuentes secundarias, fue posible identificar las siguientes amenazas a los ecosistemas:

- Fragmentación de los humedales: la presencia de alcantarillas, por donde pasan carreteras y caminos, muros y represas, causa la pérdida de conectividad ecológica, lo cual imposibilita el movimiento de algunas especies acuáticas como los peces. Esto afecta los procesos ecológicos como la dispersión de semillas, la depredación y puede resultar en la reducción o interrupción del flujo genético, con la consecuente pérdida de diversidad, aumento de la endogamia y alteración de los patrones reproductivos (Acosta *et al.* 2016b).
- Deficiente calidad de agua que ingresa a los humedales: como se discutió en la sección 4.1, existen descargas de aguas residuales domésticas, e incluso aguas negras, directamente en los humedales, lo que provoca eutrofización de los embalses y mala calidad del hábitat.
- Pérdida del área inundable y de la ronda: este problema se presenta en los puntos P1, P2, EL y EP. En los dos primeros, se rellenó parte del humedal para ampliar las zonas de potreros y en los dos últimos, se perdió el volumen de almacenamiento y el espejo de agua, debido a la eutrofización causada por el aumento en la cantidad de aguas residuales provenientes de la alta urbanización en el área, por arrastre y deposición de sedimentos.
- Pérdida de la capacidad para mitigar inundaciones: ocurre principalmente en los embalses por detrimento de la capacidad de almacenar agua, lo que disminuye su posibilidad para atenuar caudales y provoca desbordamientos. Esto se

agrava durante los eventos extremos de precipitación por la influencia de factores naturales como El Niño (ENOS), La Niña, movimientos latitudinales del Centro de Convergencia Intertropical, tormentas tropicales y huracanes, la influencia del Atlántico y los empujes fríos.

- Déficit hídrico: cerca de las nacientes se da la extracción de agua para usos domésticos y agrícolas, lo cual puede afectar el caudal en época seca. Además, el fenómeno de El Niño causó que el verano del 2016 fuera más intenso de lo normal, esto provocó que la quebrada Estero se seicara en su naciente y parte alta. El bajo caudal y el agua que nace directamente en el pantano no fue suficiente, y provocó que se seicara totalmente el embalse El Laguito durante abril.
- Depósitos de escombros y basuras: a pesar de que existe el servicio de recolección de esta, se observaron cantidades importantes de desechos sólidos en todos los humedales. Esto afecta la calidad del agua y de los suelos. La causa, en general, es que los humedales son poco apreciados y hasta considerados como sitios hostiles y peligrosos por ciertos sectores de la población (Marín-Muñiz y Hernández 2016). Además, el depósito de escombros les va robando terreno a los humedales, lo que afecta la estructura espacial del ecosistema y sus componentes característicos (Calderón 2008).
- Pastoreo de animales: la principal afectación causada por el ganado en esta microcuenca ocurre en P1, debido a la aportación de excrementos al cuerpo de agua. Otras posibles amenazas, como la compactación del suelo, no fueron detectadas debido al reducido número de vacas presentes.
- Presencia de predadores domésticos: por su cercanía con centros urbanos hay presencia de ratas, perros y gatos que pueden atacar la fauna silvestre de aves, peces, reptiles y anfibios, tanto individuos adultos o jóvenes como sus huevos. Incluso, la afectación puede ser indirecta, por ejemplo, la simple presencia de perros o de cualquier otro depredador en las rondas causa perturbaciones en el apareamiento, incubación y alimentación de las aves acuáticas, esto impide que los adultos se reproduzcan y que las especies juveniles lleguen a la etapa de

madurez. También, pueden generar contaminación por sus excrementos y son vectores de muchas enfermedades zoonóticas que se transmiten a la vida silvestre (Calderón 2008).

- Modificación en la composición y estructura de las comunidades bióticas: ocurre debido a la pérdida de especies nativas por proliferación de invasivas, y de acuáticas susceptibles a las altas cargas orgánicas del agua y a la baja oxigenación (IDEA, 2008). En esta microcuenca, el sector del P1 está dominado por el pasto *C. Lacryma-jobi* (lágrimas de san pedro), especie exótica e invasiva que ha desplazado a las plantas nativas debido a la competencia, en detrimento de la oferta de hábitats y recursos para la fauna.
- Prácticas de manejo inadecuadas o ausentes: durante las visitas de campo, en varias ocasiones se evidenció el uso de herbicidas por parte de funcionarios municipales para el control de la vegetación en el embalse El Porvenir. Este método tiene muchos problemas de aplicación y efectos sobre especies distintas de las atacadas (Del Olmo 2008) por lo que debe ser descartado (Secretaría Distrital del Ambiente 2008). En los demás puntos, no existe ningún tipo de manejo.
- Apropiación y uso inadecuado de las áreas de ronda: en especial, en las cercanías de los puntos Q1, P1, P2, EL y EP se han dado construcciones de viviendas y edificios sin respetar las zonas de protección definida por la legislación nacional. En dicha área, se debería preservar el bosque natural ribereño, porque es fundamental para proteger y conservar los humedales, pues proveen servicios ecosistémicos como protección de la fauna y flora silvestre, regulación del clima, mejora de la conectividad, protección del recurso hídrico, protección y recuperación de los suelos, reducción de la vulnerabilidad, ampliar espacios verdes y belleza escénica, entre otros (Sánchez *et al.* 2015). A pesar de esto y de un mecanismo legal (Ley Forestal No.7575) que asegura la protección del cauce, su ejecución no se hace efectiva por parte de las autoridades y es cuando se construyen edificaciones, que invaden estas áreas.

En el caso particular de la quebrada Estero, existe una larga historia de inundaciones debido a este conflicto (Quesada 2003).

- Problemas relacionados con los derechos de propiedad y uso: la legislación costarricense es dispersa y confusa respecto a los humedales ubicados en propiedad privada. Por un lado, el decreto ejecutivo número 35803 en su Artículo 2° dice: “Los ecosistemas de humedales continentales forman parte del Patrimonio Natural del Estado”, pero por otro, la norma citada no es aplicable a los humedales localizados en propiedad privada, porque son terrenos que no están inscritos a nombre del Estado. Además, el artículo 32 de la Ley Orgánica del Ambiente establece que los humedales pueden ser declarados área silvestre protegida, bajo la categoría de manejo humedal. Otra confusión es en el sentido de que no siempre un humedal (entendido como ecosistema) constituye Patrimonio Natural del Estado, en los términos descritos (SINAC-PNUD y Proyecto Humedales, 2015). En el caso de los humedales de esta microcuenca, gran parte del recorrido de la quebrada, el afluente y el pantano están en manos privadas. Esto limita el acceso a algunos de los puntos y cualquier acción que se quiera realizar requiere del permiso y aprobación de los propietarios. Parte del pantano y El Laguito pertenecen a la UCR, los cuales ya fueron declarados área protegida, y el embalse El Porvenir pertenece a la municipalidad.
- La ausencia de una valoración ambiental y económica de los servicios ecosistémicos del humedal, desconocimiento de estos por el grueso de la ciudadanía: esto facilita el deterioro y la sobreexplotación, pues a la hora de tomar decisiones sobre el uso que se les debe dar a estos ecosistemas, los criterios económicos generalmente priman por encima de consideraciones ecológicas o éticas (IDEA 2008). En un estudio realizado por estudiantes de la Universidad de Costa Rica, se encontró que el 59 % de los encuestados ni siquiera sabía sobre la existencia de El Laguito (el más conocido de estos humedales), principalmente los más jóvenes (González *et al.* 2014). Otros estudios han señalado el desinterés de las nuevas generaciones por los

humedales al no haber un uso directo o interacción entre los habitantes y estos, lo cual provoca que no exista una apropiación por parte de los vecinos ni interés por preservarlos o usarlos apropiadamente. Por ello, resulta prioritario fomentar desde los jóvenes una educación que abarque la importancia de los humedales y el beneficio para los seres vivos, aunque no hagan uso directo de estos ecosistemas (Marín-Muñoz *et al.* 2016).

- La falta de control y vigilancia en los humedales: no existe ningún tipo de vigilancia, lo que propicia el depósito de basuras y el desarrollo de actividades inadecuadas. Se han dado algunas denuncias debido al relleno de una parte del pantano por un propietario privado y por la contaminación de la quebrada en varios de sus puntos, sin embargo, los procesos para su atención son largos y engorrosos. Así, a pesar de que el país ha generado un marco legal para proteger los humedales, el problema es que no se tiene la correcta vigilancia, faltan acciones, políticas concretas y estrictas para salvaguardarlos, pues ni siquiera los humedales de importancia internacional Ramsar escapan a esta problemática (García 2013). Eso se debe al escaso personal para profesional, técnico y operativo necesario, instalaciones inadecuadas, falta de recursos, desconocimiento de la Convención Ramsar y ausencia de normativa para su implementación (Córdoba 2012).
- Desarticulación de actividades en instituciones pertinentes: en varias ocasiones, desde 1992, se han propuesto proyectos conjuntos para el rescate del embalse El Laguito (Rodríguez *et al.* 2012), pero la desarticulación, falta de apoyo político y de recursos los ha llevado al fracaso. Todo esto se ve agravado por el hecho de que el ordenamiento jurídico costarricense posee normas dispersas para regular los ecosistemas de humedal, esto causa muchas confusiones a la hora de actuar y asumir responsabilidades. Por lo tanto, las normas legales vigentes deben complementarse con reglamentarias y con planes de manejo (SINAC-PNUD y Programa Humedales 2015).
- Actividad urbana adyacente: el proceso de urbanización en la microcuenca ha sido muy acelerado durante las últimas décadas y se ha podido apreciar la

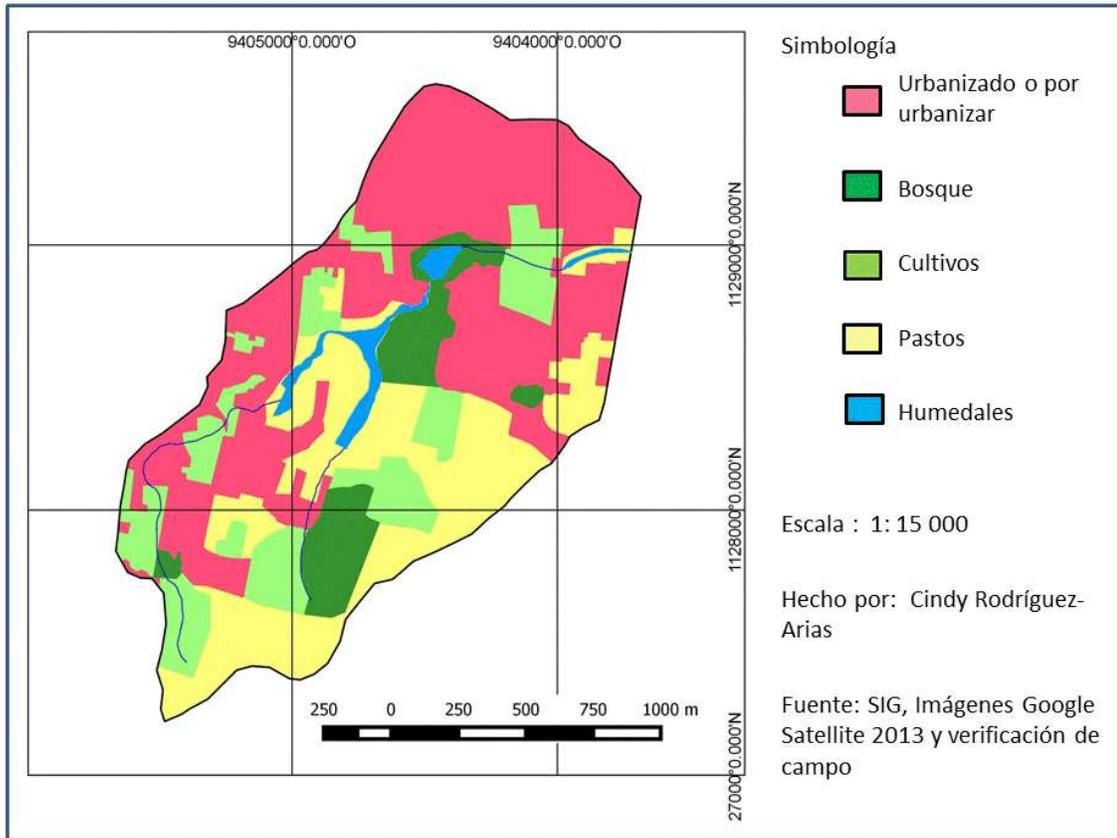
preparación de terrenos para nuevas construcciones, esto causa problemas de incompatibilidades de uso del suelo, impactos por el tráfico (ruido, contaminación atmosférica y alteraciones del patrón de flujo hídrico), barreras a la movilidad, inseguridad, contaminación con basuras y vertimientos, etc. Además, el proceso urbanístico generado por el crecimiento de la población ha impermeabilizado gran parte de la microcuenca, lo cual repercute en el incremento de la escorrentía y aumento en la verticalidad de las paredes de los cauces que aumentan la posibilidad de inundaciones.

- Cambio en el uso del suelo: se refiere a la transformación de los ecosistemas o de la cobertura de vegetación primaria por actividades humanas, esto genera una degradación, fragmentación y pérdida de hábitat para las especies. En esta microcuenca, el uso urbano ha ido en aumento y ha disminuido la cobertura de bosque y cultivos permanentes (Quesada 2000, Marsik y Waylen 2006, Mora 2007), lo cual ha provocado contaminación, erosión y aumento de la escorrentía.

Para actualizar la información sobre las dos últimas amenazas, se realizó un análisis de uso del suelo (Figura 4), en el cual se puede apreciar que el principal tipo de cobertura en esta microcuenca es el urbano o listo para urbanizar, que ocupa un 45,5 % del área total. Le siguen las áreas de pastos con un 28,4 %, los cultivos (principalmente café) con 17,3 %, y finalmente las áreas de bosque y regeneración natural con un 8,8 %.

Si se compara el uso del suelo actual con el realizado por Mora (2007) (ver el Cuadro 7), se puede apreciar que, en los últimos 10 años, el área destinada al desarrollo urbano creció un 20,1 %, mientras, esta misma categoría creció en un 12,15 % desde 1989 hasta 2005 (Mora 2007). Este incremento es la principal amenaza contra los humedales debido al aumento de la escorrentía, erosión, carga de aguas residuales y contaminación por residuos sólidos.

Por otra parte, durante la última década, el área de bosque y regeneración natural aumentó un 7,8 % y el de cultivos un 1,99 %, mientras que la superficie dedicada a pastos disminuyó en un 29,8 % y la de ornamentales en 0,11 %.



Fuente: SIG 2013 y verificación de campo.

**Figura 4.** Uso del suelo en la microcuenca alta de la quebrada Estero, 2015.

**Cuadro 7.** Cambios en el uso del suelo entre 1989 y el 2015.

Tipo de uso	Porcentaje del área por año, según el tipo de uso	
	2005	2015
Bosque	0,98	8,75
Cultivos	15,34	17,33
Ornamentales y otros	0,11	0
Pastos	58,15	28,40
Urbano	25,42	45,52

Fuente: Quesada 2001 y Mora 2007 y la autora 2015.

#### **4.5. Plan de rehabilitación y conservación de los humedales en la microcuenca alta de la quebrada Estero**

El objetivo de este plan es proponer estrategias tendientes a la rehabilitación ecológica de los humedales en la microcuenca alta de la quebrada Estero, que permitan restablecer la provisión de servicios ecológicos para mitigar inundaciones, crear hábitats para la vida silvestre, la recreación, educación ambiental e investigación científica, poniendo en marcha seis programas: a) régimen hidrológico, hidroperiodo y topografía, b) calidad del agua, c) suelo y sedimentos, d) especies exóticas, invasoras y depredadores domésticos, e) flora y fauna nativas y f) participación social.

Esta es una propuesta de rehabilitación ecológica pues, en general, se considera que en zonas urbanas no se puede hacer restauración, porque no existen ecosistemas de referencia que permitan establecer las metas y objetivos con los cuales se pretende llegar. Además, los costos de mantenimiento serían un gasto recurrente y elevado. Sin embargo, sí se pueden restablecer algunas funciones o parte de la estructura de los humedales mediante la rehabilitación o la recuperación ecológica para el uso de la comunidad, la investigación y la oferta de bienes y servicios ecosistémicos, aunque estén inmersos en un ambiente urbano (Montoya 2011).

Por lo tanto, los humedales de la quebrada Estero deben ser objeto de intervenciones integrales con visión ecosistémica y en cogestión con las comunidades, donde se incluya un programa de seguimiento y evaluación a los procesos ecológicos derivados. Además, el sector educativo debe involucrarse en el desarrollo de programas que contemplen el uso de los humedales como aulas vivas para el aprendizaje, estudio y valoración de los ecosistemas en entornos urbanos (Montoya 2011).

A continuación, se detallan los programas propuestos según los puntos que se van a intervenir.

#### **4.5.1. Programas según los elementos a intervenir**

##### **A. Régimen hidrológico, hidroperiodo y topografía**

Los requerimientos hídricos en un humedal son aquellos necesarios para compensar las pérdidas de origen hidroclimático (evaporación, evapotranspiración) y de origen físico (drenaje, dragados, extracción) y para suplir las necesidades de mantener un espejo de agua y la inundabilidad que garantice su persistencia como hábitat anfibio (SDA 2008). Por lo tanto, esta sección está dirigida a proponer posibles soluciones a los problemas detectados en la microcuenca relacionados con la pérdida de capacidad de embalse y los espejos de agua en El Laguito y El Porvenir, así como a los rellenos realizados en algunos sectores del pantano. También involucra la protección de las nacientes y zonas de recarga.

La estrategia propuesta para la rehabilitación hídrica y el saneamiento de los humedales de la microcuenca alta de la quebrada Estero se detalla en el Cuadro 8. Las actividades marcadas con asteriscos (\*\*\*) ya están en proceso de planeamiento o ejecución.

**Cuadro 8.** *Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación del régimen hidrológico, hidroperíodo y topografía.*

---

**Objetivo general del componente:**

Garantizar una adecuada hidrogeomorfología de los cuerpos de agua para su sostenibilidad hídrica y biótica.

---

**Objetivo específico A.1:** Mejorar las condiciones de oferta de agua a los humedales

---

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Protección de las nacientes de la quebrada Estero y su Afluente	Demarcación de las zonas de protección de las nacientes y de la quebrada y su afluente. Reforestación con especies arbóreas y arbustivas nativas en las zonas de protección y sus alrededores, y en las orillas de las quebradas. Ver en el Cuadro 9 las especies recomendadas. ***	Un mapa con las áreas de protección delimitadas. Cantidad de árboles y arbustos nativos sembrados. Área reforestada.	UCR (TCU), que facilite la participación comunitaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería.	De no llevarse a cabo, las nacientes pueden secarse, entonces, el único aporte hídrico serían las aguas pluviales y residuales, por lo que los humedales podrían desaparecer completamente al menos en época seca.
Eliminación de los drenajes del	Levantamiento de un inventario actualizado de los drenajes, canales y acequias, determinando	Inventario de propietarios de zonas del	Municipalidad de San Ramón	Debido a esto, se perdió área del pantano, por lo tanto, es muy importante

<p>pantano, construidos con el fin de desecar el humedal para aumentar áreas de pastoreo.</p>	<p>su ubicación y capacidad hidráulica, lo cual permitiría establecer el criterio para priorizar las decisiones de intervención en los humedales que han sido drenados. Ejecutar el sellamiento definitivo y/o elevamiento del fondo de los drenajes, para conservar los niveles de agua dentro del humedal con el fin de evitar que estos procesos se sigan llevando a cabo o que generen un desecamiento de los humedales, deben realizarse inspecciones periódicas en todos los humedales</p>	<p>pantano que han sido rellenadas y del área de humedal a recuperar. Área de humedal recuperada por eliminación de drenajes.</p>	<p>Ministerio de Ambiente y Energía</p>	<p>revertir el relleno y evitar que esto vuelva a ocurrir.</p>
<p>Irrigación hídrica de las áreas permanente</p>	<p>Armonizar las obras hidráulicas de control de inundaciones, estructuras hidráulicas de salida o paso de avenidas, canales</p>	<p>Obras ejecutadas para la regulación hídrica y</p>	<p>Municipalidad de San Ramón</p>	<p>Son obras fundamentales para evitar que se den inundaciones en los alrededores de los</p>

o periódicamente inundadas. colectores perimetrales etc. tanto los actuales como los futuros, con las necesidades hídricas del ecosistema, en términos de cantidad, calidad y periodicidad compatibles con el funcionamiento de las comunidades de vegetación de macrófitas.

Modificar las estructuras que controlan actualmente los niveles de agua en los embalses. Se debe determinar el número requeridas de estas y sus características, de manera que su operación permita el funcionamiento hidrodinámico en el humedal que requieren los hábitats existentes y propuestos. Estas estructuras deben permitir el paso de crecientes extraordinarias sin que exista riesgo de inundación de los barrios circundantes\*\*\*.

prevención de inundaciones en los embalses.

Área del humedal a adecuar.

humedales y en el centro de la ciudad de San Ramón.

