

**Universidad Nacional
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Escuela de Ciencias Biológicas**

Informe Escrito Final

**Evaluación de la calidad del bosque y criterios biofísicos de la zona ribereña del río
Maravilla para una propuesta de restauración ecológica**

**Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Biología con énfasis en Manejo de Recursos Naturales**

Estudiante: María Isabel Vargas Valverde (1-1548-0147, 122502)

**Tutor: Alicia Fonseca Sánchez
Asesores: Fabián Araya Yannarella
Hannia Vega Bolaños**

**Campus Omar Dengo
Heredia, Costa Rica**

Febrero, 2022

Este trabajo de graduación fue **APROBADO** por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biología en Manejo de Recursos Naturales.



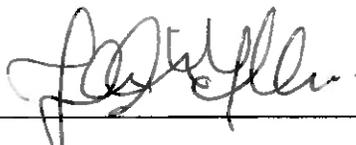
M.Sc. Tania Bermúdez Rojas
Representante, Decano, quién preside



M.Sc. Alejandro Durán Apuy
Sustituye al Director



MSc. Alicia Fonseca Sánchez
Tutora



Lic. Fabián Araya Yannarella
Asesor



Dr. Roberto Cordero Solórzano
Invitado especial

Agradecimiento

Agradezco al Laboratorio de Hidrología Ambiental por brindarme un espacio para crecer profesionalmente como parte del proyecto “Procesos Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Maravilla-Chiz y Quebrada Honda”, Código SIA: 0015-17 (2018-2020).

Especialmente agradezco a Alicia Fonseca Sánchez, por ser una profe cercana, por todo el apoyo brindado en esta etapa. Agradezco también a mis asesores Fabián Araya Yannarella y Hannia Vega Bolaños por siempre estar pendientes de mi proyecto y por la ayuda brindada.

Agradezco al personal del Laboratorio de Hidrología Ambiental por el acompañamiento a las giras, apoyo y consultas en diversos temas, a Hazel Calderón, a Luis Quesada Hernández, y a Geannina Moraga López.

A todas los amigos y colegas que me acompañaron a las giras o talleres y que fueron parte de este proceso, a Urpi Castañeda, Federico Granados, Diego Ramírez y Jessica Jiménez.

Agradezco también al Herbario Anastasio Alfaro González, y al Museo Nacional de Costa Rica con la colección de herbario, por abrir un espacio y atender la consulta de muestras de plantas para confirmación o apoyo para identificación.

Un profundo agradecimiento al grupo gestor, y en especial a la Municipalidad de Jiménez por el interés y la apertura para el desarrollo de mi proyecto. Agradezco también al personal de la Escuela Cecilio Lindo en especial a la directora Gabriela Estrada Quirós y a la coordinadora del proyecto de Bandera Azul Ecológica Gilda Umaña Rojas.

Agradezco a la Universidad Nacional, la Escuela de Ciencias Biológicas y a cada profesor(a) que aportaron en mi aprendizaje, agradezco al fondo Focaes por la ayuda financiera a una parte de mi proyecto. Con la U necesaria personas como yo pueden optar por una educación de calidad, donde de otro modo hubiera sido difícil. Muchas gracias.

Dedicatoria

A mi familia, a Marcelo Corella y a mis mascotas, por su amor y acompañamiento incondicional.

Índice

Miembros del tribunal	i.
Agradecimiento	ii.
Dedicatoria	iii.
Índice	iv.
Índice de cuadros	v.
Índice de figuras	vi.
Índice de anexos	vii.
Lista de abreviaciones	viii.
Resumen	ix.
Introducción	10
Objetivos	16
Marco Teórico	17
Marco Metodológico	29
Resultados	41
Discusión	67
Conclusiones	77
Recomendaciones	79
Referencias	80
Anexos	92

Índice de cuadros

Cuadro 1. Rangos de la calidad del bosque de ribera según el índice QBR	32
Cuadro 2. Puntuación según el grado de cobertura vegetal en ambos	32
Cuadro 3. Puntuación de la estructura de la cobertura vegetal en ambos transectos	33
Cuadro 4. Calidad de la cobertura vegetal en ambos transectos, depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera	33
Cuadro 5. Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera para el apartado de calidad de la cobertura	34
Cuadro 6. Tipo geomorfológico según la puntuación	34
Cuadro 7. Grado de naturalidad del canal fluvial en ambos transectos	35
Cuadro 8. Escala de la matriz de comparación de pares de Saaty	36
Cuadro 9. Criterios y consideraciones para la priorización de sitios para la restauración ecológica	36
Cuadro 10. Grupo experto consultado para la jerarquización de criterios	38
Cuadro 11. Categorización de los actores sociales según la metodología CLIP	39
Cuadro 12. Calidad del bosque de ribera en 6 sitios evaluados en el río Maravilla	41
Cuadro 13. Lista de familias y especies encontradas en los transectos del río Maravilla, Cartago	42
Cuadro 14. Riqueza de especies y observaciones por punto de muestreo	44
Cuadro 15. Evaluación de criterios y jerarquización según la opinión de expertos	44
Cuadro 16. Matriz pareada según Saaty, elaborada por el comité decisor	45
Cuadro 17. Categorización de los actores sociales de la microcuenca del río Maravilla con la metodología CLIP	50
Cuadro 18. Intercambio de conocimientos según las dinámicas aplicadas	52
Cuadro 19. Aprendizaje expresado por los escolares según grado escolar	53
Cuadro 20. Propuesta de Restauración Ecológica	55
Cuadro 21. Cronograma de actividades según las fases del proyecto	59
Cuadro 22. Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar	63
Cuadro 23. Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico, según el sistema de siembra para tramos de ribera	63
Cuadro 24. Listado de especies recomendadas para la zona según su ecología	64
Cuadro 25. Viveros forestales para consulta de especies nativas	66

Índice de figuras

Figura 1. Delimitación de la microcuenca Maravilla, Cartago, Costa Rica y ubicación de los puntos de muestreo	30
Figura 2. Clasificación diamétrica (centímetros) de los árboles con DAP>10cm en el río Maravilla	43
Figura 3. Clasificación según la altura (metros) de los árboles con DAP>10cm en el río Maravilla	43
Figura 4. Mapa general de la EMC en la microcuenca del río Maravilla	46
Figura 5. Mapa de la EMC en la parte alta de la microcuenca del río Maravilla	47
Figura 6. Mapa de la EMC en la parte media de la microcuenca del río Maravilla	48
Figura 7. Mapa de la EMC en la parte baja de la microcuenca Maravilla Chiz	49
Figura 8. Diseños de siembra	61
Figura 9. Sistema de siembra tres bolillo, distancia de 3 a 4m en bordes de ríos	61
Figura 10. Diagrama de siembra sugerido para los tramos de ribera con restauración ecológica.	62

Índice de anexos

Anexo 1. Criterios para la priorización de sitios para la restauración ecológica en la microcuenca del río Maravilla	92
Anexo 2. Restricciones sobre los criterios para priorizar sitios para la restauración ecológica en la microcuenca del río Maravilla.	92
Anexo 3. Taller de educación ambiental aplicado en la Escuela Cecilio Lindo	93
Anexo 4. Mapa de la zona de protección de los ríos de 50 m en el río Maravilla y zona de protección de los manantiales con radio de 200 m	98
Anexo 5. Mapa de la cobertura del uso de la tierra en la microcuenca del río Maravilla	98
Anexo 6. Mapa de pendientes en la microcuenca del río Maravilla	99
Anexo 7. Mapa de amenaza a la contaminación hidrogeológica según las fuentes difusas, lineales y puntuales, en la microcuenca del río Maravilla	99
Anexo 8. Comprobante de la realización de los talleres en la Escuela Cecilio Lindo	100
Anexo 9. Fotografías de los talleres realizados en la Escuela Cecilio Lindo	101
Anexo 10. Listado de especies de árboles DAP>10cm en 4 tramos de 30x1m en las nacientes de 50 manzanas	102

Lista de abreviaciones

ASADAS	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales
BMWP	Índice biológico (Biological Monitoring Working Party por sus siglas en inglés)
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
COMCURE	Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta Río Reventazón.
EMC	Evaluación Multicriterio
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
QBR	Índice calidad del bosque de ribera
JASEC	Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago
LHA	Laboratorio de Hidrología Ambiental
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MinSa	Ministerio de Salud
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UNA	Universidad Nacional
UNED	Universidad Estatal a Distancia

Resumen

Introducción La degradación de las cuencas por causa de la fragmentación del bosque es generada principalmente por actividades agrícolas y urbanas, reduciendo el bosque de ribera, invadiendo las zonas de protección, y por lo tanto, incidiendo en las dinámicas naturales del ecosistema, esta situación ocurre en la microcuenca del río Maravilla en Cartago. **Objetivo** Este estudio consistió en evaluar la calidad del bosque y los criterios biofísicos en las zonas de ribera del río Maravilla, para el diseño de una propuesta de restauración ecológica. **Metodología** Para conocer la calidad del bosque de ribera se aplicó el índice QBR en 6 puntos de la microcuenca, además se tomaron mediciones a los árboles con DAP>10cm y se midió su altura. Se realizó la evaluación multicriterio para priorizar los sitios para la restauración ecológica y se mapearon los actores sociales mediante la metodología CLIP, también se implementaron 5 talleres de educación ambiental. Por último, se elaboró la propuesta de restauración ecológica con los insumos generados. **Resultados** En la calidad del bosque de ribera de los seis puntos evaluados, dos tuvieron pésima calidad, dos pésima/mala, uno mala/intermedia y uno pésima/buena calidad. Se identificaron 26 especies de árboles, la mayoría nativas y el promedio del DAP fue de 29,15cm y la altura promedio fue de 6,8m. En la evaluación multicriterio se obtuvo que la priorización alta se encuentra principalmente en la parte alta de la microcuenca por la amenaza de contaminación por usos de suelo de hortalizas y verduras, además la priorización media prevalece a nivel de la microcuenca. Específicamente en la zona de protección del río, desde la parte alta hasta la baja se priorizan áreas con usos de caña, hortalizas y verduras, además se priorizan áreas con usos de cobertura boscosa. Según el mapeo de actores, los dominantes son principalmente las municipalidades, SINAC-MINAE, COMCURE, MinSa, Hacienda Juan Viñas, ICE, CNE y la JASEC, como actor fuerte la UNA y como vulnerables las ASADAS. Los talleres de educación ambiental se brindaron a 113 escolares con edades entre los 9 y 12 años, se logró conocer la perspectiva de los estudiantes, así como las problemáticas y soluciones. Como resultado se realizó la propuesta de restauración ecológica, enfocándose en estrategias de manejo con sus respectivos indicadores y responsables. **Conclusiones** Para la elaboración de una propuesta de restauración ecológica es indispensable conocer la calidad del bosque, la evaluación de criterios biofísicos y la participación social, teniendo por lo tanto conocimiento base de que, el bosque de ribera es de tipo secundario, la degradación ocurre desde la parte alta de la microcuenca, se deben priorizar áreas en la zona de protección del río y nacientes, y los actores sociales tienen anuencia para colaborar, por lo que se reconoce que, para la GIRH es fundamental la implementación de acciones en el eje de restauración ecológica, siendo el presente estudio un insumo como parte del plan de trabajo del grupo gestor de la microcuenca.

Palabras claves: Bosque de ribera, Evaluación multicriterio, Actores sociales, Talleres, Restauración ecológica, GIRH

Introducción

1. Antecedentes

La pérdida de hábitat y la fragmentación de los bosques tropicales se han incrementado en los últimos años, causando el descenso de las poblaciones tanto de animales como vegetales, lo cual está íntimamente relacionado con el acelerado cambio del uso del suelo, por diversas prácticas agrícolas, ganaderas y de infraestructura (Lorion & Kennedy, 2009; Morera-Beita & Sandoval-Murillo, 2018). Los procesos de fragmentación han afectado de diferentes maneras los ríos, donde la pérdida de cobertura vegetal es una de las principales, junto a problemas de contaminación por aguas residuales y de residuos sólidos que provienen de la urbanización (Rodríguez-Arias & Benavides, 2015). Algunas de las consecuencias que se evidencian ante la invasión de áreas protegidas de los ríos son: la erosión del suelo, el arrastre de sedimentos, la contaminación con agroquímicos y fertilizantes y los desvíos de riego (Maglianesi-Sandoz, 2013).

El bosque de ribera en Costa Rica está protegido por la Ley Forestal N°7575 (Asamblea Legislativa, 1996). Esta ley se elaboró con el fin de proteger la conectividad del bosque y los cursos de agua. El artículo 33 en su inciso b, refiere a las zonas de protección de los ríos, como una franja de quince metros en zonas rurales y de diez metros en zonas urbanas, medidas de forma horizontal a cada lado en la zona de ribera de los ríos, quebradas o arroyos, siempre y cuando el terreno sea plano o de pendientes baja, y de cincuenta metros horizontales si el terreno es quebrado o de altas pendientes.

Sin embargo, las áreas de protección antes mencionadas se infringen tanto en las zonas urbanas como en las rurales, reduciendo la cobertura boscosa. Ante esta situación Campos-Vargas (2010), analizó los cambios de la cobertura vegetal de la parte alta y media de la cuenca del río Reventazón en el periodo del 2000 al 2010. El autor observó los conflictos por la capacidad de uso de suelo y de la cobertura vegetal, donde presentó en un 50% el uso correcto, un 30% sobreuso y un 15% subuso, y destacó a las subcuencas Páez-Birrisito, Birrís y Chiz-Maravilla con mayor sobreuso, por lo que, el bosque se ha reducido incluyendo el de las áreas de protección.

Una metodología utilizada para evaluar la calidad de los bosques de ribera propuesta por Munné, Prat, Sola, Bonada & Rieradevall (2003), es el llamado índice QBR por su abreviatura

catalana “Qualitat del Bosc de Ribera”, en español “Calidad del Bosque Ribereño”, el cual se comprobó en cuatro cuencas mediterráneas en Cataluña al noreste de España. El índice se enfocó en cuatro componentes principales: la cobertura de la vegetación ribereña, la estructura de la cobertura, la calidad de la cobertura y las alteraciones del canal. Este índice brindó información importante para la toma de decisiones, debido a que el bosque de ribera funciona como un filtro verde que retiene partículas y nutrientes, además de crear conectividad entre parches boscosos.

El índice QBR ha sido utilizado en otros sitios con algunas modificaciones según las características propias de los bosques estudiados. Sin embargo, a nivel general el índice permite evaluar el estado de la calidad de los bosques de ribera y con base en esto confirmar el grado de perturbación que presentan las cuencas hidrográficas (Valero, Picos & Álvarez, 2014; Posada & Arroyave, 2015). Este índice puede aplicarse en conjunto con índices biológicos y análisis fisicoquímicos con la finalidad de obtener una visión más amplia de la salud de los ecosistemas (Basilico, De Cabo & Faggi, 2016).

Además de España, se ha aplicado en países de América del Sur como en Argentina, Chile y Colombia (Fernández, Rau & Arriagada, 2009; Posada & Arroyave, 2015). En Costa Rica, Araya-Yannarella & Hernández-Fernández (2017) desarrollaron en la microcuenca del río Burío y su tributario Quebrada Seca, provincia de Heredia, un análisis del estado de la vegetación ribereña mediante el índice QBR y una modificación al índice incluyendo un componente social permitió llamarlo QBRm. Los autores obtuvieron resultados sin diferencias significativas entre ambos índices, presentando la parte alta muy buena calidad, la media mala calidad y la parte baja del río muy mala calidad. Se concluyó que el QBRm es una herramienta válida para la toma de decisiones y para el manejo de una microcuenca.

Castro (2018), aplicó también el índice QBR, para evaluar el estado de la calidad del bosque en 25 sitios en las riberas de la Microcuenca Alta de la Quebrada Estero, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. La autora identificó 145 especies de plantas, 113 nativas y 32 exóticas, distribuidas en 42 familias, Fabaceae, Solanaceae y Asteraceae se presentaron en mayor cantidad, además *Psidium guajava* y *Acnistus arborescens* eran las especies más frecuentes. Al aplicar el índice en 16 sitios presentaban calidad pésima y mala, cuatro con calidad aceptable, tres con calidad buena y dos sitios calidad muy buena. Concluyó que las condiciones críticas se deben a la intervención humana en los alrededores, por lo que recomienda la sustitución principalmente de pastos y el trabajo conjunto

con las comunidades y las entidades públicas y privadas para la recuperación de la microcuenca.

Serrato (2015), integró el índice QBR, el uso de fotografías aéreas y el índice BMWP-CR, para evaluar la calidad ambiental del ecosistema ribereño en la parte alta del río Virilla. En seis puntos de muestreo registró un total de 6961 individuos de macroinvertebrados pertenecientes a 26 familias y 40 géneros, entre ellos organismos tolerantes a la contaminación como: Chironomidae y Simuliidae (Diptera), Baetidae (Ephemeroptera), Hyalellidae (Amphipoda) y Corixidae (Hemiptera), solo Glossosomatidae (Trichoptera) fue la única familia de ambientes no alterados. El QBR indicó que las calidades de los puntos variaron entre poco alteradas y mala calidad, además el análisis de las fotografías aéreas identificó cambios importantes en la cobertura vegetal a través del tiempo, principalmente con un aumento del uso urbano en un 38,90% en las zonas medias y bajas de la microcuenca. Al comparar la calidad del bosque de ribera y la calidad de agua, no encontró diferencias significativas, sin embargo, ante los resultados obtenidos, recomendó la aplicación de la legislación en las zonas de protección y la aplicación de mecanismos para la reforestación, educación ambiental y agroecoturismo.

Además del índice QBR, la evaluación de criterios biofísicos por medio de sistemas de información geográfica toma en cuenta factores como las pendientes, la calidad del agua, los cambios de uso de suelo en el tiempo y la infraestructura, factores que en conjunto pueden llevar a la toma de decisiones (Calvo, 2017). Con la información obtenida se priorizan los sitios y se pueden formular y desarrollar propuestas de rehabilitación forestal o restauración ecológica que tomen en cuenta la protección, conservación y el bienestar social (Villalobos, 2013).

Este fue el caso de Calvo (2019), quién realizó una propuesta para la restauración de la cobertura vegetal en la zona ribereña del río Tibás, basada en el estudio de vegetación de 60 parcelas y la implementación de una matriz que evaluaba los criterios biofísicos, para la posterior priorización de sitios a restaurar. Identificó que la parte media y la parte baja del río presentaba mayor alteración y menor resiliencia, 20 sitios se consideraron prioritarios y se seleccionaron 10 de estos con un total de 68ha efectivas de manejo. Con los resultados obtenidos propuso como estrategias de manejo el enriquecimiento de zonas boscosas, arborización de zonas urbanas, fortalecimiento de sistemas agropecuarios y la implementación de plantaciones con diferentes diseños.

La evaluación multicriterio no solo se basa en una matriz evaluadora como la de Calvo (2017), sino que consiste en un conjunto de técnicas orientadas en asistir a la toma de decisiones. En Costa Rica, Moraga (2010) realizó un estudio para determinar el riesgo ante incendios forestales en la cuenca del río Tempisque. Se basó en variables explicativas como la proximidad a carreteras, tipos de usos de la tierra, focos de incendios, insolación y altitud. Utilizando la EMC obtuvo que la cuenca presenta riesgo bajo (57.9%), riesgo moderado (39.97%) y alto (2.12%) a incendios. Así mismo, Paniagua-Fuentes (2019) realizó una priorización de áreas de recuperación en las zonas de influencia de las nacientes del acueducto municipal del cantón de Jiménez, en Costa Rica, obteniendo como prioridad alta, la zona de protección del río Quebrada Honda, el área de los manantiales del acueducto municipal y el área de protección legal. Al igual que los anteriores autores, el presente estudio desea implementar técnicas de evaluación multicriterio para la priorización de sitios para la restauración ecológica.

No solo en las áreas urbanas hay pérdida de cobertura boscosa, también en áreas rurales donde hay zonas agrícolas de gran extensión (Morera-Beita, & Sandoval-Murillo, 2018). El río Maravilla de la provincia de Cartago es un caso donde el río se encuentra en una zona de condición rural y altamente agrícola, este río pertenece a la cuenca del Reventazón. El Programa Regional para la Reducción de la Vulnerabilidad y la Degradación Ambiental (PREVDA) elaboró un Plan de Cuenca del río Reventazón-Parismina 2008-2010 con visión al 2020, con el fin de reducir la vulnerabilidad y degradación ambiental mediante un proceso integral de la comunidad (PREVDA, 2008).

Además, la Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE), es la encargada de la coordinación entre todas las entidades públicas y privadas para el manejo integrado de la cuenca (Asamblea Legislativa, 2012). Desarrollan esfuerzos principalmente en la protección de las partes altas de la cuenca del Reventazón, estando ubicada la microcuenca Maravilla-Chiz en la parte media, donde mediante consulta directa a COMCURE en el 2017, se menciona que la problemática de la microcuenca Maravilla-Chiz es la producción agrícola y la cultura propia, por lo que representa mayor dificultad para su abordaje (Orozco, 2017 com pers).

El río Maravilla es una zona compleja por ser altamente agrícola, donde según Campos-Vargas (2010) se presenta un sobreuso del suelo. La mayor producción en la zona es el cultivo de

caña, además del cultivo de café y hortalizas (Jiménez, 2010). Es por esto que debido a los uso de suelo actuales y degradación de la cuenca Maravilla-Chiz en general, la Universidad Nacional a través del proyecto desarrollado por el Laboratorio de Hidrología Ambiental llamado “Procesos Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Maravilla-Chiz y Quebrada Honda ” Código SIA: 0015-17 (2018-2020), se han desarrollado proyectos para la gestión integral del recurso hídrico (GIRH) en dichas subcuencas y el presente trabajo pretende contribuir con una propuesta de restauración ecológica.

La propuesta de restauración debe contener un componente social para una adecuada gestión y manejo de la microcuenca, donde los diferentes sectores sean instituciones, organizaciones y la comunidad en general, que deben trabajar la gestión hídrica de manera integral, por lo que es necesario el mapeo de actores sociales y el grado de involucramiento con el proceso de restauración ecológica (Benez, Kauffer & Álvarez, 2010; Mendez-Toribio, Martinez-Garza, Ceccon & Guariguata, 2017). Además, la sensibilización de la población mediante la educación ambiental es una herramienta esencial en los procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), donde se debe informar y al mismo tiempo conocer la perspectiva de las personas, con los servicios ecosistémicos que proporciona el río (Hernández & Monestel, 2014). Todo esto en conjunto crearía una propuesta consciente de los alcances que puede tener la implementación, y así mismo, asegurar una mejor calidad del ecosistema ribereño.

2. Justificación

Los procesos de restauración ecológica en el río Maravilla se desarrollan bajo el marco de la propuesta de Ley Gestión Integrada de Recurso Hídrico, mediante el manejo integral de la cuenca y de la Ley Forestal según las áreas de protección. Los esfuerzos a nivel de la cuenca del Reventazón fueron esenciales debido a la degradación ambiental de la zona, donde PREVDA y COMCURE, se enfocan en reducir los daños ambientales. Sin embargo, la microcuenca del río Maravilla es compleja debido a su gran uso de suelo para la agricultura y de la dependencia de la comunidad a las actividades agrícolas.

Una sucesión de acciones inadecuadas, en cuanto a prácticas agrícolas, planificación urbana y deforestación a causa de múltiples cambios de uso de suelo han provocado la pérdida del bosque. Según Jiménez (2010), el Cantón de Jiménez cuenta con 54.9% de cobertura boscosa y para su

distrito Juan Viñas solo un 11%, lo cual evidencia la pérdida del bosque y genera una presión importante en la microcuenca del río Maravilla.

La protección del bosque de ribera y la recuperación de las zonas degradadas del río Maravilla son el foco principal de la investigación, donde, mediante el estudio del estado del bosque y la evaluación de otros criterios, se podrá priorizar los sitios o áreas que puedan ser parte de las estrategias de manejo. Los datos obtenidos serán la base de la propuesta de restauración ecológica y así poder abordar el problema con conocimientos científicos que indiquen el estado del sitio. Además, en el proceso se van a considerar los actores sociales involucrados y el desarrollo de talleres como parte de la educación ambiental. Este componente social es esencial, porque para enfrentar un problema ambiental debe conocerse la perspectiva de las personas ante la propuesta a desarrollarse y su capacidad de respuesta para implementarla.

En resumen, la propuesta de restauración ecológica de la zona ribereña, estará enfocada en diversas estrategias de manejo con sus respectivos indicadores y responsables, con el objetivo de que puedan ser implementadas mediante un proceso de gestión integral y de participación social. Se pretende aumentar el respeto por las áreas de protección, mejorar la calidad del bosque de ribera y la calidad del agua, así como lograr una sensibilización e involucramiento de las personas en los procesos de gestión hídrica.

3. Planteamiento del problema

El uso de suelo a lo largo del río Maravilla comprende grandes extensiones del cultivo de la caña, café y hortalizas, además de los canales de riego y la infraestructura del pueblo, que ha disminuido el bosque de ribera y con ello ha afectado al río Maravilla directamente. La evaluación de la calidad del bosque de ribera, el establecimiento de sitios prioritarios para la restauración, la participación social y la educación ambiental en el sitio de estudio, son las bases de la propuesta de restauración ecológica de la zona de ribera, por lo que ¿Qué criterios biológicos, físicos y sociales pueden ser evaluados para lograr el planteamiento de una propuesta de restauración ecológica en el río Maravilla, Cartago?

4. Objetivos

4.1.Objetivo General

Evaluar la calidad del bosque y los criterios biofísicos en las zonas de ribera del río Maravilla, Cartago, para el diseño de una propuesta de restauración ecológica.

4.2.Objetivos Específicos

1. Analizar la calidad del bosque de ribera en lo largo del río Maravilla, mediante el índice QBR
2. Determinar los sitios prioritarios para la restauración ecológica mediante el análisis geoespacial de criterios biofísicos en la zona de protección del río Maravilla.
3. Diseñar una propuesta de restauración ecológica basada en la calidad del bosque ribereño y el establecimiento de sitios prioritarios, además de la participación social y talleres de educación ambiental.

Marco Teórico

1. Impacto sobre las cuencas hidrográficas y el bosque de ribera asociado

Las cuencas hidrográficas se definen como una unidad de territorio, delimitado por las partes más altas de las montañas, llamadas divisorias de aguas, desde donde el sistema se alimenta por varios afluentes que fluyen hacia un río principal, este último drena sus aguas hacia una cuenca más grande, hacia un lago o al mar, además que presentan una dinámica definida por las interacciones ecosistémicas entre los recursos agua, suelo, vegetación y el ser humano, así también con la manera en que se impactan los usos de suelo a causa de la gobernanza de diversos actores sociales (López-Báez, 2014). Las cuencas cumplen importantes funciones ecológicas, ya que en éstas fluye el recurso vital para los seres vivos, actualmente amenazadas por el cambio climático global, tanto por la supervivencia de especies como por la salud de los ecosistemas naturales (Erwin, 2009).

Las aguas de la cuenca fluyen a las quebradas o ríos, estos pueden ser permanentes o temporales, considerados humedales por la Convención Ramsar de 1971, definiendo humedal como “extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención Ramsar, 2013).

Además para Costa Rica, el Artículo 6° del Decreto Ejecutivo N° 35803 MINAET (2010) sobre Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales, menciona que: “Las características ecológicas esenciales que debe poseer un área para ser considerada como humedal son: (a) Vegetación hidrófila, compuesta por tipos de vegetación asociados a medios acuáticos y semiacuáticos, (b) Suelos hídricos, definidos como aquellos suelos que se desarrollan en condiciones con alto grado de humedad hasta llegar al grado de saturación y (c) Condición hídrica, caracterizada por la influencia climática sobre un determinado territorio, en donde se involucran otras variables tales como procesos geomorfológicos, topografía, material constituyente del suelo y ocasionalmente otros procesos o eventos extremos”.

Los ríos son vulnerables a los cambios por la cantidad y calidad de agua entrante al sistema,

por ello el comportamiento de cada río es diferente y el análisis debe hacerse a escalas locales (Erwin, 2009; Vorosmarty et al., 2010). Los cambios en la cantidad y calidad de agua en los ríos pueden deberse a causas naturales o antrópicas, con consecuencias en el equilibrio de ecosistemas. Por lo que, determinar los indicadores según características físicas, químicas y biológicas del agua, como: la alteración del canal, la biomasa de algas, las comunidades de peces o macroinvertebrados, el caudal mínimo, el estado del bosque de ribera entre otros, contribuyen al conocimiento integral del estado del río y permiten comprender los niveles y grados de afectación de los impactos (Castro, Almeida, Ferrer & Díaz, 2014).

Los ríos también son considerados corredores biológicos, debido a que son un continuo del bosque de ribera, sin embargo este puede estar fragmentado formando parches de diferentes tamaños, influyendo en el flujo e intercambio de especies; es por esto que los bosques remanentes localizados en las riberas de los ríos y quebradas se consideran de gran importancia para la biodiversidad y los ecosistemas (Gilbert-Norton, Wilson, Stevens & Beard, 2010; Morera-Beita, Sandoval-Murillo & Alfaro-Alvarado, 2021). La transformación del paisaje, asociada a dinámicas territoriales como el crecimiento urbano, la tenencia de la tierra y la gobernanza del uso de la tierra, son las que provocan un sobreuso de suelo, sea por expansión agrícola o urbana, si no existe un ordenamiento territorial las áreas naturales se reducirán, provocando cambios en los ecosistemas por disminución de conectividad entre parches boscosos (FAO, 2016).

La calidad del bosque de ribera es considerada un indicador biológico y se relaciona con la calidad de agua, debido a que la continuidad del bosque a lo largo del río influye en el funcionamiento ecológico del río (Chará, Pedraza, Giraldo & Hincapié, 2013). El estudio de la composición y estructura de la vegetación ribereña en regiones tropicales son importantes para conocer la resiliencia o capacidad de los ecosistemas para volver a la condición inicial después de una perturbación. Así también, la riqueza y abundancia de especies permite identificar cuáles son exóticas o nativas y por lo tanto plantear estrategias para un reemplazo gradual (Maglianesi, 2011).

La proporción del bosque de ribera es utilizado para cuantificar la pérdida de cobertura boscosa, donde al disminuir el porcentaje de cobertura aumenta la probabilidad de que se desarrollen problemas de erosión en las orillas de los ríos, así como el riesgo a una mayor perturbación, contaminación y el desequilibrio en general del ecosistema (Gatica, Almeida, Mallea, Del Corigliano & González, 2012). Principalmente para evitar los procesos de erosión, se deben

conservar los bosques cercanos a los ríos o fuentes de agua, o bien recuperar el bosque en áreas desprovistas, debido a que funcionan como amortiguadores de las corrientes de sedimento y del transporte de nutrientes provenientes de las montañas (Bonnesoeur, et al., 2019).

La pérdida de cobertura boscosa puede deberse a diversos factores que influyen en la calidad de agua, estos pueden ser naturales o causados por el ser humano. Algunos procesos naturales pueden estar asociados a la alta precipitación, como por ejemplo, deslizamientos o derrumbes, cabezas de agua o inundaciones, la frecuencia de estos fenómenos pueden ser indicadores de la presión e impacto que reciben los ríos, así como la importancia de la GIRH para reducir la vulnerabilidad ante estos eventos (Arellano-Monterrosas, 2010). Sin embargo, algunos de los eventos que ocurren naturalmente también pueden estar influenciados por efecto del ser humano en los bordes del río, ocasionado por el aumento de procesos de fragmentación, conllevando a la degradación del bosque, del suelo e ir generando un deterioro progresivo de la calidad de los ecosistemas hasta que ocurre un desastre, empeorando la situación cuando hay pérdidas materiales o humanas a causa de estos eventos (Campos-Durán & Quesada-Román, 2017).

Una de las principales causas de la fragmentación es el cambio de uso de suelo, donde el porcentaje de la distribución del bosque puede variar según las presiones de los diversos usos (Morera-Beita & Sandoval-Murillo, 2018). En el caso de sectores o zonas agrícolas se pueden ejercer prioridades para identificar las principales amenazas que inciden en la conservación de la biodiversidad, donde el impacto dependerá de las prácticas agrícolas utilizadas, como por ejemplo los sistemas agroforestales en comparación con extensiones de monocultivos tendrán un impacto menor por las prácticas que desarrollan; al tener los cultivos fragmentos de parches boscosos y cercas vivas aumentará la heterogeneidad del paisaje y la conectividad boscosa (Fernandes, Aguiar & Ferreira, 2011).

Además de los cambios de usos por prácticas agrícolas, la urbanización también provoca la eliminación de bosques naturales. Es por esto que para la planificación urbana es necesario involucrar tres ejes fundamentales, el ambiental, económico y social, para comprender de mejor manera la relación de los ríos con el desarrollo de las comunidades y ciudades. Esto dependerá del valor que represente según la cultura, si la perspectiva sobre el río es como un lugar fuente de asentamientos de tugurios, pobreza y contaminación, o sí se observan los ríos como sitios que mejoran el paisaje de las comunidades o ciudades (Gatica et al., 2012).

Debido al reemplazamiento de los bosques, a nivel mundial surge el interés por conocer y conservar el estado ecológico de los ecosistemas que no sólo implican el estudio en la composición, estructura y funcionalidad de la biodiversidad, sino también en la solución y reducción de conflictos socioambientales que conducen a un deterioro del recurso hídrico (Rodríguez, Rojas & Gómez, 2017). El conocimiento sobre la importancia de los bosques y su relación con la calidad del agua de los ríos, así como los impactos que tienen, son relevantes para la toma de decisiones, por lo que deben de ser considerados en los planes de desarrollo regional o local (Manson, 2016).

2. Políticas sobre la protección de cuencas hidrográficas internacionales y nacionales

2.1 Políticas internacionales

Diversos convenios internacionales agrupan políticas de protección a las cuencas hidrográficas de los países firmantes, por ejemplo, según la Convención Ramsar para la protección de ríos se menciona que cada parte contratante o país debe fomentar la conservación de los humedales y de las aves acuáticas creando reservas naturales y tomar las medidas adecuadas para su protección (Ramsar, 1971).

La Convención de Diversidad Biológica también es de importancia internacional, en esta se indica que todos los países deben ser conscientes de la importancia de la diversidad biológica, para la evolución y para el mantenimiento de los ecosistemas, englobados juntos como la biosfera. Además, en esta convención se indica que cuando hay una amenaza de reducción o pérdida relevante de la diversidad biológica no deben justificarse por la ausencia de pruebas científicas como razón para aplazar las medidas que van a evitar o reducir al mínimo la amenaza (Naciones Unidas, 1992)

La conservación de la biodiversidad es fundamental, en especial la conservación de los ecosistemas y hábitats naturales, así como las poblaciones de especies más vulnerables o en peligro de extinción. El artículo 8. en los incisos f y h, de la convención, se refieren a la conservación in situ directamente, donde se propone la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, así como la recuperación de especies amenazadas, mediante la elaboración y la aplicación de planes u otras estrategias para el manejo. También menciona el control sobre las especies exóticas que sean introducidas, así como el manejo de especies que amenacen los ecosistemas, hábitats o desplacen

las especies nativas (Naciones Unidas, 1992).

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas propone la llamada agenda 2030 enfocada en el desarrollo sostenible, fue aprobada en septiembre del 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas y se estableció una visión compartida con la unión de tres ejes, la sostenibilidad económica, social y ambiental. En esta agenda se propusieron 16 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) con metas para el 2030 o antes de ese año (CEPAL, 2017). Tres de estos objetivos están directamente relacionados con los ríos o la conservación de ecosistemas terrestres, estos son los siguientes:

- Objetivo 6: “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. Además de proveer el agua a todos los ciudadanos propone la mejora de la calidad del agua, reduciendo la contaminación, minimizando la entrada de productos químicos o peligrosos, implementando el tratamiento de aguas residuales, así como un adecuado manejo de los residuos sólidos. Una de sus metas principales es implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación internacional (CEPAL, 2017).
- Objetivo 11: “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”; es importante el desarrollo en la infraestructura sin embargo es necesario que sea sostenible y que el impacto ambiental sea menor. Esto se logra con una adecuada planificación y gestión integrada y sostenible de los asentamientos humanos en todos los países, reduciendo las muertes causadas por desastres provocados ante la ausencia de un ordenamiento territorial (CEPAL, 2017).
- Objetivo 15: “Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica”. Se propuso asegurar la conservación y uso sostenible de ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce, donde se promueva la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, aumentando la forestación y la reforestación, implementando incentivos para su desarrollo, además de proteger las especies nativas y amenazadas, controlando las especies exóticas e invasivas (CEPAL, 2017).

2.2 Políticas y Legislación de Costa Rica

En Costa Rica para el año 1991, se crea la ley N° 7224, donde la Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, decreta la aprobación de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de las aves acuáticas “Convención de Ramsar” (2 de febrero de 1971), se establecieron 12 sitios Ramsar en Costa Rica, sin embargo el decreto incluye que de igual manera los países deben promover la protección de humedales no incluidos en la lista (Asamblea Legislativa, 1991). En respuesta a esto, se desarrolló en Costa Rica la Política Nacional de Humedales en el año 2017, con el fin de gestionar los ecosistemas de humedal mediante la conservación de su integridad ecológica y el uso sostenible de los servicios ecosistémicos que estos proveen, con mayor interés en las poblaciones que dependen de manera directa (MINAE, 2017).

La Ley de Biodiversidad N° 7788 publicada en el año 1998, se basa en la necesidad de conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos, desde un modelo integrado, específicamente en el artículo 37, se establecieron los pagos de servicios ambientales (PSA) como fuentes de incentivo, donde según el establecimiento de áreas estratégicas definidas por los Consejos Regionales de las Áreas de Conservación y las instituciones y organizaciones involucradas, requieran que los propietarios obtengan un PSA de manera voluntaria si lo desean. (Asamblea Legislativa, 1998). Así también el artículo 93 indica que la biodiversidad debe considerarse en las evaluaciones de impacto, ya que puede haber cambios tanto naturales como antropogénicos que la estén afectando (Asamblea Legislativa, 1998).

La Ley de Aguas N°276, es de gran relevancia para el manejo del recurso hídrico, en esta se establece que el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) debe velar por los derechos al uso de las aguas públicas, como en caso de escasez que sea prioridad el consumo humano, también señala que la protección de zonas de ribera es fundamental para asegurar la calidad del agua. En el artículo 145 se estipuló que, para evitar la disminución de las aguas producida por la tala de bosques, las autoridades de la República deben procurar el estricto cumplimiento de las disposiciones legales referentes a la conservación de los árboles, especialmente en las orillas de los ríos y donde se encuentren las nacientes (Asamblea Legislativa, 1942).

Dado que la Ley de Aguas data del 1942, surge un nuevo proyecto de ley llamado Ley para

la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (Asamblea Legislativa, 2017), con el objetivo de regular o tutelar el aprovechamiento y uso del recurso hídrico, además de garantizar que el acceso sea universal, equilibrado y equitativo. En este proyecto se mencionan las áreas de protección hídrica en concordancia con la Ley Forestal para el resguardo de las zonas de recarga, manantiales, pozos y zonas que bordean las fuentes de agua. Hay algunas incongruencias que no han permitido que el proyecto sea aprobado, se debe reestructurar o elaborarse una nueva propuesta, ya que es muy necesaria para una mejor gestión del recurso.

2.3 Áreas de Protección

Las zonas boscosas que se ubican en los márgenes de ríos, quebradas, arroyos, acequias o cualquier otro, facilitan o favorecen la conectividad, donde la distancia entre parches debido a la fragmentación puede aumentar, y dificulta la conectividad afectando a las especies que necesitan desplazarse, a las que habitan en estos ecosistemas, también se pueden afectar los mecanismos de dispersión de frutos y semillas, donde una de las dispersiones más frecuentes son las realizadas por la fauna en especial por aves, mamíferos y roedores (Sirombra, 2019), sin embargo también puede ser por mecanismos de dispersión por medio del viento y del agua que se pueden ver afectados (Alcázar-Caicedo & Ramírez-Hernández, 2011).

Las leyes que establecen las áreas de protección son la Ley de Aguas y la Ley Forestal, sin embargo, la primera data del año 1942, por lo que para áreas de protección se utiliza la ley Forestal del año 1996, aun así los artículos 31, 148 y 154 de la Ley de Aguas son importantes en función de las medidas de compensación y de la labor de las municipalidades. El artículo 148 indica que los propietarios de terrenos con ríos o con manantiales, donde el bosque ha sido destruido, deben compensar con la siembra de árboles en los márgenes. También el artículo 154 expresa que está prohibido que las municipalidades enajenen, hipotequen o comprometan tierras en los márgenes del río o en manantiales (Asamblea Legislativa, 1942).

El artículo 154 menciona que debe respetarse en terrenos planos o de pequeño declive una zona de cien metros a cada lado y en las zonas más quebradas a partir de la depresión máxima doscientos cincuenta metros a cada lado, además el artículo 31 señala que se deberá respetar un radio de perímetro de 200m en las nacientes sean de captación o tomas surtidoras de agua potable (Asamblea Legislativa, 1942). Sin embargo, la Ley Forestal tiene otras regulaciones estipuladas en

el artículo 33, de la Ley Forestal N° 7575 (Asamblea Legislativa, 1996) siendo las siguientes:

- a. Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- b. Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- c. Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.
- d. Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.

Ambas leyes protegen las áreas de protección y se sanciona su incumplimiento, sin embargo, la degradación de estas zonas continúa, por lo que es necesario estudios en las cuencas del país. Además se necesita el apoyo de instituciones que tienen gobernanza sobre este tipo de decisiones, es por esto que actualmente se desarrolló por parte de la Área de Conservación Cordillera Volcánica Central una “Política Nacional para la recuperación de la cobertura arbórea y resguardo de las áreas de protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes”, la cual tiene como objetivo principal establecer mecanismos eficientes y eficaces de coordinación y ejecución para la recuperación y el resguardo de las áreas de protección establecidas en la normativa nacional vigente mediante la rehabilitación, la restauración ecológica, la conservación y el monitoreo y vigilancia (MINAE, 2020). Esta política será fundamental para la elaboración de la propuesta de restauración ecológica, donde se tomarán en cuenta las leyes ya establecidas y sea un trabajo en conjunto con las comunidades y organizaciones, siendo parte de un proceso de manejo integral de la cuenca.

3. Problemática en Costa Rica

En América Latina la expansión de agroexportaciones y biocombustibles continúan, donde el uso de monocultivos a gran escala produce fragmentación y degradación de los ecosistemas. Este tema es muy controversial, ya que la exportación contribuye a las economías nacionales, sin

embargo, tiene impactos negativos en la salud pública, en la calidad de los alimentos y en la integridad de los ecosistemas (Altieri & Toledo, 2011). Costa Rica también se ve afectado por la deforestación causada por los cambios en el uso de suelo, donde muchos factores intervienen, siendo estos el aumento de la urbanización, el aprovechamiento forestal, la ganadería y los monocultivos extensivos entre otros. Sin embargo, a nivel cantonal en el periodo del 2000 al 2015, algunos cantones presentan mayor o menor fragmentación y conectividad de su cobertura natural, esto depende de las actividades realizadas en ese periodo (Morera-Beita & Sandoval-Murillo, 2018).

Para Costa Rica las tasas de cambio de la cobertura forestal a nivel nacional presentaron pérdidas de 35,000 ha/año para el período entre 1960-79, 39,000 ha/año para 1979-86 y luego a tasas de recuperación de 17,000 ha/año para 1986-2000 y de 26,000 ha/año para 2000-05 (Calvo, 2013). Pero estas recuperaciones no necesariamente son bosques primarios o secundario, también puede tener incidencia el concepto de cobertura vegetal que se utilice. La reducción de la cobertura boscosa está influenciada además de la deforestación para la siembra de monocultivos, por la tala ilegal, que se reconoce por aquella tala desarrollada fuera de las disposiciones asignadas por la Ley Forestal de Costa Rica (Asamblea Legislativa, 1996).

Costa Rica está involucrada, al igual que el resto de la región centroamericana, en un proceso de reforma de su marco jurídico e institucional para llegar a una gestión integral de los recursos hídricos (Arias-Salguero, Losilla-Penón & Arredondo, 2010). Por lo que, además de la creación de la propuesta de Ley GIRH y la aplicación legislativa en cuanto a las áreas de protección, es necesario el desarrollo de estudios donde se evidencie la importancia que tiene el bosque de ribera para la gestión integrada del recurso hídrico, con el fin de desarrollar políticas e incentivar la participación comunitaria, para así fomentar la conservación, la sostenibilidad y la recuperación de los bosques en cuencas hidrográficas. Como es el caso de la microcuenca Chiz-Maravilla donde se ha llevado un proceso de generación de información científica y social, a raíz de una necesidad por mejorar la gestión en la zona, por lo que la interacción y participación de diversos actores sociales tienen un rol fundamental para lograr la toma de decisiones (Fonseca-Sánchez, et al. 2019).

4. Restauración ecológica: conceptos teórico-metodológicos

El concepto general de restauración ecológica es facilitar el retorno o resiliencia de un

ecosistema degradado a su estado previo, siendo considerada la perturbación que originó el cambio (Vargas, 2011). Para alcanzar la sostenibilidad y la resiliencia de los ecosistemas hay diversas estrategias que se pueden implementar dependiendo del objetivo, algunas pueden ser: regeneración natural, restauración ecológica, técnicas para atraer fauna dispersora, mejoramiento de sistemas agrícolas como la utilización de cercas vivas, cortavientos, la rotación de cultivos o ganado, sistemas agroforestales y silvopastoriles (Altieri & Toledo, 2011).

Los procesos de restauración ecológica son importantes porque además de promover el retorno de los ecosistemas pueden mejorar la calidad de vida de las personas. Al aumentar el porcentaje de bosque en especial en áreas de protección pueden asegurar el cuidado del recurso hídrico, además los propietarios de tierras cercanas a los ríos pueden reducir los niveles de erosión y el riesgo a la inundación, y algunos pueden verse afectados positivamente con el aumento del valor ecológico del ecosistema, debido a la percepción escénica (Valero et al., 2014).

La restauración de las áreas de protección debe ser interés de todos los costarricenses, en zonas como el río Maravilla en Cartago, hay grandes extensiones del cultivo de la caña, café y hortalizas, siendo necesario fomentar estrategias de restauración donde se concientice en la problemática ambiental y la importancia económica y social en zonas agrícolas. Sin duda, el manejo integral de los bosques, con base en las regulaciones costarricenses pueden reducir los impactos que la deforestación ha causado en los bosques y en los ríos (Lorion & Kennedy, 2009).

4.1 Índice QBR

Las cuencas hidrográficas son diferentes entre sí, y por lo tanto hay diversos patrones espaciales en la estructura y composición de las comunidades vegetales. Como método de evaluación ecológica rápida se creó el índice QBR, este fue desarrollado para la evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos mediterráneos, sin embargo, puede ser adaptado para su aplicación en el trópico (Posada & Arroyave, 2015). Este índice se basa en cuatro componentes: el grado de la cobertura vegetal, la estructura de la cobertura, la calidad de la cobertura y el grado de naturalidad del canal fluvial (Munné et al., 2003).

El índice QBR permite evaluar la calidad del bosque de ribera en tramos a lo largo del río, donde según la calidad obtenida se pueden evidenciar los posibles impactos y así formular

estrategias de manejo (Valero et al., 2014). Este índice es de uso práctico y rápido, siempre y cuando se conozcan las especies vegetales del lugar, al ser aplicado en las riberas se puede observar el estado de las áreas de protección establecidas en la ley Forestal, por lo tanto, evidenciar el respeto o la invasión en estas zonas.

4.2 Evaluación Multicriterio:

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante sus elementos: *hardware*, *software*, *liveware* y los datos, permiten realizar las siguientes funciones: ingresar los datos, gestionar y analizar los datos, modelaje cartográfico y espacial, y la salida de datos mediante mapas o gráficos principalmente. Con el uso de los SIG se puede generar información para resolver un determinado problema y pueden apoyar las decisiones multicriterio. La evaluación multicriterio (EMC) consiste en utilizar un conjunto de técnicas para asistir en procesos de toma de decisiones. La EMC se enfoca en estudiar un número de alternativas según los criterios seleccionados que respondan al objetivo planteado (Gómez & Barredo, 2006).