**Objetivo específico A2:** Reconfigurar hidrogeomorfológicamente los embalses para la recuperación del volumen del vaso de los humedales El Laguito y El Porvenir.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Adecuación de la geometría de los embalses y de las pendientes en la zona litoral a una situación que permita un máximo de diversidad del hábitat.	Movilización de materiales de la orilla y/o los fondos preferiblemente de forma manual o con maquinaria liviana, para conformar un gradiente moderado de profundidades, que maximice el área disponible para el despliegue de los diferentes tipos estructurales de vegetación. Ampliar al máximo la zona transicional litoral, acercándose en lo posible a una proporción del 70 % de zona litoral por 30 % de zona de espejo, no obstante, estas proporciones sugeridas deben ajustarse a la morfología detallada de cada humedal y a su régimen de caudales y niveles.	Desarrollo de los diseños. Movimiento de tierra realizado. Área con adecuación de pendientes desde el 5 % al 10 % de área litoral y de espejo de agua.	Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir. Municipalidad y UCR en el embalse El Laguito. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de parte de la UCR.	De no hacerse, se mantendría la dominancia de unas pocas especies vegetales, en detrimento de la disponibilidad de diferentes hábitats para la flora y fauna nativas

<p>Creación de nuevos espejos de agua de profundidad adecuada para la retención de agua durante eventos de lluvia extrema.</p>	<p>Dragar los embalses El Laguito y El Porvenir con el objeto de crear nuevos espejos de agua y darle profundidad al vaso de cada humedal para recuperar su capacidad de embalse***.</p>	<p>Obras realizadas. Nuevo volumen o capacidad de embalse.</p>	<p>Municipalidad de San Ramón. UCR.</p>	<p>De no realizarse, durante las tormentas fuertes o lluvias prolongadas, el exceso de agua correría directamente hacia la ciudad.</p>
<p>Configuración de islas que contribuyan a la diversidad de paisajes y ofrezcan áreas de refugio para la fauna, al quedar distanciada del litoral donde se presentan factores tensionantes.</p>	<p>Crear islas de forma y perímetro irregular dentro de la zona de inundación permanente de los embalses, para generar hábitats propicios para refugio y anidación de especies de avifauna. Estas islas se deben construir utilizando material proveniente del propio humedal, como resultado de las remociones locales de rellenos o sedimentos no peligrosos.</p>	<p>Número de islas creadas y área que representan.</p>	<p>Municipalidad de San Ramón. UCR.</p>	<p>Es una forma de mejorar la disponibilidad de hábitats para la flora y fauna</p>

Configuración de la línea litoral para diversificar los hábitats y maximizar el tiempo de residencia del agua, el aporte de nutrientes y de materia orgánica, y prevención de la aceleración de los procesos de colmatación y terrificación.	Aumentar el área efectiva de la zona litoral de los humedales, mediante la creación de irregularidades como bahías y penínsulas.	Porcentaje del litoral intervenido en cada humedal.	Municipalidad en el embalse El Porvenir. UCR en el embalse El Laguito. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de la UCR.	De no hacerse, se disminuye la capacidad de los humedales para evitar inundaciones y para la conservación de la biodiversidad local.
--	--	---	--	--

**Objetivo específico A3:** Restituir el espejo de agua en los embalses y pantano para promover un aumento en la oferta de hábitats para la flora y fauna acuáticas.

Metas	Actividades/acciones	Indicadores	Responsables	Prioridad
Creación de una diversidad de	Abrir espacio físico para el desarrollo de vegetación flotante cuando la columna de agua es suficientemente profunda (mayor a	Espejo de agua de al menos el 30 % del área de los	Municipalidad de San Ramón en el embalse	Esta es una acción indispensable

hábitats que incluya espejo de agua, vegetación flotante sumergida y semisumergi da que constituya un buen hábitat para las especies acuáticas. .	50 cm). Manejar la vegetación del pantano para evitar la cobertura completa de herbáceas, principalmente cuando se trata de especies exóticas. La ganadería se puede mantener en el pantano siempre y cuando sea de baja intensidad. Donde no hay ganado, recurrir a procesos mecánicos de control, cosecha y/o eliminación. Remoción de sedimentos cuando en condiciones de déficit alto el agua circule solo por canales pequeños dentro del humedal, para generar un vaso de una profundidad y área suficiente para que el cuerpo de agua se mantenga por un tiempo razonable y que no requiera posteriores intervenciones muy frecuentes.	embalses. Disminución del área de cobertura de las especies vegetales invasoras y aumento del índice de diversidad de vegetación acuática en todos los puntos del pantano. Número de nuevas especies de aves acuáticas en cada humedal.	El Porvenir. UCR en el embalse El Laguito. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de parte de la UCR.	si se quiere aumentar la biodiversidad en estos humedales, ya que en las condiciones actuales la oferta de hábitats para la fauna es muy pobre.
--	--	--	---	--

---

\*\*\* Actividades en proceso de planeamiento o ejecución.

**Cuadro 9.** Especies recomendadas para reforestación en la microcuenca alta de la quebrada Estero.

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Altura</b>
<i>Acacia farnesiana</i>	Aromo	8 m
<i>Acalypha macrostachya</i>	Rabo de gato	8 m
<i>Acnistus arborescens</i>	Güitite	3 m
<i>Alzatea verticillata</i>	NA	15 m
<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	30 m
<i>Andira inermis</i>	Almendro de montaña	15 m
<i>Annona cherimola</i>	Anona	9 m
<i>Annona muricata</i>	Guanábana	8 m
<i>Apeiba tibourbou</i>	Peine de mico	20 m
<i>Ardisia compressa</i>	Tucuico	8 m
<i>Ardisia revoluta</i>	Tucuico	10 m
<i>Astronium graveolens</i>	Ron	30 m
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	5 m
<i>Blakea gracilis</i>	San Miguel	5 m
<i>Bocconia frutescens</i>	Guacamayo	7 m
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	40 m
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	12 m
<i>Caesalpinia exostemma</i>	Gallito	5 m
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Hoja de sen	3 m
<i>Calatola costaricensis</i>	Palo de papa	25 m
<i>Calliandra sp</i>	Carboncillo	6 m
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Cedro María	40 m
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño	25 m
<i>Calyptanthus pallens</i>	Murta	20 m
<i>Carludovica palmata</i>	Estococa	3 m
<i>Casearia sylvestris</i>	Huesillo	10 m
<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	20 m
<i>Cassia grandis</i>	Carao	20 m
<i>Cassia moschata</i>	Coralillo	20 m
<i>Cecropia insignis</i>	Guarumo	20 m
<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo	20 m
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo	30 m
<i>Cedrela salvadorensis</i>	Cedro salvadoreño	25 m
<i>Cedrela tonduzii</i>	Cedro dulce	40 m
<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	50 m
<i>Cestrum megalophyllum</i>	Dunal	3 m
<i>Cestrum nocturnum</i>	Zorrillo	3 m
<i>Chamaedorea costarican</i>	Pacaya	6 m
<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Pacaya	5 m
<i>Chrysophyllum cainito</i>	Caimito	20 m

<i>Citharexylum donnellsmithii</i>	Dama	8 m
<i>Cinnamomum cinamomifolia</i>	Aguacatillo	20 m
<i>Clusia peltata</i>	Copey	30 m
<i>Clusia rosea</i>	Copey	30 m
<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>	Chicasquill	5 m
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	Carrito/Trompito	10 m
<i>Cojoba arborea</i>	Lorito	35 m
<i>Conostegia subcrustulata</i>	Lengua de vaca	2 m
<i>Conostegia xalapensis</i>	Lengua de gato	6 m
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	30 m
<i>Cordia eriostigma</i>	Muñeco	15 m
<i>Crescentia sp</i>	Jícaro	8 m
<i>Croton draco</i>	Targua	10 m
<i>Croton niveus</i>	Colpachí	10 m
<i>Cupania glabra</i>	Cascuá	9 m
<i>Cupania guatemalensis</i>	Tarzana, huesillo	5 m
<i>Cupania rufescens</i>	Tarzana	4 m.
<i>Cupania sp</i>	Manteco	25 m
<i>Dendropanax arboreus</i>	Fosforillo	15 m
<i>Desmopsis bibracteata</i>	Flor de guinea	6m
<i>Dilodendron costaricense</i>	Iguano/loro	10 m
<i>Diphysa americana</i>	Guachipelín	15 m
<i>Dipteryx panamensis</i>	Almendo de montaña	60m
<i>Ehretia latifolia</i>	Duraznillo	10 m
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	35m
<i>Eremosis triflosculosa</i>	Tuete	4 m
<i>Eugenia costaricensis</i>	Cacique	10 m
<i>Eugenia salamensis</i>	Fruta de pava	3m
<i>Eugenia truncata</i>	Pavilla	6 m
<i>Ficus brevibracteata</i>	Higuerón	15 m
<i>Ficus costaricana</i>	Higuerón	12m
<i>Ficus dugandii</i>	Higuerón	30 m
<i>Ficus hartwegii</i>	Higuerón	15 m
<i>Ficus insípida</i>	Higuerón	25m
<i>Ficus jimenezii</i>	Higuerón	25 m
<i>Ficus pertusa</i>	Higuito	25 m
<i>Garcinia intermedia</i>	Jorco	15 m
<i>Genipa americana</i>	Guaitil	35 m
<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro	15 m
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	15 m
<i>Guarea glabra</i>	Cedrillo, trompillo	25 m
<i>Guatteria costaricensis</i>		12 m
<i>Hamelia patens</i>	Coralillo, azulillo	4 m

<i>Hampea appendiculata</i>	Burío blanco	20 m
<i>Helicarpus appendiculatus</i>	Burío	14 m
<i>Hauya elegans</i>	Tubús/guayabón	20 m
<i>Hymenaea courbaril</i>	Guapinol	35 m
<i>Inga marginata</i>	Guaba	10 m
<i>Inga punctata</i>	Guaba	15 m
<i>Inga tonduzii</i>	Guabas	20 m
<i>Jacaranda caucana</i>	Jacaranda	13 m
<i>Justicia aurea</i>	Pavoncillo amarillo	2 m
<i>Justicia tinctoria</i>	Azul de mata	3 m
<i>Lafoensia puniceifolia</i>	Cascarillo-amarillón	30 m
<i>Licaria triandra</i>	Aguacatillo	20 m
<i>Lasianthaea fruticosa</i>	Quitirrisí	5 m
<i>Lonchocarpus oliganthus</i>	Chaperno	10 m
<i>Luehea speciosa</i>	Guácimo blanco	20 m
<i>Malpighia glabra</i>	Acerola	3 m
<i>Malvaviscos arboreus</i>	Amapolita	3 m
<i>Manilkara chicle</i>	Chicle	30 m
<i>Mauria heterophylla</i>	Cirrí colorado	18 m
<i>Miconia argentea</i>	Santamaría	8 m
<i>Mosquitoxylum jamaicense</i>	Cirrí blanco	20 m
<i>Muntingia calabura</i>	Capulín	8 m
<i>Myrcia splendens</i>	Murta	8 m
<i>Myrcianthes fragrans</i>	Guayabillo	25 m
<i>Myrsine coriacea</i>	Ratoncillo	10 m
<i>Nectandra sp</i>	Quizarrá	20 m
<i>Neea amplifolia</i>	Bombeta, corcho	2 m
<i>Ochroma pyramidale</i>	Balsa	25 m
<i>Ocotea veraguensis</i>	Aguacatillo, quizarrá	20 m
<i>Odontonema tubaeforme</i>	Coral	2 m
<i>Oenocarpus mapora</i>	Mapora	10 m
<i>Oreomunnea pterocarpa</i>	Gavilán	35 m
<i>Oreopanax xalapensis</i>	Fosforillo, cacho de venado	15 m
<i>Ormosia macrocalyx</i>	Nene	20 m
<i>Pachira aquatica</i>	Poponjoche	20 m
<i>Palicourea spp.</i>	Cafecillo	5 m
<i>Persea schiedeana</i>	Yas	25 m
<i>Persea americana</i>	Aguacate	20 m
<i>Picramnia antidesma</i>	Palo de arco	5 m
<i>Petrea volubilis</i>	Verbenaceae	6 m
<i>Piper augustum</i>	Anisillo	1,5 m
<i>Piper auritum</i>	Candelillo, anisillo	4 m
<i>Platymiscium pinnatum</i>	Cristóbal	40 m

<i>Plumeria rubra</i>	Flor blanca	15 m
<i>Pouteria sapota</i>	Zapote	30 m
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	10 m
<i>Psidium guineense</i>	Güízaro	3 m
<i>Psychotria panamensis</i>		10 m
<i>Psychotria poeppigiana</i>	Labios ardientes	2 m
<i>Quercus spp</i>	Roble encino	25 m
<i>Randia armata</i>	Cafecillo, gardenia	5 m
<i>Robinsonella lindeniana</i>	Jocorró	6 m
<i>Roupala montana</i>	Danto carne	8 m
<i>Sambucus mexicana</i>	Sauco	6 m
<i>Sapindus saponaria</i>	Chumico	16 m
<i>Sapium glandulosum</i>	Yos	30 m
<i>Schizolobium parahyba</i>	Gallinazo	30 m
<i>Senna septemtrionalis</i>	Candelillo	15 m
<i>Senna papilosa</i>	Candelillo	5 m
<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno	10 m
<i>Sloanea terniflora</i>	Terciopelo	10-35 m
<i>Spondias purpurea</i>	Jocote	10 m
<i>Sorocea trophoides</i>		12 m
<i>Stachytarpheta sp</i>	Rabo de zorro	2 m
<i>Stemmadenia sp</i>	Bijarro	12 m
<i>Syzygium malaccense</i>	Manzana de agua	20 m
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Cortez negro	15 m
<i>Tabebuia ochracea</i>	Cortez amarillo	20 m
<i>Tabebuia rosea</i>	Roble de sabana	15 m
<i>Tabernaemontana sp</i>	Huevos de caballo	12 m
<i>Tapirira myriantha</i>	Cedro manteco	20-35 m
<i>Tecoma stans</i>	Vainillo	6 m
<i>Terminalia amazonia</i>	Amarillón/roble coral	45 m
<i>Terminalia oblonga</i>	Surá/amarillón	40 m
<i>Thouinidium decandrum</i>	Matapulgas	19 m
<i>Tonduzia stenophylla</i>	Pichón	15 m
<i>Trema micrantha</i>	Capulín	10 m
<i>Trichilia havanensis</i>	Uruca	15 m
<i>Trichilia martiana</i>	Manteco	15 m
<i>Unonopsis costaricensis</i>	Yaya	
<i>Urera sp</i>	Ortiga	5 m
<i>Virola sp</i>	Fruta dorada	40 m
<i>Vismia sp</i>	Mata roncha	20 m
<i>Vitex cooperi</i>	Manú/cuajada	30 m
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Chancho	30 m
<i>Xilosma intermedia</i>	Peipute	5-15 m

<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	Lagartillo	5-10 m
<i>Zanthoxylum schreberi</i>	Lagarto amarillo	10 m
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Lagartillo	15 m
<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	15 m

**Fuente: Barrantes y González 2012; Jiménez 2013; Rodríguez y Brenes 2009; Sánchez et al. 2015; Valle 2013.**

## **B. Calidad del agua**

Uno de los principales problemas de los humedales en esta microcuenca es la contaminación provocada por actividades urbanas. Los requerimientos en la calidad del agua de un humedal se relacionan con la capacidad de dilución del cuerpo de agua y para retener, por sedimentación, las cargas contaminantes (SDA 2008), por lo tanto, las actividades encaminadas a recuperar la calidad del agua de un humedal deben proceder de una buena caracterización de las relaciones existentes entre el humedal y su cuenca de drenaje, como se describió en la primera parte de este plan.

La recuperación de la calidad del agua es un campo extenso y complejo. Las medidas pueden abarcar desde el control de la erosión en la cuenca aferente, pasando por técnicas de control de la contaminación en el cauce (vertimientos domésticos e industriales), hasta la intercepción, conducción y tratamiento de los vertimientos o los caudales receptores, así como distintas técnicas de fitorremediación (SDA 2008) o biomanipulación (manipulación de la cadena trófica) (Del Olmo 2008). Por ejemplo, en esta microcuenca, dado que la mayor parte de la contaminación proviene de fuentes domésticas, las biojardineras son una alternativa para tratar 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 (Bermúdez et al. 2016). Esta y otras estrategias para mejorar la calidad del agua en esta microcuenca se detallan en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** *Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de la calidad del agua*

**Objetivo general del componente B:** Garantizar una adecuada calidad de agua de los humedales de la quebrada Estero.

**Objetivo específico B1:** Controlar el vertimiento de contaminantes provenientes de aguas grises y negras de las comunidades aledañas para el mejoramiento de la calidad del agua.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Aplicación de la normativa vigente sobre control de vertidos a fuentes de agua superficiales.	Identificar a los responsables de los vertidos y aplicarles la reglamentación correspondiente. Realizar las denuncias necesarias para asegurar el cumplimiento de la normativa***.	Número de casos identificados y atendidos.	Ministerio de Salud (MS). Municipalidad. Asociación de Desarrollo. Acueductos y Alcantarillados (AyA). Actores sociales.	Alta. De no hacerse, los niveles de contaminación podrían llegar a ser difíciles de controlar por otros medios.
Adecuado control de nuevas construcciones.	Realizar inspecciones periódicas en las nuevas construcciones.	Porcentaje de obras inspeccionadas.	Municipalidad. AyA, MS.	Ídem.

<p>Creación de un sistema de alcantarillado sanitario para el adecuado tratamiento de las aguas grises y negras.</p>	<p>Ejecución de obras para la separación de los alcantarillados de aguas de lluvias, y grises y negras, con la cual se puedan conducir las residuales hasta plantas de tratamiento y no hasta los cuerpos de agua.</p>	<p>Porcentaje de cobertura del alcantarillado sanitario y volumen de agua tratada adecuadamente.</p>	<p>AyA Municipalidad. MS.</p>	<p>Ídem</p>
<p>Control de la calidad de las aguas vertidas en los humedales para el mejoramiento de esta.</p>	<p>Construcción de sistemas de biotratamiento con macrófitas acuáticas (biojardineras e islas flotantes), para disminuir la carga de nutrientes del agua que entra a los humedales***. Utilizar la morfología de los ensanchamientos de los arroyos por los que se descargan las aguas contaminadas para ampliarlos embalsando el líquido y</p>	<p>Porcentaje de reducción del valor del IHCA-CR en cada humedal (según los resultados de esta investigación). Aumento en el valor del índice BMWP en cada</p>	<p>UCR a través de proyectos de investigación y monitoreo, prácticas de cursos, los TCU, y actividades de acción social dirigidas a promover la participación</p>	<p>Estas son acciones de alta prioridad, pues de no mejorarse la calidad del agua, aunque otras estrategias se lleven a cabo, el problema de eutrofización en los embalses</p>

	<p>aumentar su tiempo de retención. Con ello, se busca favorecer la expansión de macrófitos emergentes en cuyos tallos coloniza la película de microorganismos, que contribuye a reducir la concentración de nitratos (Comín 2015).</p>	<p>humedal (según los resultados obtenidos por el TCU Rescate de la Microcuenca de la quebrada Estero a partir del año 2015).</p>	<p>comunal en la implementación y mantenimiento de estas iniciativas. Municipalidad.</p>	<p>persistirá, por lo que los costes de mantenimiento serían mucho más altos.</p>
<p>Concientización a la comunidad sobre las prácticas adecuadas del uso del alcantarillado, y sobre alternativas para evitar la contaminación desde los hogares, escuelas y empresas.</p>	<p>Ofrecer charlas, talleres y cursos sobre alternativas ecológicas para el tratamiento de aguas y buenas prácticas para el manejo de aguas residuales; por ejemplo: construcción y mantenimiento de biojardineras, reutilización de aguas jabonosas para regar plantas, productos de limpieza natural y amigable con el ambiente, mantenimiento adecuado de tanques sépticos***.</p>	<p>Número de talleres, cursos y charlas impartidas. Cantidad de participantes.</p>	<p>UCR a través de proyectos de TCU y cursos libres. Instituto Nacional de Aprendizaje (INA)</p>	<p>Alta prioridad, pues de la comunidad depende que se dé un uso adecuado de las estrategias anteriores para evitar la contaminación.</p>

Conocimiento de la estructura de la red trófica de los humedales y su potencial para la biomanipulación.	Desarrollar investigaciones sobre la red trófica, con el fin de determinar el potencial de biomanipulación para mejorar la calidad del agua, mediante la utilización de comunidades clave (generalmente peces, para aumentar la actividad de los organismos filtradores y conseguir así reducir la cantidad de fitoplancton (Del Olmo 2008) <sup>***</sup> .	Número de investigaciones realizadas y publicaciones derivadas.	UCR, MINAE.	Prioridad media, podría ser un complemento a las estrategias anteriores.
--	--	---	-------------	--

---

**Objetivo específico B2:** Controlar el depósito y arrastre de residuos sólidos hacia los humedales para el mejoramiento de la calidad del hábitat, el paisaje y la prevención de inundaciones.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Control de los residuos sólidos que llegan por arrastre a través de los afluentes.	Instalación de mallas o rejillas de retención, trampas de basuras, sedimentadores o desarenadores ubicados en los sitios de entrada de los afluentes al humedal. Estas	Número de rejillas, trampas o sedimentadores instalados. Frecuencia de	Municipalidad de San Ramón.	Alta, debido a que esta es una de las principales causas de los desbordamientos e inundaciones.

	estructuras requerirán mantenimiento periódico para garantizar que cumplan adecuadamente con su función y evitar riesgos por represamiento.	limpieza y mantenimiento.		
Remoción total de basuras en los humedales y sus rondas	Campañas participativas de recolección de basura en los humedales y sus rondas***.	Número de campañas realizadas y de participantes. Cantidad de desechos recolectados.	UCR (TCU). Municipalidad. Asociación de desarrollo. Empresas, grupos organizados y vecinos.	Alta, ya que es una de las primeras acciones en cualquier proyecto de rehabilitación de humedales.
Educación ambiental respecto al reciclaje, reutilización,	Llevar a cabo charlas, talleres, cursos y capacitaciones dirigidos a las comunidades vecinas sobre buenas prácticas de manejo de residuos sólidos	Número de talleres, cursos y charlas impartidas. Cantidad de	UCR a través de proyectos de TCU y cursos libres. Municipalidad.	Alta, ya que de la comunidad depende que se dé un uso adecuado de las estrategias anteriores

reducción,  
rechazo y  
adecuado manejo  
de los residuos  
sólidos en  
hogares,  
empresas e  
instituciones.

en el hogar, escuelas y  
empresas\*\*\*.

participantes.

para evitar la  
contaminación.

Establecimiento  
del programa  
“Adopte una  
quebrada”  
(Laidlaw *et al.*  
1996) en la  
microcuenca.

Creación de un grupo comunal  
dispuesto a ejecutar el  
programa en esta quebrada.

Número de  
personas  
involucradas en  
el programa.

Comunidades  
vecinas, con  
apoyo de la  
UCR.