Los criterios escogidos deben ser evaluados por expertos y un comité decisor se encarga de realizar el análisis. Las EMC tienen dos tipos de técnicas: las compensatorias en las que se asignan pesos a los criterios y las no compensatorias en las cuales se utiliza un valor ordinal o de importancia de criterios sin establecer un peso. En este estudio se utilizará una técnica compensatoria aditiva llamada Combinación Lineal Ponderada, ya que es sencilla, intuitiva y fácil de implementar según la cantidad de criterios escogidos. Además, permite obtener un valor por cada alternativa basada en los pesos de los criterios y las puntuaciones de los criterios, obteniendo con esto un resultado o salida de datos, mediante mapas que demuestran cuales son los sitios donde se deberán de tomar acciones para solucionar el problema (Gómez & Barredo, 2006).

4.3 Participación social: mapeo social y educación ambiental

La extensión y acción social es fundamental, siendo las universidades un componente más de la sociedad y por lo tanto una de sus funciones es alcanzar a las comunidades. La extensión en la actualidad debe hacer frente a problemas ambientales, económicos y políticos, y estar en la búsqueda de diálogos y soluciones para el bienestar común (Menéndez, 2017). Este estudio se basa geográficamente en la microcuenca del río Maravilla, por lo que el mapeo social es fundamental

para conocer las instituciones o grupos organizados del sitio de estudio. El mapeo social se realiza con la metodología CLIP, la cual evalúa por separado cada actor social y su rol en el proceso (Chevalier & Buckles, 2011).

Además de conocer mediante el mapeo social los actores sociales claves para determinadas acciones, la participación social permite crear espacios de educación, mediante el intercambio de conocimientos entre la universidad y las comunidades. La educación ambiental es esencial en los procesos de gestión del recurso hídrico, los programas y proyectos deben guiar hacia la reflexión y la sensibilización del recurso y así transformar la cultura, las acciones y el comportamiento de las comunidades, para así proteger las cuencas abastecedoras y productoras del agua (Arroyave, Builes & Rodríguez, 2012).

Marco Metodológico

1. Área de estudio

El estudio se realizó en el río Maravilla, el cual junto a la Quebrada Honda y el río Chiz forman parte de la microcuenca Maravilla-Chiz, que a su vez pertenece a la cuenca del río Reventazón-Parismina, desembocando posteriormente en el Mar Caribe (Zúñiga-Mora & Ramírez-Granados, 2016). El río Maravilla mide aproximadamente 11,3 km (Jiménez, 2010), y atraviesa los distritos Capellades y Juan Viñas, pertenecientes a los cantones de Alvarado y Jiménez respectivamente (Jiménez, 2010). La época seca se extiende de diciembre a abril y la época lluviosa de mayo a noviembre (Instituto Meteorológico Nacional, 2013), el mes de setiembre es el mes más lluvioso y marzo el menos lluvioso, además presenta temperatura media de 18.8°C, humedad relativa promedio de 89.5%, y precipitación que varía entre 2500 y 3500 mm anuales (Ramírez & Zúñiga, 2014; Sánchez-Murillo, 2018).

Según Holdridge (1967), la zona de Juan Viñas presenta tres zonas de vida: bosque muy húmedo premontano (50%), bosque pluvial premontano (28,5%) y bosque pluvial montano bajo (18,6%). A pesar del alto porcentaje de cobertura boscosa (54,9%) del cantón de Jiménez, solo el 11% corresponde al distrito de Juan Viñas, esto se debe en gran manera a la expansión agrícola (Jiménez, 2010). Además, los parches boscosos en general se encuentran en este uso por estar en pendientes fuertes, condición por la cual no son cultivadas o están bajo regímenes de protección (INDER, 2014).

La geomorfología del cantón de Jiménez es muy diversa, compuesta de diferentes formaciones, orígenes, pendientes, además el relieve de esta localidad presenta en la mayoría de su territorio condiciones idóneas para todo tipo de cultivos, exceptuando zonas con pendientes superiores al 30% no aptas para ciertos cultivos (Jiménez, 2010). El distrito de Juan Viñas presenta un 65% del territorio dedicado a actividades agrícolas y el 35% a pequeñas zonas urbanas, boscosas y actividades pecuarias (Jiménez, 2010). En el sitio de estudio, la población de Juan Viñas se encuentra rodeada por fincas, en su mayoría de la Hacienda Juan Viñas, la cual produce principalmente caña de azúcar y café, teniendo los pobladores una importante dependencia hacia esos cultivos (Quirós, 2009; INDER, 2014).

Maravilla, debido a que las plantas halófitas son resistentes a la salinidad, ubicadas en zonas de manglares, desembocaduras al mar o bien en suelos con alto porcentaje de sal, este no es el caso (Rueda-Puente et al., 2011; Parra, 2012). Para la aplicación de este índice se delimitaron los seis puntos de estudio mencionados anteriormente, en cada uno se registraron las coordenadas geográficas. Además de manera visual se definió la zona de ribera, entendiéndose como una comunidad biótica que se desarrolla en las orillas de los cuerpos de agua, esta puede ser una zona inundable o no dependiendo de la geología del sitio.

En cada punto de muestreo se realizaron dos transectos, uno a cada lado del río, de 50m a lo largo de la ribera y 4m de ancho, estos transectos fueron definidos por las altas pendientes del sitio, donde se prefirió hacer los transectos más largos y reducir el ancho. En estos transectos se identificaron las especies de árboles y arbustos con diámetro a la altura del pecho (DAP=1.30m) mayor a 10cm y además se midió la altura.

La identificación se realizó en campo, anotando el nombre científico, nombre común y familia, para las plantas que no se lograron identificar, se recolectaron muestras botánicas y se tomaron características como la coloración de las hojas, flores y frutos, olor, color y textura de la savia, color y forma del fuste (Sánchez-Vindas, Poveda-Álvarez & Thor-Arnason, 2008), y se procedió a la revisión e identificación, mediante el uso de los manuales de plantas de Costa Rica (Hammel, Grayum, Herrera & Zamora, 2020). Además, se realizó consulta a expertos en el Herbario Anastasio Alfaro de la Universidad Nacional de Costa Rica y en el Museo Nacional de Costa Rica. La identificación a nivel de especie se realizó con el fin de conocer cuales especies son nativas y cuales son exóticas o introducidas, datos necesarios para ejecutar el índice.

En cada punto se evaluaron los cuatro bloques del índice QBR, los cuales son independientes entre sí. A cada bloque se le asignó una puntuación, sean 25, 10, 5 o 0, analizando los dos transectos de cada sitio como unidades independientes (margen derecha e izquierda). Además, la puntuación final puede ser modificada según condiciones complementarias en cada apartado. Al terminar se obtuvo como puntuación final la suma de los 4 bloques, por lo tanto, varía entre 0 y 100; según la puntuación, se clasificó por categoría de color según la calidad de bosque de ribera al que pertenece (Cuadro 1).

A continuación, se explican los cuatro bloques que conforman el índice QBR:

Cuadro 1. Rangos de la calidad del bosque de ribera según el índice QBR (Modificado de Munné et al, 2003)

Nivel de Calidad	QBR	Color representativo
Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural	≥ 95	Azul
Bosque ligeramente perturbado, calidad buena	75-90	Verde
Inicio de alteración importante, calidad intermedia	55-70	Amarillo
Alteración fuerte, mala calidad	30-50	Naranja
Degradación extrema, calidad pésima	≤ 25	Rojo

1.1 Grado de cobertura

Se contabilizó el porcentaje de cobertura vegetal, tomando en cuenta la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente para sumar o restar puntos (Cuadro 2), este bloque se enfocó en puntuar el recubrimiento del sitio por la vegetación según el criterio del observador.

Cuadro 2. Puntuación según el grado de cobertura vegetal en ambos transectos (Modificado de Munné et al, 2003)

Puntuación	
25	> 80 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
10	50-80 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
5	10-50 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
0	< 10 % de cobertura vegetal de la zona de ribera
+10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total
+5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%
-5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%
-10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%
Total	

1.2 Estructura de la cobertura

La estructura se puntuó tomando en cuenta el porcentaje de recubrimiento de árboles y, en ausencia de estos, arbustos sobre la totalidad de la zona a estudiar. Los elementos como la linealidad en la base de los árboles (presencia de plantaciones), o las coberturas distribuidas no uniformemente y formando manchas se penalizaron en el índice, mientras que la conexión entre árboles y arbustos en la ribera, se potenciaron (Cuadro 3). Este apartado evalúa la complejidad de la vegetación que puede ser causa de una mayor biodiversidad animal y vegetal en la zona.

Cuadro 3. Puntuación de la estructura de la cobertura vegetal en ambos transectos

(Modificado de Munné et al, 2003)

Puntuación	
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cobertura los arbustos superan el 25 %
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cobertura con arbustos entre 10 y 25 %
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %
+10	si en la orilla la concentración de arbustos es superior al 50 %
+5	si en la orilla la concentración de arbustos es entre 25 y 50 %
+5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque
-5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %
-5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas o parches, sin una continuidad
-10	si existe una distribución regular (linealidad) en la base de los árboles y el sotobosque es < 50 %
Total	

1.3 Calidad de la cobertura

Para este componente se determinó el tipo geomorfológico sea de 1 a 3 contando el número de especies arbóreas nativas presentes en la ribera. El bosque en forma de túnel a lo largo del río supone un aumento de la puntuación, dependiendo del porcentaje de recubrimiento a lo largo del tramo estudiado. La disposición de las diferentes especies arbóreas en galería, es decir en grupos que se van enlazando, aumentan el valor (Cuadro 4).

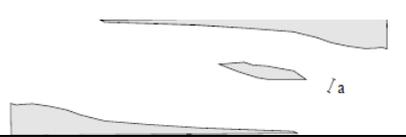
Cuadro 4. Calidad de la cobertura vegetal en ambos transectos, depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera (Modificado de Munné et al, 2003)

Puntuación		Tipo	Tipo	Tipo
		1	2	3
25	número de especies diferentes de árboles autóctonos	> 1	> 2	> 3
10	número de especies diferentes de árboles autóctonos	1	2	3
5	número de especies diferentes de árboles autóctonos	-	1	1-2
0	sin árboles autóctonos			
+10	si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río, uniforme y ocupando > 75 % de la ribera (en toda su anchura)			
+5	si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50 - 75 % de la ribera)			
+5	si existe una disposición en galería de diferentes comunidades			
+5	si el número diferente de especies de arbustos es:	>2	>3	>4
-5	si existen estructura construidas por el hombre			
-5	si existe alguna sp. de árbol introducida (alóctona) aislada			
-10	si existen sp. de árboles alóctonas formando comunidades			
-10	si existen vertidos de basuras			
Total				

Para determinar el tipo geomorfológico se puntuó el margen izquierdo y derecho en función de su desnivel y forma. El valor final se obtiene con la sumatoria de los valores de ambos lados del

río y complementando el valor con las restas y las sumas de los apartados inferiores (si es necesario). La presencia de “islas o bancos” en el río disminuye la puntuación, mientras que la presencia de un suelo rocoso y duro (lascas) con baja potencialidad para enraizar una buena vegetación de ribera, la aumentan. El resultado indica a que tipo geomorfológico pertenece y a cuál ruta seguir en el apartado de cobertura (Cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera para el apartado de calidad de la cobertura. ((Modificado de Munné et al, 2003)

Sumar el tipo de desnivel de la derecha y la izquierda de la orilla, y sumar o restar según los otros dos apartados.	Puntuación	
<i>Tipos de desnivel de la zona ribereña</i>	Derecha	Izquierda
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas	6	6
Igual, pero con un pequeño talud u orilla inundable periódicamente (avenidas ordinarias)	5	5
Pendiente entre el 45 y 75 °, escalonado o no	3	3
Pendiente entre el 20 y 45 °, escalonado o no.	2	2
Pendiente < 20 °, ribera uniforme y llana	1	1
<i>Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río</i>		
Anchura conjunta “a” > 5 m.		-2
		
Anchura conjunta “a” entre 1 y 5 m.		-1
		
<i>Potencialidad de soportar una masa vegetal de ribera. Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente</i>		
	> 80 %	No se puede medir
	60 - 80 %	+ 6
	30 - 60 %	+4
	20 - 30 %	+2
Puntuación total		

Cuadro 6. Tipo geomorfológico según la puntuación (Modificado de Munné et al, 2003)

> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un extenso bosque de ribera
entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso

1.4 Grado de naturalidad del canal fluvial

La modificación en el margen del río supone una reducción del cauce, además del aumento de la pendiente de los márgenes y la pérdida de sinuosidad en el río. Cuando existe infraestructura sean paredes, muros, entre otros, los signos de alteración son más evidentes y la puntuación disminuye (Cuadro 7).

Cuadro 7. Grado de naturalidad del canal fluvial en ambos transectos (Modificado de Munné et al, 2003)

Puntuación	
25	el canal del río no ha estado modificado
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
0	río canalizado en la totalidad del tramo
-10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
-10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río
Total	

3. Sitios prioritarios de restauración ecológica

Para asistir a la toma de decisión sobre identificar los sitios prioritarios para la restauración ecológica se realizó la evaluación multicriterio (EMC) en un entorno de sistemas de información geográfica, utilizando el programa IDRISI Selva® (Eastman, 1997). La EMC es un conjunto de técnicas orientadas en asistir en los procesos de toma de decisiones, dando respuesta a una problemática que presenta la planificación territorial, considerando el componente social, ambiental y sus repercusiones (Gómez & Barredo, 2006).

Utilizando el software IDRISI, en el módulo de EMC en la interfaz gráfica se incorpora el algoritmo de la EMC por medio de un análisis booleano, de una Combinación Lineal Ponderada. Este método consiste en una matriz con número de filas y columnas según el número de criterios a ponderar, conocida también como la matriz por comparación de pares desarrollada por Saaty (1980).

La escala considera la importancia de un criterio sobre cada uno de los demás y se realiza para saber cuál tiene más peso cuando se aplique el análisis, el resultado es la comparación simultánea por pares. La escala inicia de 1/9 de extrema siendo la menos importante a 1 siendo igual la importancia de un criterio con respecto a otro, y de 1 a 9 siendo 9 la extrema más importante (Cuadro 8).

Cuadro 8. Escala de la matriz de comparación de pares de Saaty

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
Menos importante			←————→	Mas importante				

Para la priorización de las zonas a restaurar se establecieron los criterios (sean factores o restricciones) según el objetivo planteado. Estos criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos, en el caso de los cualitativos deberán establecerse categorías para ser numerados según el grado de importancia (Gómez & Barredo, 2006). Estos criterios son: zona de protección de ríos, zona de protección de nacientes, cobertura de uso de la tierra, pendiente y amenaza a la contaminación hidrogeológica, estos tienen además las consideraciones para la priorización (Cuadro 9).

Cuadro 9. Criterios y consideraciones para la priorización de sitios para la restauración ecológica.

Criterio	Justificación	Fuente	Consideraciones para la priorización de restauración
Mapa de zona de protección de ríos (Anexo 4)	La Ley Forestal, artículo 33, inciso b, establece como área de protección: “Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.	Ley Forestal N°7575, Art 33	Se priorizó el área de protección de 50m a lo largo del río Maravilla.
Mapa de zona de protección de manantiales (Anexo 4)	La Ley de Aguas en el artículo 31 establece 200 metros de perímetro medidos horizontalmente, en un radio de protección en la captación y en las tomas surtidoras de agua potable.	Ley de Aguas N°276, Art 31	Se priorizaron los 200m de radio fijo para las nacientes presentes dentro de la microcuenca del río Maravilla.
Mapa de cobertura de uso de la tierra (Anexo 5)	Es una representación de la zonificación de usos según su estructura, forma y aprovechamiento. Las clases de uso en la microcuenca del Maravilla	Fuente: Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA, 2017 La cobertura de uso de la tierra se obtuvo de las fotografías aéreas del	Se priorizaron áreas de bosque intervenido, bosque ribereño y coníferas, porque estos usos están ubicados en pendientes altas, y por esto la restauración favorecería su

	son: bosque intervenido, bosque ribertino, coníferas, pastos, café, caña de azúcar, hortalizas y verduras, y urbano.	Instituto Geográfico Nacional (IGN), también apoyada de imágenes satelitales, con validación de campo durante el año 2017 con error de estimación del 5%.	protección por la restricción de no poder cultivar en partes altas. Además, se priorizarán pastos principalmente tratando de evitar el conflicto por usos agrícolas más productivos como el café y la caña.
Mapa de pendientes (Anexo 6)	En las cuencas agrícolas, presentan mayor uso agrícola las zonas de pendientes bajas, ya que en pendientes altas es incluso imposible cultivar. Además, el patrón de la cobertura boscosa en el río Maravilla se asocia a zonas de altas pendientes.	Fuente: Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA, (2019) a partir de curvas de nivel del IGN, 2008. La cobertura de pendientes se calcula con el modelo de superficie del terreno a partir de las curvas de nivel 1:25.000 en un Sistema de Información Geográfica.	Se priorizaron las pendientes de medianas a altas, es decir las mayores a 30.
Mapa de amenaza de contaminación hidrogeológica (Anexo 7)	La amenaza de contaminación superficial se basa en la presencia de fuentes de contaminación: puntuales, lineales y difusas. Están categorizadas en elevado, moderado, reducido y bosque.	Fuente: Laboratorio de Hidrología Ambiental de la UNA	Se priorizaron las áreas donde la contaminación superficial fue elevada.

Se seleccionaron los criterios según el grado de importancia, mediante el método Delphi (Reguant-Álvarez & Torrado-Fonseca, 2016), donde un grupo experto con conocimiento en diversas áreas que competen con la restauración ecológica y la gestión del recurso hídrico evaluaron los criterios según la descripción de cada uno y su función dentro de la EMC (Cuadro 10). El grupo de expertos definió el orden jerárquico de los factores, lo que permitió realizar el cálculo de los pesos. También se definieron los atributos de cada criterio, y las restricciones que representan áreas donde no se puede realizar ninguna actividad de manejo (Anexo 1, 2).

Los criterios sean cuantitativos o cualitativos se normalizaron con el algoritmo FUZZY, el cual evalúa la posibilidad de que cada píxel pertenezca a un conjunto difuso al evaluar cualquiera de una serie de conjuntos difusos de las funciones de pertenencia, reduciendo la subjetividad de los pesos asignados. Además, los criterios se estandarizaron con el algoritmo WEIGH que consiste en desarrollar un conjunto de pesos relativos para un grupo de factores en una evaluación multicriterio. Los pesos se desarrollaron proporcionando una serie de comparaciones por pares de la importancia relativa de los factores para la idoneidad de los píxeles para la actividad que se evalúa. Estas

comparaciones por pares se analizaron para producir un conjunto de pesos que suman 1. Los factores y sus pesos resultantes se utilizaron como entrada para el módulo EMC para la Combinación Lineal Ponderada. El procedimiento por el cual se producen los pesos sigue la lógica desarrollada por Saaty (1980). Al final se obtuvo un mapa de idoneidad.

Cuadro 10. Grupo experto consultado para la jerarquización de criterios

Nombre	Profesión	Institución
Ana María Monge Ortiz	Biología	SINAC
Gustavo Induni Alfaro	Biología	SINAC
Carol Sánchez	Biología	SINAC
Roberto Cordero Solórzano	Biología	UNA (académico)
Meyer Guevara Mora	Biología	UNA (académico)
Silvia Echeverría Sáenz	Biología	UNA (investigadora)
Tania Bermúdez Rojas	Biología	UNA
Alicia Fonseca	Biología	UNA (académica e investigadora)
Hannia Vega Bolaños	Biología	UNA
Jonathan Navarro Picado	Biología	Conservación Osa (coordinador programa ríos)
Paola Gastezzi Arias	Biología	UNED (académica e investigadora)
Jossy Esteban Calvo Villalobos	Biología-Manejo de Recursos Naturales	La Selva OET; Fundación Rutas Naturbanas
Sandra Díaz Alvarado	Manejo y Protección de Recursos Naturales	SINAC-ACAHN-Programa Investigación
Hilary Brumberg	Gestión Ambiental	Conservación Osa
Geannina Moraga López	Geografía	UNA-Asesora proyectos de investigación
Luis Eduardo Quesada Hernández	Geografía	UNA
Amanda Wendt Jessen	Profesor y Ecologista	EARTH University

4. Participación Social

La participación social está basada principalmente en la interacción con la comunidad, los actores sociales, mediante la asistencia a las reuniones del grupo gestor, actividades de la comunidad y de encuestas previas desarrolladas por el Laboratorio de Hidrología Ambiental. Además, se desarrollaron talleres en la Escuela Cecilio Lindo utilizando como grupo meta escolares de cuarto, quinto y sexto año. Se debe destacar la formación del grupo gestor, como un paso importante para la organización de los actores sociales claves de la zona, con fin de mejorar el tema de la gestión del recurso hídrico.

4.1 Mapeo de actores sociales y metodología CLIP

Se identificaron y analizaron los actores sociales como las organizaciones, instituciones, asociaciones entre otros, que están relacionadas con la cuenca y se analizaron con la metodología CLIP (Cuadro 11). Por sus siglas, C si el actor representa colaboración o conflicto y LIP que se categoriza en alta, media y baja. L clasifica la legitimidad, siendo el grado en que los otros actores reconocen sus derechos y responsabilidades, y la determinación que muestra cuando los ejerce. La I representa el interés de las organizaciones en las pérdidas y ganancias que se experimentarán y la P clasifica según el poder del actor social. El poder se determina por la habilidad para utilizar los recursos que controla, estos recursos pueden ser la riqueza económica, la autoridad política, la habilidad para utilizar la fuerza y amenazas de violencia, el acceso a la información (conocimiento y habilidades) y los medios para comunicarse (Chevalier & Buckles, 2011).

Cuadro 11. Categorización de los actores sociales según la metodología CLIP

Categoría	Siglas	Aspectos
I		
Dominante	PIL	Poder alto, ganancia o pérdida neta alta, legitimidad alta
Fuerte	PI	Poder y ganancia o pérdida neta altos (legitimidad baja o ninguna)
II		
Influyente	PL	Poder y legitimidad altos (ganancia o pérdida neta baja o ninguna)
Inactivo	P	Poder alto (legitimidad y ganancia o pérdida neta bajas o ningunas)
Interesado	L	Legitimidad alta (poder y ganancia o pérdida neta altos o ninguno)
III		
Vulnerable	IL	Legitimidad y ganancia o pérdida neta altas (poder bajo o ninguno)
Marginado	I	Ganancia o pérdida neta altas (poder y legitimidad bajos o ninguno)

4.2 Talleres de educación ambiental: importancia de la restauración y conservación del bosque de ribera

La estrategia de educación ambiental fue la elaboración de talleres escolares dentro del marco de educación no formal. Sin embargo, se implementó en la Escuela Cecilio Lindo en Juan Viñas, donde para su ejecución se requirió conseguir el apoyo del Ministerio de Educación Pública mediante la dirección de la escuela a cargo de MSc. Gabriela Estrada Quirós. Se realizaron 5 talleres los días 8 y 25 de abril y 2 de mayo del 2019. El grupo meta fueron escolares de cuarto, quinto y sexto año, cabe resaltar que los grados de cuarto y sexto estaban divididos en dos secciones.

En estos talleres se fomentó en los niños el deseo de proteger y conservar el río y el bosque,

dando énfasis en la identificación de las problemáticas y las soluciones que se pueden implementar. Los talleres estuvieron dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6, 11 y 15, de CEPAL (2017) y del principio 5 de la Carta de la Tierra, el cual se enfoca en proteger y restaurar la integridad de los sistemas ecológicos de la Tierra (Carta de la Tierra, 2016).

El taller que se realizó se tituló “El bosque de ribera es maravilloso”, el cual tuvo como principales objetivos: enseñar a los escolares la importancia del bosque de ribera, mediante dinámicas enfocadas en el río Maravilla e incentivar a los participantes a proteger el bosque de ribera por medio de la sensibilización que trae consigo un mayor entendimiento de la naturaleza. El taller tuvo diversas dinámicas para hacer que los estudiantes comprendieran estos dos objetivos y se realizó una evaluación para adquirir retroalimentación y a la vez conocer si el mensaje fue transmitido correctamente (Anexo 3).

5. Propuesta de restauración ecológica

Con los datos obtenidos en el índice QBR y el establecimiento de sitios prioritarios, se optó por el establecimiento de estrategias para la restauración ecológica. Además, se tomó en cuenta la información de las especies de árboles identificadas en los sitios, además de las especies que sean aptas según la literatura. Se consideró la importancia ecológica de las especies, el hábito, los usos, crecimiento, la disponibilidad de flores y fruto, y si éstas son alimento de fauna, esto para poder tener un posible ecosistema de referencia según la estructura y composición del tipo de bosque (Posada & Arroyave, 2015).

La propuesta de restauración ecológica está enfocada en los sitios prioritarios en el bosque de ribera, las problemáticas principales, la estrategia de manejo sea restauración ecológica, regeneración natural, reforestación, educación ambiental, participación comunitaria y divulgación de la información. Para la restauración ecológica se brindarán los diseños o técnicas que se puedan implementar y las recomendaciones, además se establecerán indicadores para observar en el tiempo los cambios según los esfuerzos realizados. También para cada estrategia se identificarán los entes responsables y otros involucrados según lo que se proponga, para definir estos entes responsables se realizó el mapeo de actores y la metodología CLIP.

Resultados

1. Calidad del bosque de ribera.

Los seis sitios se distribuyeron desde parte alta hasta la baja del río Maravilla, y se evaluaron aplicando el índice de calidad de bosque de ribera en ambos lados, derecha e izquierda como unidades independientes. Dos puntos tuvieron pésima calidad, dos puntos pésima/mala, un punto calidad mala/intermedia y un punto calidad pésima/buena (Cuadro 12). Se observó además intervención en las áreas de protección del río, con la presencia de pastos con ganado, cultivos de caña y café, infraestructura en el río como canalizaciones del agua (en ocasiones en su totalidad), mal olor, espumas y residuos sólidos en el río. Cabe destacar que el punto evaluado con calidad buena presentaba alta pendiente, y aún conservaba la cobertura boscosa, al igual que el último punto de calidad mala/intermedia que a pesar de que estaba rodeado de cafetales, conservaba cobertura boscosa principalmente especies de regeneración.

Cuadro 12. Calidad del bosque de ribera en 6 sitios evaluados en el río Maravilla

Sitio evaluado	Puntuación promedio	Nivel de Calidad
Punto 1- Derecha	17.5	Pésima
Punto 1-Izquierda	15	Pésima
Punto 2-Derecha	15	Pésima
Punto 2-Izquierda	90	Buena
Punto 3- Derecha	15	Pésima
Punto 3-Izquierda	45	Mala
Punto 4-Derecha	35	Mala
Punto 4-Izquierda	15	Pésima
Punto 5-Derecha	0	Pésima
Punto 5-Izquierda	12	Pésima
Punto 6-Derecha	42.5	Mala
Punto 6-Izquierda	57.5	Intermedia

Para el componente de calidad de cobertura del índice QBR, se identificaron 63 árboles correspondientes a 13 familias, 24 especies y dos morfotipos. De las 24 especies, 21 son nativas, y una de ellas sotacaballo (*Zygia longifolia*) es nativa pero cultivada en el lugar. Las únicas exóticas fueron el eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) que fue cultivada en uno de los sitios de estudio, la anona

(*Annona muricata*) y el poró extranjero (*Erythrina poeppigiana*) las cuales se encuentran naturalizadas (Cuadro 13).

Cuadro 13. Lista de familias y especies encontradas en los transectos del río Maravilla, Cartago

Familia	Especie	Abundancia	Estado
Actinidiaceae	<i>Saurauia montana</i>	3	Nativa
Annonaceae	<i>Annona muricata</i>	1	Introducida-Naturalizada
Fabaceae	<i>Zygia longifolia</i>	6	Nativa-cultivada
	<i>Erythrina poeppigiana</i>	1	Introducida-Naturalizada
Lauraceae	<i>Nectandra membranacea</i>	2	Nativa
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata</i>	5	Nativa
	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	2	Nativa
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i>	2	Nativa
	<i>Conostegia sp.</i>	4	Nativa
	<i>Miconia sp.</i>	1	Nativa
Moraceae	<i>Ficus aurea</i>	1	Nativa
	<i>Ficus velutina</i>	1	Nativa
	<i>Ficus sp.</i>	2	Nativa
Myrtaceae	<i>Eucalyptus deglupta</i>	4	Introducida-cultivada
	<i>Psidium guajava</i>	3	Nativa
Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>	3	Nativa
Rubiaceae	<i>Arachnothryx buddleioides</i>	1	Nativa
Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i>	4	Nativa
	<i>Solanum chrysorichum</i>	1	Nativa
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	10	Nativa
	<i>Coussapoa villosa</i>	2	Nativa
	<i>Urera caracasana</i>	1	Nativa
Verbenaceae	<i>Lippia myriocephala</i>	1	Nativa
	<i>Cornutia pyramidata</i>	2	Nativa
Morfotipo	Sp1	1	-
	Sp2	1	-
Total:	13	26	65

La dominancia de árboles delgados (10 a 20cm de DAP) y de baja altura (inferiores a los 10m), reflejaron una estructura relacionada con un bosque secundario en regeneración (Figuras 2 y 3).

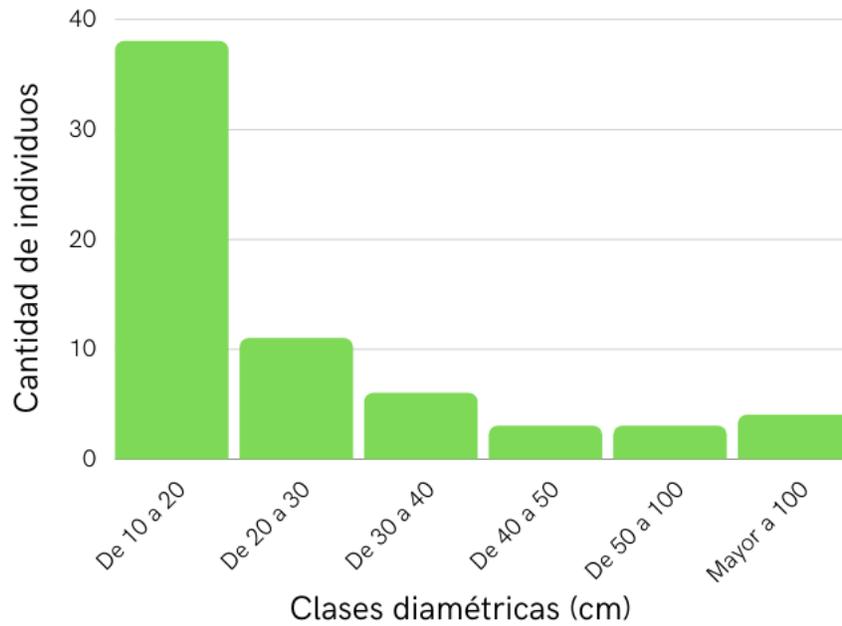


Figura 2. Clasificación diamétrica (centímetros) de los árboles con DAP>10cm en el río Maravilla

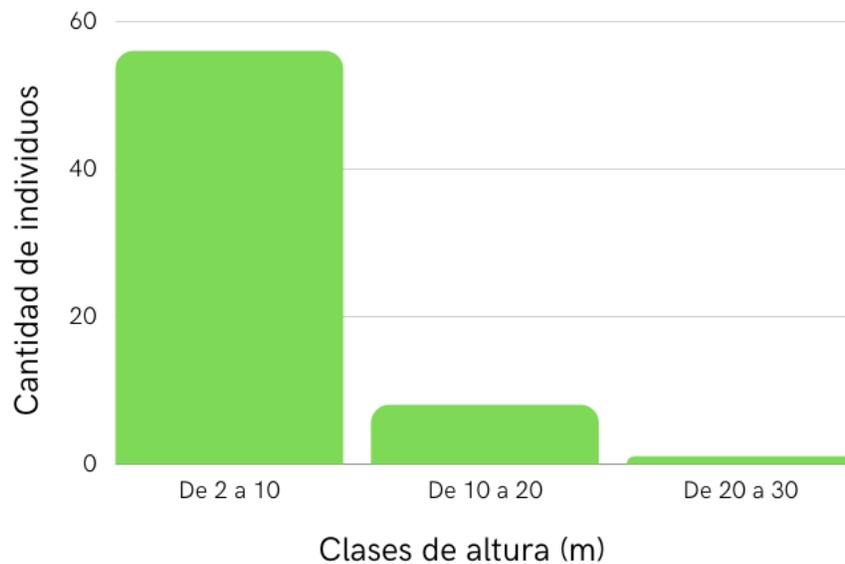


Figura 3. Clasificación según la altura (metros) de los árboles con DAP>10cm en el río Maravilla

La composición de las especies observadas refleja el impacto de las actividades humanas en la ribera del río. Las especies más abundantes fueron las pioneras o de regeneración inicial, a

excepción del sotacabayo y el eucalipto que fueron sembrados (Cuadro 14).

Cuadro 14. Riqueza de especies y observaciones por punto de muestreo.

Sitio de muestreo	Riqueza de especies	Observaciones
Punto 1	1	Parte alta, zona de pasto con ganado, solo un árbol en uno de los transectos. Especie <i>Cornutia pyramidata</i>
Punto 2	8	Parte media, infraestructura en el río, una ribera con alta pendiente con cobertura boscosa, la otra ribera degradada. Especie abundante <i>Hampea appendiculata</i> .
Punto 3	3	Parte media, ambos lados con poca cobertura arborea. Especie abundante <i>Conostegia sp.</i>
Punto 4	5	Parte media, sitio conocido como Poza La Mica. Especies abundantes, <i>Zygia longifolia</i> (sotacaballo) cultivada y <i>Eucalyptus degluta</i> (eucalipto) cultivada y exótica.
Punto 5	5	Parte media, en la zona urbana. Especie abundante <i>Acnistus arborescens</i> (güitite), seguido de frutales <i>Psidium guajava</i> (guayaba)
Punto 6	9	Parte baja, rodeado por cafetal. Sitio con mayor riqueza y cantidad de individuos (21). Especie abundante <i>Cecropia obtusifolia</i> .

2. Priorización de sitios para la restauración ecológica:

Se consultaron 17 expertos(as) con experiencia en áreas profesionales relacionadas con la Biología, Geografía, Gestión Ambiental, Manejo de Recursos Naturales y Ecología. Se jerarquizaron los criterios estableciendo el siguiente orden 50m zonas de protección en ríos, cobertura del uso de suelo, amenaza a la contaminación, pendiente y 200m zonas de protección de nacientes (Cuadro 15).

Cuadro 15. Evaluación de criterios y jerarquización según la opinión de expertos.

Profesión de los expertos	50m en ríos	200m nacientes	Cobertura del uso de suelo	Pendientes	Amenaza a la contaminación
Biología	4	3	1	5	2
Biología	1	2	5	4	3
Biología	1	2	5	3	4
Biología	4	3	5	1	2
Biología	4	1	2	3	5
Biología	2	1	4	5	3
Biología	1	5	3	4	2
Biología	4	3	2	5	1
Biología	1	2	5	4	3
Biología	3	2	4	5	1

Biología	1	3	2	4	5
Biología	2	1	4	5	3
Geografía	2	4	1	3	5
Geografía	4	3	1	5	2
Gestión ambiental	3	4	1	5	2
Manejo de Recursos Naturales	3	4	2	5	1
Ecología	1	3	4	5	2
Priorización	1	5	2	4	3

Según las respuestas de los expertos, el comité decisor elaboró la matriz pareada, ponderando los 50m en ríos y la cobertura del uso de suelo como criterios prioritarios, seguidos de amenaza de la contaminación, pendientes y los 200m en nacientes

Cuadro 16. Matriz pareada según Saaty, elaborada por el comité decisor

Criterio/criterio	50m en ríos	Cobertura del uso de suelo	Amenaza a la contaminación	Pendientes	200m en nacientes
50m en ríos	1				
Cobertura del uso de suelo	1	1			
Amenaza a la contaminación	1/2	1/3	1		
Pendientes	1/3	1/3	1/4	1	
200m en nacientes	1/6	1/4	1/5	1/3	1

La observación principal es que desde la parte alta a la baja de la microcuenca hay áreas con priorización alta y media, lo que indica la importancia de desarrollar estrategias de restauración ecológica. De manera específica, el área total de la microcuenca fue de 1350.81ha, donde se priorizó en orden descendiente según el porcentaje de área la clase media (53.38%), reducida (23.84%), alta (19.65%) y baja (3.13%). De la misma manera, con la delimitación de la zona de protección de 50m el área total fue de 126.92ha, con la priorización de media (40.89%), reducida (38.25%), alta (16.57%) y baja (4.3%). Se evidenció que tanto la clase alta como la baja, fueron priorizadas según los criterios, representando áreas con usos de suelo de cultivos y del bosque ribereño, así como áreas de alta pendiente en las zonas de protección de ríos y nacientes (Figura 4).

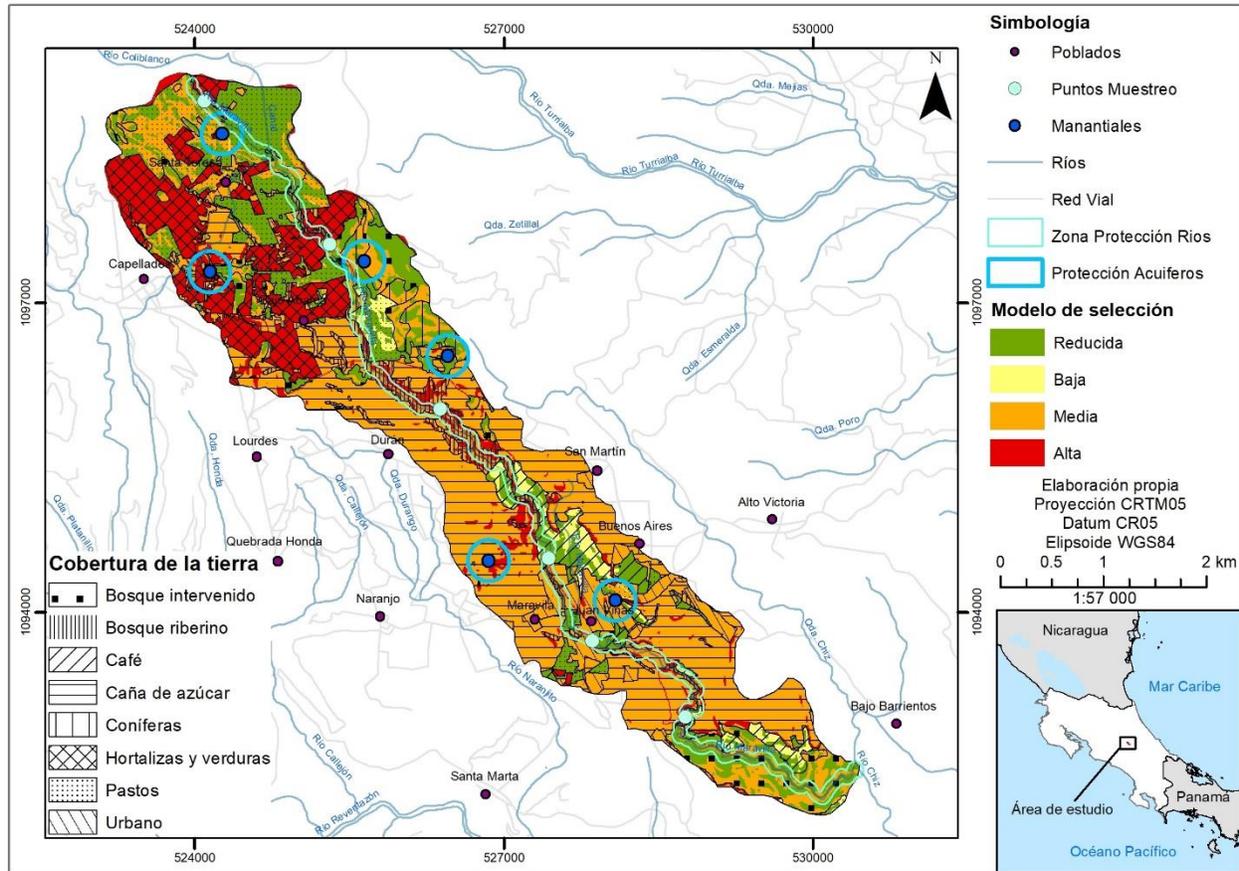


Figura 4. Mapa general de la EMC en la microcuenca del río Maravilla

La parte alta tuvo un área total de 418.82ha, se priorizó de la siguiente manera: la clase alta (35.27%), media (28.26%), reducida (36.14) y baja (0.33%), esto quiere decir que más del 50% del área fue priorizada en categoría media y alta, incluyendo áreas de las zonas de protección de ríos y nacientes. Aunque la zona de protección del río en su mayoría presentó clase reducida, se debe destacar que es donde nace el río y son áreas desprovistas de bosque, además que tiene alta amenaza a la contaminación principalmente por los cultivos de hortalizas y verduras (Figura 5).

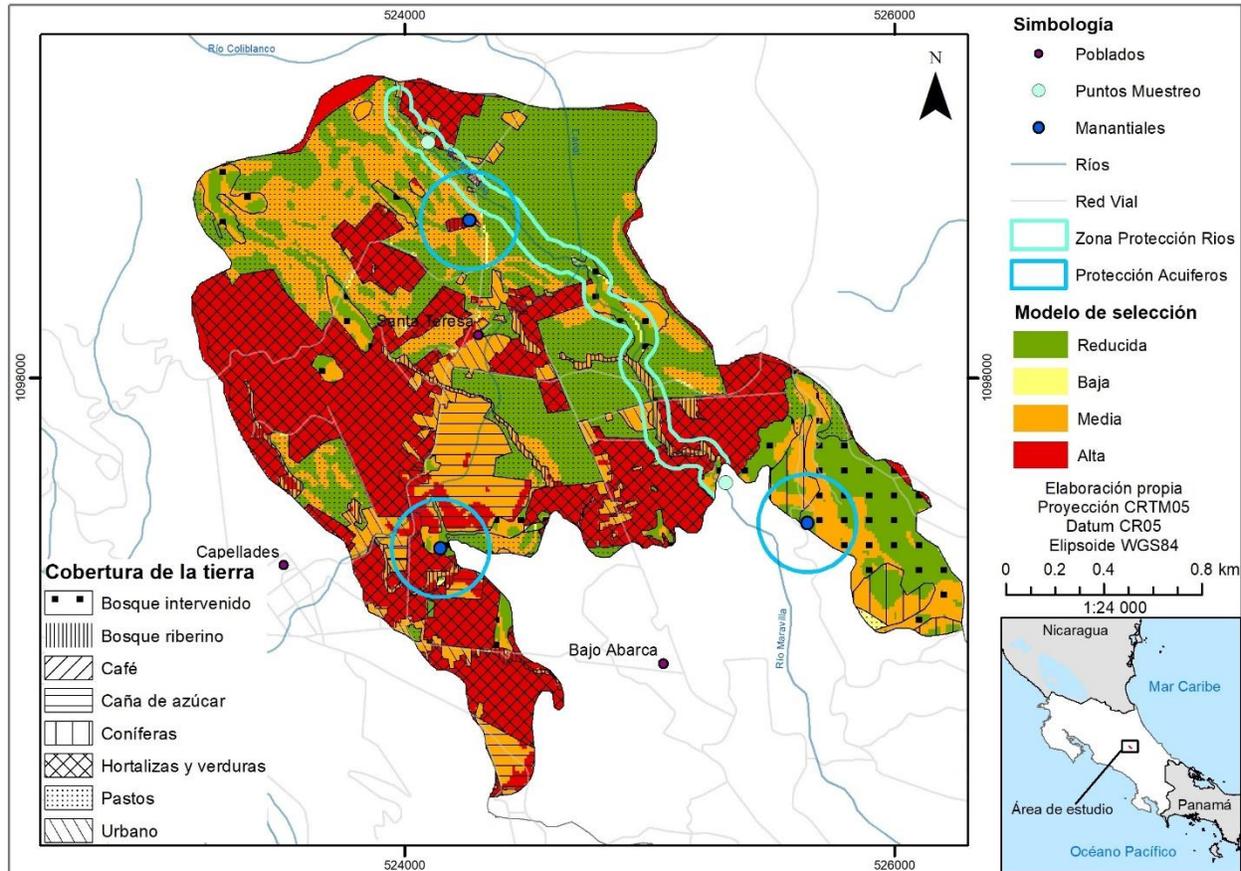


Figura 5. Mapa de la EMC en la parte alta de la microcuenca del río Maravilla

La parte media posee un área total de 529.18ha y se priorizó así, la clase media (61.26%), alta (18.29%), reducida (15.96%) y baja (4.49%). Al igual que en la parte alta de la microcuenca se priorizó el área que corresponde con el uso de suelo de hortalizas y verduras. Además, se priorizaron con clases altas y medias las zonas de protección del río y las nacientes, principalmente por las pendientes altas y por los usos de suelo, entre los que se destacan el bosque ribertino, bosque intervenido, coníferas y el cultivo de caña (Figura 6).

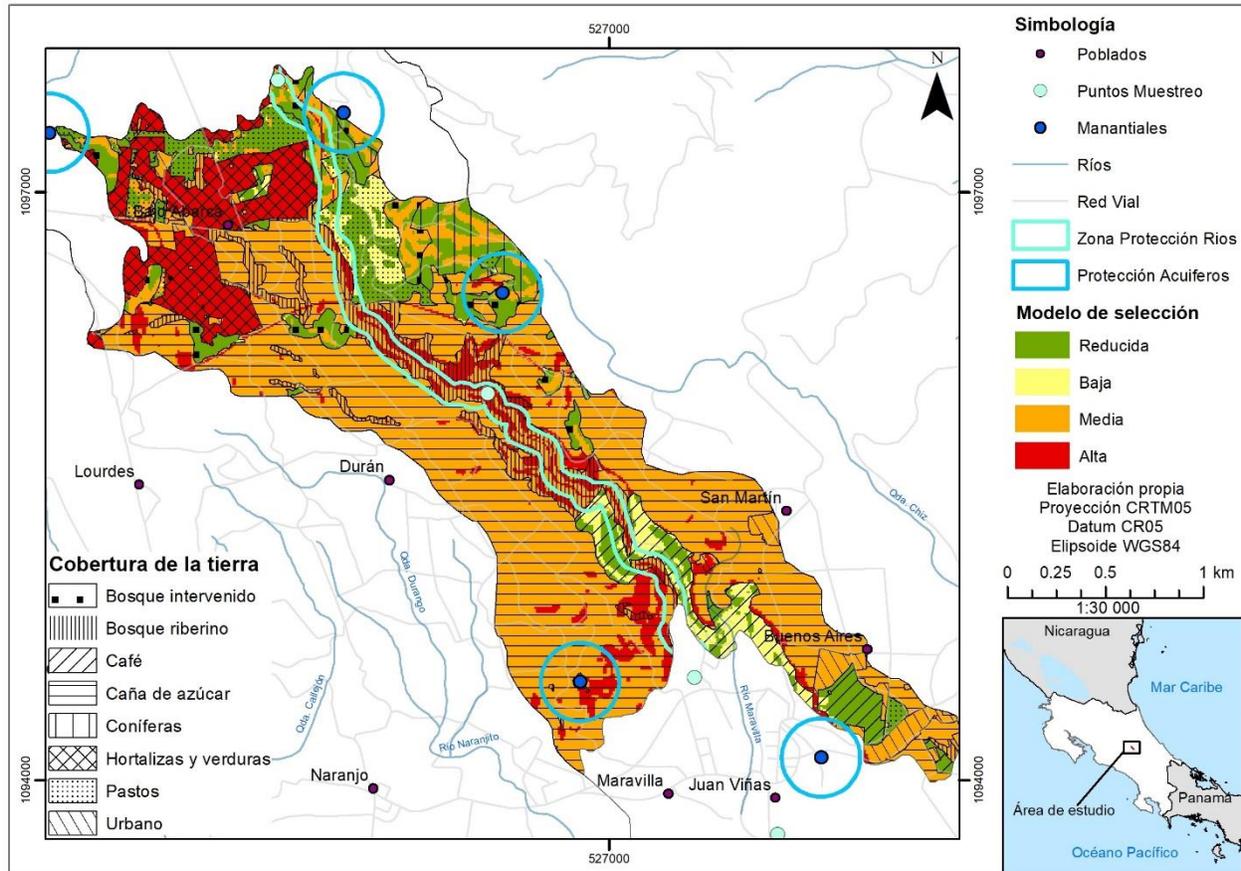


Figura 6. Mapa de la EMC en la parte media de la microcuenca del río Maravilla

La parte baja de la microcuenca tiene un área de 401.06ha, la priorización en esta zona fue de media (69.20%), reducida (21.43%), alta (5.10%) y baja (4.27%). Esta parte presenta tres usos de suelos dominantes: la mancha urbana, el cultivo de caña y el bosque intervenido; los dos primeros son los que influyen la clase media a nivel de microcuenca y a nivel de las zonas de protección. La clase alta coincide con las zonas de alta pendiente y con fuentes lineales de contaminación (Figura 7).