Alta, ya que  
aumentaría las  
probabilidades de  
éxito de este plan.

---

\*\*\* Actividades en proceso de planeamiento o ejecución.

### **C. Suelo y sedimentos**

Este programa está orientado a proponer soluciones a los problemas de erosión en la microcuenca. Los sedimentos y el suelo son la memoria de un ecosistema desde un punto de vista geótico y biótico e influyen en la dinámica del humedal, por lo cual la preparación del terreno es la primera de las actuaciones para efectuar satisfactoriamente el resto de acciones previstas para frenar la degradación de los humedales (Del Olmo 2008).

Por ejemplo, el agua de lluvia fluye desde las partes altas de cada cuenca, mediante un proceso que inicia con la retención del agua en el suelo, favorecida por la vegetación nativa presente en la cabecera de una cuenca. Aunque puede haber cierto arrastre de materiales del lecho, al existir un colchón de vegetación en las riberas se logra evitar que los torrentes resulten demasiado erosivos. Pero, si se remueve la cubierta vegetal se sumarán al cauce más materiales del suelo y la cantidad de sedimentos será mucho mayor al llegar a los humedales de la parte baja (Sánchez 2007).

En esta microcuenca, al igual que en todo nuestro país, 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 (Bermúdez et al. 2016), por lo que la protección del suelo es fundamental en la rehabilitación de los humedales.

Por otro lado, investigaciones paleoambientales sobre registros de sedimentos en lagos naturales y humedales proporcionan información relacionada con la flora, el clima, los regímenes de incendios y las perturbaciones tanto naturales como humanas de épocas pasadas (Horn 2007, Horn y Haberyan 2016), por lo que constituyen un registro histórico invaluable que vale la pena conservar.

Esta sección está dirigida a proponer estrategias para el control de los problemas de erosión identificados en esta microcuenca y que a su vez afectan los humedales mediante procesos de colmatación, que provocan el rápido desgaste de los embalses y altos costos de mantenimiento (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** *Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de suelo y disminución de la carga de sedimentos.*

**Objetivo general del componente C:** Proteger los suelos de la microcuenca de la erosión por malas prácticas de manejo de suelos.

**Objetivo específico C1:** Sensibilizar a los agricultores de la microcuenca sobre técnicas de agricultura sostenible para la protección del suelo.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Promoción de buenas prácticas agrícolas en la microcuenca.	Realizar capacitaciones a los agricultores de la microcuenca en temas relacionados con las buenas prácticas agrícolas, que permiten la reducción de la erosión, por lo tanto, la conservación del suelo y de los humedales, por ejemplo: agricultura orgánica, uso de riego y drenaje adecuado, extensificación agraria, cultivos alternativos, mejora del barbecho tradicional, rotación de cultivos, implementación de nuevos sistemas de laboreo menos agresivos (Del Olmo 2008).	Número de capacitaciones realizadas. Cantidad de participantes. Reducción en la carga de sedimentos que arrastra la quebrada Estero (es necesaria una línea base).	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). UCR. Municipalidad.	Es fundamental, ya que mientras exista erosión en la microcuenca, los humedales se mantendrán en un continuo proceso de degradación, aumentando las necesidades de recursos económicos y humanos para mantenimiento.

**Objetivo específico C2:** Reducir la cantidad de sedimentos que acarrea la quebrada a los humedales, y causan su colmatación y la disminución de la transparencia de las aguas que afecta su productividad primaria.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Reducción en la cantidad de sedimentos que son arrastrados y depositados en los humedales.	Rehabilitar la vegetación nativa de las riberas sembrando o permitiendo el crecimiento natural de las especies de hierbas, arbustos y árboles, mencionadas en el Cuadro 12***.  Reforzar márgenes de los humedales o dar consistencia al terreno mediante estructuras que actúan de barrera, realizadas con materiales naturales como: rulos de fibra, rulos rompeolas, tapices de fibra vegetal, tapices de semilla, lechos de plantas, estructuras de sedimentación y algas artificiales, descritos por Del Olmo (2008).	Porcentaje de suelos sin cobertura rehabilitados.  Disminución en la concentración de sedimentos en el agua de los humedales y aumento en la transparencia del agua (turbidez).  Porcentaje de los márgenes de los humedales intervenidos para su reforzamiento.	MAG. UCR. Municipalidad. Propietarios.	Alta, ya que el arrastre de sedimentos ha sido una de las principales causas de la colmatación de los embalses.  De no hacerse nada, los esfuerzos de dragado en estos tendrían efecto a muy corto plazo.

\*\*\* Actividades en proceso de planeamiento o ejecución.

**Cuadro 12.** Especies nativas y naturalizadas recomendadas para reducir la erosión en la microcuenca alta de la quebrada Estero, por sus buenas propiedades de crecimiento, resistencia, cobertura abundante y raíces profundas, para el control de la erosión y estabilización de taludes.

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Hábito</b>
<i>Adiantum pedatum</i>	Helecho	Hierba
<i>Allamanda cathartica</i>	Jalapa	Arbusto
<i>Arthrostylidium judziewiczii</i>	Carrizo	Hierba
<i>Arundina graminifolia</i>	Orquídea bambú	Arbusto
<i>Athyrium skinneri</i>	Helecho	Hierba
<i>Axonopus compressus</i>	Zacate dulce	Hierba
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú	Hierba
<i>Blechnum pyramidatum</i>	Sornia	Hierba
<i>Blechnum occidentale</i>	Helecho de ladera	Hierba
<i>Brickellia diffusa</i>	Bodoque	Hierba
<i>Bromelia pinguin</i>	Piñuela	Hierba
<i>Calathea crotalifera</i>	Platanilla	Hierba
<i>Calea ternifolia</i>	Calea	Arbusto
<i>Calea urticifolia</i>	Hierba del perro	Arbusto
<i>Calea zacatechichi</i>	Zacatechichi	Arbusto
<i>Carludovica palmata</i>	Estococa	Hierba
<i>Chamaedorea costaricana</i>	Pacaya	Arbusto
<i>Chusquea pittieri</i>	Carrizo	Hierba
<i>Clematis acapulcensis</i>	Yáquil	Hierba
<i>Commelina diffusa</i>	Canutillo	Hierba
<i>Conyza bonariensis</i>	Rama negra	Hierba
<i>Cordia spinescens</i>	Bejuco negro	Arbusto
<i>Costus pulverulentus</i>	Caña agria	Hierba
<i>Critonia billbergiana</i>	Critonia	Arbusto
<i>Critonia morifolia</i>	Suelda con suelda	Arbusto
<i>Critonia sexangularis</i>	Critonia	Arbusto
<i>Cyclospermum leptophyllum</i>	Zanahoria silvestre	Hierba
<i>Decachaeta thieleana</i>	Noroba	Arbusto
<i>Diphysa americana</i>	Guachipelín	Árbol
<i>Dracaena americana</i>	Caña de indio	Arbusto
<i>Drymaria cordata</i>	Cinquitos	Hierba
<i>Furcraea cabuya</i>	Cabuya	Hierba
<i>Guadua angustifolia</i>	Guadua	Hierba
<i>Gynerium sagittatum</i>	Caña brava	Hierba
<i>Heliconia imbricata</i>	Platanilla	Hierba
<i>Heliconia irrasa</i>	Platanilla	Hierba
<i>Heliconia latispatha</i>	Platanilla	Hierba

<i>Heliconia tortuosa</i>	Platanilla	Hierba
<i>Heterocondylus vitalbae</i>	Jacalaca	Hierba
<i>Hyptis mutabilis</i>	Verbena negra	Hierba
<i>Lantana camara</i>	Cinco negritos	Arbusto
<i>Lasianthaea fruticosa</i>	Quitirrisí	Arbusto
<i>Lasiacis nigra</i>	Carrizo	Hierba
<i>Macroptilium erythroloma</i>	Poroto de monte	Hierba
<i>Melanthera aspera</i>	Paira	Hierba
<i>Melanthera nivea</i>	Paira	Hierba
<i>Miconia argentea</i>	Lengua de vaca	Árbol
<i>Montanoa hibiscifolia</i>	Tora	Arbusto
<i>Odontonema tubiforme</i>	Espiga de fuego	Arbusto
<i>Oxalis debilis</i>	Trébol	Hierba
<i>Paspalum fasciculatum</i>	Gramalote	Hierba
<i>Passiflora biflora</i>	Calzoncillo	Hierba
<i>Paullinia barbadensis</i>	Ojo de pájaro	Arbusto
<i>Pennisetum purpureum</i>	Zacate elefante	Hierba
<i>Phyllanthus caroliniensis</i>	Hierba moradilla	Hierba
<i>Plantago major</i>	Llantén	Hierba
<i>Piper umbellatum</i>	Cordoncillo	Hierba
<i>Pitcairnia heterophylla</i>	Bromelia	Hierba
<i>Polybotrya alfredii</i>	Helecho de ladera	Hierba
<i>Robinsonella lindeniana</i>	Jocorró	Arbusto
<i>Rumex obtusifolius</i>	Ruibardo	Hierba
<i>Sapium glandulosum</i>	Yos	Árbol
<i>Sida ulmifolia</i>	Escobilla	Arbusto
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Zacate San Agustín	Hierba
<i>Tradescantia zanonía</i>	Cohitre blanco	Hierba
<i>Tridax procumbens</i>	Hierba del burro	Hierba
<i>Vernonia stellaris</i>	Tuete	Arbusto
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Vetiver	Hierba
<i>Wedelia trilobata</i>	Margarita rastrea	Hierba
<i>Yucca guatemalensis</i>	Itabo	Arbusto
<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	Árbol

**Fuentes: Alvarado-García et al. 2011; Alvarado 2013; Alvarado-García et al. 2014; Bermúdez et al. 2016.**

#### **D. Especies exóticas, invasoras y depredadores domésticos**

Este programa busca atender los problemas de alta dominancia en especies vegetales detectados en algunos de los humedales, control de especies exóticas y evitar el ingreso de animales domésticos (Cuadro 13).

Los humedales alterados son muy susceptibles a ser invadidos y por lo tanto es necesario tener un conocimiento claro sobre la historia de vida, ecología y métodos de control y erradicación de las especies invasoras (Cárdenas e Insuasty 2011). Este tipo de especies genera la desaparición de flora y fauna nativas que por lo general poseen requerimientos espaciales, ecofisiológicos y de alimento muy específicos. Como consecuencia, se pierden servicios ecosistémicos como el control de plagas relacionadas con vectores de enfermedades, polinización de cultivos y dispersión de semillas, entre otros (Urbina-Cardona y Castro 2011).

En los humedales de esta microcuenca se determinó que en algunos sectores del pantano y en el embalse El Laguito existe alta dominancia de unas pocas especies, lo que va en detrimento de la oferta de diferentes hábitats y recursos para la fauna. Es necesario controlar el pasto exótico, como lágrimas de san pedro (*C. lacryma-jobi*), en varios sectores del pantano y especies como *P. acuminata* y *L. hexandra* que, aunque son nativas, han invadido la totalidad del embalse El Laguito en detrimento de la diversidad de plantas acuáticas y de la oferta de hábitats para la fauna.

Además, la cercanía con asentamientos urbanos hace que depredadores domésticos, como perros y gatos, tengan acceso a los humedales, lo que constituye uno de los principales factores tensionantes (Calderón 2008). Por ejemplo, los gatos domésticos son una de las 100 especies invasoras más dañinas del mundo (Ruiz y Ferreras 2011) y los perros, además de la depredación, pueden afectar indirectamente a la fauna silvestre al modificar comportamientos como el apareamiento o la incubación, pueden generar contaminación por sus excrementos y son vectores de enfermedades zoonóticas (Calderón 2008).

**Cuadro 13.** *Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para el control de especies exóticas, invasoras y depredadores domésticos.*

**Objetivo general del componente D:** Controlar las poblaciones de especies exóticas, invasoras y de depredadores domésticos para la conservación y rehabilitación de la biodiversidad nativa de los humedales.

**Objetivo específico D1:** Retirar y/o controlar la cobertura y propagación de especies vegetales invasivas y/o exóticas en los sitios de alta dominancia.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Monitoreo de las poblaciones de especies exóticas para su debido control.	Hacer inventarios de la vegetación acuática al menos dos veces al año para identificar la presencia de especies exóticas y, en caso de encontrarlas, manejar sus poblaciones o eliminarlas completamente.	Identificación y eliminación de especies exóticas (ver el Cuadro 14).	UCR, municipalidad y MINAE.	Alta, ya que es una de las principales amenazas en los humedales.
Aumento en la diversidad de especies de plantas acuáticas,	Generar pequeños disturbios que permitan una regeneración natural mediante técnicas de remoción manuales o con maquinaria liviana, que eliminen no solo la vegetación emergente, sino la red	Disminución del índice de dominancia y aumento en el de diversidad de plantas acuáticas de los	UCR mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de	Alta, pues de esto depende también la diversidad

<p>semiacuáticas y tolerantes en los humedales, los cuales actualmente están dominados por pocas especies.</p>	<p>de raíces y rizomas que inhibe la conformación de bancos de semillas y de otros propágulos naturales.</p> <p>No usar herbicidas. Retirar y controlar la propagación de plantas invasivas mediante el método de Bradley o entresacado manual (deshierbe recurrente de la franja litoral con herramientas manuales, para mantenerla libre de invasoras (IDEADE 2009)), que debe realizarse periódicamente según las características de crecimiento y desarrollo de las plantas a erradicar. En ciertas ocasiones el control debe hacerse entresacando secciones que permitan la recuperación del espejo de agua y del flujo adecuado.</p> <p>Plantar especies nativas que puedan desplazar a las exóticas por competencia y permitan agotar el banco de semillas de las invasoras (Díaz 2011).</p>	<p>humedales.</p> <p>Disminución del porcentaje de cobertura de las especies dominantes invasoras.</p> <p>Aumento en la estructura vegetal de los humedales, por ende, en el número de hábitats disponibles para la fauna.</p> <p>Aumento en la diversidad de aves acuáticas que utilizan los hábitats de cada humedal.</p>	<p>curso del área ambiental. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de parte de la UCR.</p>	<p>de hábitats y recursos para la fauna.</p>
--	---	---	---	--

**Objetivo específico D2:** Establecer barreras naturales protectoras alrededor de los humedales, que impidan la entrada de depredadores domésticos y al mismo tiempo sirvan para el aislamiento del ruido y protección contra la erosión.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Creación de barreras vegetales para la protección contra depredadores domésticos y aislamiento de la zona litoral del disturbio humano.	Establecer cercas vivas y sembrar especies espinosas en la ronda exterior de los humedales, por ejemplo, especies del género <i>Rubus</i> (moras y frambuesas), que sirven de barrera y proporcionan alimento para la fauna silvestre.	Longitud de las cercas establecidas. Número de especies que componen las cercas.	UCR en el embalse El Laguito. Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de la UCR.	Alta, debido que de esto depende que las poblaciones de especies silvestres mantengan tamaños viables y poblaciones saludables.

**Cuadro 14.** *Especies de vegetación acuática exóticas y/o invasivas conocidas para Costa Rica y cuyas poblaciones deben ser sometidas a control preventivo en caso de que se establezcan en los humedales de la quebrada Estero.*

<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Hábito</b>
<i>Eichornia crassipes</i>	Lirio acuático	Flotante
<i>Salvinia</i> spp.	Helecho acuático	Flotante
<i>Egeria densa</i>	Elodea	Sumergida
<i>Hidrylla verticillata</i>	Elodea, hidrila	Sumergida
<i>Coix lacryma-jobi</i>	Lágrimas de San Pedro	Emergente
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Cola de zorro acuática	Sumergida
<i>Typha</i> spp.	Junco, enea	Emergente
<i>Hydrodictyon reticulatum</i>	Alga	Sumergida
<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua	Flotante
<i>Azolla</i> spp.	Helecho acuático	Flotante
<i>Lemna</i> spp.	Lenteja de agua	Flotante
<i>Elodea</i> spp.	Elodea	Sumergida
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Pimentero de Brasil	Árbol

**Fuentes:** Acosta-Arce 2006; Agüero-Alvarado 2006; Bonilla-Barboza y Santamaría 2014.

## **E. Flora y fauna nativa**

Por un lado, la vegetación acuática y semiacuática aporta múltiples beneficios para el buen funcionamiento de los humedales. Por esto, conseguir el desarrollo de la vegetación es parte de las actuaciones prioritarias que se deben realizar para contribuir con el objetivo final de rehabilitación.

Para restablecer la vegetación nativa puede bastar con recuperar las condiciones apropiadas para que germine el banco de semillas que se encuentra de forma natural en los suelos (si no han sido extraídos o rellenados) y que la vegetación surja de manera natural (Del Olmo 2008). En la teoría sobre restauración de humedales, a esto se le conoce como “autodiseño”, con el cual las plantas se establecen según su propia adaptabilidad a las condiciones hidrológicas creadas.

Con el fin de establecer la capacidad regenerativa de la vegetación en el humedal a partir de su banco de semillas, se deberán realizar investigaciones que fundamenten los diseños de revegetalización y manejo de la vegetación determinándose las áreas del humedal que pueden ser fuente de semillas y de las cuales se tomarán los bancos donadores de semillas (áreas donde se removerá una sección superficial del suelo que aloja semillas, bulbos, raíces y otro tipo de propágulos) (IDEADE 2009).

Sin embargo, en muchos casos se debe recurrir al “diseño”, es decir, el plantado de ciertas especies, que se suponen adecuadas, con el fin de acelerar la sucesión natural (Colonnello *et al.* 2014). En estos casos, la colonización natural de la vegetación se debe complementar con introducciones controladas, extracciones selectivas y manejo físico de los sustratos. Las diferentes intervenciones se deben realizar de manera gradual y con la posibilidad de hacer ajustes en la medida que los indicadores muestren si los resultados previstos se están logrando o no (IDEADE 2009).

Por otro lado, las características físicas de los humedales, como tamaño, forma, perfil de profundidades, presencia y distribución de flora emergente, y proximidad con otros humedales, influyen mucho sobre la diversidad y abundancia de fauna

acuática (Green y Figuerola 2003). Además, es necesario monitorear la calidad del agua, pues se relaciona con la carga de sedimentos, materia orgánica y otros contaminantes, que a su vez permite o impide el desarrollo de poblaciones de invertebrados y de plantas necesarias para la alimentación de los vertebrados (SDA *et al.* 2008).

También se deben tomar en cuenta las comunidades vegetales ribereñas, ya que desempeñan funciones primordiales para el óptimo funcionamiento de los humedales (Carrasco *et al.* 2014). El cumplimiento de estas funciones se relaciona con el ancho de la franja de retiro y las características de las plantas, por lo cual, las zonas de retiro de nacientes, quebradas y ríos deben ser consideradas áreas protegidas en las que predomine la vegetación boscosa natural o plantada (Arroyave *et al.* 2011).

La recuperación de la vegetación riparia debería ser un proceso natural, sin más intervención humana que la de evitar nuevas agresiones y asegurar el espacio suficiente para esta regeneración. Sin embargo, a veces es preciso llevar a cabo una repoblación para acelerar el proceso. En este caso, es necesario utilizar arbustos y árboles de carácter ripario de fácil enraizamiento y de especies autóctonas de carácter local (nativas) que son las mejor adaptadas al medio, por lo cual se desarrollan mejor y se encuentran en equilibrio con los demás organismos de los ecosistemas naturales de la zona (Magdaleno 2011).

Finalmente, también se debe asegurar la conservación de los fragmentos de bosque existentes, pues son puntos de referencia que cumplen funciones específicas como recurso para capacitar a las comunidades en estudios fenológicos y en programas de recolección de semillas, tanto para usos alternativos del bosque como para la obtención del material vegetal requerido en la implementación de las demás estrategias (Arroyave *et al.* 2011).

A continuación, se detallan las acciones propuestas para la rehabilitación, manejo y conservación de la biodiversidad nativa en la microcuenca y sus humedales.

**Cuadro 15.** *Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa para la rehabilitación de la flora y fauna nativas.*

**Objetivo general del componente E:** Mantener una alta diversidad de especies de flora y fauna acuática, semiacuática y terrestre, así como un patrón de variedad de mosaicos de hábitats en todos los humedales y la microcuenca.

**Objetivo específico E1:** Recuperar atributos estructurales y funcionales del ecosistema tanto acuático como litoral en los embalses que serán dragados.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Establecimiento natural o artificial de especies de vegetación nativa en los humedales dragados.	Permitir la regeneración de vegetación nativa proveniente de semillas de los humedales cercanos.  Monitorear el proceso de colonización, así como los cambios en las coberturas de las especies, en caso de que sea necesario tomar alguna acción de manejo.  Cuando la vegetación no se establezca de forma natural, será necesario revegetar con plantas acuáticas y semiacuáticas nativas traídas de los humedales vecinos o de viveros. En el	Listado de las especies que se establecen de forma natural mediante un seguimiento mensual de la vegetación.  Diversidad de especies establecidas.  Abundancia de cada especie.  Área de cobertura de la vegetación.  En caso de que se deban sembrar las especies:	UCR mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental.  Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir.	Es fundamental para el apropiado funcionamiento del ecosistema y la provisión de los servicios ecosistémicos deseados.

Cuadro 16, se mencionan algunas de las especies acuáticas y semiacuáticas nativas de la zona. La selección de especies se realiza teniendo como criterios las características morfológicas de estas, además de sus funciones como alimento y hábitat para fauna (principalmente aves y pequeños mamíferos), y como inductores para el proceso de sucesión.

número de las que se siembran.  
 Área por tipo de hábitats conformados por la vegetación sembrada.

**Objetivo específico E2:** Desarrollar investigaciones que permitan conocer el comportamiento de los bancos de semillas de plantas acuáticas, y los requerimientos para su germinación y crecimiento.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Conocimiento sobre los bancos de semillas, y su germinación y crecimiento.	Estudiar del banco de semillas de cada humedal y reproducción en vivero del banco de semillas para que pueda ser utilizado en la siembra en los humedales mediante trasplante.	Lista de especies presentes en los bancos de semillas. Datos sobre germinación, crecimiento y sobrevivencia.	UCR mediante proyectos de investigación y prácticas de cursos del área ambiental.	Importante en el caso de que la vegetación no se establezca de forma natural en los embalses.