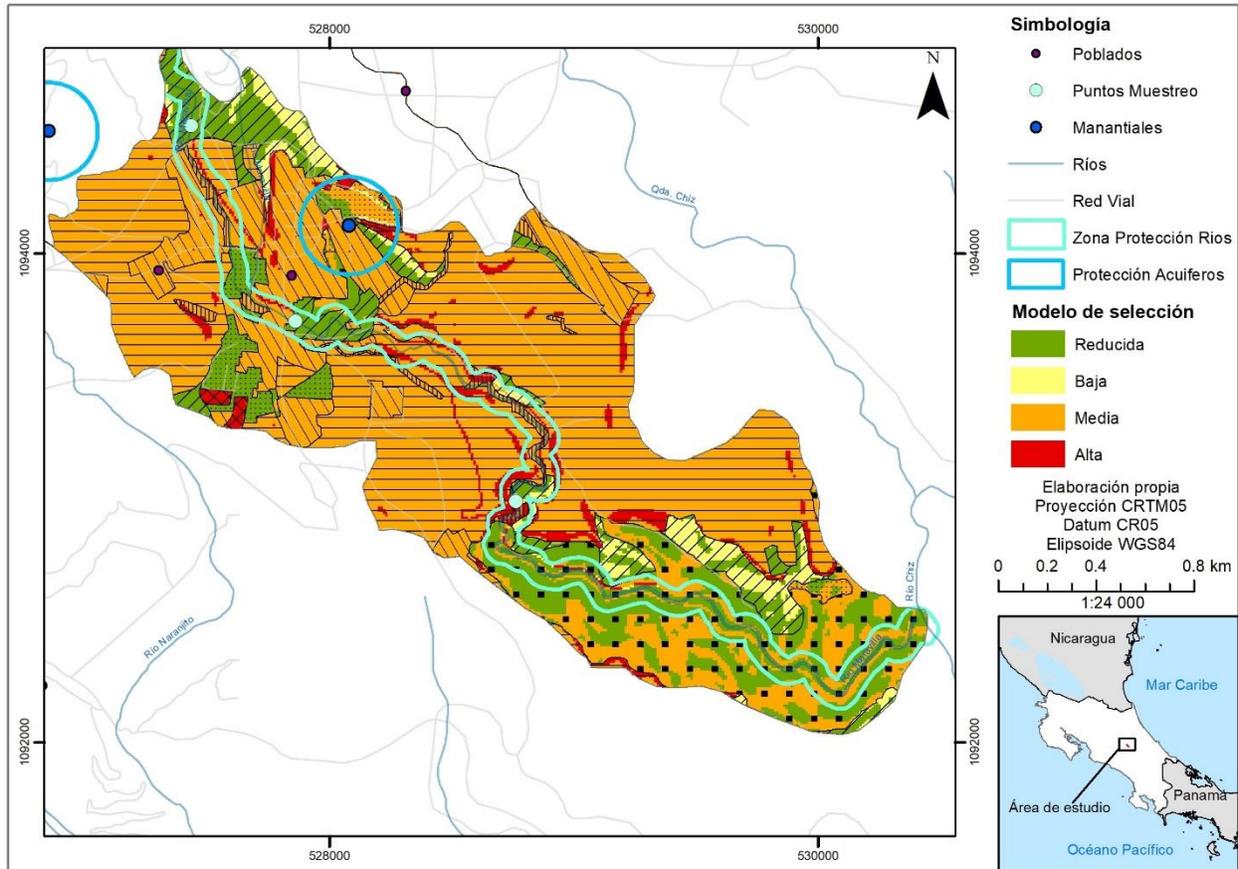


Figura 7. Mapa de EMC en la parte baja de la microcuenca Maravilla Chiz

3. Participación social:

3.1 Mapeo de actores sociales y metodología CLIP:

Desde el 2018 se desarrolló por parte del Laboratorio de Hidrología Ambiental un análisis de los actores sociales involucrados y en ese mismo año con la colaboración de la Municipalidad de Jiménez se desarrollaron talleres y reuniones donde se conformó el grupo gestor. Este grupo gestor lo conforman representantes de diversas instituciones que tienen como fin mejorar la gestión del recurso hídrico. En el 2020 participé en las mesas de trabajo del grupo gestor para la elaboración del Plan de Trabajo, donde pude presenciar la toma de decisiones y analizar de mejor a los actores sociales involucrados de acuerdo con los aspectos de la CLIP.

Al darle continuidad a este mapeo de actores se clasificaron los nuevos actores sociales de acuerdo con las relaciones actuales de conflicto o colaboración, así como la reasignación de

categorías ya que con el avance del proyecto algunos aspectos o criterios cambiaron. Como resultado no se encontró ninguna institución con grado de conflicto, aunque si se identificaron instituciones que por el poder que tienen deben aumentar la legitimidad y el interés en los procesos de GIRH en la zona, como es el caso de la Dirección de Aguas, SENARA, AyA y MAG.

Se representaron como actores dominantes, algunas instituciones que conforman al grupo gestor como es el caso de la Municipalidad de Jiménez, MinSa, SINAC, COMCURE, JASEC e Ingenio Juan Viñas, también están en esa categoría la Municipalidad de Alvarado, ICE y la CNE. Los demás actores de las categorías de inactivo, interesado, vulnerable y marginado son igualmente importantes, en especial las ASADAS que se categorizó como vulnerable porque en relación con el poder cuentan con recursos económicos limitados, pero tienen alta legitimidad e interés; todos estos actores son parte de la gestión del recurso hídrico y por lo tanto deben ser incluidos en el proceso GIRH (Cuadro 17).

Cuadro 17. Categorización de los actores sociales de la microcuenca del río Maravilla con la metodología CLIP

Categoría	Siglas	Aspectos	Instituciones
Dominante	PIL	Poder alto, ganancia o pérdida neta alta, legitimidad alta	<ul style="list-style-type: none"> • Municipalidades • MinSa • SINAC • COMCURE • ICE • CNE • JASEC • Ingenio Juan Viñas
Fuerte	PI	Poder y ganancia o pérdida neta altos (legitimidad baja o ninguna)	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Nacional
Influyente	PL	Poder y legitimidad altos (ganancia o pérdida neta baja o ninguna)	<ul style="list-style-type: none"> • Dirección de Agua • SENARA • AyA • MAG
Inactivo	P	Poder alto (legitimidad y ganancia o pérdida neta bajas o ningunas)	<ul style="list-style-type: none"> • MEP • Asociación Solidaria de Juan Viñas
Interesado	L	Legitimidad alta (poder y ganancia o pérdida neta altos o ninguno)	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Estatal a Distancia
Vulnerable	IL	Legitimidad y ganancia o pérdida neta altas (poder bajo o ninguno)	<ul style="list-style-type: none"> • ASADAS

Marginado	I	Ganancia o pérdida neta altas (poder y legitimidad bajos o ninguno)	<ul style="list-style-type: none"> • Asociación de Desarrollo • Consejo Económico • Grupo de Bandera Azul • Ferretería ASEHJUVI • Café Viñas • Juzgado de Jiménez
-----------	---	---	---

3.2 Talleres de educación ambiental:

3.2.1 Logros:

En los talleres participaron un total de 113 escolares, 39 de cuarto grado, 32 de quinto grado y 42 de sexto grado (Anexo 8). La Escuela Cecilio Lindo cuenta con la Bandera Azul Ecológica donde tanto la dirección a cargo de MSc. Gabriela Estrada Quirós, como la coordinadora y profesora Gilda Umaña Rojas estuvieron de acuerdo con implementar medidas ecológicas, mencionando que ya iniciaron con la separación de residuos sólidos.

Los cinco talleres se desarrollaron con éxito según los objetivos planteados y los escolares se caracterizaron por su participación y respeto (Anexo 9). Mediante las dinámicas utilizadas se logró un intercambio de conocimientos, al brindar y recopilar información que los escolares tenían con respecto al bosque de ribera y las problemáticas que están asociadas al río, así como las posibles soluciones (Cuadro 18).

3.2.2 Reflexión

Las frases expresadas por los estudiantes y que generaron reflexiones fueron: “esa parte del río (degradado) se parece aquí”, “cerca de mi casa hay solo caña”, “yo he tirado la basura pero luego voy y la recojo”, “el papá de este niño es cazador” el niño responde “sí pero luego los liberamos”, “a mí me trajeron un pajarito en una jaula, pero a mí no me gustó porque pienso que es una cárcel”, “nosotros vamos a bañarnos a la poza La Mica”. Lo anterior evidenció las problemáticas asociadas con el estado del río, de los bosques y de la educación ambiental, y en especial sobre las malas prácticas como lo son el manejo de residuos sólidos, cacería y el desconocimiento de la contaminación del río.

Cuadro 18. Intercambio de conocimientos según las dinámicas aplicadas

Dinámicas	Observaciones
Rompehielo	Los escolares expresaron sus gustos por los animales o plantas. Además de las mascotas como perros y gatos, mencionaron a los tiburones, serpientes, los ríos, los árboles, las mariposas, los delfines y los grandes felinos.
Dinámica del río Maravilla	Seleccionaron las imágenes de acuerdo con la cuenca sana o degradada, algunos tuvieron conflicto al colocar las imágenes de caña, café y ganado. Se les explicó que los cultivos son necesarios para el ser humano, y que se debe procurar que exista conectividad del bosque y protección del río. Se amplió el tema de manera más específica con los sextos mediante el uso de conceptos.
Dinámica ¿Cuántas garzas pueden vivir aquí?	Disfrutaron esta dinámica porque debían correr y agruparse, el mensaje para ellos fue claro, comentaban que sin bosque los animales se quedaban sin recursos, se podían morir o extinguirse, también se les explicó sobre el fenómeno de la migración y como los animales deben moverse para buscar sitios donde puedan alimentarse.
Dinámica: Canción del Bosque Tropical	Durante la canción los estudiantes se relajaban e identificaban lo que escuchaban, demostrando que además de los recursos naturales mencionados en la canción ellos conocían más. Entre ellos el bosque, el agua, animales, las plantas, el suelo y los árboles.
Dinámica Árbol de Soluciones	Resolvieron la memoria con rapidez y entre cada grupo dialogaba sobre las problemáticas y las soluciones. Algunos comentaron sus experiencias y cuales problemas de los expresados en las tarjetas tenían donde viven como por ejemplo la deforestación, la contaminación por residuos, la caza y tenencia de vida silvestre. Del mismo modo expresaban que algunos estaban en la cuadrilla ecológica de la escuela, otros que en sus casas separaban residuos, entre otras acciones.
Dinámica Antorcha (solo sextos)	Demostraron que sí pusieron atención en el taller, al resolver los conceptos a manera de evaluación del conocimiento aprendido. Entre estos conceptos estaban: Ley Forestal, bosque de ribera, cuenca hidrográfica, restauración ecológica, cercas vivas, regeneración natural entre otros.

3.2.3 Evaluación:

La evaluación escrita del taller dada a los estudiantes se basó en 5 preguntas:

Pregunta 1. ¿Qué actividad le gustó más?

A los estudiantes les gustó más la dinámica llamada Cuántas garzas pueden vivir aquí (46%), seguido por el Árbol de soluciones (23%), todas las actividades (15%), la Antorcha (10%),

la dinámica rompehielo (2%), la Canción del Bosque Tropical (1%), No sé (1%) y Otras (1%). La dinámica de Cuantas garzas pueden vivir aquí les gustó porque era una actividad física que requería salir a un área verde y jugar mientras aprendían sobre la pérdida de hábitat, también el Árbol de soluciones fue de mucho provecho porque mediante el trabajo en equipo se divirtieron buscando las parejas de memoria de problema y solución.

Pregunta 2. ¿Qué le gustó menos del taller?

A la mayoría de los estudiantes les gustaron todas las actividades (43%). Hubieron algunos que no respondieron (32%) y otros que sí expresaron de forma específica que no les gustó las dinámicas del Árbol de soluciones (11%), Cuantas garzas pueden vivir aquí (5%), la Antorcha (3%), la Canción del Bosque Tropical (2%), y por último la dinámica rompehielo (1%), El río Maravilla (1%), No sé (1%) y Otras (1%); esto evidenció que los gustos de los estudiantes son diferentes y por lo tanto diversificar las dinámicas es fundamental al realizar talleres para escolares.

Pregunta 3. ¿Qué cosas nuevas aprendió?

Los escolares indicaron que a partir del taller profundizaron sus conocimientos en temas como el cuidado del agua, ríos, bosques y la naturaleza. Así mismo lograron identificar las problemáticas que los afectan (Cuadro 19).

Cuadro 19. Aprendizaje expresado por los escolares según grado escolar

Cuarto	Quinto	Sexto
<ul style="list-style-type: none"> • Sobre el agua, cuidar el mundo o no tenemos agua • A cuidar la naturaleza, los recursos naturales, animales, bosques y ríos. • No ensuciar ni maltratar la madre naturaleza • No botar basura y no contaminar. No tirar basura a los ríos • No quemar ni talar los árboles • Aprender sobre cosas que le hacen daño al ambiente • Aprender juegos 	<ul style="list-style-type: none"> • Respetar y cuidar la naturaleza • Con vegetación un río puede limpiarse solo • Recolectar, reciclar • No hay que botar basura ni contaminar • Todos los animales • No atrapar pájaros y vivir en una comunidad organizada • Aves van de un clima frío a uno más caliente • Todos los seres vivos tienen valor • Cuidar el planeta 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocer formas de cuidar el ambiente y no contaminar • Aprender sobre la naturaleza y los bosques • Aprender sobre los macroinvertebrados y sobre biología en general. • Que hay pájaros migrantes y que hay animales en peligro de extinción • No cortar los árboles porque los animales se quedan sin hogar • Que a los monos no los deben alimentar nosotros

Pregunta 4. ¿Cuáles otras actividades le gustaría hacer?

Los estudiantes expresaron que les gustaría hacer actividades para conocer y cuidar de la

naturaleza, como por ejemplo recolectar, separar, reciclar y reutilizar los residuos sólidos y también sembrar árboles y otras plantas. Mostraron el deseo de aprender sobre otros temas como de historia natural, sobre perezosos y felinos. Además, mencionaron que les gustaría hacer actividades al aire libre, como giras o excursiones al bosque o para conocer la universidad. Algunos estudiantes escribieron que no sabían o no respondieron a la pregunta.

Pregunta 5. ¿Le gustaría llevar otro taller similar? ¿Por qué?

El 90% dijeron que sí les gustaría un taller similar, 3% no, 3% no sé, 3% no respondió y 1% tal vez. De manera resumida a la razón del “por qué” respondieron que les gustaría tener otros talleres para divertirse, compartir, tener más armonía y porque no se hace muy frecuente este tipo de actividades en la escuela. Además, que desean aprender de la naturaleza, los ríos, la fauna y de otros temas interesantes, así como cuidar de ellos. Un estudiante respondió que le gustaría tener otro taller para no ir a clases y hubo una respuesta muy interesante de una niña que contestó que quería más talleres porque quería ser investigadora.

4. Propuesta de restauración ecológica:

La propuesta fue elaborada en concordancia con el plan de trabajo del grupo gestor, en especial con el eje de restauración ecológica de ríos, nacientes y otros sitios prioritarios y con el eje de educación ambiental. Además, por el actual trabajo de graduación y el plan del grupo gestor, el SINAC elaboró una licitación para la aplicación de un fondo para recurso hídrico, bajo el nombre de “Restauración ecológica en áreas de protección en la microcuenca del río Maravilla y nacientes del Acueducto Municipal de Jiménez”.

La propuesta se elaboró en tres fases, planificación, implementación y cierre; para cada una se organizaron las estrategias de manejo, con sus respectivas metodologías, indicadores de logro y responsables (Cuadro 20), además el tiempo de ejecución se planteó para dos años y se detalló en el cronograma (Cuadro 21).

Cuadro 20. Propuesta de Restauración Ecológica

Estrategia de manejo	Metodologías	Indicador de logro	Responsables
Fase de Planificación: Insumos técnicos para el planteamiento de la restauración ecológica en el río Maravilla			
Priorizar las áreas para la restauración ecológica.	Se realizará una evaluación multicriterio: mediante la consulta a expertos y la utilización del software IDRISI-Selva y en SIG se generarán los mapas con la priorización.	Mapa de evaluación multicriterio con las áreas prioritarias para el río Maravilla.	Laboratorio de Hidrología Ambiental, TFG Isabel Vargas
Acercamiento a los diversos actores claves	Mediante participación en el grupo gestor y en la participación de actividades organizadas de índole ambiental.	Cantidad de participación en reuniones del grupo gestor. Cantidad de espacios de diálogo e intercambio de saberes con los actores sociales.	Ejecutor
Mapeo de actores sociales	Elaboración de un mapeo de actores sociales, metodología CLIP (Chevalier & Buckles, 2011)	Matriz del mapeo de actores sociales	Laboratorio de Hidrología Ambiental, TFG Isabel Vargas
Acercamiento a los dueños de fincas para el acceso a los terrenos, diálogo con finqueros	Se establecerá un diálogo con finqueros, se les brindará información y responderán consultas. Ante contexto de pandemia se debe valorar la vía de comunicación, sea presencial o a distancia.	Cantidad de finqueros consultados. Cantidad de finqueros anuentes.	Ejecutor
Estrategia para el acceso a terrenos públicos y privados.	Estrategia utilizada en el río Colorado por el SINAC, mediante el diálogo buscando a la colaboración (Zamora. 2021 com pers).	Acceder a los terrenos	Ejecutor en colaboración con el SINAC
Investigación de la calidad del bosque de ribera, levantamiento de las especies arbóreas del lugar.	Aplicación del índice de calidad de bosque de ribera en el río Maravilla, medición y listado de los árboles con DAP>10, además comprobación de campo de los ecosistemas de referencia para Forestería Análoga.	Resultados del índice QBR, listado de árboles y descripción de los árboles de importancia ecológica (Cuadro 24), además lista de contactos de viveros que venden especies nativas en áreas cercanas al sitio de estudio (Cuadro 25).	Laboratorio de Hidrología Ambiental, TFG Isabel Vargas

Fase de Implementación: Desarrollo de la propuesta de restauración ecológica según los insumos técnicos obtenidos y acorde con el plan de trabajo del grupo gestor.			
Restauración ecológica en áreas de protección de 50m en los bordes del río. Mediante regeneración natural y restauración ecológica activa	<p>Regeneración Natural:</p> <p>Delimitación del área en SIG y utilización de cercas vivas.</p> <p>Clasificación diamétrica de arbustos o árboles con DAP mayor a 5.</p>	<p>Al menos dos sitios delimitados para la recuperación natural.</p> <p>Clasificación diamétrica inicial</p> <p>Aumentar la cobertura boscosa a largo plazo</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo.</p> <p>Otros: MINAE, Municipalidades, INVU, Universidades, Escuelas, Colegios</p>
	<p>Restauración ecológica activa:</p> <p>Delimitación de las áreas en SIG y utilización de cercas vivas</p> <p>Aplicación de la metodología de forestería análoga, la cual consiste en tener un ecosistema de referencia y replicarlo en un sitio cercano (RIFA, 2020).</p> <p>Se realizará una jornada de siembra inicial, que contemple los dos sitios de restauración activa. Además, los cuatro sitios delimitados para regeneración natural y restauración activa serán parte de la jornada de siembra por las cercas vivas.</p> <p>Se fomentará además de la participación comunitaria, la participación estudiantil.</p>	<p>Al menos dos sitios para la aplicación de la restauración ecológica activa.</p> <p>Aumentar la cobertura boscosa a largo plazo</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo</p> <p>Otros: MINAE, Municipalidades, INVU, Universidades, Escuelas, Colegios</p>
Restauración ecológica en otras zonas prioritarias.	<p>Mediante el diálogo con finqueros, brindar información y recomendaciones para el establecimiento de buenas prácticas y fomentando la utilización de cercas vivas y la siembra de plantas nativas (Hernández, 2010). Se abordará también en la estrategia de comunicación.</p>	<p>Cantidad de personas alcanzadas</p> <p>Cantidad de personas anuentes</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo</p> <p>Otros: Laboratorio de Hidrología Ambiental</p>
Fase de Implementación: monitoreo y control de la restauración ecológica en los sitios delimitados.			

Monitoreo de la restauración ecológica de las áreas de regeneración natural	<p>Se realizará una visita cada 6 meses a las áreas delimitadas para regeneración natural, para observar el estado del sitio y se medirá nuevamente el DAP mayor a 5 para la clasificación diamétrica.</p> <p>Se fomentará además de la participación comunitaria, la participación estudiantil.</p>	<p>Clasificación diamétrica de los árboles y observación de perturbaciones o mejoras.</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo</p> <p>Otros: MINAE, Municipalidades, INVU, Universidades, Escuelas, Colegios</p>
Monitoreo de la restauración ecológica en los 50 m del río	<p>Visita de control después de sembrados los árboles para medir la mortalidad, mediciones de los árboles y fertilización.</p> <p>Se realizará una segunda jornada de siembra (resiembra), y se harán visitas de control.</p> <p>Al año se realizará una evaluación y se hará una tercera jornada de siembra con visitas control.</p> <p>Se fomentará además de la participación comunitaria, la participación estudiantil.</p>	<p>Porcentaje de árboles vivos al mes de sembrados.</p> <p>Resiembra-Cantidad de árboles sembrados en la segunda jornada.</p> <p>Porcentaje de árboles vivos al año.</p> <p>Resiembra-Cantidad de árboles sembrados al año en la tercera jornada.</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo</p> <p>Otros: MINAE, Municipalidades, INVU, Universidades, Escuelas, Colegios</p>
Fase de Implementación: Estrategia de participación comunitaria y Estrategia de Comunicación			
Estrategia de participación comunitaria: vinculación con el grupo gestor y elaboración de talleres para la educación ambiental, foro de los actores sociales involucrados. Participación de la Jornada de siembra	<p>Se desarrollarán 2 talleres: fomentando la restauración ecológica en el río Maravilla y fomentando la participación de las personas y actores sociales en las estrategias</p> <p>Foro para el diálogo y el intercambio de saberes entre los actores sociales y expertos en el tema de restauración ecológica.</p> <p>Participación de las jornadas de siembra</p>	<p>Vinculación activa con el grupo gestor.</p> <p>Cantidad de reuniones o actividades donde asiste</p> <p>2 talleres: público en general (comunidad), MEP - Escuela o colegio</p> <p>Realizar un foro</p> <p>Fotografías o videos que comprueben la participación en las jornadas de siembra</p>	<p>Ejecutor</p> <p>Equipo de trabajo</p>

<p>Estrategia de comunicación: Se desarrollará para brindar información a la comunidad y para la visibilización de procesos de importancia nacional.</p>	<p>Se realizará grabaciones en el campo y fotografías durante el proceso. Luego se divulgará la información por medio de redes sociales, paginas oficiales de las instituciones, en coordinación con el grupo gestor y por lo tanto con el SINAC.</p> <p>Videos 1: Presentación del proyecto, toma aérea, entrevistas, narración, equipo fotográfico, edición.</p> <p>Video 2: Video animado, representación gráfica de la importancia y alcances del proyecto.</p> <p>También se brindará información a la comunidad sobre buenas prácticas, cercas vivas, plantas nativas, por medio de infografías.</p>	<p>2 infografías, 2 videos, participación en espacios generados por el grupo gestor como la Feria Ambiente y Salud y otras actividades como participación en Simposios, Congreso, Foros.</p>	<p>Ejecutor Equipo de trabajo</p>
<p>Fase de Cierre: Recopilación, análisis y presentación de los resultados</p>			
<p>Recopilación de los resultados y análisis.</p>	<p>Se realizará un análisis cualitativo y cuantitativo.</p> <p>Se realizará una documentación del proceso y una base de datos, según las actividades respectivas, los resultados y el tiempo de ejecución</p>	<p>Informe oficial del proceso</p>	<p>Ejecutor Equipo de trabajo</p>
<p>Presentación de los resultados en coordinación el grupo gestor</p>	<p>Planificación de una reunión para la presentación de resultados</p>	<p>Presentación oficial</p>	<p>Ejecutor Equipo de Trabajo</p>
<p>Notas: Aclarar que la cantidad de árboles a sembrar dependerá del área a utilizar. Además, en caso de que la pandemia continúe, y a pesar de que las jornadas de siembras se deban hacer presenciales y elevar la participación comunitaria, se recomienda como alternativa contratar personas del lugar o familias y que se implementen las siembras de manera seguro con protocolos sanitarios. La comunicación con finqueros, actores sociales y para la elaboración de talleres se pueden hacer a distancia o presencial siguiendo los protocolos nacionales e institucionales y procurando la participación de la comunidad.</p>			

Cuadro 21. Cronograma de actividades según las fases del proyecto

	TFG	Año 1 (meses)												Año 2 (meses)											
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Planificación																									
Priorizar las áreas para la restauración	x																								
Acercamiento a los diversos actores clave	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Mapeo de actores sociales	x	x												x											
Acercamiento a finqueros		x	x											x	x										
Estrategia para el acceso a terrenos públicos y privados.		x	x											x	x										
Investigación de la calidad del bosque de ribera	x																								
Restauración ecológica en 50m del río																									
Delimitación del área			x	x																					
Clasificación diamétrica DAP>5			x	x																					
Planificación de la siembra			x	x																					
Jornada de siembra					x	x																			
Restauración ecológica en otras zonas prioritarias.																									
Brindar información sobre buenas prácticas, cercas vivas y plantas nativas.									x							x						x			
Monitoreo regeneración natural																									
Clasificación diamétrica DAP>5									x						x							x			
Monitoreo de la restauración ecológica																									
Visita control						x	x	x	x										x	x					
Resiembra																	x	x	x	x	x				

	TFG	Año 1												Año 2											
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Estrategia de participación comunitaria																									
Talleres de educación ambiental				x					x																
Foro virtual																x									
Participación de las jornadas de siembra					x	x	x										x	x	x						
Estrategia de comunicación																									
Videos e infografías							x	x	x										x	x	x				
Comunicación activa en redes sociales				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Cierre																									
Recopilación de los resultados y análisis		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Entrega del Informe Final																								x	
Presentación de los resultados																								x	

Diseños de restauración ecológica:

Método de regeneración natural: Las áreas seleccionadas se delimitarán utilizando la técnica asistida de cercas vivas.

Método con sistema de siembra: Posterior a la delimitación del área y preparación del terreno se puede llevar a cabo la siembra. Se pueden usar tres diseños de siembra, sea en líneas, grupos o al azar (Figura 8). En este caso por consistir en restauración ecológica para bordes de riberas se recomienda el uso del sistema lineal mediante la técnica tres bolillo (pata de gallina) o bien siembra de contorno ajustado a las curvas de nivel en terrenos quebrados (Figura 9), sin embargo durante el proceso de restauración algunos sitios pueden tener características en las que se deban considerar los diseños de siembra al azar o en grupos (Scholtz & Morera, 2016).

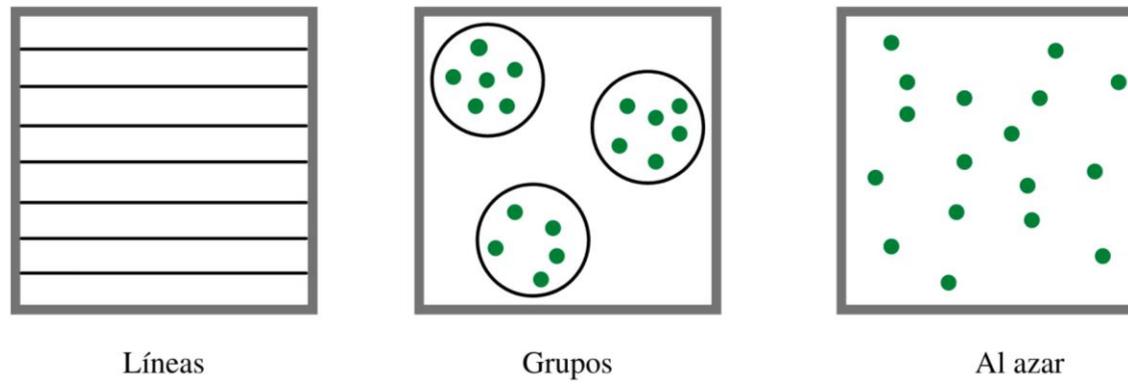


Figura 8. Diseños de siembra. (Elaboración propia)

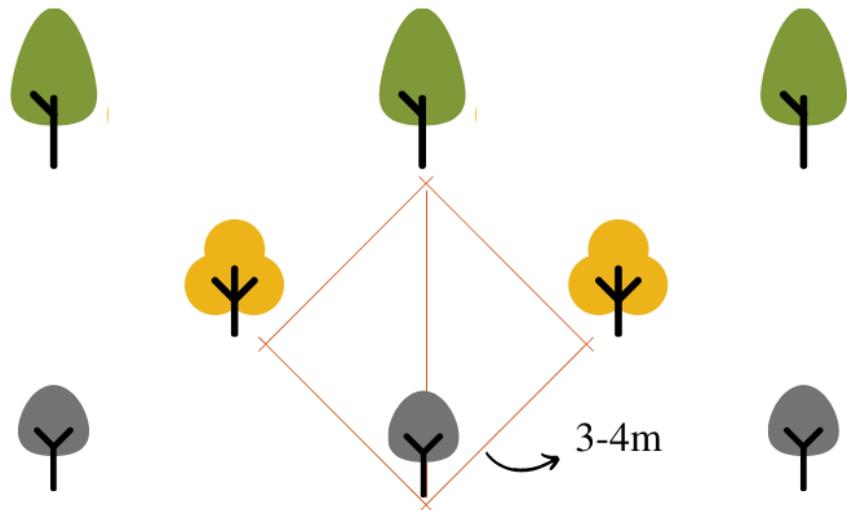


Figura 9. Sistema de siembra tres bolillo, distancia de 3 a 4m en bordes de ríos.

(Elaboración propia)

Se recomienda para la selección de las especies a utilizar en la siembra, valorar los resultados del índice QBR y las especies arbustivas y arbóreas encontradas en el sitio de estudio (Cuadro 24). Además, durante una evaluación de la cobertura vegetal en las nacientes de Las 50 Manzanas en el curso de Ecología Aplicada, se generó un listado de especies e información del estado de la cobertura (Anexo 10). Para la distribución de las especies en bordes de ríos y nacientes se recomienda utilizar a partir del borde del río especies heliófitas efímeras de porte arbustivo (entre 3 a 4 metros) que tengan una alta productividad de semillas en etapa temprana y que puedan ofrecer recursos alimenticios a la fauna local (frutos, hojas, semillas), seguido de manera intercalada especies heliófitas efímeras de porte arbóreo en conjunto con especies heliófitas durables y en algunos casos incluir especies esciófitas (Figura 10). La cantidad de especies e individuos a cultivar, y el distanciamiento entre plantas dependerá del largo y ancho de la franja (Cuadro 22 y Cuadro 23).

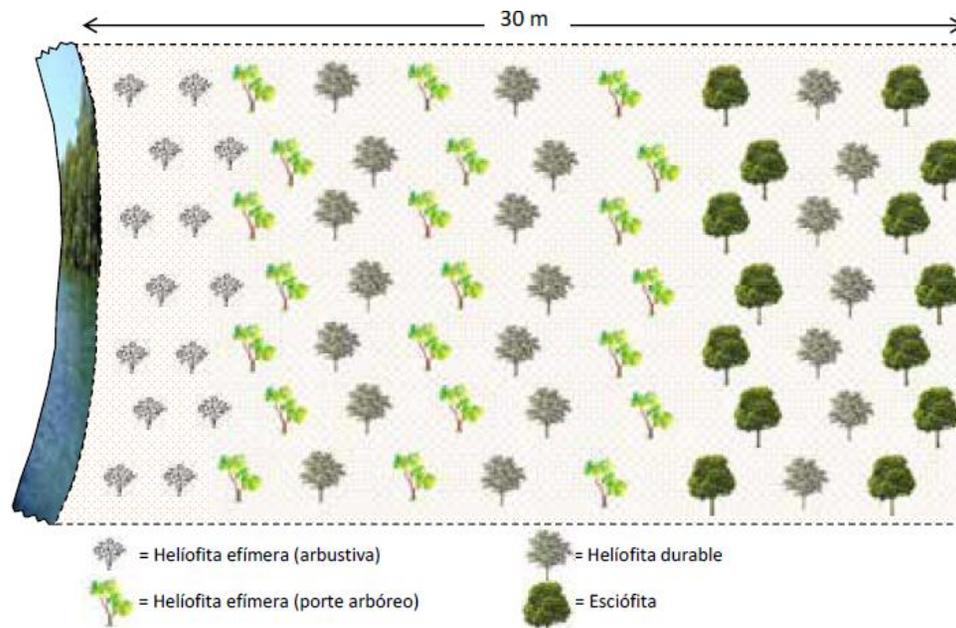


Figura 10. Diagrama de siembra sugerido para los tramos de ribera con restauración ecológica (Scholtz & Morera, 2016)

Cuadro 22. Cantidad de especies por combinar de acuerdo con el gremio ecológico y el área por restaurar (Scholtz & Morera, 2016)

Tamaño de los tramos (m)	Heliófitas efímeras (arbustivas)	Heliófitas efímeras (arbóreas)	Heliófitas durables	Esciófitas	Total (especies)
0-200	2-3	2-3	2-3	2-3	10-12
200-500	3-4	4-5	4-5	3-4	12-16
500-1000	4-5	5-6	5-6	4-5	16-20
>1000	5-6	7-8	7-8	5-6	20-30

Cuadro 23. Cantidad de individuos para sembrar, por hectárea, de cada gremio ecológico, según el sistema de siembra para tramos de ribera (Scholtz & Morera, 2016)

Gremio ecológico	Distanciamiento (m)	Tamaño del tramo de ribera (334m) ¹	
		Cuadrado	Tres Bolillo*
Heliófitas efímeras (arbustivas)	2x2	190	218
Heliófitas efímeras (arbóreas)	3x3	284	328
Heliófitas durables	4x4	284	218
Esciófitas	4x4	190	328
Total de plantas		948	1092

¹Este tamaño de tramo equivale a 1 hectárea con una franja de 30m de ancho
 * Siembra en tres bolillo, la densidad de siembra es igual a: $(d \times d) \times \text{seno } 60^\circ$

Cuadro 24. Listado de especies recomendadas para la zona según su ecología

Familia	Especie	Observaciones
Actinidiaceae	<i>Saurauia montana*</i>	Nombre común: Moquillo Habito: Arbusto Uso: Apoyo a la avifauna Importancia ecológica: Presente en bosque de crecimiento secundario, es importante en la colonización de áreas degradadas. Los frutos son comestibles, de sabor dulce y es alimento para las aves. Fuente: Ecos del Bosque (2020)
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i>	Nombre común: Jaúl Habito: Árbol Uso: Regeneración de suelos degradados, restauración ecológica Importancia ecológica: Tiene regeneración abundante, capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y establecerse en sitios erosionados, por lo que es una especie importante para la restauración ecológica. Fuente: Jiménez, Rojas, & Rodríguez (2011)
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia*</i>	Nombre común: Guarumo Habito: Árbol Uso: Uso agroforestal y atracción de aves en jardines. Importancia ecológica: Presente en bosque de ribera, crecimiento secundario y zonas cafetaleras. Fuente de alimento para aves, mamíferos e insectos. El recurso utilizado son las infrutescencias y cuerpos Müllermanos. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Fabaceae	<i>Erythrina spp.</i> <i>E. poeppigiana*</i>	Nombre común: Poró Habito: Árbol Uso: Cercas vivas, ornamental, sombra en plantaciones de café o cacao, forraje. Importancia ecológica: Presente en el bosque de ribera. Tienen la capacidad de fijar nitrógeno y generar sombra. El néctar es alimento de las aves, también las flores son consumidas. Es de fácil germinación. Recomendación: En el sitio se encontró <i>E. poeppigiana</i> , la cual es introducida naturalizada, se recomienda utilizar una especie de Poró nativa como <i>Erythrina fusca</i> la cual presenta usos y ecología semejante. Fuentes: Hammel, Grayum, Herrera & Zamora (2010); Estrada-Chavarría & Sánchez (2011); Ecos del Bosque (2020).
Fabaceae	<i>Inga spp.</i>	Nombre común: Guaba, Cuajiniquil Habito: Árbol Uso: Cercas vivas, restauración ecológica, frutal. Importancia ecológica: Fuente de alimento para muchas especies de fauna, además son fijadoras de nitrógeno al suelo, mejorando su fertilidad. El recurso alimenticio es el néctar de las flores y el fruto. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Lauraceae	<i>Nectandra membranacea*</i>	Nombre común: Aguacatillo Habito: Árbol Uso: Apoyo a la avifauna. Importancia ecológica: Presente en el bosque de ribera. El fruto es alimento para las aves y es hospedadora de

		mariposas. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011); Ecos del Bosque (2020).
Euphorbiaceae	<i>Croton draco</i>	Nombre común: Targuá, Copalchí Habito: Arbusto o árbol mediano Uso: Cercas vivas Importancia ecológica: Presente en áreas de vegetación secundaria. Las semillas son alimento para aves y es de crecimiento rápido. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011).
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata*</i>	Nombre común: Algodoncillo, Burío, Ratón Habito: Árbol Uso: Restauración ecológica. Importancia ecológica: Es de crecimiento rápido y de follaje abundante por lo que ayuda a la recuperación de cauces fluviales y recuperación de suelos. El néctar y los frutos son alimento de las aves. Esta especie es cultivada en procesos de restauración ecológica en Finca Cántaros, en San Vito, Coto Brus. Fuente: Ecos del Bosque (2020); Finca Cantaros (20 junio 2020)
Malvaceae	<i>Heliocarpus appendiculatus*</i>	Nombre común: Burío Habito: Árbol Uso: Restauración ecológica y agropecuarias, apoyo a la avifauna y hospedadora de mariposas. Importancia ecológica: Además de atraer aves y mariposas, es un árbol que crece en los bordes de ribera y que puede ser utilizado para la recuperación de áreas degradadas. Fuentes: Ecos del Bosque (2020); La Selva Florula Digital (2020)
Malvaceae	<i>Malviscus arboreus</i>	Nombre común: Amapola, Amapolilla, Quesito Habito: Arbusto Uso: Cercas vivas Importancia ecológica: Presenta flores durante todo el año, es recurso alimenticio para aves por el néctar de las flores y por los frutos. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis*</i>	Nombre común: Lengua de vaca, Lengua de gato, Uña de gato Habito: Arbusto o árbol pequeño Uso: Recuperación en áreas de protección, apoyo a la avifauna. Importancia ecológica: Presente en bosque de ribera y de crecimiento secundario. Los frutos son fuente de alimento para las aves. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Moraceae	<i>Ficus spp.</i> <i>Ficus aurea*</i> , <i>Ficus velutina*</i>	Nombre común: Higuierón, Chilamate Habito: Árboles o arbustos Uso: Apoyo a la fauna. Importancia ecológica: Presente en el bosque de ribera y de crecimiento secundario. Los frutos llamados higos son alimento para la fauna como aves y murciélagos. Especie importante para dispersión y regeneración natural. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Piperaceae	<i>Piper aduncum*</i>	Nombre común: Cordoncillo

		Habito: Arbusto Uso: Medicinales Importancia ecológica: Presente en bosque de ribera y en zonas húmedas. Fuente: Ecos del Bosque (2020)
Solanaceae	<i>Acnistus arborescens</i> *	Nombre común: Güitite Habito: Arbusto o árbol pequeño Uso: Cercas vivas, ornamental y atracción de aves en jardines. Importancia ecológica: Los frutos son consumidos por aves y murciélagos, fundamental en procesos de dispersión y regeneración natural. Reproducción por estacas y además es de fácil germinación por semilla. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
Solanaceae	<i>Urera caracasana</i> *	Nombre común: Ortiga Habito: Arbusto o árbol pequeño Uso: Recuperación en áreas de protección Importancia ecológica: Presente en bosque de ribera, y en zonas de crecimiento secundario. Los frutos son consumidos por aves. Fuente: Estrada-Chavarría & Sánchez (2011)
*Especies identificadas en la zona de estudio del índice QBR.		
Recomendación: preferir sitios donde se encuentren cercanos árboles de atracción para aves y murciélagos principalmente de la familia Moraceae y Melastomataceae, esto como un mecanismo para aumentar la visitación de aves y mamíferos, para fomentar los procesos de dispersión y de regeneración natural.		

Si en la zona de estudio o del proyecto de restauración ecológica no existe un vivero destinado para ese fin, se puede consultar en algunos viveros cercanos de la zona, la disponibilidad de especies arbóreas o arbustivas nativas, por esto se realizó un listado de los viveros que pueden tener estos requerimientos (Cuadro 25).

Cuadro 25. Viveros forestales para consulta de especies nativas

Nombre	Contacto
Vivero Forestal Cachí Instituto Costarricense de Electricidad	2577 1502
Vivero Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica	2550 2326
El Vivero Forestal de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional	2277 3459
Vivero Forestal ORMAFRUT	8402 4435

Discusión

La investigación y la acción social son las bases para la restauración ecológica de zonas altamente degradadas como la microcuenca del río Maravilla. Además de la comprensión del estado de los ecosistemas acuáticos, en este caso del bosque de ribera y de la toma de decisiones que promuevan la GIRH de manera consciente según las dinámicas sociales del sitio de estudio (Lave, 2016). Al establecer tres ejes como fueron: el análisis de la calidad del bosque de ribera, la priorización de sitios para la restauración y la participación social, en conjunto permite que la propuesta planteada sea visualizada como un proceso integral y base para el planteamiento estratégico de la restauración ecológica en la zona.

De acuerdo con el análisis de la calidad del bosque de ribera, la mayoría de los tramos tienen calidad mala o pésima, indicando que son sitios altamente degradados. Los factores que incidieron fueron principalmente por causa del ser humano, entre estos la sustitución del bosque de ribera y bosques adyacentes por cultivos y pastos, lo que refleja un problema ecológico, ya que zonas que han sido impactadas desde décadas atrás, presentan bosques con dificultad para recuperarse por sí solos (Chazdon, 2014). Además, la pérdida de cobertura boscosa en la ribera, tiene un efecto en función del río como un corredor biológico, donde al haber espacios desprovistos de bosque con poca o nula conectividad entre los parches de bosque indican que, se interrumpen las interacciones propias de un ecosistema de ribera, y por lo tanto afecta a los hábitats e influye en las dinámicas naturales como el desplazamiento de las especies, regeneración natural y el establecimiento de poblaciones residentes (Gastezzi-Arias, Alvarado-García, & Pérez-Gómez, 2017).

Así mismo, la ausencia del bosque de ribera en los sitios estudiados puede estar influyendo negativamente en la calidad del agua del río. Esto puede ocurrir porque el bosque de ribera funciona como una zona de amortiguamiento que puede reducir el impacto ocasionado por la erosión y el arrastre de sedimentos y contaminantes que ingresan al río por escorrentía (Cole, Stockan, & Helliwell, 2020), algunos autores recomiendan proteger franjas de 10 a 60m para disminuir o mitigar dicho impacto (Nigel, Chokmani, Novoa, Rousseau & Dufour, 2013). Un estudio reciente en Costa Rica menciona que es más influyente el largo de la zona de amortiguamiento, que el ancho, por lo que el área de protección según la legislación costarricense es aceptable, siempre y cuando se procure mantener el bosque continuo a lo largo del río (Brumberg et al. 2021).

Otro factor humano que reduce la calidad del bosque en los tramos estudiados es la canalización del agua para riego mediante el uso de infraestructuras, y que en ocasiones se canaliza el agua del río en su totalidad. En Costa Rica en la práctica común, se debe respetar un caudal mínimo del 10% del caudal promedio anual (Huguenin, 2016). El río Maravilla a pesar de que se le extrae el agua totalmente, vuelve a aflorar aguas abajo, esto se puede explicar porque a nivel de microcuenca, la presencia de manantiales evidencia un flujo de agua subterráneo, el cual principalmente se direcciona hacia el río Reventazón, pero es muy probable que parte del flujo de agua también se desvié hacia los ríos (Fonseca-Sánchez, et al. 2019). Aunque así ocurra, el cambio brusco en el régimen hidrológico tendrá efecto en lo que se conoce como caudal ecológico, llamado así porque se mantienen los procesos ecológicos como la reproducción, migración, alimentación, sucesión de especies, entre otros (WWF, 2010).

Los dos únicos tramos que presentaron calidad buena e intermedia corresponden a sitios con pendiente fuerte y por lo tanto con poco acceso a cultivar, entonces han conservado remanentes de bosque secundario. Lo cual comprueba que los bosques tropicales ante la ausencia o poca presencia de perturbaciones tienen la resiliencia para volver a su estado original, aunque el tiempo para que se recupere dependa del grado de los impactos (Chazdon, 2014; Bocanegra-González, Fernández-Méndez, & Galvis-Jiménez, 2015). Conservar las áreas de bosque remanente es fundamental para la recuperación del río.

En cuanto a la identificación de especies para la aplicación del índice, la mayoría de las especies encontradas fueron nativas, entre las más abundantes *C. obtusifolia*, *H. appendiculata*, *A. arborescens*, *Conostegia sp.*, especies conocidas por ser de bosque secundario por la poca tolerancia a la sombra y por las funciones ecológicas que poseen como la eficiencia reproductiva, ligada a procesos de dispersión y polinización (Estrada-Chavarría & Sánchez, 2011; Ecos del bosque, 2020). En uno de los tramos fue abundante *Z. longifolia*, pero por la linealidad y la disposición de los individuos se dedujo que eran cultivados, esta práctica es común ya que este árbol llamado sotacaballo, tienen la capacidad de generar mucha raíz, usado para la estabilización de riberas (Ecos del bosque, 2020), sin embargo, no se encontraron más individuos en el área de estudio de manera natural.

Las especies introducidas fueron *E. deglupta* (eucalipto) y *E. poeppigiana* (poró). La presencia de los eucaliptos se puede deber a varias razones, una de ellas es por el valor maderable

y comercial (Matesanz, 2018), además los eucaliptos en algunas ocasiones son usados como cortavientos o para reforestar riberas como es el caso en el sitio de estudio. Sin embargo, se debe destacar que los eucaliptos además de no ser nativo, presenta efectos alelopáticos, es decir, producen compuestos químicos que evitan el crecimiento de otras especies de plantas nativas (Chu et al., 2014). Por lo que, se recomienda que antes de su uso se realice una asesoría para que la siembra sea con plantas nativas que sean de la zona (Peña & Jalón, 2018). La presencia del poró extranjero puede deberse a que es una especie utilizada para sombra de cafetal y por la característica de la familia de las fabáceas de ser exitosa en la germinación inclusive en lugares perturbados (Estrada-Chavarría & Sánchez, 2011).

Complementario al índice QBR, se determinó la clasificación diamétrica, donde la clase dominante fue de 10-20cm, es decir tallos de diámetros menores, por lo que se conoce que entre más pequeños o grandes sean los fustes puede asociarse a la edad de los árboles, además se puede deber a que los sitios han sido intervenidos por lo que las especies responden a la disponibilidad de luz y a la competencia (Álvarez-Alcázar, 2018). También la medición de la altura permitió conocer sobre la estructura vertical de los árboles observando que la mayoría tienen alturas entre los 2 y 10m, confirmando que tanto las especies identificadas, el DAP y las alturas indican características de un bosque secundario intervenido y joven (Bocanegra-González et al. 2015). Por lo anterior, la clasificación diamétrica y la altura permite conocer sobre la estructura del bosque.