**Objetivo específico E3:** Mejorar la oferta de hábitats para la fauna mediante la diversificación estructural, y funcional de la vegetación acuática, semiacuática y tolerante.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Reconstrucción de la zonación vegetal con especies nativas y aumento en el número y tipos de hábitats y fuentes de alimento disponibles para la fauna.	Siembra y control de especies que aporten nuevos tipos de hábitat a cada humedal (Ver Cuadro 16). Establecer islotes e islas flotantes que sirvan tanto de refugio para la fauna, como para la purificación del agua por medio de las macrófitas. Creación y/o mantenimiento de los siguientes tipos de hábitat: pradera emergente herbácea (graminoide y/o juncoide), pradera flotante herbácea, vegetación flotante errante, vegetación enraizada con hojas flotantes y pradera enraizada sumergida (ver Figura 5).	Número de hábitats distintos disponibles para la fauna. Número de especies de fauna que utilizan los hábitats: aves, anfibios, reptiles, peces, mamíferos e invertebrados.	UCR en el embalse El Laguito mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental. Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de la UCR.	Fundamental, pues permite mejorar las condiciones de la biodiversidad en la microcuenca, para así contribuir a su conservación.

**Objetivo específico E4:** Enriquecer el hábitat en la ronda para el mejoramiento de la oferta de recursos para la fauna.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Desarrollo de franjas de vegetación terrestre en las orillas de los humedales desprovistas de cobertura de plantas.	Siembra de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas propias del lugar, tomando como referencia los remanentes que aún quedan en la microcuenca o en otros sitios cercanos (ver en los Cuadros 9 y 12 las especies recomendadas). Evitar el uso de especies que puedan ser invasoras y evitar la homogenización de la periferia procurando diversidad de densidades. Mantener las diferencias florísticas y tipos fisonómicos de cada franja para reforzar el movimiento de fauna a través del ecotono agua-tierra (IDEADE 2009). Realizar campañas participativas para la siembra de plantas***.	Superficie del área de ronda humedal cubierta por vegetación terrestre propia de este ecosistema. Composición de comunidades de vegetación terrestre: diversidad y abundancia por grupo/época de lluvias y época seca. Estructura de comunidades de vegetación terrestre (tipos estructurales por zona por año). Número de personas de la comunidad que participan en este proceso de siembra.	UCR en el embalse El Laguito mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental. Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de parte de la UCR. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Ministerio de Ambiente y Energía.	Fundamental, ya que lograría mejorar las condiciones de la biodiversidad en la microcuenca y así contribuir a su conservación.

<p>Enriquecimiento del hábitat para la fauna en las zonas de protección de los humedales.</p>	<p>Establecer perchas vivas y muertas para el paso o establecimiento de especies de fauna, y sembrar especies frutales apetecidas por la fauna, así como refugios para anidación, ya sean de tipo natural, por medio del establecimiento de especies de vegetación sobre la ronda o de tipo artificial. Para cualquiera de los dos tipos, es necesario conocer de antemano los requerimientos a nivel de refugio para las especies de fauna y en especial de avifauna (IDEADE 2009).</p>	<p>Composición de la fauna que utiliza estos ecosistemas: riqueza de especies, abundancia y diversidad (en época de lluvias y seca por año).</p>	<p>UCR en el embalse El Laguito mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental Municipalidad de San Ramón en el embalse El Porvenir Propietarios privados en el pantano, con ayuda de la UCR.</p>	<p>Fundamental, para mejorar las condiciones de la biodiversidad en la microcuenca y así contribuir a su conservación</p>
---	--	--	--	---

**Objetivo específico E5:** Establecer corredores ecológicos entre humedales y parches de bosque para el establecimiento de condiciones para la dispersión de semillas y fauna.

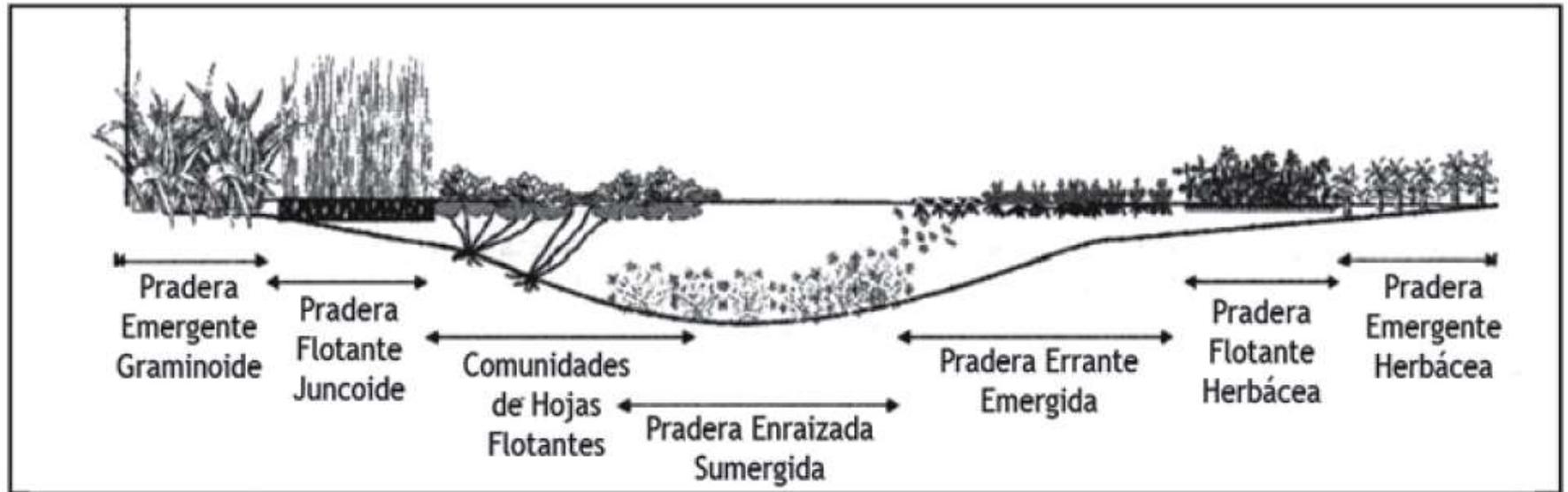
<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	
Mejoramiento de la conectividad entre elementos del paisaje natural.	Siembra de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas propias del ecosistema natural (Anexos 5 y 7) que sirvan como corredores biológicos entre los humedales, y entre estos y los parches boscosos remanentes de la microcuenca***.	Superficie de vegetación establecida entre ecosistemas acuáticos y terrestres. Composición de la fauna que utiliza los corredores para desplazarse de un ecosistema a otro.	UCR mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental. Municipalidad. Propietarios privados en el pantano, con ayuda de parte de la UCR. Comunidades aledañas.	Fundamental para mejorar las condiciones de la biodiversidad en la microcuenca y su conservación
Conservación y protección de los remanentes de bosques riparios en la zona.	Prohibición de cambios en el uso del suelo en estas áreas. Compra o expropiación de zonas de los remanentes para su	Área de remanentes protegidos.	Municipalidad de San Ramón. MINAE. UCR. Propietarios privados.	Alta prioridad por los múltiples servicios ecosistémicos que proveen.

conservación.

Cumplimiento de la anchura mínima de la franja de vegetación riparia de protección establecida en la Ley Forestal.	Delimitar las anchuras necesarias en cada punto, según la pendiente. En las rondas donde no se cumpla lo establecido por la ley, sembrar árboles, arbustos y hierbas recomendados en los Cuadros 9 y 12.	Mapa de zonas de protección necesarias para cumplir la Ley Forestal. Área sembrada. Número de especies y tipos estructurales de vegetación sembrada y establecida.	UCR mediante proyectos de investigación, TCU y prácticas de cursos del área ambiental. Municipalidad de San Ramón. Propietarios privados. MINAE.	Además de cumplir con la Ley, es importante para mantenerlos como refugios de vida silvestre.
--	---	--	---	---

---

\*\*\* Actividades en proceso de planeamiento o ejecución.



Fuente: SDA 2008.

**Figura 5.** Perfil generalizado de los tipos estructurales de vegetación acuática y semiacuática en un humedal.

**Cuadro 16.** Plantas acuáticas y semiacuáticas nativas de Costa Rica.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Hábito</b>
Alismataceae	<i>Echinodorus botanicorum</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Echinodorus paniculatus</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Echinodorus subalatus</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Echinodorus tenellus</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Sagittaria guyanensis</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Sagittaria lancifolia</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Sagittaria latifolia</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Sagittaria rhombifolia</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Hydrocleys parviflorus</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Limnocharis flava</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Limnocharis laforesti</i>	Sumergida
Amaranthaceae	<i>Achyranthes indica</i>	Emergente
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	Flotante
Arecaeae	<i>Bactris guineensis</i>	Arbusto
Asteraceae	<i>Eclipta alba</i>	Emergente
Asteraceae	<i>Eclipta prostrata</i>	Emergente
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i>	Emergente
Cabombaceae	<i>Cabomba furcata</i>	Sumergida
	<i>Cabomba palaeformis</i>	Sumergida
Cannaceae	<i>Canna indica</i>	Emergente
	<i>Canna lutea</i>	Emergente
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>	Sumergida
	<i>Ceratophyllum muricatum</i>	Sumergida
Characeae	<i>Chara zeylanica</i>	Sumergida
	<i>Nitella acuminata</i>	Sumergida
	<i>Nitella cernua</i>	Sumergida
	<i>Nitella furgata</i>	Sumergida
	<i>Nitella translucens</i>	Sumergida
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>	Emergente
Convolvulaceae	<i>Ipomoea carnea</i>	Arbusto
	<i>Ipomoea panamensis</i>	Arbusto
Cucurbitaceae	<i>Cayaponia attenuata</i>	Emergente
Cyperaceae	<i>Cyperus articulatus</i>	Emergente
	<i>Cyperus digitatus</i>	Emergente
	<i>Cyperus giganticus</i>	Emergente
	<i>Cyperus flavicomus</i>	Emergente
	<i>Cyperus niger</i>	Emergente
	<i>Cyperus odoratus</i>	Emergente
	<i>Eleocharis elegans</i>	Emergente
	<i>Eleocharis interstincta</i>	Emergente
	<i>Eleocharis mutata</i>	Emergente

	<i>Fimbristylis spadicea</i>	Emergente
	<i>Fuirena umbellata</i>	Emergente
	<i>Hemicarpha micrantha</i>	Emergente
	<i>Mariscus panamensis</i>	Emergente
	<i>Oxycaryum cubense</i>	Emergente
Elatinaceae	<i>Bergia capensis</i>	Emergente
Euphorbiaceae	<i>Caperonia palustris</i>	Emergente
	<i>Phyllanthus niruri</i>	Emergente
Fabaceae	<i>Acacia farnesiana</i>	Arbusto
	<i>Aeschynomene sensitiva</i>	Emergente
	<i>Albizia guachepele</i>	Arbusto
	<i>Cassia patellaria</i>	Arbusto
	<i>Neptunia natans</i>	Flotante
	<i>Neptunia plena</i>	Flotante
	<i>Mimosa pigra</i>	Arbusto
Haloragidaceae	<i>Proserpinaca pectineta</i>	Sumergida
Hydrocharitaceae	<i>Halophila baillonis</i>	Sumergida
	<i>Halophila decipiens</i>	Sumergida
	<i>Limnobium laevigatum</i>	Flotante
	<i>Thalassia testudinum</i>	Sumergida
Lemnaceae	<i>Lemna aequinoctialis</i>	Flotante
	<i>Lemna gibba</i>	Flotante
	<i>Lemna valdiviana</i>	Flotante
	<i>Lemna perpusilla</i>	Flotante
	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Flotante
	<i>Wolffiella welwitschii</i>	Flotante
	<i>Wolffiella lingulata</i>	Flotante
Lentibulariaceae	<i>Utricularia foliosa</i>	Sumergida
	<i>Utricularia gibba</i>	Sumergida
	<i>Utricularia hydrocarpa</i>	Sumergida
	<i>Utricularia purpurea</i>	Sumergida
	<i>Utricularia pusilla</i>	Sumergida
Lythraceae	<i>Rotala ramosior</i>	Emergente
Malvaceae	<i>Kosteletzkiya pentasperma</i>	Emergente
	<i>Malachra radiata</i>	Emergente
Marantaceae	<i>Thalia geniculata</i>	Emergente
Marsileaceae	<i>Marsilea deflexa</i>	Enraizada con hojas flotantes
Mayacaceae	<i>Mayaca fluviatilis</i>	Sumergida
Najadaceae	<i>Najas arguta</i>	Sumergida
	<i>Najas guadalupensis</i>	Sumergida
	<i>Najas wrightiana</i>	Sumergida
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea amazonum</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea ampla</i>	Enraizada con hojas flotantes

	<i>Nymphaea blanda</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea conardii</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea glandulifera</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea lotos</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea mexicana</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nymphaea prolifera</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Nuphar advena</i>	Enraizada con hojas flotantes
Onagraceae	<i>Ludwigia hyssopifolia</i>	Emergente
	<i>Ludwigia inclinata</i>	Emergente o flotante
	<i>Ludwigia leptocarpa</i>	Emergente
	<i>Ludwigia sedoides</i>	Emergente
	<i>Ludwigia torulosa</i>	Emergente
Plantaginaceae	<i>Benjaminia reflexa</i>	Emergente
Poaceae	<i>Brachiaria mutica</i>	Emergente
	<i>Echinochloa polystachya</i>	Emergente
	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	Emergente
	<i>Homolepsis aturiensis</i>	Emergente
	<i>Isachne polygonoides</i>	Emergente
	<i>Leersia hexandra</i>	Emergente
	<i>Leptochloa panicoides</i>	Emergente
	<i>Oryza latifolia</i>	Emergente
	<i>Panicum dichotemum</i>	Emergente
	<i>Panicum geminatum</i>	Emergente
	<i>Panicum laxum</i>	Emergente
	<i>Panicum parvifolium</i>	Emergente
	<i>Paspalum orbiculatum</i>	Emergente
	<i>Paspalum repens</i>	Emergente
	<i>Paspalum vaginatum</i>	Emergente
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Emergente
	<i>Paspalidium geminatum</i>	Emergente
Podostemonaceae	<i>Marathrum aff. tenue</i>	Sumergida
	<i>Tristicha hypnoides</i>	Sumergida
	<i>Polygonum hispidum</i>	Emergente
	<i>Polygonum punctatum</i>	Emergente
	<i>Polygonum segetum</i>	Emergente
	<i>Ceratopteris pteridoides</i>	Flotante o emergente
	<i>Thelypteris totta</i>	Emergente
Pontederiaceae	<i>Eichornia heterosperma</i>	Flotante
	<i>Eichornia limosa</i>	Flotante
	<i>Heteranthera limosa</i>	Sumergida-flotante
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton foliosus</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Potamogeton illinoensis</i>	Enraizada con hojas flotantes
	<i>Potamogeton pusillus</i>	Enraizada con hojas flotantes

Rubiaceae	<i>Borregia sp</i>	Emergente
Ruppiaceae	<i>Ruppia maritima</i>	Sumergida
Salviniaceae	<i>Azolla filiculoides</i>	Flotante
	<i>Azolla mexicana</i>	Flotante
	<i>Salvinia auriculata</i>	Flotante
	<i>Salvinia minima</i>	Flotante
Scrophulariaceae	<i>Bacopa repens</i>	Emergente
	<i>Bacopa salzmanni</i>	Emergente
Typhaceae	<i>Typha dominguensis</i>	Emergente

---

**Fuentes: Bumby 1982; Crow y Rivera 1986; Crow et al. 1987; Crow 1993.**

## **F. Participación social**

Mitigar los problemas ambientales requiere una participación social constante e información detallada de la percepción social sobre la problemática. Por lo tanto, el éxito en los planes de recuperación ambiental depende de que la comunidad se comprometa y sea capaz de cambiar comportamientos cotidianos que impactan el ambiente (Marín-Muñiz y Hernández 2016). Para hacer efectiva la participación comunitaria, las instituciones, la academia y las organizaciones deben estar articuladas para desarrollar conocimientos, sensibilización, educación ambiental y apropiación de los proyectos de rehabilitación ecológica, pues en estas aulas abiertas se despierta la motivación, el convencimiento y las iniciativas de los cambios que se requieren (Camacho-Ballesteros 2016).

También es importante involucrar a grupos comunales que, por lo general, no son tomados en cuenta en los procesos de toma de decisiones pero que tienen la intención de incidir en las esferas públicas para defender intereses propios y de la naturaleza. Para esto, los programas formativos deben estar vinculados a los procesos de construcción de poder ciudadano en el ámbito local, los cuales busquen la creación o consolidación de grupos civiles y organizaciones de base que abran o amplíen sus posibilidades de contribuir con la solución de problemas de carácter social y ecológico (Amsteins 2013). Las acciones propuestas para este programa se presentan en el Cuadro 17.

**Cuadro 17. Objetivos, metas, acciones, indicadores y responsables del programa de participación social.**

**Objetivo general del componente F:** Generar competencias ambientales ciudadanas, mediante estrategias comunicativas y educativas, que garanticen una gestión social del ecosistema de humedal para su conservación, así como la construcción de conocimiento social del territorio.

**Objetivo específico F1:** Sensibilizar a la población adyacente al humedal acerca de la importancia de la recuperación, protección y conservación del ecosistema por su valor paisajístico, reservorio de vida silvestre y servicios ecosistémicos como amortiguador de inundaciones.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/Acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Hacer que la población de la microcuenca y otras áreas aledañas sean conscientes de la importancia de los humedales.	Realizar un sondeo de percepciones, actitudes y comportamientos ambientales de la población de la microcuenca y zonas aledañas***. Con base en el sondeo, desarrollar charlas, cursos libres y talleres dirigidos a diferentes sectores de la comunidad, en temas relacionados con los humedales: importancia para amortiguar inundaciones, adaptación al cambio climático, refugio de vida silvestre, valor paisajístico, servicios ecosistémicos, etc***.	Número de personas consultadas en el sondeo. Cantidad de cursos impartidos y de participantes. Número de páginas disponibles en internet y de personas que la consultan o la siguen.	Universidad de Costa Rica. INA. Municipalidad. INAE.	Alta, pues de esto dependen los impactos que reciban los humedales de parte de la comunidad

Crear sitios o páginas disponibles en la web y en redes sociales, donde se brinde información sobre la importancia de los humedales para la sociedad\*\*\*.

**Objetivo específico F2:** Crear espacios para que la comunidad tenga oportunidad de participación en la toma de decisiones y ejecución de proyectos relacionados con la rehabilitación, mantenimiento y protección de los humedales.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Creación de una red de organizaciones comunales interesadas en participar en la rehabilitación de los humedales.	Levantar una lista de actores sociales, organizaciones y colectivos de trabajo comunitario interesados en participar. Desarrollar talleres participativos para la organización y ejecución de las actividades de rehabilitación. Llevar a cabo campañas participativas para realizar acciones a favor de los humedales, por ejemplo: de limpieza, de reforestación, de mantenimiento, entre otras***.	Número de actores y organizaciones contactados e interesados. Cantidad de talleres y de participantes. Número de campañas participativas desarrolladas y de personas participantes. Número de proyectos propuestos y desarrollados por la comunidad.	UCR. Municipalidad.	Alta, ya que la participación comunitaria es fundamental para lograr el éxito de este plan, especialmente en el largo plazo.

**Objetivo específico F3:** Desarrollar una estrategia de comunicación y divulgación con enfoque pedagógico y de amplia cobertura, dirigida a la comunidad para mantenerla informada sobre los avances y resultados de este plan.

<b>Metas</b>	<b>Actividades/Acciones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Responsables</b>	<b>Prioridad</b>
Hacer que toda la información tanto científica como empírica, producida durante la ejecución de este plan, esté disponible para la comunidad.	Crear material didáctico de fácil comprensión para todo tipo de público sobre los avances y resultados de este plan de rehabilitación. Coordinar con diferentes medios de comunicación para divulgar las actividades realizadas y sus resultados***.	Número de publicaciones producidas. Cantidad de medios de comunicación que colaboren con la divulgación.	UCR. INA. Municipalidad. Grupos organizados. Medios de comunicación.	Alta, debido a que la comunidad debe estar informada en todo momento de los avances y resultados del proyecto para que no se sienta excluida.

\*\*\* Actividades en proceso de planeamiento o ejecución.

#### 4.5.2. Monitoreo

Dentro de un proceso de restauración o rehabilitación ecológica, el monitoreo es el seguimiento y evaluación continuos sobre los cambios que experimenta el ecosistema bajo los diferentes tratamientos aplicados (Vargas *et al.* 2012).

El monitoreo de los humedales de la quebrada Estero permitirá: 1) controlar que la inversión se haya hecho de la forma planificada en monto y tiempo; 2) determinar si se están cumpliendo o se han cumplido los objetivos a corto plazo y las metas a largo plazo; 3) administrar el proyecto de forma adaptativa para hacer ajustes en respuesta a amenazas o resultados repentinos y 4) extraer lecciones aplicables a otros proyectos (Murcia *et al.* 2015). También permitirá la detección temprana de las desviaciones que podrían ocurrir debido a nuevas perturbaciones de origen antrópico y conocer las condiciones ecológicas de los humedales durante determinados períodos (Ahumada *et al.* 2011).

Para que sea efectivo, el monitoreo debe acompañar al proceso de rehabilitación desde el diagnóstico sobre el estado inicial del ecosistema y continuar durante la implementación de los tratamientos y su desarrollo, hasta terminar cuando se considere que el ecosistema ha recuperado su integridad ecológica (Vargas *et al.* 2012).

Además, el monitoreo requiere una línea base de información definida como la primera medición de todos los indicadores especificados en dicho rastreo (Burgos 2011). Para los humedales de la quebrada Estero, los resultados obtenidos en la primera parte de esta investigación, constituyen dicha línea base, sobre la cual se evaluará el éxito de la rehabilitación.