Para el proceso de la propuesta de restauración ecológica un aspecto determinante además de conocer la calidad del bosque de ribera, es la priorización de áreas para la restauración ecológica. En la EMC a nivel de microcuenca, la mayor priorización corresponde con las áreas de cultivos de hortalizas y verduras, esto estuvo influenciado principalmente por la amenaza a la contaminación del agua superficial provenientes de estos cultivos (Fonseca-Sánchez et al., 2019). En un estudio realizado a 70 productores hortícolas de 13 diferentes zonas productoras del Valle Central, la mayoría de las zonas representaron altos niveles de riesgo de contaminación siendo las principales causas la falta de fuentes de aguas limpias, el abuso de la aplicación de plaguicidas y la poca utilización de las buenas prácticas agrícolas (González-Lutz, Vargas-Hernández, Durán-Quirós & Mora-Acedo, 2015). Por lo tanto, los cultivos adyacentes a los ríos y las prácticas que implementen pueden ser causa de contaminación potencial del agua.

La EMC con priorización alta corresponde a usos de zonas de bosque de ribera y algunas

áreas de cañales, y la priorización media mayoritariamente con zonas de cañales. Según Vignola, Poveda, Watler, Vargas, & Berrocal (2018), la región del Valle Central Oriental en donde está ubicada la microcuenca del río Maravilla, es una zona de alta producción de caña y fuertes pendientes. Los mismos autores determinaron que no hay una óptima o buena aptitud para este tipo de cultivo, al evaluar el tipo de suelo, precipitación, pendientes y la temperatura, y mencionan que por causas naturales de lluvias, erosión y deslizamientos puede haber afectación en la calidad de agua por el arrastre de sedimentos, por lo que la presencia del bosque de ribera puede representar una forma de mitigar el impacto. De acuerdo con lo anterior, los autores recomendaron medidas de mitigación como el uso de prácticas efectivas para cultivar, pero aunque exista actualmente en Costa Rica un manual de buenas prácticas (Hernández, 2010), muchos productores no las han incorporado aún.

A nivel de la zona de protección de 50m a lo largo del río, la priorización en la parte alta corresponde principalmente con el cultivo de hortalizas y verduras, y los pastos, además hay pocos remanentes de bosque de ribera. Como se discutió anteriormente la presencia de cultivos hortícolas cercanos al río representan un problema, y se suma a esto la presencia de pastos de uso ganadero que trae consigo la compactación del suelo, la afectación para la infiltración y el aumento de la escorrentía superficial, tal como lo indica en un estudio Vásquez (2016). También se observó en la zona poca cobertura boscosa, y esto se puede deber a que, además de la compactación de suelo por el pisoteo, la herbivoría esté impidiendo el reclutamiento de plantas nativas en el borde de la ribera, interrumpiendo el proceso de regeneración natural, e incluso podría estar favoreciendo el crecimiento de especies exóticas más resistentes (Quiroga & Juliá, 2011).

En las zonas de protección de la parte media y baja se priorizan áreas con cultivos de caña y cafetales. En este sentido, el cultivo de caña puede representar un riesgo alto de contaminación, porque se conoce que a nivel país se utilizan plaguicidas, entre ellos los PAPs (plaguicidas altamente peligrosos), principalmente herbicidas e insecticidas (Ramírez, Bravo, Herrera & de la Cruz, 2015). Según Alfaro-Arrieta (2019) la microcuenca del río Maravilla presenta calidad de agua con contaminación elevada desde la parte alta hasta la baja, el autor considera que puede estar relacionada con los usos de suelo ya que los márgenes del río están desprovistos de cobertura boscosa. En esta microcuenca no se cumple el patrón de la red hídrica donde las zonas altas se protegen y las zonas medias y bajas se dedican al mayor uso de los recursos (León-Alfaro, 2019).

Los bosques dentro de la zona de protección fueron priorizados en la parte media y baja. Esto se debe a la presencia de bosque ribertino, bosque intervenido o de coníferas y a las altas pendientes. Se priorizaron así porque es mejor enfocar esfuerzos en zonas con usos de bosque y zonas cercanas a estos, que en usos de cultivos por la dificultad para que cambien de práctica. Aunque esto último se podría alcanzar si hay un mayor involucramiento, participación y compromiso por parte de la comunidad, en especial de productores o finqueros de la zona para mejorar las técnicas de cultivo en zonas cercanas a los ríos (Salamanca-Solarte, 2012). En la parte media hay una naciente llamada Las 50 Manzanas, la cual también fue priorizada, pero esta no se encuentra conectada al bosque de ribera, por lo que representa un punto estratégico para la restauración y así aumentar la conectividad ecológica estructural tomando en cuenta los parches de bosques ya existentes (Rojas-Elizondo, 2019).

En la parte baja de la microcuenca el área urbana corresponde con el poblado Maravilla, donde el río lo atraviesa y en algunos tramos es canalizado para el uso industrial. El agua utilizada por el Ingenio Juan Viñas luego es devuelta al río pero no en las mismas condiciones. Esto representa un problema en la calidad del agua y el mantenimiento de la comunidad de macroinvertebrados (Alfaro-Arrieta, 2019). Con respecto a esto, según Navarro-Salas & Monge-Fernández (2021) mencionan que las personas de la comunidad reconocen que las afectaciones al río provienen del cultivo de caña, café e industrias, además que las propias actividades que ellos realizan pueden estar impactando la calidad y cantidad de agua. Si embargo, la mayoría de estas dependen del empleo del sector agrario. Las autoras también mencionaron la anuencia de las personas a participar de acciones o actividades, lo cual puede ser una oportunidad para que la comunidad se informe sobre los beneficios ecológicos que tiene el río y el bosque, y que se sumen a los esfuerzos para restaurar los bordes de riberas y las zonas de protección de nacientes en sus fincas (Gastezzi-Arias, Alvarado-García, & Pérez-Gómez, 2017).

Involucrar a la comunidad en un sitio de alta dependencia hacia algunas empresas agrícolas es difícil de abordar, sin embargo, en la zona hay voluntad de diversos actores sociales para la gestión del recurso hídrico. Por esto al implementar el mapeo de actores sociales y la metodología CLIP, se obtuvieron como actores dominantes aquellos que han tenido mayor influencia por su servicio y por el interés en procesos participativos. Entre los actores dominantes se encuentra la Municipalidad de Jiménez, la cual en temas relacionados con el ambiente es una de las pioneras,

sea en la adecuada separación de residuos sólidos y en la bioculturización (Soto, 6 julio 2015), así como en fomentar la participación de la comunidad mediante la Feria Ambiente, Agua, y Salud (Calderón, 29 mayo 2019). La municipalidad ha mostrado su apoyo a los proyectos del Laboratorio de Hidrología Ambiental y se preocupan por mejorar la gestión del recurso hídrico, mediante la participación en el grupo gestor y en la colaboración en diversas actividades.

Otros de los entes dominantes fueron COMCURE por su gran interés ya que el río Maravilla-Chiz pertenece a la cuenca del Reventazón y parte de su plan de acciones es trabajar en la cuenca media y baja del Reventazón (Asamblea Legislativa, 2012). Además, la JASEC, el SINAC y el Ministerio de Salud mediante sus representantes en el grupo gestor han demostrado que pueden tener grandes aportes para la implementación de acciones en la microcuenca Maravilla-Chiz y Quebrada Honda, sea mediante la implementación de forestería análoga para la recuperación de áreas de protección o bien, desde la facilitación de documentos y trabajos conjuntos para conocer sobre las fuentes de contaminación y la calidad del agua.

También el Ingenio Juan Viñas se categoriza como dominante porque ha mostrado su anuencia en trabajar para mejorar la situación de los ríos y manantiales, esto es de gran ayuda ya que la mayoría de las fincas de la población de Juan Viñas pertenecen a la Hacienda para el cultivo de caña de azúcar y café (Quirós, 2009; INDER, 2014) y saber que se pueden destinar tierras para la restauración y evitar el conflicto durante el proceso es importante para el grupo gestor. La Universidad Nacional ocupa la categoría de Fuerte, esto debido a que la Universidad se ha comprometido con dos de sus proyectos: Herramientas para la protección del agua subterránea en las subcuencas Quebrada Honda y Chiz-Maravilla, Cartago, Costa Rica. Código SIA: 0280-15 (2015-2017), y Procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica. Código SIA: 0015-17 (2018-2020), donde es un ente generador de información y de articulación para la toma de decisiones pero que no tiene la legitimidad a nivel político, esto les corresponde a otras entidades.

La Dirección de Aguas, el AyA y SENARA que también son de las principales instituciones públicas relacionadas con la gestión del recurso hídrico (Ballestero, 2008), están en la categoría de influyentes por el bajo interés. Esto representa un problema, ya que estas instituciones deberían tener mayor representatividad e interés en el desarrollo de proyectos relacionados por la gestión del recurso hídrico. Además, en esta categoría de influyente también está el MAG, el cual es clave

para procesos de buenas prácticas agrícolas, y no tiene el interés o la representatividad requerida en la zona.

Entre las instituciones que se encuentran como inactivas se encuentra el MEP, sin embargo, tanto en La Escuela Cecilio Lindo Morales como en el Colegio Ambientalistas de Pejivalle a nivel estudiantil se manejan proyectos relacionados con el ambiente y la gestión. La escuela cuenta con el programa de Bandera Azul Ecológica y la cuadrilla ecológica, además la dirección está anuente a involucrarse en estos procesos. En el colegio los estudiantes tienen proyectos donde siembran plantas comestibles y medicinales para proveer al colegio y para vender las plantas o productos elaborados, del mismo modo también investigan sobre el conflicto humano-ambiente y mediante exposiciones y ferias informan a las personas (Calderón, 29 mayo 2019), por lo que ante una propuesta de restauración ecológica se pueden involucrar estas instituciones.

En la categoría de interesado está la UNED, dado a que tiene un proyecto ejecutable para el 2021-2022 sobre restauración ecológica en el río Maravilla y en las nacientes del acueducto municipal de Quebrada Honda. Luego, como vulnerables están las ASADAS, las cuales están organizadas por la gente de la comunidad con el fin de llevar el agua a la población, no obstante, en muchas ocasiones, aunque la formación de ASADAS aumente el abastecimiento de agua en Costa Rica, estas tienen necesidades económicas o bien ausencia de asesorías para mejorar la gestión del agua (Cuadrado-Quesada, 2017). Al ser grupos pequeños en una labor tan importante para la comunidad se consideran con legitimidad e interés alto, pero con poder bajo.

El grupo gestor con la representatividad de los actores más dominantes e interesados validaron un mapa con las unidades de manejo a nivel de cuenca y se realizó un plan de trabajo, siendo uno de sus ejes principales la recuperación y restauración de áreas de protección de ríos y manantiales (Laboratorio de Hidrología Ambiental UNA, 27 junio 2019). Este fue discutido ampliamente por el grupo gestor ya que se enfoca en proteger y conservar las áreas de donde se obtiene el agua para abastecimiento humano y además como el aumento de la cobertura boscosa ayudaría para mejorar la salud del río. Así mismo cuales son los responsables de que las acciones se lleven a cabo.

En cuanto a la educación ambiental la niñez al aprender jugando de manera interactiva hace que ocurra un intercambio de conocimientos entre el educador y el educando. Los escolares son

capaces de identificar las problemáticas ambientales en la zona donde viven, de ahí la importancia de estos talleres en escuelas de zonas rurales, ya que puede ser que tengan menor problemática en cuanto a la urbanización, pero sí la tienen con respecto al sobreuso agrícola y las inadecuadas prácticas (Martínez & Carrillo, 2013). Ante las problemáticas se plantearon posibles soluciones y de cómo el ser humano puede influir positiva o negativamente en los ecosistemas (Espinoza-López & Torres-Robayo, 2010). Esto es de gran retroalimentación ya que la educación ambiental permite comunicar e informar a los estudiantes para que comprendan y se sientan parte de la solución, con la esperanza de que se generen cambios positivos por el ambiente (Mata, 2013). La educación ambiental en zonas rurales es necesaria para lograr el aprendizaje y la sensibilización de los escolares con temas ambientales.

Con la información obtenida, se elaboró la propuesta de restauración ecológica organizada en tres etapas: planificación, implementación y cierre, y en concordancia con el plan de trabajo del grupo gestor. Se sugiere aplicar el método de forestería análoga utilizando un ecosistema de referencia, tal como lo describen en RIFA (2020); el presente trabajo aporta entonces información de las especies identificadas en la aplicación del índice QBR, el aporte descriptivo de un listado de especies de importancia ecológica, y el listado de especies de las nacientes de Las 50 manzanas, la selección de las especies debe conllevar un proceso de análisis para optimizar los esfuerzos para restaurar. También la EMC permite identificar las zonas dentro de las áreas de protección que se deben priorizar, donde la cantidad de especies y de individuos que se utilizarán en la estrategia de restauración ecológica dependerá del área total para la implementación, tal como lo describen Scholtz & Morera (2016), también dependerá del presupuesto con el que se cuente y en este caso, del compromiso de la comunidad para que el proyecto sea exitoso.

La propuesta presenta a los responsables, donde figuran principalmente el ejecutor y el equipo de trabajo, el Laboratorio de Hidrología Ambiental en cuanto a los insumos técnicos en la fase de planificación y el SINAC-MINAE para la ejecución de acuerdo con las áreas de protección y las estrategias utilizadas antes, especialmente en el ACC-Turrialba. También son responsables las municipalidades tanto de manera política como administrativa para la gobernanza del agua, y el INVU que debe ser involucrado, ahora con su actual metodología para estandarizar en la práctica la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos (INVU & PNUD, 2019). También las Universidades como entes generadores de información y al implementar y dar

seguimiento a los proyectos, la Escuela y Colegio como instituciones que promuevan la participación estudiantil y el fomento de actividades de índole científica, social y ambiental.

Debido al respaldo de los integrantes del grupo gestor para que se ejecuten acciones en conjunto, entre estas en los ejes de restauración ecológica y de educación ambiental, con un alto nivel de compromiso, surge la oportunidad del SINAC para el planteamiento de una licitación para la restauración de áreas de protección del río Maravilla y de las nacientes del Acueducto Municipal de Jiménez, donde la UNED sería el ente ejecutor y por lo tanto, se le brindará toda la información del presente trabajo de graduación, de manera colaborativa y participando en el proceso, para que se inicien los procesos de restauración de acuerdo a los insumos ya generados.

El plan de trabajo del grupo gestor al igual que la propuesta de restauración contemplan como base una mayor participación social y especialmente comunitaria, esto para lograr que haya involucramiento de las personas y así conocer la aceptabilidad que tendrían ante un eventual proyecto de restauración, en función del entorno socioeconómico y las aspiraciones propias de las comunidades (Vargas, 2011). También se planteó comunicar los resultados, dado que uno de los problemas que enfrenta las universidades públicas actualmente, es el desconocimiento de las personas en general del quehacer de las universidades no solo en investigación, sino también en extensión y acción social, por esto, se considera que se debe hacer la estrategia comunicativa que permita visibilizar el trabajo realizado, y de la misma manera incentivar a que se replique en otras cuencas, como ejemplo exitoso ha sido la producción audiovisual y la generación de los videos de GIRH y calidad del agua de las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda (Laboratorio de Hidrología Ambiental UNA, 22 octubre 2020; 5 noviembre 2020).

La gobernanza del agua debe ser de interés de todos los ciudadanos, de instituciones y organizaciones que tengan incidencia tanto en política, administración o bien participación para conservar el recurso hídrico (Perea-Badillo, 2018). Se destaca la incidencia política y administrativa desde las municipalidades de Jiménez y Alvarado, la presencia activa del SINAC-MINAE para el resguardo de las áreas de protección, la capacidad estratégica de COMCURE y la participación del MinSa y la JASEC, el apoyo de la Universidad Nacional como ente generador de insumos y participe de la toma de decisiones, también la ejecución de acciones para la restauración ecológica implementado por la UNED, todo esto forma parte de una mejor gestión del recurso hídrico, donde la formación de redes o vinculaciones colaborativas permiten abarcar las estrategias

propuestas, siendo el manejo a partir de las realidades locales una opción para evidenciar la labor conjunta (Sayles & Baggio, 2016).

Conclusiones

Las metodologías utilizadas fueron implementadas de manera exitosa finalizando con la formulación de la propuesta de restauración ecológica. La aplicación del índice QBR permitió evaluar la calidad del bosque, se trata de zonas muy degradadas, con tipo de bosque secundario intervenido y estados iniciales de sucesión (joven). Este resultado es un insumo técnico y científico del estado del bosque en los tramos estudiados.

Tanto para la microcuenca como para las zonas de protección de 50m en ríos, la aplicación de la EMC indicó que los sitios o áreas prioritaria con clase alta y media coinciden con los usos con cobertura boscosa y los usos no conformes como hortalizas y verduras, y el cultivo de caña y café. El resultado final con el mapa de la EMC, y sus respectivas secciones también es un insumo para la toma de decisiones para la GIRH.

El grupo gestor al estar conformado por los actores sociales dominantes y fuertes, hace que la gestión política y administrativa haya dado paso a la elaboración de un plan de trabajo para la gestión del recurso hídrico, además se observan vacíos con respecto a los actores sociales vulnerables como las ASADAS. Esta situación puede variar con el tiempo mediante la implementación de acciones y el involucramiento de los diversos actores y de la comunidad en general.

En la aplicación del taller el bosque de ribera es maravilloso, se logró un intercambio de conocimientos con los escolares, donde se los estudiantes aprendieron sobre la importancia de los bosques, además se les enseñó sobre problemáticas de los ecosistemas y los escolares fueron capaces de identificar cuales ocurren en el lugar donde viven, como la contaminación del río y la ausencia de bosque. Ante esto plantearon acciones que pueden desarrollar en su escuela y en sus casas. De parte de la dirección de la escuela también hubo anuencia en participar de procesos de educación ambiental.

La propuesta de restauración ecológica integra los insumos generados, tanto técnicos como sociales y se estructura a manera de estrategias según las fases, esto como respuesta al proceso del presente TFG y conforme al plan del trabajo del grupo gestor. La propuesta será compartida con el grupo gestor, como parte del trabajo que ha desarrollado la UNA con los proyectos y el

acompañamiento de procesos que conllevan a la toma de decisiones.

De manera general este proyecto es un aporte para mejorar la GIRH y por lo tanto para aportar a la gobernanza del agua en el lugar, donde para la toma de decisiones se requiere anuencia del sistema político administrativo con la representación de municipalidades y de ministerios, y que, a partir de este, se vinculen instituciones que fortalezcan la implementación de acciones.

Recomendaciones

Para el desarrollo de la propuesta de restauración ecológica, asesorarse para la utilización de plantas nativas por medio de los listados generados, complementado con bosques de referencia, utilización de información de colecciones de herbario y consultas a especialistas. Además, valorar en las áreas prioritarias la aptitud del sitio para la restauración ecológica, mediante la ubicación de bosques cercanos y el acceso a los terrenos. También sería importante el desarrollo de un vivero comunal, municipal o gestionado por alguna persona o familia de la comunidad para la disponibilidad de especies nativas de la zona.

Fomentar la participación comunitaria, especialmente de finqueros y productores en la toma de decisiones, ya que, si se desean implementar acciones de restauración ecológica, va a facilitar la colaboración para el acceso a terrenos públicos y privados.

Para la implementación de talleres de educación ambiental en una institución pública o cualquier otro grupo meta, procurar una adecuada comunicación y formalización del trabajo a realizar, así como validar las dinámicas a utilizar evitando la improvisación, esto va a generar un adecuado ambiente y la apertura de la dirección para otros proyectos de educación ambiental. Además, siempre realizar una evaluación para conocer el aprendizaje adquirido y para la retroalimentación.

Para las acciones que se van a implementar por parte del grupo gestor en el eje de restauración ecológica, se recomienda que se fortalezcan las capacidades de los representantes y se incluyan instituciones como la escuela, el colegio, las ASADAS, representantes de comercios locales y participación de la comunidad en general, con el fin de que se comprometan y se incluyan como parte del proceso, disminuyendo el riesgo de conflicto.

Para el grupo gestor continuar fortaleciendo alianzas estratégicas y manteniendo la apertura hacia las universidades para la gestión integrada del recurso hídrico y otras áreas de índole ambiental, económica y social. Además, se recomienda dar a conocer todos los esfuerzos realizados con el fin de que aumente la capacidad organizativa y el involucramiento de otros actores sean externos o comunitarios.

Referencias

- Alcázar-Caicedo, C. & Ramírez-Hernández, W. (2011). *El Uso de rasgos funcionales en flora como herramienta para establecer prioridades de conservación*. Recuperado de [links/556732f608aeab77721ea41a/El-uso-de-rasgos-funcionales-en-flora-como-herramienta-para-establecer-prioridades-de-conservacion.pdf](https://doi.org/10.15567/32f608aeab77721ea41a/El-uso-de-rasgos-funcionales-en-flora-como-herramienta-para-establecer-prioridades-de-conservacion.pdf)
- Alfaro-Arrieta, J. E. (2019). *Caracterización de la calidad de agua superficial en las subcuencas Quebrada-Honda y Chiz-Maravilla, Cartago, Costa Rica*. (Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales). Universidad Nacional, Costa Rica
- Altieri, M. A. & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612. doi: 10.1080/03066150.2011.582947
- Álvarez-Alcázar, L. (2018). *Estudio del crecimiento diamétrico y estado de un bosque tropical intervenido en Yucatán de Pital de San Carlos, Costa Rica*. (Tesis para optar por el título de ingeniero forestal con el grado académico de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Araya-Yannarella, F. & Fernández-Hernández, A. (2017). Modificación del índice de calidad de riberas: Inclusión del componente social en la evaluación de la calidad ribereña de la microcuenca del río Burío-Quebrada Seca. *Uniciencia*, 31(1), 39-49. doi: 10.15359/ru.31-1.5
- Arellano-Monterrosas, J. L. L. (2010). Gestión integral de recursos hídricos para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones en las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 23-37. doi: 10.5154/r.inagbi.2010.05.006
- Arias-Salguero, M. E., Losilla-Peñón, M. & Arredondo-Li, S. (2010). Estado del conocimiento del agua subterránea en Costa Rica. *Boletín Geológico y Minero*, 117(1), 63-73.
- Arroyave, J. A., Builes, L. A. & Rodríguez, E. M. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Journal of Engineering and technology*, 1(1).
- Asamblea Legislativa. (1942). Ley de Aguas N°276). San José, Costa Rica: Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A.
- Asamblea Legislativa. (1991). Ley N°7224, aprobación de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de las aves acuáticas “Convención de RAMSAR” (2 de febrero de 1971). San José, Costa Rica: Editorial Investigaciones

Jurídicas, S.A.

Asamblea Legislativa. (1996). Ley Forestal N° 7575. La Gaceta N° 72, San José, Costa Rica.

Asamblea Legislativa. (1998). Ley de Biodiversidad N° 7788. San José, Costa Rica. Editorial Investigaciones Jurídicas, S.A.

Asamblea Legislativa. (2012). Modificación parcial de la Ley N° 8023, ordenamiento y manejo de la cuenca alta del río Reventazón, de 27 de setiembre del 2000.

Asamblea Legislativa. (2017). Expediente Legislativo N° 17.742 Ley de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH). La Gaceta N° 271, San José, Costa Rica.

Ballesteros, M. (2008). La prestación de los servicios de agua y saneamiento con enfoque de Gestión Integrada de Recurso Hídrico (GIRH) en Costa Rica: Situación y sistematización de algunas experiencias. *San José, Global Water Partnership (GWP) Costa Rica.*

Basílico, G. O., De Cabo, L., & Faggi, A. (2016). Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie, 17(2)*, 119-134.

Benez, M. C., Kauffer, E. F. & Álvarez, G. D. C. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera norte, 22(43)*, 129-158.

Bocanegra-González, K. T., Fernández-Méndez, F., & Galvis-Jiménez, J. D. (2015). Grupos funcionales de árboles en bosques secundarios de la región Bajo Calima (Buenaventura, Colombia). *Boletín Científico Del Centro De Museos, 19(1)*, 17-40.

Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F., Vanacker, V., Mao, Z., ... & Mathez-Stiefel, S. L. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management, 433*, 569-584. doi 10.1016/j.foreco.2018.11.033f

Brumberg, H., Beirne, C., Broadbent., E., Almeyda., M. A., Almeyda, S., Quispe., C., ... & Whitworth., A. (2021). Riparian buffer length is more influential than width on river water quality: A case study in southern Costa Rica. *Journal of Environmental Management, 286*, 112132.