Este seguimiento se debe realizar a través de un sistema de indicadores sencillo e integral y que pueda ser evaluado con los instrumentos disponibles. Este sistema es la herramienta para conocer el estado de cada humedal en un tiempo determinado y permitirá ver los cambios más gruesos del ecosistema en relación con un estado de referencia. Asimismo, permitirá aprender sobre la experiencia y hacer un manejo adaptativo del proceso (IDEADE 2009).

El objetivo general de este monitoreo será desarrollar un plan para evaluar los efectos sobre las acciones de rehabilitación y manejo que se lleven a cabo en la microcuenca alta de la quebrada Estero. Los objetivos específicos serían 1) Evaluar durante todo el proceso los efectos de las actividades de restauración que se lleven a cabo. 2) Disponer en forma oportuna de información relacionada con los cambios (eliminación o mitigación) en los factores que tensionan los cuerpos de agua y las rondas, sobre el control en la proliferación de especies acuáticas, restablecimiento del régimen hidrológico y la participación que la comunidad tenga en los proyectos. 3) Disponer de información apropiada para la toma de decisiones frente a resultados imprevistos durante la ejecución del plan.

Las actividades necesarias para cumplir los objetivos corresponden al monitoreo de las diferentes variables necesarias para el seguimiento de cada componente de este plan de rehabilitación. Las variables a seguir corresponden, al menos, a los indicadores mencionados en los Cuadros del 8 al 13 y se toman como línea base los resultados obtenidos en esta investigación.

La frecuencia de monitoreo debe ser permanente durante el desarrollo del proyecto de rehabilitación (cada mes). En el caso de las variables fisicoquímicas, se debe hacer evaluación de datos históricos cada dos temporadas (seca y lluviosa), para los ecológicos, cada dos temporadas (seca y lluviosa) y en caso de sistemas sin intervención, será considerado un monitoreo cada cuatro años. Se pueden incluir otras variables adicionales dependiendo de los recursos económicos y humanos disponibles.

Además, la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER), propone nueve atributos (Anexo 5) , los cuales deberían ser considerados como guía al finalizar la rehabilitación para conocer si el proceso fue exitoso (SER 2004, citado por Ramírez *et al.* 2015).

## **Monitoreo participativo con la comunidad**

En la evaluación técnica y científica de los indicadores, es fundamental la inclusión de las comunidades vecinas en el proceso, pues el monitoreo participativo es una forma de acercar las comunidades a proyectos de rehabilitación ecológica (Murcia *et al.* 2015). Consiste en la participación de personal no científico para coleccionar datos e información de campo, que serán analizados por especialistas (Burgos 2011).

Esto contribuye a que los actores locales desarrollen un sentido de pertenencia con el proyecto, observen y cuantifiquen los cambios generados por las acciones de rehabilitación en sus propias condiciones de vida (Murcia *et al.* 2015). Además, permite una mejora en la gestión y gobernanza a través de un sentido de corresponsabilidad y de participación activa entre la sociedad y las instituciones públicas (Amsteins 2013).

El programa de monitoreo ambiental debe estar constituido por la ciudadanía, creado y coordinado por autoridades locales y apoyado por la academia. De esta forma, se puede incluir información científica en la toma de decisiones, comunicar información disponible en un lenguaje más accesible y combatir la desvinculación entre actores (Amsteins 2013).

Por lo tanto, el objetivo del monitoreo participativo sobre la rehabilitación de los humedales en la microcuenca de la quebrada Estero será que los ciudadanos, de manera organizada, participen en el rastreo de los impactos ambientales de la actividad y la vigilancia. Para lograrlo se necesita:

- El primer paso será sensibilizar a la ciudadanía con información y/o capacitación sobre la importancia del monitoreo y vigilancia participativos y sobre la trascendencia de que cada persona se comprometa con un manejo ambiental adecuado de sus actividades cotidianas (Ménard 2011).
- Posteriormente se debe llevar a cabo el diseño participativo de un modelo de registro, seguimiento y control social mediante la metodología de Investigación-Acción Participativa (Perdomo 2010).

- También es recomendable conformar un comité compuesto por actores sociales y representantes multisectoriales tanto de las municipalidades como del gobierno central, cuyas funciones sean:
  - Facilitar la participación ciudadana organizada.
  - Proponer el reglamento interno, el plan de trabajo anual, realizar el seguimiento y evaluación del plan de trabajo.
  - Capacitar a los participantes sobre los diferentes métodos de monitoreo.
  - Recopilar y analizar los datos obtenidos durante el monitoreo.
  - Difundir los resultados de las acciones de vigilancia entre la población de su área de influencia
  - Ser el interlocutor en los encuentros y actividades que se desarrollan entre los diferentes actores involucrados en los temas que conciernen las acciones de vigilancia.
  - Para maximizar la incidencia del comité se recomienda convocar también a representantes de las instituciones de la región (Ménard 2011).
  - En los casos que se requiera contar con recursos económicos, por ejemplo, para realizar toma de muestras y análisis de laboratorio, el comité deberá explorar las posibilidades de financiamiento y colaboración de instituciones públicas, el sector privado, ONGs, cooperación internacional, fundaciones o donaciones (Ménard 2011).

En cuanto a qué se puede monitorear, en el Cuadro 18 se muestra un ejemplo modificado de Perdomo (2010), quien llevó a cabo un proceso similar al propuesto. Incluye los indicadores a seguir de fácil interpretación para cualquier miembro de la comunidad, por lo que se puede utilizar como guía en el monitoreo participativo en esta microcuenca. También pueden ser de utilidad los manuales de monitoreo participativo de Páez y Rivas (2011), Georgia adopt-a-stream (2004) y Doher *et al.* (1997).

**Cuadro 18.** Ejemplos de indicadores para el monitoreo participativo comunitario.

<b>Indicadores componente biótico-categoría fauna</b>		
<b>Presencia o ausencia mamíferos propios del ecosistema</b>		
<b>Resultado</b>	<b>Color</b>	<b>Significado</b>
Presencia.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Ausencia.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
<b>Presencia/ausencia de peces en el humedal</b>		
Presencia.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Ausencia.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
<b>Presencia/ausencia de anfibios en el humedal</b>		
Registro en cinco o más puntos	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Registro en cuatro Puntos.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Registro en tres Puntos.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ausente o registro en menos de tres puntos.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
<b>Presencia/ausencia de especies de avifauna propias del ecosistema de humedal registrada</b>		
Registro en más de tres o más puntos.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Registro en dos puntos.	Amarillo	El indicador no es totalmente satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Registro en un punto.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ausente.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
<b>Presencia/Ausencia de especies depredadoras de fauna silvestre (perros/gatos)</b>		
Ausente	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Observación de menos de 5 individuos.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de las especies o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

Observación de por lo menos 5 individuos.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de las especies o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Observación de 10 o más Individuos.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza las especies y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Indicadores componente biótico-categoría flora

#### Presencia/ ausencia de especies de flora acuática y semiacuática propia del humedal (nativa)

Abundante y diversa, con mínimo 8 especies.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Abundante poco diversa, con por lo menos 4 especies.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Escaso, observación de muy poca vegetación acuática o semiacuática	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ausente	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

#### Presencia/ ausencia de especies de flora acuática invasora y/o exóticas

Muy escaso, observación en menos del 20 % del espejo de agua.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Escaso, observación en menos del 40 % del espejo de agua.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio ecosistémico.
Abundante, en menos del 60 % del espejo de agua.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema
Muy abundante, en el 60 % o más del espejo de agua.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

#### Presencia/ ausencia de especies de flora terrestre propia

Abundante y diversa, con mínimo 20 especies.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Abundante, poco diversa con por lo menos 15 especies.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Escaso, observación de muy poca vegetación terrestre.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ausente	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Indicadores componente físico-categoría calidad del agua

#### Presencia/ausencia de olores asociados a mala calidad del agua

No desagradable.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Desagradable.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ofensivo.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Muy ofensivo.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

#### Presencia/ausencia de líquidos o sólidos flotantes provenientes de procesos de contaminación

Ausente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Escaso, observación de líquidos o sólidos en un solo sector del espejo de agua.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Abundante, observación de líquidos o sólidos en dos sectores del Espejo de agua.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Muy abundante, observación de líquidos o sólidos en tres o más sectores del espejo de agua.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Indicadores componente físico-categoría regulación hídrica

#### Presencia/ausencia de espejo de agua

Más del 80 % del área posible está despejada.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Menos de 60 % del área posible está despejada.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Menos de 40 % del área posible está despejada	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un alto deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de la especie o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
Ausencia de espejo.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

#### Incremento/disminución del nivel de agua

Nivel del agua es igual o superior al nivel máximo históricamente registrado	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Nivel del agua es inferior 20 centímetros o más del nivel mínimo históricamente registrado	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Presencia/ausencia de afluentes hídricos (entrada de agua)

Ingreso de agua en, por lo menos, cinco canales de agua lluvia.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
Ingreso de agua en por lo menos cuatro canales de agua lluvia.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de las especies o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema
Ingreso de agua en menos de cuatro canales de agua lluvia.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un ligero deterioro y/o amenaza para la sobrevivencia de las especies o la sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.
No hay ingreso de agua.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza las especies y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Presencia/ausencia de efluentes hídricos (salida del agua)

Se observa corriente del efluente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al proceso de conservación y recuperación del humedal.
No se observa corriente de salida de agua.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un deterioro extremo que amenaza la especie y/o sostenibilidad y equilibrio del ecosistema.

### Indicadores componente sociocultural-categoría conflictos socioambientales

#### Presencia/ausencia de contaminación por vertimientos domésticos

No se observa corriente de vertimientos.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto a la presión que las actividades humanas generan, lo cual facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Se observa corriente de vertimientos.	Rojo	El indicador es crítico, la presión de las actividades humanas está incrementando visiblemente el deterioro del ecosistema, lo que afecta de manera negativa su proceso de conservación y recuperación.

#### Presencia /ausencia de focos de disposición de basuras y escombros

Ausente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto a la presión que las actividades humanas generan, lo cual facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Escaso, presencia de Focos en un sector.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas genera un ligero deterioro que no facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Abundante, presencia de focos en dos sectores.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas representa un alto deterioro que dificulta el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Muy abundante, presencia de focos en tres o más sectores.	Rojo	El indicador es crítico, la presión de las actividades humanas está incrementando visiblemente el deterioro del ecosistema, lo que afecta de manera negativa su proceso de conservación y recuperación.

### Presencia/ausencia de invasión de ronda

Ausente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto a la presión que las actividades humanas generan, lo cual facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Escaso, presencia de tres o menos estructuras o viviendas que invaden la ronda.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas genera un ligero deterioro que no facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Abundante, presencia de cinco o menos estructuras o viviendas que invaden la ronda.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas representa un alto deterioro que dificulta el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Muy abundante, presencia de seis o más estructuras o viviendas que invaden la ronda.	Rojo	El indicador es crítico, la presión de las actividades humanas está incrementando visiblemente el deterioro del ecosistema, lo que afecta de manera negativa su proceso de conservación y recuperación.

### Presencia/ausencia de ganado y/o pastoreo de ganado

Ausente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto a la presión que las actividades humanas generan, lo cual facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Escaso, menos de tres ejemplares.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas genera un ligero deterioro que no facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Abundante, mínimo tres ejemplares.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, la presión de las actividades humanas representa un alto deterioro que dificulta el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Muy abundante, más de cinco ejemplares.	Rojo	El indicador es crítico, la presión de las actividades humanas está incrementando visiblemente el deterioro del ecosistema, lo que afecta de manera negativa su proceso de conservación y recuperación.

### Presencia/ausencia de cerramiento perimetral adecuado

Se observa encerramiento en todo el perímetro del humedal.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, lo que facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
No se observa encerramiento en todo el perímetro del humedal.	Rojo	El indicador es crítico, lo que afecta negativamente el proceso de conservación y recuperación del humedal.

### Presencia/ausencia de infraestructura que afecte negativamente el humedal

No se observa infraestructura que afecte negativamente.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto a la presión que las actividades humanas generan, lo cual facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Se observa infraestructura que afecte negativamente.	Rojo	El indicador es crítico, la presión de las actividades humanas está incrementando visiblemente el deterioro

		del ecosistema, lo que afecta de manera negativa su proceso de conservación y recuperación.
<b>Presencia/ausencia de zonas de inseguridad para los visitantes o comunidad vecina</b>		
Inseguridad para los visitantes o comunidad vecina.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, lo que facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Se observan zonas de inseguridad para los visitantes o comunidad	Rojo	El indicador es crítico, lo que afecta negativamente el proceso de conservación y recuperación del humedal.
<b>Indicadores componente sociocultural-categoría participación y organización social</b>		
<b>Presencia/ausencia de organizaciones o grupos sociales vinculados a conservación del humedal</b>		
Participación de por lo menos diez organizaciones	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, lo que facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Participación de por lo menos seis organizaciones.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad en el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Participación de por lo menos cuatro organizaciones.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad en el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Participación de tres o menos organizaciones.	Rojo	El indicador es crítico, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad en el proceso de conservación y recuperación del humedal
<b>Número de instituciones educativas que participan en el desarrollo de actividades relacionadas con el humedal</b>		
Tres o más instituciones.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, lo que facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Dos instituciones.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad educativa en el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Solo una institución.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad educativa en el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Ausencia.	Rojo	El indicador es crítico, debe incrementarse el nivel de gestión para involucrar a la comunidad educativa en el proceso de conservación y recuperación del humedal.
<b>Presencia/ausencia de infraestructura apropiada para actividades educativas</b>		
Presencia.	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, lo que facilita el proceso de conservación y recuperación del humedal.
Ausencia.	Rojo	El indicador es crítico, lo que afecta negativamente el proceso de conservación y recuperación del humedal.
<b>Indicadores componente sociocultural-categoría salud</b>		
<b>Presencia/ausencia de zancudos transmisores de enfermedades</b>		
Ausente	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al riesgo que factores relacionados con el humedal pueden tener en la afectación de la salud pública.

Escaso.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un bajo nivel de riesgo para la afectación de la salud pública
Abundante.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un nivel de riesgo medio para la afectación de la salud pública.
Muy abundante.	Rojo	El indicador es crítico. Representa un alto nivel de riesgo para la afectación de la salud pública.
<b>Presencia o ausencia de roedores plaga (ratas)</b>		
Ausente	Verde	El indicador está en un nivel adecuado, respecto al riesgo que factores relacionados con el humedal pueden tener en la afectación de la salud pública.
Escaso.	Amarillo	El indicador no es satisfactorio, representa un bajo nivel de riesgo para la afectación de la salud pública.
Abundante.	Naranja	El indicador no es satisfactorio, representa un nivel de riesgo medio para la afectación de la salud pública.
Muy abundante	Rojo	El indicador es crítico. Representa un alto nivel de riesgo para la afectación de la salud pública.

**Fuente:** *Perdomo 2010.*

#### 4.5. Manejo

Una vez que se haya ejecutado el plan de rehabilitación y se logren los resultados esperados es posible que el ecosistema ya no requiera más intervención humana para asegurar su futura salud e integridad, en cuyo caso se podrá dar por terminada la rehabilitación.

Sin embargo, los ecosistemas restaurados muchas veces requieren un manejo constante para contrarrestar la invasión de especies oportunistas, los impactos de varias actividades humanas, el cambio climático y otros acontecimientos imprevisibles. Esto implica que se debe establecer un programa de manejo permanente para garantizar su bienestar de ahí en adelante (SER 2004).

En esta microcunca es muy probable que se deba seguir realizando un manejo de los humedales a largo plazo, pues los factores tensionantes de los humedales son difíciles de eliminar por completo debido a la creciente urbanización. Por ejemplo, es muy factible que se deba aplicar un manejo constante a la vegetación acuática si no se elimina del todo la contaminación causada por aguas residuales domésticas, las cuales ocasionan la eutrofización en los embalses. También, habrá que tener un control constante de especies invasoras o exóticas y

eliminarlas en los casos necesarios. El plan de manejo será formulado una vez que se haya llevado a cabo la restauración y se conozcan las nuevas condiciones de los humedales.

#### **4.6. Avances en la ejecución de esta propuesta de rehabilitación**

Como producto de esta investigación se creó el “Programa de Investigaciones para el rescate y la sostenibilidad de la microcuenca alta de la quebrada Estero”, en la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica (UCR-SO). Empezó su vigencia en enero del año 2015 y se dio debido al interés por mantener, recuperar o aumentar los servicios ambientales y por el control de las amenazas y disminución de los impactos negativos identificados en esta investigación, así como por la demanda de contar con espacios recreacionales para la comunidad, y el interés cantonal para que el Laguito sea dragado para prevenir y mitigar inundaciones.

Este programa está integrado por los siguientes proyectos:

- Gestión del Laguito de la Sede de Occidente, UCR. Objetivo: llevar a cabo acciones de manejo para la recuperación del ecosistema acuático.
- Biojardineras para el mejoramiento de la calidad del agua de El Laguito de la Sede de Occidente, UCR. Objetivo: mejorar la calidad de las aguas que descargan en El Laguito con el uso de biojardineras o biofiltros.
- Propuesta de un Jardín Botánico y Escultórico en El Laguito de la Sede de Occidente. Objetivo: restaurar la parte terrestre de El Laguito y convertirlo en un centro de recreación, cultura, y educación ambiental, que a la vez sirva para darle mantenimiento y sostenibilidad al lugar.
- Seguimiento de la planta de tratamiento de aguas de la Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Objetivo: regular la calidad de las aguas residuales que genera la UCR y que desembocan a la quebrada Estero.
- Cambio social precolombino en San Ramón y sus alrededores. Uno de sus objetivos específicos es el estudio de los sedimentos de los humedales para obtener información sobre el pasado de esta región.

- Trabajo Comunal Universitario (TCU) para el rescate de la microcuenca alta de la quebrada Estero. Objetivo: trabajar con las comunidades y centros educativos de la microcuenca por medio de actividades de educación ambiental, campañas de reforestación y limpieza de los humedales.
- Monitoreo de herpetofauna en la parte alta de la microcuenca de la quebrada Estero. Objetivo: monitorear las poblaciones de anfibios y reptiles.
- Evaluación de la ictiofauna de la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela. Objetivo: establecer una línea base de información sobre las comunidades de peces de agua dulce para propósitos de planeación o comparación futura y para la evaluación de las consecuencias a corto y largo plazo de las medidas de manejo y conservación que se apliquen en la microcuenca.
- Diseño de módulos de áreas abiertas con métodos tradicionales y sostenibles de construcción con tierra en El Laguito de la Sede de Occidente. Objetivo: Contribuir a la rehabilitación de El Laguito diseñando los módulos de aulas abiertas sostenibles, con materiales naturales como la tierra y el bambú para que en ellos se lleven a cabo actividades culturales, recreativas y de educación dirigidas a la comunidad.
- Mamíferos pequeños y medianos en la microcuenca de la quebrada Estero, San Ramón Alajuela. Objetivo: generar información base sobre el estado de conservación de mamíferos pequeños y medianos con el fin de que se seleccionen las medidas adecuadas para el manejo del área.
- Diversidad de microalgas de la microcuenca alta de la Quebrada Estero en San Ramón de Alajuela. Objetivo: Identificar las especies de microalgas presentes para interpretar el estado y dinámica actual, dado el valor ecológico y posible uso para biorremediación en el sitio.
- Análisis de datos por estadística espectral, variabilidad climática y caracterización hidroclimatológica de la estación meteorológica de la Sede de Occidente durante los años 2009-2015. Objetivo: Analizar los datos meteorológicos de la estación ubicada en el campus de la Sede de Occidente a

través de estadística espectral, variabilidad climática y caracterización hidroclimatológica durante los años 2009-2015.

- Dragado del embalse el Laguito como medida de mitigación de inundaciones. Responsable: Municipalidad de San Ramón y UCR-SO. Objetivo: recuperar la capacidad de embalse para mitigar inundaciones.

Aunque el programa nació para la rehabilitación del embalse el Laguito, se extendió su alcance a toda la microcuenca alta de la quebrada Estero y sus humedales pues se logró comprender la importancia que tienen estos proyectos a nivel de cuencas, como ya se ha discutido en este documento,

Este programa ha permitido el trabajo conjunto con la Municipalidad de San Ramón para la elaboración del proyecto de dragado del Laguito y reconstrucción de su dique. Durante todo el proceso también se ha contado con el apoyo y participación del MINAE por medio de la oficina regional del SINAC y el Proyecto Humedales. Recientemente también se integró a este proyecto el despacho del diputado de San Ramón Javier Cambroner y el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). Esto asegura la existencia de profesionales responsables implementar y dar seguimiento a esta propuesta, y la incorporación de nuevos proyectos conforme avance la rehabilitación.

Además, su establecimiento ha permitido que algunas de las acciones propuestas en este plan ya se estén ejecutando. Por ejemplo, ya se han realizado actividades de divulgación, campañas de voluntariado para la limpieza del Laguito y la plantación de árboles nativos; se creó una página de Facebook llamada "Recuperemos el Laguito" para mantener a la comunidad informada e intercambiar información, conocer opiniones y aclarar dudas. También se está elaborando un plan de manejo de El Laguito en conjunto con la Red de Áreas Protegidas de la UCR; se están realizando obras de mejora del sitio como la construcción de una malla perimetral, rotulación, arreglo del camino de acceso, restauración de los servicios sanitarios, se hicieron los estudios necesarios para diseñar una

biojardinera para el tratamiento de aguas servidas de una urbanización vecina que descargan en El Laguito y para el diseño de un parque recreativo en este lugar, entre otros proyectos.

Por otra parte, el TCU ha hecho importantes avances en el monitoreo de la calidad del agua, educación ambiental en escuelas y comunidades, recolección de información, entre otras actividades dirigidas al trabajo con comunidades vecinas. Además, el programa cuenta con el apoyo del Consejo Cantonal de Cooperación Interinstitucional (CCCI) de San Ramón, donde la restauración del Laguito fue declarada de interés cantonal. También tiene apoyo de otras instituciones como la Red de Áreas Protegidas de la UCR, Fuerza Pública, Cruz Roja, Ministerio de Salud, Asociación de Desarrollo del distrito de Alfaro, Banco Nacional, Banco Popular, entre otras, además cuenta con el apoyo de grupos de la sociedad civil como Club de Leones, Scouts, Fundación Carbono Neutro, grupo recreativo de estudiantes de la UNED y empresas de la zona.

También ha contado con el apoyo de medios de comunicación nacionales y locales que colaboran en la difusión de las actividades y los resultados obtenidos, entre ellos: Canal 15 UCR, Canal Uno, NotiOccidente, Occidente en 24 Horas, Grupo Extra (la Prensa Libre, la Extra y Extra TV 42), Radio Sideral, El Sol de Occidente, entre otros.

## 5. CONCLUSIONES

Los ecosistemas acuáticos de la microcuenca alta de la quebrada Estero muestran niveles de contaminación que varían desde incipiente hasta muy severos, la más alta es durante la época seca, debido al menor caudal que disminuye el POD y el efecto de dilución. Las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales domésticas grises y negras.

La presencia de aves acuáticas se relaciona con los recursos que pueden obtener de los humedales, lo que a su vez depende de la estructura del hábitat y la composición de la vegetación. El deterioro de los humedales de esta microcuenca ha provocado una disminución en la riqueza de especies de aves acuáticas en la última década, por lo cual, es urgente una intervención en los ecosistemas afectados para asegurar la permanencia de estas.

La diversidad vegetal de esos ecosistemas es importante porque retiene elementos típicos de los humedales costarricenses; las diferencias en la composición de especies dependen del tipo de ecosistema acuático (lótico o léntico) y del régimen de disturbios. Sin embargo, la presencia de especies exóticas dominantes y baja riqueza en algunos puntos como el P2, P3 y EL sugieren procesos de degradación, al mismo tiempo que evidencian la necesidad de rehabilitarlos y aplicarles un manejo adecuado.

Los principales servicios ambientales que cumplen estos humedales son el reabastecimiento de aguas subterráneas, depuración del agua, almacenamiento de carbono, control biológico de plagas, control y mitigación de inundaciones, protección de suelos y sedimentos, regulación climática, adaptación al cambio climático global, sostén de cadenas tróficas, hábitat para la flora y fauna nativa de interés para la conservación. También, proveen agua para algunas actividades agrícolas y domésticas, alimento para ganado, recursos para compostaje y material genético. Finalmente, constituyen un elemento importante del patrimonio cultural y natural de la ciudad de San Ramón, pues son de gran valor paisajístico,

lo cual permite la realización de actividades de investigación, educación ambiental, recreación y culturales.

Por otra parte, los principales impactos de la actividad antrópica y las amenazas a estos ecosistemas incluyen la fragmentación del sistema de humedales, la contaminación del agua, invasión del área inundable y las rondas, así como la pérdida de capacidad de mitigar inundaciones debido a la eutrofización y colmatación. Estos son causados por depósito de escombros y basura, pastoreo y la presencia de depredadores domésticos, prácticas de manejo inadecuadas o inexistentes, invasión de especies que provocan cambios en la estructura y composición de las comunidades biológicas, falta de control y vigilancia, crecimiento acelerado de la urbanización en la microcuenca y los cambios en el uso del suelo.

Debido a lo anterior y porque no existe un ecosistema de referencia e información sobre estos humedales antes de que se degraden, se debe recurrir a una estrategia de rehabilitación ecológica, de forma tal que permita la recuperación de los servicios ambientales que proveen estos humedales. Los principales elementos a intervenir deberán ser: el régimen hidrológico e hidroperíodo, la calidad del agua, el suelo y los sedimentos, las especies invasoras, exóticas y depredadores domésticos, así como la flora y fauna nativas. Además, se debe asegurar la participación social de la comunidad y la coordinación interinstitucional para lograr el éxito de esta propuesta.

La importancia de esta propuesta para el bienestar de la sociedad y la conservación de los ecosistemas llevó a que la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, asumiera la responsabilidad de iniciar el proceso de ejecución de este plan de rehabilitación, mediante la creación del “Programa de investigaciones para el rescate y la sostenibilidad de la microcuenca alta de la quebrada Estero” y el establecimiento de convenios con otras instituciones y grupos organizados de la sociedad civil. Esto ha permitido que algunas de las acciones propuestas aquí ya se estén ejecutando.

## 6. RECOMENDACIONES

Sobre esta propuesta de rehabilitación, el dragado de los embalses, especialmente de El Laguito, debe ser una prioridad, no solo por su valor ecosistémico, sino también por su importancia para la seguridad de la población de la ciudad de San Ramón y por su papel para mitigar inundaciones en eventos de lluvias extremas, por lo tanto, como adaptación al cambio climático.

Se recomienda a la UCR-SO que siga apoyando la ejecución de esta propuesta, en coordinación con las demás instituciones y organizaciones que han manifestado su apoyo e interés por participar en este proceso de rehabilitación. Además, la restauración y rehabilitación abarcan un amplio rango de disciplinas como ecología, hidrobiología, hidrología e hidráulica, geomorfología, ingeniería y es muy importante que, en la planificación e implementación del proyecto, participen personas con experiencia en tales áreas. Por tanto, es necesario que los proyectos sean desarrollados por equipos interdisciplinarios (Del Olmo 2008). Por eso, la UCR debe fomentar la creación de nuevos proyectos que incluyan varias disciplinas, las cuales permitan abarcar todo el rango de temas abordados en este plan.

Es importante que cada institución asuma las responsabilidades que le corresponden para hacer cumplir las leyes relacionadas con temas ambientales.

Debido a que uno de los principales factores tensionantes en esta microcuenca es la contaminación que proviene principalmente de las aguas residuales domésticas no tratadas, se recomienda la creación de un alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento, así como un mantenimiento adecuado de los tanques sépticos. Además, la implementación de humedales artificiales o biojardineras permitiría la remoción de contaminantes, así como la fijación de sedimentos con bajo consumo energético y modesto costo de mantenimiento.

También, se recomienda la protección de las zonas pantanosas por su importante papel en remover la contaminación y en la conservación de la biodiversidad. Asimismo, la reforestación de los márgenes de todos estos humedales, y adecuadas prácticas agrícolas y de ordenamiento territorial en la microcuenca para reducir al máximo los efectos de la erosión y otros aportes por escorrentía. Actualmente, estos pantanos se encuentran en propiedades privadas, por lo que se sugiere hacer los estudios y gestiones necesarios para declararlos como zonas protegidas del Estado.

Además de lo incluido en esta propuesta, como lo indican Hidalgo *et al.* (2015), es indispensable hacer esfuerzos en el mantenimiento de la red vial y de alcantarillado, el cuidado y la limpieza de los ríos, la conservación y reforzamiento de la red de observaciones hidrometeorológicas, el establecimiento de normas de diseño de taludes considerando criterios hidrometeorológicos, la necesidad de actualizar y respetar el ordenamiento territorial, y la inversión tanto en educación como en formación en todos los niveles.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, F. 2007. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. *In* Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. México DF., MX. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). p. 113-144.
- Acosta-Arce, L; Agüero-Alvarado R. 2006. Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. *Agronomía Mesoamericana* 17(2): 213-219.
- Acosta, G; Álvarez, A; Arellano, L; Armenta, J; Caro, Á; Díaz, V; Garza, V; Hernández, A; Herrera V; Osorio, L; Poblano J; Prado, M; Ramos, L; Rincón, M; Rodríguez, P; Romero, D; Romero, J; Salinas, M; Vivero, A; Wong, P. 2016a. Los servicios ecosistémicos. *In* Balvanera, P; Arias-González, J; Rodríguez-Estrella, R; Almeida-Leñero, L; Schmitter-Soto, J. (Eds.). Una mirada al conocimiento de los ecosistemas de México. México DF., MX. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 229- 340.
- Acosta G; Bastida R; Antonio S; Cabrera S; Castro J; Chapa L; Chávez S; Espinosa H; Flores J; García J; Gómez R; Ibáñez, A; Ibarra A; León R; Lobato J; López I; MacGreggor-Fors, I; Martínez, J; Medellín, R; Medina, A; Oliveros, E; Marina, C; Sevillano, L; Valencia, L. 2016b. Impacto de las actividades humanas en la biodiversidad y en los ecosistemas. *In* P. Balvanera, J; Arias-González, R; Rodríguez-Estrella, L; Almeida-Leñero, L; Schmitter-Soto, J. (Eds.). Una mirada al conocimiento de los ecosistemas de México. México DF., MX. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 57-190
- Aguirre, A; Almeida-Leñero, L; Álvarez, A; Amezcua, M; Álvarez, G; Solís, A; Calva, L; Castro, J; Cervantes, L; Chagoya, J; Díaz, V; Díaz, S; Durazo, R; Estrada, F; García, J; González, T; Gutiérrez, F; Ibáñez, A; Ibarra, C; Martínez, A; Medina, A; Montoya, L; Moreno, P; Mosqueda, M; Núñez, E; Orellana, R; Pacheco, I; Padilla, P; Pérez, R; Poblano, J; Salas, D; Sánchez, L; Santos, G; o Torres, M; Valdez, M; Varona, F; Vázquez, G; Velázquez, G; 2016. Herramientas y estrategias para el estudio y la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad. *In* . P. Balvanera, J; Arias-González, R; Rodríguez-Estrella, L; Almeida-Leñero, L; Schmitter-Soto, J. (Eds.). Una mirada al conocimiento de los ecosistemas de México. México DF., MX. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 341-437.
- Ahumada, M; Aguirre, F; Contreras, M; Figueroa, A. 2011. Guía para la conservación y seguimiento ambiental de humedales andinos (en línea). Santiago, CH. Consultado 12 agosto. 2016. Disponible en [http://www.sinia.cl/1292/articles-53554\\_guiaConsSeguimientoHumedales2011.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-53554_guiaConsSeguimientoHumedales2011.pdf)
- Alcocer, J; Barba, E; Díaz, V; Jiménez, M; Lara, A; Sosa, J. 2016. Cambios en la biodiversidad y sus consecuencias en el funcionamiento de los ecosistemas y sus servicios. *In* Balvanera, P; Arias-González, J; Rodríguez-Estrella, R; Almeida-Leñero, L; Schmitter-Soto J. (Eds.). Una mirada al conocimiento de

- los ecosistemas de México. México DF., MX. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 191-228.
- Alvarado-García, V; Bermúdez- Rojas, T; Romero-Vargas, M; Piedra- Castro, L. 2011. Selección de plantas para el control de la erosión hídrica en Costa Rica mediante la metodología de criterio de expertos. *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 p.
- Alves, F.; Mormul, R.; Thomaz, S.; Pott, A.; Pott, V. 2011. Macrophytes in the Upper Paraná River floodplain: Checklist and Comparison with Other Large South American wetlands. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 541-556.
- Alvitez, E; Fernández, A; Peláez, F; Medina, C. 2012. Calidad ecológica de los humedales de la provincia de Trujillo, Perú, en base a la flora acuática, 2012. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo* 32 (1): 64-103.
- Amat, J.; Green, A. 2010. Waterbirds as Bioindicators of Environmental Conditions. *In Conservation Monitoring in Freshwater Habitats*. Springer Netherlands. p. 45-52.
- APHA (American Public Health Association). 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 edition. Washington, DC, US. American Water Works Association, Water Environment Federation. 733 p.
- Amsteins, K. 2013. Monitoreo ambiental participativo y Ciencia ciudadana en el Lago Panguipulli: análisis de caso y propuestas para su conservación, región de Los Ríos, Chile. Trabajo de Titulación presentado como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Conservación de Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile. 63 p.
- Anda-Martín, B; Chavira-Silva, J; Del Toro-Kobzeff, A; Flores-Zavala, R; Jaimes-Lugo, M; González-Acevedo, Z. 2013. Características ambientales de La Lagunita El Ciprés, Municipio de Ensenada, Baja California y las amenazas a su conservación. *GEOS* 33 (2): 1-19
- Andrade, A. 2004. Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. México D.F, MX. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) -Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 110 p.
- Araya, C. 2015. Evaluación del estado socioeconómico del cantón de San Ramón: una aplicación del Método HJ-Biplot. *Pensamiento Actual* 15 (24): 73-81.
- Arroyave, M; Uribe, D; Posada, M. 2011. Restauración ecológica de la zona de ribera del río La Miel Departamento De Caldas, Colombia. *In La restauración ecológica en la práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica (2007, Bogotá, D. C.)*. Memoria. Bogotá, CO. p. 252-259.
- Barrantes, K; Chacón, L; Solano, M; Achí, R. 2013. Contaminación fecal del agua superficial de la microcuenca del río Purires, Costa Rica, 2010-2011. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología* 33(1): 40-45.

- Barrantes, T; González, A. 2012. Informe de proyecto de investigación “Evaluación del hábitat del Bosque Demostrativo de la Sede de Occidente, Alajuela, Costa Rica”. Coordinación de investigación, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica.
- Bergoing, J; Murillo, M. 2012. El asentamiento precolombino en San Ramón y su imbricación geomorfológica. *Revista Geográfica* 151: 113-128.
- Berlanga-Robles, C; Ruiz-Luna, A. 2004. Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales. Sinaloa, MX. Instituto Nacional de Ecología Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Mazatlán. 68 p.
- Bermúdez, T; Piedra, L; Alvarado, V; Castillo, M; Rodríguez, A. 2016. Tecnologías para la rehabilitación en una microcuenca urbana. *Biocenosis* 30 (1-2): 94-99.
- Bonilla-Barboza, J; Santamaría, B. 2014. Plantas acuáticas invasoras en humedales. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos* (21): 33-38.
- Bornette, G; Puijalón, S. 2011. Response of Aquatic Plants to Abiotic Factors: A Review. *Aquat Sci* 73:1-14.
- Bufford, J; González, E. 2012. Manejo del humedal Palo Verde y de las comunidades de aves asociadas a sus diferentes hábitats. *Ambientales* 43:7-16.
- Bumby, M. 1982. Survey of aquatic macrophytes and chemical qualities of nineteen locations in Costa Rica. *Brenesia* 19/20: 487-536.
- Burgos, E. 2011. Plan de monitoreo Biológico ecosistemas humedal de Guaimoreto. Tegucigalpa HN. Fundación Calentura Guaimoreto, Procorredor. 26 pp.
- Cabrera-Cruz, R; González-González, M; Rolón-Aguilar, J; Gaytán-Oyarzún, J. 2015. Indicadores bióticos de calidad ambiental del sur del estado de Tamaulipas, México. Caso de estudio: aves. *In* Pulido-Flores, G; Monks, S; López-Herrera, M; Lincoln, NE. (Eds.). *Estudios en Biodiversidad, Volumen I*. p. 130-141.
- Calderón, L. 2008. Evaluación de la presencia de perros (*Canis familiaris*) en humedales de la sabana de Bogotá (Colombia) y su efecto potencial sobre la fauna silvestre. Tesis de pregrado. Bogotá D.C., CO. Universidad de los Andes. 45 p.
- Calvo, G; Mora, J. 2007. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad de agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón. Parte III: Calidad de cuerpos receptores de agua, según el Sistema Holandés de Valoración. *Tecnología en Marcha* 20: 59-67.
- Calvo, G; Mora, J. 2012. Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología en Marcha* 25 (5): 37-44.
- Camacho-Ballesteros, S. 2016. La restauración ecológica participativa: Una visión juvenil desde el territorio de Ciudad Bolívar *Revista Electrónica Educare* 20(2): 1-11.

- Cárdenas, C; Insuasty, J. 2011. Las invasiones biológicas causas y consecuencias sobre el medio natural. *In* Vargas, O. (Ed.). La restauración ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica (2007, Bogotá, D. C.). Memoria. Bogotá, CO. p. 55-66
- Carrasco, S; Hauenstein, E; Peña-Cortés, F; Bertrán, C; Tapia, J; Vargas-Chacoff, L. 2014. Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial. *Gayana. Botánica* 71(1): 1-9.
- Colonnello, G; Fernández, A; Zambrano-Martínez, S; Gonto, R. 2014. Cambios en la composición de plantas asociadas a humedales como consecuencia de la intervención antrópica. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*. 31: 190-214
- Comín, F.A. 2015. Manual de restauración de humedales en cuencas agrícolas. Huesca, ES. Comarca de Los Monegros. 84 p.
- Convención de Ramsar sobre los Humedales, CH. 1971. Acta final de la Conferencia Internacional sobre la Conservación de los Humedales y las Aves Acuáticas (en línea). Gland, CH. Consultado 12 oct. 2013. Disponible en <http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-documents-cops-1971-final-act-of-the/main>
- Córdoba, R; Romero, J; Windevoxhel, N. 1998. Inventario de los humedales de Costa Rica. San José, CR. UICN/ORMA. 380 p.
- Córdoba, J. 2012. Humedales Ramsar sobreviven en Costa Rica casi sin protección, crítica Contraloría (en línea). San José, CR. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://semanariouniversidad.ucr.cr/pais/humedales-ramsar-sobreviven-en-costa-rica-casi-sin-proteccion-critica-contralora/>
- Córdova-Avalos, A; Alcántara-Carbajal, J; Guzmán-Plazola, R; Mendoza-Martínez, G; González-Romero, V. 2009. Desarrollo de un índice de integridad biológica avifaunístico para dos asociaciones vegetales de la Reserva de la Biosfera Pantanos De Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 25(1):1-22.
- Crow, G. E. 1993. Species diversity in aquatic angiosperms: latitudinal patterns. *Aquat. Bot.* 44: 229-258.
- Crow, G; Rivera-Luther, D. 1986. Aquatic Vascular Plants of Palo Verde National Park, Costa Rica. *Uniciencia* 3 (1-2): 71-78.
- Crow, G; Rivera, D; Charpentier, C. 1987. Aquatic vascular plants of two Costa Rican ponds. *Selbyana*, 31-35.
- Crow, G. 2002. Plantas acuáticas del Parque Nacional Palo Verde y el valle del río Tempisque. Editorial INBIO. Heredia, Costa Rica. 296 p.
- Del Olmo, C. M. 2008. Manual de restauración de humedales mediterráneos. Andalucía, ES. Junta de Andalucía, Consejería del Medio Ambiente. 232 p.
- Díaz, A. 2011. Síntesis simposio sobre Restauración Ecológica y Especies Invasoras. *In* Vargas, O. (Ed.). La restauración ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica (2007, Bogotá, D. C.). Memoria. Bogotá, CO. p.199-210.

- Dohner, E; Simpson, J; Byrne, J; Dates, G; Mayo, A. 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. Environmental Protection Agency: Office of Water (en línea). USA. Consultado 20 dic. 2016. Disponible en <file:///C:/Users/Usuario/Dropbox/0.%20TESIS/Volunteer%20Stream%20Monitoring.pdf>.
- Elmore, B; Welch, J. 2010. Condiciones, Físicas, Químicas, y Biológicas de Aguas Superficiales en Monteverde, Costa Rica. Programa de Adopte-Una-Quebrada Monteverde. Instituto Monteverde (en línea). Monteverde, CR. Consultado 20 set. 2013. Disponible en [http://www.monteverde-institute.org/assets/files/Adopt-A-Stream%20Reports/Informe%20Tecnico\\_2009-2010\\_Monteverde%20Adopte-Una-Quebrada.pdf](http://www.monteverde-institute.org/assets/files/Adopt-A-Stream%20Reports/Informe%20Tecnico_2009-2010_Monteverde%20Adopte-Una-Quebrada.pdf)
- EMM (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio). 2005. Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis. Washington, DC. US. World Resources Institute. 80 p.
- Erwin, K. 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecol. Manage* 17: 71-84.
- Escutia-Lara, Y; Lara-Cabrera S; Gómez-Romero M; Lindig-Cisneros R. 2012. Common reed (*Phragmites australis*) harvest as a control method in a Neotropical wetland in Western México. *Hidrobiológica* 22(2): 125-131.
- Espinal, T; Sedeño, J. E; López, E. 2013. Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista internacional de contaminación ambiental* 29(3), 147-163.
- Esquivel, C. 2013. Cuantificación de las tasas de evapotranspiración de seis coberturas del humedal Palo Verde, Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. Tesis para optar por el grado de licenciatura en ingeniería forestal. Cartago, Costa Rica. Instituto tecnológico de Costa Rica. 30 p.
- Fanlo, A. 2007. La unidad de gestión de las cuencas hidrográficas. Madrid, ES. Editorial Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. 453 p.
- Fisher, S. 2013. Modelo conceptual para la restauración ecológica de humedales: caso de estudio el Humedal de Río Cruces. Seminario de Título de Bachiller. Chile. Universidad de Chile. 102 p.
- Fox, O. 2013. Restauración de humedales urbanos: una oportunidad para la educación ambiental y la participación (en línea). Santiago, CL. Consultado 18 set. 2013. Disponible en <http://www.arguls.cl/2013/05/restauracion-de-humedales-urbanos-una-oportunidad-para-la-educacion-ambiental-y-la-participacion/>
- Franceschi, E; Torres, P; Lewis J. 2010. Diversidad de la vegetación durante su recuperación tras una creciente extraordinaria del Río Paraná Medio (Argentina). *Revista de Biología Tropical* 58(2): 707-716.
- Gallo, M; Rodríguez, E. 2010. Caracterización de paisajes y ecosistemas proyecto demostrativo cuenca baja del río Paz el Salvador–Guatemala. *Wetlands International* (en línea). Wageningen, NL. Consultado 18 ago. 2013. Disponible en

<http://lac.wetlands.org/LinkClick.aspx?fileticket=8ddIQPdaYK4%3D&tabid=2138&mid>

- Garcés, K; Gutiérrez R; Kohlmann, B; Yeomans J; Botero R. 2006. Caracterización del sistema de descontaminación productivo de aguas servidas en la finca pecuaria integrada de la universidad EARTH: I. Las plantas acuáticas Tierra Tropical 2 (2): 177-188.
- García, D. 2013. Humedales del país presentan serios daños, a pesar de la legislación que los protege (en línea). San José, CR. Consultado 30 ago. 2016. Disponible en <http://www.crhoy.com/archivo/humedales-del-pais-presentan-serios-danos-a-pesar-de-legislacion-que-los-protege/#>.
- Garrigues, R; Dean, R. 2007. The Birds of Costa Rica: a Field Guide. Nueva York, US. Zona Tropical. pp. 387.
- Georgia Adopt-A-Stream. 2004. Muestreo Visual de Arroyos (en línea). Georgia, USA. Consultado 30 nov. 2016. Disponible en [http://www.georgiaadoptastream.com/Manuals\\_etc/Spanish/visual.pdf?15-0909](http://www.georgiaadoptastream.com/Manuals_etc/Spanish/visual.pdf?15-0909)
- González, D. 2011. Más allá de la gestión integral en la recuperación de espacios fluviales urbanos (en línea). Álava, ES. Consultado 9 feb. 2014. Disponible en <http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0003/es/contenidos>
- González, D; Jiménez, J; Jiménez, L; Palma, M. 2014. Hechos históricos y conflictos del Laguito, además de su influencia hacia los habitantes de San Ramón, Alajuela desde el año 1949 hasta el 2014. Trabajo de Investigación del curso Seminario de Realidad Nacional II: El Patrimonio Cultural en la Región Occidente. Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente. Sin publicar.
- González, E; Valverde, A. 2010. Efecto del control de tifa, *Typha domingensis* Pers. (Typhaceae), sobre el banco de semillas en el Humedal Ramsar Palo Verde, Costa Rica. Brenesia, (73/74), 64-72.
- Green, A; Figuerola, J. 2003. Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales (en línea). Sevilla, ES. Consultado 25 set. 2013. Disponible en [http://www.ebd.csic.es/andy/Aves\\_como\\_Bioindicadores.pdf](http://www.ebd.csic.es/andy/Aves_como_Bioindicadores.pdf)
- Guido, I; Rodríguez, C. 2011. Avifauna de la ciudad de San Ramón, Alajuela, Costa Rica y su área de expansión urbana. Brenesia 75-76: 23-36.
- Hammel, B; Grayum, E; Herrera, M; Zamora, N. 2003a. Manual de plantas de Costa Rica, Volumen II: Gimnospermas y Monocotiledoneas (Agavaceae-Musaceae). Michigan, US. Missouri Botanical Garden Press. 694 p.
- Hammel, B; Grayum, E; Herrera, M; Zamora, N. 2003b. Manual de plantas de Costa Rica, Volumen III: Monocotiledoneas (Orchidaceae-Zingiberaceae). Michigan, US. Missouri Botanical Garden Press. 884 p.
- Hidalgo, H; Herrero, C; Alfaro, E; Muñoz, A; Mora, N; Mora, D; Chacón, V. 2015. Las aguas urbanas en Costa Rica. In: Vammen, K; De la Cruz, A. (Eds). Desafíos del agua urbana en América. México DF, MX. IANAS y UNESCO. 210- 233 p.
- Horn, S. P. 2007. Late Quaternary Lake and Swamp Sediments: Records of Climate and Environment. In: Central America: Geology, Resources,

- Hazards. Vol. 1. Bundschuh, J; Alvarado, I; Leiden, G.E. (Eds.). The Netherlands. Taylor & Francis/Balkema. p. 423-441.
- Horn, S.P; Haberyan, K.A. 2016. Lakes of Costa Rica. In Kappelle, M. (Ed.). Costa Rican ecosystems Chicago, Illinois, U.S. The University of Chicago Press. p. 656-682.
- IDEA (Instituto de Estudios Ambientales, CO). 2008. Plan de manejo ambiental del humedal Burro: problemática, valoración y evaluación. Universidad Nacional de Colombia (en línea). Bogotá, CO. Consultado 6 set. 2013. Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157>
- IDEADE (Instituto de Estudios Ambientales para el Desarrollo). 2009. Plan de manejo ambiental del Humedal de la Vaca. Bogotá, CO. Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 131 p.
- Jiménez, Q. 2013. Arbolado urbano: beneficios, desaciertos y realidad en el Gran Área Metropolitana. *Ambientico* 232-233: 4-12.
- Laidlaw, T; Jackson, T; Ramírez, A.; Juárez, J. 1996. Adopte una quebrada. Georgia, US. Editorial Athens, GA, University Georgia. 58 p.
- Leandro, H; Coto, J; Salgado, V. 2010. Calidad del agua de los ríos de la microcuenca IV del Río Virilla. *Uniciencia* 24: 69-74
- Leiva, L. 2007. Valoración de la calidad del agua en los principales ríos de las cuencas Grande de Tárcoles y Reventazón, mediante el análisis de la PSO, DBO Y NH<sub>4</sub>, para la clasificación mediante el Sistema Holandés. Informe de práctica de especialidad. Cartago, CR. Instituto Tecnológico De Costa Rica. 82 p.
- Lindig-Cisneros, R; Zambrano, L. 2007. Aplicaciones prácticas para conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. *In* Sánchez, O. (Ed.). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*.
- Lindig-Cisneros, R; Zedler, J. 2005. La restauración de humedales. *In* Sánchez, Ó; Peters, E; Márquez-Huitzil, R; Vega, E; Portales, G; Valdés, M. y Azuara, D.(Eds.). *Temas sobre restauración ecológica*. México, MX. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. U.S. Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación. 255 p.
- Lot, A. 2010. Las monocotiledóneas acuáticas y subacuáticas de México. *Acta botánica mexicana* 100: 135-148.
- Magdaleno, F. 2011. Restauración de bosques riparios de ríos y humedales. *In* Vargas, O. (Ed.) *La restauración ecológica en la Práctica: Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica (2007, Bogotá, D. C.)*. Memoria. Bogotá, CO. p. 131-141.
- Marín-Muñiz, M; Hernández, J. 2016. Actividades de habitantes de Monte Gordo, Veracruz, como factor en cambios de percepción sobre humedales y fenómenos naturales. *RINDERESU* 1 (2): 13-23.
- Marín-Muñiz, M; Hernández J.; Silva, E; Moreno-Casasola, P; 2016. Percepciones sobre servicios ambientales y pérdida de humedales arbóreos en la comunidad de Monte Gordo, Veracruz. *Madera y Bosques* 22(1) 53-69.

- Marsik, M. 2003. Simulation of Flooding Responses to Land Cover Change in the Quebrada Estero Watershed in San Ramón, Alajuela, Costa Rica. Tesis. Mag. Gainesville. University of Florida. 148 p.
- Marsik, M; Waylen, P. 2006. An Application of the Distributed Hydrologic Model CASC2D to a Tropical Montane Watershed. *Journal of Hydrology* 330: 481-495.
- Martella, M; Trumper, E; Bellis, L; Renison, D; Giordano, P; Bazzano, G; Gleiser, R. 2012. Manual de Ecología: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. *Reduca (Biología)* 5 (1): 1-31.
- Martínez, G; Fermín, I; Brito, F; Márquez, A; De La Cruz, R; Rodríguez, G; Pinto, F. 2013. Calidad de las Agua del Caño Mánamo, Delta del Río Orinoco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 52(1): 17-27.
- Ménard, R. 2011. Guía para la Implementación de Comités de Monitoreo y Vigilancia Ambiental Participativos. Lima PE. Proyecto PERCAN. 81 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente Energía, CR); SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR); UICN (Unión Mundial para la Naturaleza, CH); ORMA (Oficina Regional para Mesoamérica, CR). 2001. Política de humedales de Costa Rica. San José, CR. UICN. 25 p
- MINAE (Ministerio de Ambiente Energía, CR). 2007. Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Decreto N° 33903-MINAE-S. La Gaceta N° 178, 17 de setiembre del 2007.
- MINAET (Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones, CR). 2010. Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales. Decreto N° 35803-MINAET. La Gaceta N° 73, 16 abril del 2010.
- Mistry, J; Berardi, A; Simpson, M. 2008. Birds as Indicators of Wetland Status and Change in the North Rupununi, Guyana. *Biodiversity and Conservation* 17(10): 2383-2409.
- Montes, C; Rendón, M; Varela, L; Cappa, M. J. 2007. Manual de restauración de humedales mediterráneos. Sevilla, ES. Consejería de Medio Ambiente. 231p.
- Montoya, S. 2011. Instrumentos de política para la conservación de ecosistemas: caso protocolo distrital de recuperación y rehabilitación de humedales en centros urbanos - Bogotá, Colombia. *In: Vargas, O. (Ed.). La Restauración Ecológica en la Práctica: memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica (2007, Bogotá, D. C.). Memoria. Bogotá, CO. p. 152-164.*
- Mora, C. 2007. Nueva propuesta de diseño para el embalse de regulación y uso múltiple "El Laguito", con el fin de prevenir las inundaciones en la ciudad de San Ramón. Tesis. Ing. San José. Universidad de Costa Rica. 154 p.
- Mora, G; Bolaños, F. 2008. Cuencas hidrográficas: responsabilidad social y ética. *Revista del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos* 231: 16-17.

- Mormul, R; Alves, F; Sala, T; Carvalho, P; Silveira, M; Thomaz, M. 2010. Aquatic macrophytes in the large, sub-tropical Itaipu Reservoir, Brazil. *Revista de biología tropical* 58(4): 1437-1451.
- Moya, M.; Brenes, L. 2014. Oferta de servicios turísticos presente en el cantón de San Ramón, Alajuela Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual* 14 (23): 93-114.
- Murcia, C; Guariguata, M; Montes, E. 2015. Estado del monitoreo de la restauración ecológica en Colombia. *In* Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, CO. p. 18-26.
- Nahlik, A. M; Mitsch, W. J. 2006. Tropical Treatment Wetlands Dominated by Free-Floating Macrophytes for Water Quality Improvement in Costa Rica. *Ecological Engineering* 28(3), 246-257.
- Ordoñez, J. 2011. ¿Qué es una cuenca hidrológica? Lima, PE. Sociedad Geográfica de Lima. 43 p.
- Ortega, H; Chocano, L; Palma, C; Samanez, I. 2010. Biota acuática en la Amazonia Peruana: diversidad y usos como indicadores ambientales en el Bajo Urubamba (Cusco – Ucayali). *Revista Peruana de Biología*. 17(1): 029-035.
- Ortiz, W. 2014. Dinámica de un humedal urbano: cambios históricos en sus coberturas y cambios recientes en la comunidad de aves (Humedal Córdoba, Bogotá). Trabajo de Grado presentado como requisito para optar por el título de Ecólogo. Bogotá CO. Universidad Javeriana. 61 p.
- Páez B. R; H. Rivas S. 2011. Guía de campo para el monitoreo comunitario de calidad de agua. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM, Campus Morelia, MX. 30p.
- Paaby-Hansen, P. 2008. Vacíos en los esfuerzos de conservación de la biodiversidad en aguas continentales de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 54:28-36.
- Perdomo, M. 2010. Diseño participativo de un modelo de seguimiento, monitoreo y control social a los humedales urbanos de Bogotá, D.C. estudio de caso humedal Tibanica. Tesis para optar al título de Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Bogotá CO. Universidad Nacional de Colombia Instituto de Estudios Ambientales 135 p.
- Pérez, R; Pineda R; Medina, M. 2007. Integridad biótica de ambientes acuáticos. *In* Sánchez, Ó; Herzig, M; Peters, E; Márquez-Huitzil, R; Zambrano, L. (Eds.). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México D.F., MX. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 71-112 p.
- Pérez-Castillo, A; Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*. 56(4): 1905-1918.

- Pérez-Castillo, A; Barboza-Mora, R.; Ramos-Matarrita, J. F. 2013. Calidad del agua del refugio mata redonda y los arrozales colindantes, Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. 24(2): 379-392.
- Posada, J; López, M. 2011. Plantas acuáticas del altiplano del oriente Antioqueño, Colombia. Antioquia, CO. Universidad Católica de Oriente. 119 pp.
- Quesada, M. 2000. Transformación en el uso de la tierra: un estudio de la microcuenca quebrada Estero, San Ramón. *Revista Geográfica de América Central* 38: 43-59.
- Quesada, M. 2001. Evaluación socioambiental de la microcuenca quebrada Estero, San Ramón Costa Rica: Informe de investigación. San Ramón, CR. Coordinación de Investigación, Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica. 78 p.
- Quesada, M. 2003. Análisis cronológico de los desbordamientos de la quebrada Estero, San Ramón. *Pensamiento Actual* 4 (5): 35-41.
- Ralph, J; Geupel, G; Pyle, P; Martín, T; Desante, D; Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. California, US. Departamento de Agricultura. 46 p.
- Ramírez, C; Fariña, J; Contreras, D; Camaño, A; San Martín, C; Molina, M; Moraga, P; Vidal, O; Pérez, Y. 2014. La diversidad florística del humedal "Ciénagas del Name" (Región del Maule) comparada con otros humedales costeros de Chile Central. *Gayana Bot* 71(1): 108-119.
- Ramírez, W; Aguilar-Garavito, M; Calle, Z; Cabrera, M. 2015. Introducción al monitoreo en la restauración ecológica. *In* Aguilar-Garavito, M; Ramírez, W. (Eds.). Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá D.C., CO. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt p. 27-33.
- Ramos, L.; Novelo, A. 1993. Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México. *Acta Botánica Mexicana* 25: 61-79.
- Rasoloariniaina, J. R; Ganzhorn, J; Raminosa, N. 2014. Physicochemical and Bacteriological Water Quality Across Different Forms of Land Use on the Mahafaly Plateau, Madagascar. *Water Quality, Exposure and Health* 7(2): 1-14.
- Reyes, F; Morales, J; Dávila V. 2012. Vegetación acuática de los cuerpos de agua de la región maya Tikal- Yaxhá. *Ciencia y Conservación* 3: 14-24.
- Rial, A. 2013. Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota Colombiana* 14 (2): 79-91.
- Riis, T; Olesen, B; Clayton, J. S; Lambertini, C; Brix, H; Sorrell, B. K. 2012. Growth and morphology in relation to temperature and light availability during the establishment of three invasive aquatic plant species. *Aquatic Botany*. 102: 56-64.
- Rodríguez, C; Brenes, L. 2009. Estructura y Composición de dos Remanentes de Bosque Premontano Muy Húmedo en la Reserva Madre Verde, Palmares, Costa Rica. *Pensamiento Actual* 9 (12-13): 115-124.

- Rodríguez, C; Guido, I. 2008. Lista preliminar de la avifauna de la Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica, San Ramón 2006-2008. *Inter. Sedes* 9 (16): 11-22
- Rodríguez, C; Barrantes, T; Guido, I; González, A. 2012. Proyecto Gestión del Laguito de la Sede de Occidente, UCR. Propuesta de proyecto. San Ramón, CR. Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente. 22 p.
- Rodríguez, C; Silva, M. 2015. Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Pensamiento Actual* 15 (25): 85-97
- Rodríguez, C; Silva, M. 2016. Vegetación acuática la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Brenesia* 85-86: 9-20
- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 23(88): 375- 387.
- Ruiz, F. D; Ferreras, P. 2011. Depredación de *Timon lepidus* por gato asilvestrado. *Boletín de la Asociación Herpetológica Española* (22), 148-151.
- Sánchez, G. 2003. Técnicas participativas para la planeación. México DF, MX. Fundación ICA. 344 p.
- Sánchez, Ó. 2007. Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. *In* Sánchez, Ó; Herzig, M; Peters, E; Márquez-Huitzil, R; Zambrano, L. (Eds.). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México DF, MX. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales p 11-36.
- Sánchez G; Valle, D; Scorza, F; Feoli, S; Artavia, R; 2015. Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la GAM. San José, CR. MINAE, Municipalidad de San José y CNFL. 91 p.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010a. Inventario de humedales: Marco de Ramsar para el inventario y la descripción de las características ecológicas de los humedales. 4 ed. Gland, CH. Secretaría de la Convención de Ramsar. 86 p.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010b. Manejo de humedales: Marcos para manejar sitios Ramsar y otros humedales. 4 ed. Gland, CH. Secretaría de la Convención de Ramsar. 103 p.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán 1971). 6 ed. Gland, CH. Secretaría de la Convención de Ramsar. 116 p.
- Schlam, F. H; Salgado, G. M; López, F. P; Díaz, O. M; Serrano, F. R; Merino, P. C. 2006. Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones. *Agrociencia* 40(3), 277-287.
- SDA (Secretaría Distrital del Ambiente, COL). 2008. Protocolo de restauración de humedales en entornos urbanos (en línea). Bogotá, COL. Consultado 2 ago. 2016. Disponible en

- [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=88baf0e0-bcbe-4df9-86dd-bab29a5740b3&groupId=10157](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=88baf0e0-bcbe-4df9-86dd-bab29a5740b3&groupId=10157)
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). 2007. Gruas II. Análisis de vacíos de conservación en Costa Rica: Análisis de Vacíos en la Representatividad e Integridad de la Biodiversidad de los sistemas de aguas continentales. San José, CR. SINAC-MINAE. V 2, 102 p.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, CR). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Proyecto Humedales. 2015. Documento Base Política Nacional de Humedales Costa Rica y sus Planes de Acción Regionales (en línea). San José, CR. Consultado 2 ago. 2016. Disponible en <http://www.politicahumedales.cr/2015/08/documentos.html>
- Smith, T; Smith, R. 2007. Ecología. 6 ed. Madrid, ES. Pearson Educación. 776 p.
- Stolk, M; Verweij, P; Stuij, M; Baker C; Oosterberg, W. 2006. Valoración Socioeconómica de los Humedales en América Latina y el Caribe. Wageningen, NL. Wetlands International. 33 p.
- Trama, F. 2005. Manejo activo y restauración del humedal Palo Verde: Cambios en las coberturas de vegetación y respuesta de las aves acuáticas. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Conservación y Manejo de vida silvestre. Heredia, CR. Universidad Nacional de Costa Rica. 154 p.
- Urbina-Cardona, J; Castro, F. 2011. Distribución del nicho ecológico actual y futuro de anfibios y reptiles invasores: competencias en las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en Colombia. *In*: La restauración ecológica en la práctica. Memorias del I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Colombiano de Experiencias en Restauración Ecológica. Bogotá, CO. Grupo de Restauración Ecológica, Universidad Nacional de Colombia-Greunal p. 180-188.
- Vargas, E. 2010. Caracterización de la avifauna y su relación con las variables físicas del Humedal Laguna Pochotal, Puntarenas, Costa Rica. Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales. Heredia, CR. Universidad Nacional de Costa Rica. 65 p.
- Vargas, O; Reyes, S; Gómez, P; Díaz, J. 2012. Guías técnicas para la restauración ecológica de ecosistemas. Bogotá, Colombia. Grupo de Restauración Ecológica, Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 136 p.
- Valle, D. 2013. Repoblamiento del Bosque urbano en el Cantón de San José. *Ambientico* 232-233: 40-45
- Villareal, M. 2011. Humedales, Guía práctica para proyectos de restauración (en Línea). Quintana Roo, MX. Consultado 13 de feb. 2014. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/48199166/Guia-Humedales-restauracion>
- World Checklist of Selected Plant Families. S.F. (en Línea). Consultado 23 de sep. 2014. Disponible <http://apps.kew.org/wcsp/prepareChecklist>
- World Vision. 2007 Manual de Manejo de Cuencas. Oficina de World Vision Canada (en Línea). Ontario, CA. Consultado 23 de sep. 2013. Disponible en

[http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual\\_de\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Vision\\_Mundial\\_mod.pdf](http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual_de_Manejo_de_Cuencas_Vision_Mundial_mod.pdf)

- Zhen, B; Valverde, C; Valiente, C; Jiménez, F. 2010. Evaluación de la calidad del agua como base para la formulación del plan de cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Costa Rica. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente (56-57): 134-142.
- Zhen-Wu, B. 2010. Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). Research Journal of the Costa Rican Distance Education University, 2(1): 45-61.
- Zepeda, C; Lot, A; Nemiga, X; Manjarrez J. 2014. Banco de semillas y vegetación establecida en los últimos remanentes de los humedales de la Meseta Central Mexicana: las ciénagas de Lerma. Revista de Biología Tropical 62(2): 455-472.

## 8. Anexos

**Anexo 1. Lista de chequeo de los servicios ambientales brindados por los ecosistemas acuáticos: “de aprovisionamiento” (P), “de regulación” (R), “culturales” (C). Fuente: Secretaría de la Convención Ramsar (2010b)**

Servicio ecológico	Sí/No
Agua potable para seres humanos y/o para el ganado (P)	
Agua para la agricultura de regadío (P)	
Agua para la industria (P)	
Reabastecimiento de aguas subterráneas (R)	
Purificación de aguas/tratamiento o dilución de desechos (R)	
Alimentos para seres humanos (P)	
Alimentos para el ganado (P)	
Madera, juncos, fibras y turba (P)	
Productos medicinales (P)	
Agentes de control biológico para plagas/ enfermedades (R)	
Otros productos y recursos, incluido material genético (P)	
Control de inundaciones, diques de contención de inundaciones (R)	
Suelos, sedimentos y retención de nutrientes (R)	
Estabilización de la costa y las riberas y protección contra tormentas (R)	
Otros servicios hidrológicos (R)	
Regulación del clima local/amortiguación del cambio (R)	
Almacenamiento/secuestro del carbono (R)	
Caza y pesca con fines recreativos (C)	
Deportes acuáticos (C)	
Actividades de estudio de la naturaleza (C)	
Otras formas de esparcimiento y turismo (C)	
Valores educativos (C)	
Patrimonio cultural (C)	

Valores estéticos y de “sentido de ubicación” (C)	
Valores espirituales y religiosos (C)	
Sistemas de conocimientos importantes, e importancia para las investigaciones (C)	

## Anexo 2. Lista de chequeo de las principales amenazas a los humedales y sus impacto

Amenaza	Descripción del impacto	Presencia/ ausencia
Fragmentación del humedal	Pérdida de conectividad ecológica. Imposibilita el movimiento de algunas especies acuáticas debido a la construcción de vías, represas, etc.	
Deficiente calidad de agua que ingresa al humedal	Eutrofización Mala calidad de hábitat para flora y fauna Debido a descargas de aguas residuales por ausencia de alcantarillado sanitario	
Pérdida acelerada del área inundable y ronda	Pérdida de área, volumen del cuerpo de agua y del espejo de agua procesos de urbanización en el área de humedal, y por arrastre y deposición de sedimentos Eutrofización	
Pérdida de la capacidad para mitigar inundaciones	Pérdida de capacidad para atenuar caudales, lo que provoca inundaciones y desbordamientos	
Déficit Hídrico	Desvío de caudales Extracción de agua para otros usos	
Depósitos de escombros y basuras	Tiene efecto sobre la calidad del agua y los suelos del humedal Inadecuado manejo de desechos sólidos	
Presencia de predadores domésticos de la fauna	Presencia de ratas, perros y gatos que atacan la escasa fauna que aún persiste en el humedal	
Pastoreo de animales	Compactación del suelo y aportes de excrementos al cuerpo de agua	
Modificación en la composición y estructura de las comunidades bióticas	Pérdida de especies nativas Proliferación de especies invasivas Pérdida de especies acuáticas susceptibles a las altas cargas orgánicas del agua y a la baja oxigenación	
Apropiación y uso inadecuado de las áreas de ronda	Apropiación de estas áreas para desarrollar proyectos de construcción de vivienda	
Actividad urbana adyacente	Impactos por el tráfico, barreras a la movilidad, inseguridad, contaminación con basuras y vertimientos, etc. incompatibilidades de uso del suelo	
Obras de infraestructura vial	Se generan tanto en la etapa de construcción, como en las etapas de operación de las vías, causan ruido, contaminación atmosférica y alteraciones del patrón de flujo hídrico entre otros	
La ausencia de una valoración ambiental y	Facilita el deterioro y la sobreexplotación, ya que a la hora de tomar decisiones sobre el uso que se le debe	

económica de los servicios ecosistémicos que provee el humedal, desconocimiento de estos por el grueso de la sociedad	dar a estos ecosistemas los criterios económicos generalmente priman por encima de consideraciones ecológicas o éticas	
La falta de control y vigilancia en el humedal	Las autoridades competentes no realizan un adecuado control ni vigilancia, lo que propicia el depósito de basuras y el desarrollo de actividades inadecuadas en el humedal	
Problemas relacionados con los derechos de propiedad y uso	Existencia de predios privados en las zonas de humedal y de ronda	
Desarticulación de las actividades de las instituciones pertinentes	Esfuerzos aislados e incompletos, escasa protección, ausencia de manejo, etc.	
Uso del suelo	Puede provocar contaminación, erosión, aumento de la escorrentía, etc.	

**Fuente: IDEA (Instituto de Estudios Ambientales, CO) 2008.**

### **Anexo 3. Técnica Delphi: consulta a expertos sobre la estructura que debe tener un plan de rehabilitación ecológica**

Según Sánchez (2003), la base de la metodología Delphi surge de integrar el juicio grupal con el de cada individuo miembro de un grupo de expertos en un tema en particular. La consulta es personal, pero anónima. Los miembros del grupo desconocen quiénes lo integran y normalmente se encuentran en diferentes países, por lo que no es posible trabajar físicamente con el grupo por limitaciones financieras y de tiempo. Sin embargo, permite obtener información y hacer uso de esta en forma más rápida y eficiente que con otros métodos.

Le sigue una secuencia de interrogantes de las cuales se obtienen los datos que constituyen la retroalimentación para las preguntas siguientes. Se establece de antemano un plazo determinado para obtener las respuestas que se envían por correo electrónico. Son 3 o 4 preguntas que se envían, una a la vez, y cuya respuesta no le debe tomar más de 20 minutos.

Una vez contestada cada consulta, cada miembro recibe una copia resumida y analizada de los resultados de todos los participantes, pero sin indicar el nombre de las personas que están en el grupo. Se estudian las propuestas por parte de cada miembro y se solicitan nuevas ideas o decisiones a partir de esos análisis.

El objetivo de esta consulta fue obtener respuestas sobre cómo debe estar estructurado y qué elementos debe incluir un plan de rehabilitación de humedales en un entorno urbano.

Se consultó a cuatro expertos de diferentes países con experiencia en restauración de humedales durante agosto del 2016. A continuación se detallan las preguntas que se les realizaron, las respuestas de cada uno y la síntesis que se hizo de cada una. Al final se incluye la información de los participantes.

**1. ¿Qué elementos considera usted que debe incluir un plan de rehabilitación de humedales en entornos urbanos?**

*Respuesta 1a.*

1. Evaluación del sitio
  - 1.1. Condiciones abióticas (régimen hidrológico, sustrato, etc.)
  - 1.2. Condiciones bióticas (especies nativas e invasoras)
  - 1.3. Conectividad en la cuenca
  - 1.4. Causales de la degradación del sitio
  - 1.5. Relación de la comunidad humana con el humedal
2. Diseño del plan de restauración
  - 2.1. Objetivos y metas
  - 2.2. Elementos a intervenir (abióticos y bióticos)
  - 2.3. Técnicas a utilizar
  - 2.4. Plan de trabajo con la comunidad humana
  - 2.5. Calendario de implementación
  - 2.6. Monitoreo

*Respuesta 1b.*

-Objetivos de la rehabilitación: definir los objetivos en cuanto a dinámica hidrológica y funcional (crecimiento y acumulación-descomposición vegetal, estructura vegetal y de la comunidad acuática) del humedal acordes con el tipo de humedal a rehabilitar, el cual debe estar acorde con el marco biogeográfico.

-Proyectos de obras: con descripción detallada de la situación actual y la que se quiere alcanzar, técnicas y materiales cuantificados que se van a emplear y un plan de obras de ajuste y tiempos requeridos.

-Identificación de limitaciones actuales y potenciales del plan: tanto técnicas como naturales (por desastres o condiciones desfavorables para la ejecución de las obras y la implantación de flora, por ejemplo).

-Mantenimiento del humedal: con indicación de las variables que se deberán controlar y mantener (flujos de agua, eliminación de especies invasoras o componentes degradados).

-Monitoreo y difusión de resultados: con seguimiento de las variables indicadoras esenciales (hidroperiodo y calidad del agua, morfología del humedal, estructura de la comunidad vegetal y animal), su posible aplicación para redefinir objetivos y técnicas de mantenimiento, reposición de componentes y factores del humedal y difusión de los resultados que se alcanzaron entre la población local y más allá.

-Presupuesto detallado (con margen de imprevistos) sobre todas las acciones del plan de rehabilitación.

*Respuesta 1c.*

Creo que, en cualquier entorno, pero aún más en las áreas urbanas, considero necesario saber cuál fue la causa o problema que alteró el ecosistema del humedal. ¿Fue el cambio de uso, el desarrollo urbano, la contaminación de aguas, qué tipo de aguas, industriales o domésticas?, entre otras.

En todo caso, es necesario hacer un estudio detallado sobre los antecedentes del humedal objeto de rehabilitación.

*Respuesta 1d.*

Caracterizar los humedales naturales "de referencia" en la zona. Investigar qué tipos de humedales se encuentran actualmente en la región. Por región me refiero a la ecorregión (Nivel III, pero lo ideal Nivel IV), así como la cuenca. ¿Cuáles son los conjuntos de especies generales (vegetación) en los humedales?

Conocer la utilización del suelo/datos de cobertura del suelo (si están disponibles), ¿Qué tan predominantes son los humedales en el panorama general (ecorregión/hidrográficas)? ¿Es posible discernir la prevalencia de los diferentes tipos de humedales, por ejemplo, humedales de bosque, matorrales de arbustos, emergentes?

En cuanto a la historia de uso de la tierra y de los humedales en el paisaje urbano, ¿cómo han cambiado?

Por rehabilitación, ¿se refiere a humedales que están dentro de la zona urbana y que están degradados?

¿Cuáles son los tipos de degradación que se están viendo en estos humedales?

¿Existen mecanismos de regulación (leyes) en el lugar que protegen los humedales o regulan los impactos en los humedales? Los impactos en los humedales incluyen relleno, claro.

### **Síntesis de las respuestas a la pregunta 1:**

I parte: Evaluación del sitio

- 1.1. Condiciones abióticas (régimen hidrológico, sustrato, etc.)
- 1.2. Condiciones bióticas (especies nativas e invasoras)
- 1.3. Conectividad en la cuenca
- 1.4. Causas de la degradación del sitio
- 1.5. Relación de la comunidad humana con el humedal

II parte: Plan de rehabilitación

- 2.1. Objetivos y metas de rehabilitación
- 2.2. Elementos a intervenir (abióticos y bióticos)
- 2.3. Proyectos a realizar y técnicas a utilizar
- 2.5. Mantenimiento del humedal
- 2.6. Plan de trabajo con la comunidad humana
- 2.7. Monitoreo y difusión de resultados
- 2.8. Calendario de implementación
- 2.9. Presupuesto

## **2. ¿Cuáles deben ser los principales elementos bióticos y abióticos a intervenir?**

*Respuesta 2a*

Los principales elementos son de tipo funcional y estructural, entre los abióticos:

-Flujos de entrada y salida del humedal para alcanzar el objetivo definido de hidroperiodo: variación del nivel del agua y del área inundable durante un ciclo hidrológico o varios.

-Suelo/sedimento del humedal para eliminar o corregir potencial interacción negativa con la columna de agua (intercambio de nutrientes y otros compuestos o elementos).

Y entre los bióticos:

-Estructura de la red trófica sustentada en la columna de agua libre (plancton-bentos-necton): que interviene en algunos eslabones de esta red trófica (por ejemplo, con la eliminación de peces se puede favorecer la proliferación de zooplancton y disminuir la concentración de fitoplancton).

-Estructura de la comunidad vegetal flotante o enraizada (macrófitas y poblaciones animales). Se eliminan algunas poblaciones de macrófitas; se disminuye la carga orgánica que soporta el humedal; favorece algunas poblaciones de macrófitas y se puede incrementar la estructura de toda la comunidad biológica hacia la línea definida en los objetivos.

*Respuesta 2b.*

En lo particular me parece que el plan de rehabilitación o la estructura que tienes es la estándar, la que todo plan debe tener.

Con respecto a la pregunta ¿Cuáles deben ser los principales elementos bióticos y abióticos a intervenir?, lo que busca todo plan de rehabilitación o restauración es precisamente eso, rehabilitar la funcionabilidad biológica del ecosistema, tanto factores bióticos como abióticos. El impacto debió haber afectado la estructura y composición del ecosistema, y como tal su funcionabilidad biológica, entonces, eso es lo que busca el plan precisamente.

¿Qué funciones biológicas cumplía el ecosistema antes de la intervención? Es eso lo que queremos restaurar, y si no se puede llegar a ese nivel, entonces se rehabilita, se hace útil para una función biológica determinada. Por supuesto, la parte hidrológica es quizá la más importante de un humedal, tanto en cantidad, como calidad y estacionalidad.

*Respuesta 2c.*

Los factores a intervenir dependen desde luego de lo que se haya dañado, pero en términos generales, y si se quiere hacer una jerarquía, primero sería:

#### ABIÓTICOS

- Régimen hidrológico
- Topografía y microtopografía

- Calidad de agua

#### BIÓTICOS

- Especies invasoras
- Diversidad vegetal
- Reintroducción de especies animales

#### *Respuesta 2d.*

Principales elementos bióticos:

- ¿Qué conjuntos de especies típicas están presentes en los humedales que se producen en tipos de hábitats de humedales similares? ¿Es posible volver a crear la comunidad de plantas?
- La comunidad vegetal dará forma a los otros aspectos del hábitat -los invertebrados, aves, reptiles/anfibios, mamíferos que van a usar/habitar el humedal.

Principales elementos abióticos:

- Uso de la tierra circundante en la subcuenca (microcuenca)
- Porcentaje de superficie impermeable (pavimento, etc.) en la subcuenca
- Las causas de contaminación de fuentes no puntuales (escorrentía urbana, etc.)
- Hidrología- ¿Cuál es la fuente? ¿Puede ser manipulada? ¿Debería ser manipulada para mejorar la estructura y la función de los humedales?
- La sedimentación del humedal- ¿Es un problema? ¿Cuáles son las fuentes de agua arriba posibles?
- Calidad del agua

#### **Síntesis de pregunta 2: Principales elementos a intervenir**

##### ABIÓTICOS

- Régimen hidrológico e hidroperiodo
- Topografía y microtopografía
- Calidad de agua
- Suelo/sedimentos

##### BIÓTICOS

- Especies invasoras
- Estructura de la comunidad vegetal
- Estructura de la red trófica
- Reintroducción de especies animales

**3. ¿Qué tan relevante o recomendable sería dividir el plan de rehabilitación en dos componentes: uno dirigido al sector académico e institucional y otro a la comunidad civil?**

*Respuesta 3a.*

A mí me parece que dividirlo es una buena estrategia, porque la comunicación con esas comunidades es distinta. Aunque cualquier grupo social va a tener sus propios códigos y principios, el sector académico es muy particular en cuanto a sus formas de interaccionar. Lo mismo se puede decir del sector institucional, sobre todo si estamos hablando de la administración pública. Si el sector académico maneja su forma del discurso muy particular, el sector de la administración pública requiere de una comunicación muy efectiva y concreta. Comunicarse efectivamente con la comunidad civil también requiere de métodos de aproximación y de diálogo particulares. De tal forma que cada público requiere de una forma específica de comunicación.

*Respuesta 3b.*

Sería totalmente inapropiado. El plan de rehabilitación o de restauración debe integrar desde el principio (y si no es así, lo antes posible) los aspectos científico-técnicos, económicos y sociales, incluyendo la comunidad civil y grupos de interés. Porque éstos conocen bien muchos aspectos relevantes de los humedales y de los factores que los regulan y pueden contribuir con sus apreciaciones al plan de restauración (y también con acciones de voluntariado durante la ejecución); y porque puede haber estímulos o limitaciones a los planes de restauración aportados o impuestos por los intereses particulares, personales o de grupos.

*Respuesta 3c.*

Creo que es una buena práctica el tener dos componentes como lo menciona (academia/instituciones y comunidad); sin embargo, estos deben integrarse en el plan e incluso discutirse con los dos grupos presentes. De lo contrario, se puede terminar en una desviación del objetivo real de la rehabilitación. La academia e instituciones pueden incluso tener diferentes ideas, y aún más con las comunidades. La academia generalmente es muy “machotera”, en el sentido de que si no tengo todo, mejor no hago nada, las instituciones quieren ver cosas hechas, pero no saben cómo, y las comunidades necesitan que se haga algo..., no pueden esperar que todo mundo se ponga de acuerdo. A mi criterio, desde el inicio mismo de la idea del plan, todos deben estar integrados.

*Respuesta 3d.*

Creo que dividir el plan en los dos componentes que mencionas es una gran idea. La parte académica puede ocuparse de las grandes preguntas / cuestiones tales como la pérdida de hábitat / pérdida de humedales en un contexto nacional, funciones de los humedales a nivel de paisaje (servicios ambientales), los posibles vínculos con el cambio climático, etc. Históricamente, ¿cuáles son el tipo y el alcance de humedales dentro de su área de estudio?

La parte civil sería la real ejecutora del plan -mirando las características específicas de la zona en términos de demografía, uso de la tierra, los servicios ecosistémicos que proporcionan estos humedales particulares, y luego trazar el contorno del plan de rehabilitación.

Lo que me gusta de dividir el plan de rehabilitación en dos partes es que con una parte académica, se puede conectar la investigación que ha realizado y su propuesta de plan con preguntas y problemas más grandes. En la segunda parte, el plan de ejecución real de las entidades civiles, da al municipio los pasos específicos que se deben seguir para implementar el plan.

### **Síntesis de la pregunta 3.**

Aunque hay diferencias de opinión en cuanto a esta pregunta, queda claro que es importante incluir ambos componentes (académico-institucional y sociedad civil) en el plan de rehabilitación. Por lo tanto, se decidió incluir un programa específico

para la inclusión de la comunidad civil, tanto en las acciones de rehabilitación, como en el monitoreo posterior.

**Nombres de los expertos participantes:**

- **Dr. Roberto Lindig**
  - Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de México
  - <http://www.iies.unam.mx/investigacion/perfiles-investigadores/roberto-lindig-cisneros/>
- **Dr. Francisco A. Comín Sebastián**
  - Instituto Pirenaico de Ecología, España
  - <http://www.ipe.csic.es/comin-sebastian-francisco>
- **Dr. Eugenio González Jiménez**
  - Director del Soltis Center for Research and Education, Costa Rica. Texas A&M University
  - <http://soltiscentercostarica.tamu.edu/About-Us/Staff>
- **M.Sc. Kim Pilarski-Hall**
  - Wetlands Biologist in the Tennessee Valley Authority, USA.
  - <https://www.tva.gov/Our-TVA-Story/Kim-Pilarski%E2%80%93Hall>
  -

**Bibliografía:**

Sánchez, G. 2003. Técnicas participativas para la planeación: procesos breves de intervención. México D.F. MX. Fundación ICA. 342 p.

**Anexo 4.** Resultados del análisis de regresión entre los resultados de aves, plantas y calidad del agua (IHCA).

	riq_plan	sim_plan	sha_plan	IHCA_seca	IHCA_lluv
riq_aves					
Correlación de Pearson	,701	,541	-,378	,312	-,180
Sig. (bilateral)	,053	,166	,356	,452	,670
N	8	8	8	8	8
abu_aves					
Correlación de Pearson	,661	,628	-,496	,140	-,425
Sig. (bilateral)	,074	,096	,212	,741	,294
N	8	8	8	8	8
sim_aves					
Correlación de Pearson	-,197	,081	-,226	-,395	-,155
Sig. (bilateral)	,639	,849	,591	,333	,715
N	8	8	8	8	8
sha_aves					
Correlación de Pearson	,493	,240	-,071	,404	,039
Sig. (bilateral)	,214	,568	,867	,322	,927
N	8	8	8	8	8
riq_plan					
Correlación de Pearson		,739*	-,592	-,033	-,050
Sig. (bilateral)		,036	,122	,939	,907
N		8	8	8	8
sim_plan					
Correlación de Pearson	,739*		-,971**	,207	-,525
Sig. (bilateral)	,036		,000	,623	,182
N	8		8	8	8
sha_plan					
Correlación de Pearson	-,592	-,971**		-,174	,588
Sig. (bilateral)	,122	,000		,680	,126
N	8	8		8	8

\*\*La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral); \* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**Anexo 5:** Valoración de éxito para cada zona de intervención o unidades de actuación según los atributos propuestos por la Sociedad para la Restauración Ecológica Internacional (Tomado de Aguilar-Garavito y Ramírez 2015).

<b>Atributos de valoración</b>	<b>Datos de campo</b>	<b>Método de análisis</b>
Las áreas intervenidas contienen un conjunto característico de especies que habitan en ecosistemas similares y que proveen una estructura apropiada de la comunidad	Número de especies e individuos por parcela	Riqueza y diversidad alfa y beta. Comparación de estructura y composición respecto a la línea base. Proporción de cambio a en tiempo. Tasa de disminución de especies invasoras/m <sup>2</sup>
Las áreas intervenidas presentan especies autóctonas hasta el grado máximo factible	Número de especies e individuos por parcela	Riqueza y Diversidad alfa y beta. Comunidad dominante. Proporción de cambio en el tiempo. Cobertura de especies invasoras vs. coberturas nativas
Todos los grupos funcionales necesarios para el desarrollo o la estabilidad continua de las áreas intervenidas se encuentran representados, de lo contrario, los grupos faltantes tienen el potencial de colonizar por medios naturales	Número de especies e individuos por parcela, obertura, altura	Riqueza y Diversidad alfa y beta. Comunidad dominante. IVI e IPF. Tasa de reclutamiento, sobrevivencia de plántulas, especies reclutadas y tipo de regeneración (semilla o rebrote). Proporción de cambio en tiempo.

		Estructura de la comunidad vegetal
En el ambiente físico las áreas intervenidas tienen la capacidad de sostener poblaciones reproductivas de las especies necesarias para la continua estabilidad o desarrollo a lo largo de la trayectoria deseada	Número de especies e individuos por parcela, cobertura, altura y estado fenológico	Tasa, especies e individuos por especies en floración y fructificación. Tasa de reclutamiento y especies reclutadas. Tasa de germinación de las especies plantadas. Sobrevivencia de las especies plantadas y de las especies invasoras. Tasa de germinación de especies invasoras. % de cobertura de especies invasoras
Las áreas intervenidas aparentemente funcionan normalmente de acuerdo con su estado ecológico de desarrollo y no hay señales de disfunción	Número de especies e individuos por parcela, DAP, cobertura, altura y estado fenológico	Estructura de la comunidad invasoras. % de cobertura de invasoras. Tasa de reclutamiento y especies reclutadas. Sobrevivencias de las especies reclutadas. Tasa de germinación de invasoras
El ecosistema restaurado se ha integrado adecuadamente con la matriz ecológica o el paisaje, con los cuales interactúa a través de flujos e intercambios bióticos y abióticos	Especies e individuos por parcela, DAP, cobertura, altura y estado fenológico	Estructura de la comunidad invasoras. % de cobertura de invasoras. Tasa de reclutamiento y especies reclutadas. Sobrevivencias de las especies reclutadas.

		Tasa de germinación de invasoras
Se han eliminado o reducido, tanto como sea posible, las amenazas potenciales del paisaje que lo rodea	Número de especies e individuos por parcela, DAP, cobertura, altura y estado fitosanitario	% de cobertura de invasoras. % de nuevas áreas quemadas. % de individuos por especie afectados por problemas fitosanitarios
El ecosistema restaurado tiene suficiente capacidad de recuperación como para aguantar los acontecimientos estresantes periódicos y normales del ambiente local y que sirven para mantener la integridad del ecosistema.	Número de especies e individuos por parcela, DAP, cobertura, altura y estado fitosanitario.	% de cobertura de invasoras. % de individuos por especie afectados por problemas fitosanitarios. Tasa de reclutamiento y especies reclutadas. Sobrevivencia de las especies reclutadas. Diversidad alfa y beta
El ecosistema restaurado es autosostenible al mismo grado que su ecosistema de referencia y tiene el potencial de persistir indefinidamente bajo las condiciones ambientales existentes	Estructura, composición y función	Diversidad alfa y beta. % de similitud

Fuente: Aguilar-Garavito M.; W. Ramírez (eds.) 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá D.C., CO. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 250 pp.