Calderón, C. (29 mayo 2019). Municipalidad de Jiménez realizará Feria Ambiental. *Turrialba Digital*. Recuperado de <https://www.turrialbadigital.com/noticias/regional/municipalidad-de-jimenez-realizara-feria-ambiental>

- Calvo, J. (2013). *Bosque, cobertura y recursos forestales 2008*.
- Calvo, J.J. (2017). *Propuesta para la restauración de la cobertura vegetal en la zona ribereña del río Tibás como insumo para el establecimiento de un corredor biológico interurbano*. (Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Manejo de Recursos Naturales). Universidad Nacional, Heredia.
- Calvo-Villalobos, J. E., Bermúdez-Rojas, T., & Vega-Bolaños, H. (2019). Dinámica de uso de suelo y sitios prioritarios para la restauración forestal del Corredor Biológico Río Tibás, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, (62), 138-163. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.62-1.6>
- Campos-Durán, C. & Quesada-Román, A. (2017). Impacto de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica, periodo 2000-2015. *Geo Uerj*, (30), 440-465. doi: 10.12957/geouerj.2017.26116
- Campos-Vargas, C. A. (2010). *Análisis de los cambios de cobertura de la cuenca alta y media del Río Reventazón, Costa Rica, periodo 2000-2010*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago
- Carta de la Tierra. (2016). *La Carta de la Tierra: Valores y Principios para un futuro sostenible*. Recuperado de http://www.domlife.org/Justice/GlobalWarming/earthcharter_span.pdf
- Castro, A. (2018). *Evaluación de la calidad de la vegetación ribereña de la Microcuenca Alta de la Quebrada Estero, San Ramón, Alajuela, Costa Rica, mediante la aplicación del Índice de Calidad de Riberas (QBR)*. Universidad Nacional, Heredia
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J. & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería solidaria*, 10(17), 111-124.
- CEPAL. (2017). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Chará, J., Pedraza, G., Giraldo, L. & Hincapié, D. (2013). Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, 45, 72-78
- Chazdon, R. L. (2014). *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press.
- Chevalier, J.M. & Buckles, D.J. (2011). *Guía para la investigación, la evaluación y la planificación participativas*. Ottawa, Canadá: SAS2 Dialogue. 83pp.
- Chu, C., Mortimer, P. E., Wang, H., Wang, Y., Liu, X., & Yu, S. (2014). Allelopathic effects of

- Eucalyptus on native and introduced tree species. *Forest Ecology and Management*, 323, 79-84.
- Cole, L. J., Stockan, J. & Helliwell, R. (2020). *Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106891. doi:10.1016/j.agee.2020.106891
- Cuadrado-Quesada, G. (2017). Gobernanza de aguas subterráneas, conflictos socioambientales y alternativas: experiencias de Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 43, 393-418.
- Eastman, J. R. (1997). IDRISI for Windows: Advanced Student Manual: Special topics, version 2.0. Clark Labs, Clark University.
- Ecos del Bosque (2020). Flora [Descripción de especies en la página]. Recuperado de <https://ecosdelbosque.com/flora>
- Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 17(1), 71. doi 10.1007/s11273-008-9119-1
- Espínola, M. (2016). Monitoreo y evaluación de proyectos de restauración del paisaje. En Sanchun, A., Botero, R., Morera, A., Obando, G., & O. Russo, R., Scholz, C., & Spinola, M. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. San Jose, Costa Rica: IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales)
- Espinoza-Lopez, I. C. & Torres-Robayo, M. B. (2010). *Proyecto de Educación Ambiental dirigido a niñas y niños de las escuelas rurales: Padre Menthén, Bellavista, Guarumales y de la Escuela Urbana: 23 de Mayo, para vincularse a la conservación del Bosque Protector Rio Guajalito* (Tesis para optar por el título de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito
- Estrada-Chavarría, A. & Sanchez, J. (2011). *Árboles y arbustos de importancia para las aves del Valle Central de Costa Rica*. Santo Domingo, Heredia, Costa Rica: INBio
- FAO. (2016). El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma.
- Fernandes, M. R., Aguiar, F. C. & Ferreira, M. T. (2011). Assessing riparian vegetation structure and the influence of land use using landscape metrics and geostatistical tools. *Landscape and Urban Planning*, 99(2), 166-177.

- Fernández, L., Rau, J. & Arriagada, A. (2009). Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41° 28'S; 72° 59'O) utilizando el índice QBR. *Gayana. Botánica*, 66(2), 269-278.
- Finca Cántaros. (20 junio 2020). Hoy queremos compartir con ustedes un poco de información de la *Hampea appendiculata*, perteneciente a la familia Malvaceae. Algunos nombres comunes son Algodoncillo y Burío Ratón. Queremos mencionar lo resistente que es: en el Bosque de los Niños en Finca [Actualización estado de Facebook]. Recuperado de: <https://www.facebook.com/FincaCantaros/posts/2694071804208579>
- Fonseca-Sánchez, A., Madrigal-Solís, H., Núñez-Solís, C., Calderón-Sánchez, H., Moraga-López, G., & Gómez-Cruz, A. (2019). Evaluación de la amenaza de contaminación al agua subterránea y áreas de protección a manantiales en las subcuencas Maravilla-Chiz y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica. *Uniciencia*, 33(2), 76-97.
- Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., & Pérez-Gómez, G. (2017). La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis*, 31(1-2).
- Gatica, E. A., Almeida, C. A., Mallea, M. A., Del Corigliano, M. C. & González, P. (2012). Water quality assessment, by statistical analysis, on rural and urban areas of Chocancharava River (Río Cuarto), Córdoba, Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(12), 7257- 7274. doi 10.1007/s10661-011-2495-7
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo*. San José: IICA.
- Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J. R. & Beard, K. H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation biology*, 24(3), 660-668.
- Gómez, D. M. & Barredo, C.J.I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España: Edición RA-MA
- González-Lutz, M. I., Vargas-Hernández, G., Durán-Quirós, A., & Mora-Acedo, D. (2015). Diseño y validación de un sistema para cuantificar riesgos de contaminación y su aplicación para identificar puntos críticos de control en cultivos hortícolas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 153-166.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (2020). *Manual de plantas de Costa Rica: Volúmenes V, VI, VII y VIII*. St. Louis: Missouri Botanical Garden Press
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (2010). *Manual de Plantas de Costa Rica: Volumen V.: Dicotiledóneas (Clusiaceae – Gunneraceae)*. St. Louis: Missouri Botanical Garden Press

- Hernández, G & Monestel, H. (2014). La educación ambiental en las instituciones educativas de zonas montañosas costarricenses y cubanas. Particularidades. *Revista Conexiones* 9(3), 42-53
- Hernández, G. (2010). Manual de Buenas Prácticas Ambientales en Costa Rica. Compilación ilustrada del Tribunal Ambiental Administrativo. *Infoterra Editores S.A.*
- Holdridge, L., Mason, F. B & Liang, W. (1967). *Life Zone Ecology*. No. 574.5 H727. Centro Científico Tropical, San José Costa Rica. 206pp
- Huguenin, C. (2016). Caudal Ecológico en el mundo y Costa Rica. *San Ramón de La Unión*. (XI Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental en Costa Rica) Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/320021154_Caudal_Ecologico_en_el_mundo_y_Costa_Rica
- INDER (2014). *Informe de Caracterización Integral Básica Territorio Turrialba-Jiménez*. Recuperado de https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Turrialba-Jimenez.pdf
- Instituto Meteorológico Nacional. (2013). *Precipitación total media anual por meses en Cartago, Costa Rica, 2013*. Accesado en línea abril 2016 http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=ClimaCiudad&CIUDA D=10.
- INVU & PNUD. (2019). *Metodología para la delimitación digital de las áreas de protección de ríos, quebradas y arroyos*. Recuperado de: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/26743/Metodolog%C3%ADa+para+la+delimitaci%C3%B3n+digital+de+las+%C3%A1reas+de+protecci%C3%B3n+de+r%C3%ADos%2C+quebradas+y+arroyos/65925ae5-6d94-4a37-8b76-36a65c16d433>
- Jiménez, M. (2010). *Intervenciones basadas en la planificación y gestión territorial de los riesgos del agua y medio ambiente con enfoque de multiculturalidad y género en el cantón de Jiménez, Cartago, Costa Rica*. (Tesis de Maestría en Artes en Planificación y Gestión Territorial de los Riesgos, del Agua del Medio Ambiente con Enfoque de Multiculturalidad y Género). ICAP. Guatemala. 162 pp.
- Jiménez, Q., Rojas F., Rojas V. & Rodríguez, L., (2011). *Árboles maderables de Costa Rica*:

- ecología y silvicultura. Timber trees of Costa Rica: ecology and silviculture*. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio
- La Selva Florula Digital (2020). Páginas de especies vegetales: *Heliocarpus appendiculatus*. [Página Web]. Recuperado de https://sura.ots.ac.cr/local/florula4/find_sp2.php?customer=Heliocarpus+appendiculatus
- Laboratorio de Hidrología Ambiental UNA. (22 octubre 2020). Calidad del agua en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica. [Video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=wZra76YOqWY>
- Laboratorio de Hidrología Ambiental UNA. (27 junio 2019). Primera Mesa de Trabajo en el marco del proyecto “Procesos de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en las subcuencas Chiz-Maravilla y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica”. Recuperado de: <https://www.facebook.com/Laboratorio-de-Hidrolog%C3%ADa-Ambiental-UNA-837750686583882/>
- Laboratorio de Hidrología Ambiental UNA. (5 noviembre 2020). Video GIRH subcuenca Chiz-Maravilla y Quebrada Honda [Video]. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=7iMHQQKIQYQ>
- Lave, R. (2016). Stream restoration and the surprisingly social dynamics of science. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(1), 75-81.
- León-Alfaro, Y. (2019). Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: conectando el bosque para proteger el agua. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 102-120.
- López-Báez, W. (2014). Análisis del manejo de cuencas como herramienta para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. *Revista chapingo serie zonas aridas*, 13(2), 39-45.
- Lorion, C. M. & Kennedy, B. P. (2009). Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology*, 54(1), 165-180. doi:10.1111/j.1365-2427.2008.02092.x
- Maglianesi, M. A. (2011). Caracterización de la comunidad vegetal en áreas de bosque nativo y plantaciones de coníferas en la Reserva Forestal Grecia (Alajuela, Costa Rica). *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 2(2), 245-253.
- Maglianesi-Sandoz, M. A. (2013). Desarrollo de las piñeras en Costa Rica y sus impactos sobre

- ecosistemas naturales y agro-urbanos. *Biocenosis*, 27(1-2).
- Manson, R. H. (2016). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3-20.
- Martínez, M. I. & Carrillo, L. C. (2013). La educación ambiental rural desde las escuelas básicas y por estas. *Revista electrónica EDUCARE*, 17(2), 69-79.
- Mata, A. (2013). *Informe Final Tema: Educación Ambiental en Costa Rica*. Agencia para la Cooperación Internacional del Japón JICA. Recuperado de: [http://www.pnuma.org/educamb/reunion_foro_internacional/Informe_Final-Educacion_Ambientalen_Costa_Rica_JICA\(3\).pdf](http://www.pnuma.org/educamb/reunion_foro_internacional/Informe_Final-Educacion_Ambientalen_Costa_Rica_JICA(3).pdf)
- Matesanz, J. C. (2018). *Diagnóstico de las plantaciones forestales en Turrialba y Jiménez (Cartago, Costa Rica) para consolidar el Corredor Biológico Volcánica Central–Talamanca*. (Tesis de Maestría). Universidad de Valladolid.
- Méndez-Toribio, M., Martínez-Garza, C., Ceconco, E. & Guariguata, M. R. (2017). Planes actuales de restauración ecológica en Latinoamérica: Avances y omisiones. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 1-30. doi: <http://dx.doi.org/10.15359/rca.51-2.1>
- Menéndez, G. (2017). *Desarrollo y conceptualización de la extensión universitaria*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral
- MINAE. (2017). Política Nacional de Humedales 2017-2030. Recuperada de <https://presidencia.go.cr/wp-content/uploads/2017/03/Politica-Nacional-de-Humedales-1.pdf>
- MINAE. (2020). Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040. San José, Costa Rica. 72pp. Recuperada de <http://www.da.go.cr/politica-nacional-de-areas-de-proteccion-2020-2040/>
- MINAET. (2010). Decreto Ejecutivo N° 35803: Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales. *La Gaceta N° 73*
- Moraga, J. C. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(45), 33-64.
- Morera-Beita, C. & Sandoval-Murillo, L. (2018). Fragmentación y conectividad de la cobertura natural a nivel cantonal en Costa Rica durante los años 2000 y 2015. *Revista Geográfica de América Central*, 4(61E), 37-61.
- Morera-Beita, C., Sandoval-Murillo, L. F. & Alfaro-Alvarado, L. D. (2021). Evaluación de

- corredores biológicos en Costa Rica: estructura de paisaje y procesos de conectividad fragmentación. *Revista Geográfica de América Central*, 1(66), 129-155.
- Munné, A., Prat, N., Sola, C., Bonada, N. & Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13(2), 147-163. doi: 10.1002/aqc.529
- Naciones Unidas (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Navarro-Salas, K. & Monge-Fernández, Y. (2021). *Evaluación de la influencia de las actividades socioeconómicas en el caudal, calidad del agua y comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el río Maravilla, Cartago, Costa Rica*. (Tesis de grado para optar por la Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales). Universidad Nacional, Costa Rica
- Nigel, R., Chokmani, K., Novoa, J., Rousseau, A. N. & Dufour, P. (2013). Recommendations for riparian buffer widths based on field surveys of erosion processes on steep cultivated slopes. *Canadian Water Resources Journal*, 38(4), 263-279.
- Orozco, E. (comunicación personal, 25 de agosto, 2017). Ingeniero de proyectos y manejo de Cuencas en COMCURE
- Paniagua-Fuentes, S. (2019). *Estado de la cobertura forestal y priorización de áreas de recuperación en las zonas de influencia de las nacientes del acueducto municipal del cantón de Jiménez, Cartago, Costa Rica* (Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Biología con Énfasis en Manejo de Recursos Naturales), Universidad Nacional, Costa Rica
- Parra, L. (2012). *Efectos de distintos niveles de salinidad en especies halófilas en un saladar del Sud de Alicante* (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia
- Peña, R. A. & Jalón, A. (2018). Reforestación con especies forestales nativas para la conservación y protección de los recursos hídricos, provincia de Esmeraldas, Ecuador. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 11(32), 12.
- Perea-Badillo, L. (2018). *Sistematización de experiencias y análisis del proceso de degradación y restauración del paisaje en el Cantón de Puriscal, Costa Rica*. (Trabajo de graduación para optar por la maestría en Práctica de Conservación de la Biodiversidad). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Posada, M. I. & Arroyave, M. D. P. (2015). Análisis de la calidad del retiro ribereño para el diseño

de estrategias de restauración ecológica en el Río La Miel, Caldas, Colombia. *Revista EIA*, 12(23), 117.

PREVDA-Programa Regional de Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental. (2008). *Plan de cuenca del río Reventazón-Parismina 2008-2010*. San José, Costa Rica: PREVDA.

Quiroga, P. A. & Juliá, J. P. (2011). Estudio de una cuenca de río subtropical de montaña: pautas para su gestión ecosistémica. En HR. Fernández & H. Barber (Eds.), *La Cuenca del Río Lules: Una aproximación multidisciplinaria a su complejidad* (pp, 159-174). San Miguel de Tucumán Argentina: Editorial Edunt

Quirós, N. (2009). Diagnóstico Inicial de la Situación de los Residuos Sólidos en la Municipalidad de Jiménez, Cartago-Costa Rica (Documento Técnico). Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Costa Rica

Ramírez, F., Bravo, V., Herrera, G. & de la Cruz, E. (2015). Sustancias biocidas en la producción de caña de azúcar en Costa Rica. *Ambientico*, 252(3), 29-33.

Ramírez, P. & Zúñiga, H. (2014). Estudio hidrogeológico en el distrito de Juan Viñas, Cartago. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Ramsar (1971). Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. *Ramsar*, 2.

Reguant-Álvarez, M., & Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. REIRE. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, vol. 9(2), p. 87-102. doi.org/10.1344/reire2016.9.1916

RIFA-Red Internacional de Forestería Análoga. (2020). Restaurando los ecosistemas de soporte de vida del planeta. Página oficial: <https://www.analogforestry.org/about-us/analog-forestry/?lang=es>

Rodríguez, J. M. W., Rojas, J. M. C. & Gómez, J. H. M. (2017). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica*, 26(3), 359-371.

Rodríguez-Arias, C. & Benavides, S.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.

Rojas-Elizondo, J. E. (2019). *Propuesta de red de conectividad ecológica en el corredor biológico*

- río Nosara*. (Trabajo de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal). Universidad Nacional, Costa Rica
- Rueda-Puente, E. O., Morales, F. A. B., Espinoza, F. H. R., Cepeda, R. D. V., Hernández, J. L. G., Serrano, N. Y. Á., ... & Amador, B. M. (2011). Opciones de manejo sostenible del suelo en zonas áridas: aprovechamiento de la halófito *Salicornia bigelovii* (Torr.) y uso de biofertilizantes en la agricultura moderna. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 157-167.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Salamanca-Solarte, B. (2012). *Transición agroecológica para la restauración de áreas en conservación cuenta alta del río Teusacá (Colombia) aportes para implementar la política de participación en el sistema de áreas protegidas* (Tesis Doctoral). Universidad Internacional de Andalucía, España
- Sánchez, I., Díaz, G., Macías, H. & Estrada. (2010). Proceso jerárquico analítico para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1(3), 305-319.
- Sánchez-Murillo, R. (2018). Variabilidad micro-climática e hidrogeológica en las subcuencas Quebrada Honda y Chiz-Maravilla a través del análisis de isótopos estables del Proyecto: Herramientas para la protección del agua subterránea en las subcuencas Quebrada Honda y Chiz-Maravilla, Cartago, Costa Rica. (Datos sin publicar)
- Sánchez-Vindas, P., Poveda-Álvarez, L. J. & Thor-Arnason, J. (2008). *Guía dendrológica costarricense*. Herbario Juvenal Valerio Rodríguez.
- Sayles, J. S., & Baggio, J. A. (2017). Social–ecological network analysis of scale mismatches in estuary watershed restoration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(10), E1776-E1785.
- Scholz, C. & Morera, A. (2016). Restauración de paisajes forestales. En Sanchun, A., Botero, R., Morera, A., Obando, G., O. Russo, R., Scholz, C., & Spinola, M. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. San José, Costa Rica: IUCN
- Secretaría de la Convención Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 6ta edición*. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención Ramsar.
- Serrato, V. (2015). *Calidad ambiental del ecosistema ribereño asociado a la parte alta del río*

- Virilla en Vázquez de Coronado, San José, Costa Rica* (Trabajo de graduación). Universidad Nacional, Heredia
- Sirombra, M. G. (2019). Servicios ecosistémicos: dispersión de frutos y semillas. *Revista de Biología Tropical*, Blog-Blog.
- Soto, M. (6 julio 2015). Voluntad impulsa exitoso modelo de reciclaje en Jiménez. *La Nación*. Recuperado de <https://www.nacion.com/ciencia/medio-ambiente/voluntad-impulsa-exitoso-modelo-de-reciclaje-en-jimenez/7BVTB7PY6VFBZF2DJRPWUFMRGU/story/>
- Valero, E., Picos, J. & Álvarez, X. (2014). Characterization of riparian forest quality of the Umia River for a proposed restoration. *Ecological Engineering*, 67, 216-222. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.084>
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246.
- Vásquez, G. (2016). *Influencia del uso de la tierra en la respuesta hidrológica de cuencas de cabecera en los Andes Centrales de Colombia* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Vignola, R., Poveda, K., Watler, W., Vargas, A., & Berrocal, A. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos, cultivo de caña de azúcar en Costa Rica*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-cana.pdf>
- Villalobos, R. (2013). Rehabilitación forestal de la zona de protección de la microcuenca del río Pirro, Heredia, Costa Rica. Universidad Nacional, Heredia
- Vorosmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P... & Liermann, C. R. (2010). Rivers in crisis: global water insecurity for humans and biodiversity. *Nature*, 2480, 1-10. Recuperado de http://epubs.scu.edu.au/esm_pubs/1064
- WWF. (2010). Caudal ecológico. Salud al ambiente, agua para la gente. Recuperado de http://awsassets.panda.org/downloads/fs_caudal_ecologico.pdf
- Zamora, V. (comunicación personal, 12 febrero 2021). Funcionaria del SINAC y representante en el grupo gestor.
- Zúñiga-Mora, H. & Ramírez-Granados, P. (2016). Delimitación y caracterización de unidades geológicas a partir del modelado numérico del terreno en el distrito de Juan Viñas, Cartago. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 89-111.

Anexos

Anexo 1. Criterios para la priorización de sitios para la restauración ecológica en la microcuenca del Río Maravilla

Criterio	Dato	Atributo	Fuente
Amenaza a la contaminación	Moderado - Elevado	Bosque Elevado Moderado Reducido	LHA, 2017
Zona de protección de 200m en nacientes	Área de 200 m	Perímetro de 200 metros de radio	Artículo 31, Ley de Aguas, N°276
Zona de protección de 50m en ríos	Área de 50 m	50 metros medidos horizontalmente desde la margen del río o quebrada	Artículo 33, Ley Forestal, N°7575
Cobertura de uso de la tierra	Pastos	Bosque intervenido Bosque ribertino Bosque de coníferas Café Caña de azúcar Hortalizas y verduras Pastos Urbano	LHA, 2020
Pendiente	≥60% 31% - 59.9%	≥60% 31% - 59.9% ≤30%	Decreto Ejecutivo N°32967 MINAE-SETENA Decreto Ejecutivo N°36786-MINAE Decreto Ejecutivo N°23214 MAG-MIRENEM

Anexo 2. Restricciones sobre los criterios para priorizar sitios para la restauración ecológica en la microcuenca del río Maravilla.

Restricciones	Fuente	Escala
Ríos y canales	IGN, 2005 Comprobación de campo 2017	1:5.000
Carreteras	IGN, 2005	1:5.000
Mancha Urbana	LHA, 2020	1:5.000

Anexo 3. Taller de educación ambiental aplicado en la Escuela Cecilio Lindo

Título: EL BOSQUE DE RIBERA ES MARAVILLOSO

Tópico: Importancia del bosque de ribera y soluciones para su restauración ecológica, con especial énfasis en el río Maravilla.

Grupo meta: Niños y niñas de quinto a sexto año de las escuelas que se encuentran dentro de los principales poblados cercanos a la microcuenca del Maravilla.

Fecha de realización del taller: Por definir.

Duración total de la actividad: 2 horas.

Objetivos:

1. Enseñar a los escolares la importancia del bosque de ribera, mediante dinámicas enfocadas en el río Maravilla.
 - 1.1 Comprender que el bosque cuando es reducido o eliminado, puede limitar la vida de las especies que lo habita.
 - 1.2 Reconocer los recursos naturales que provienen del bosque de ribera
 - 1.3 Identificar la problemática ambiental del río Maravilla y las posibles soluciones.
2. Incentivar a los participantes a proteger el bosque de ribera por medio de la sensibilización que trae consigo un mayor entendimiento de la naturaleza.
 - 2.1 Entender la importancia del uso racional de los recursos.
 - 2.2 Comprender la problemática actual del bosque de ribera y el cuidado de la zona de protección.

Metodología:

Planificación del taller:

Desde la elaboración del anteproyecto se propone la siguiente guía para el taller, puede estar sujeto a cambios dependiendo de la disponibilidad de las escuelas y de las recomendaciones de los profesores.

Introducción:

Inicialmente se realizará una lista con los nombres de los niños para darles un gafete, para poder llamarse entre todos por el nombre con facilidad. Además, se realizará una pequeña introducción con la presentación de mi persona y de asistentes en caso de que lo requiera y se les dará una breve introducción sobre el tema y del tópico específico que tiene contemplado el taller,

así como los objetivos del mismo.

Tiempo requerido: 10min

Material necesario: Papel, marcadores, goma y tijeras

Actividad Rompehielo:

Tiempo requerido: 10 min

Material necesario: bola pequeña

Metodología:

Paso 1. Se formará un círculo con los niños y los guías del taller para generar confianza en el grupo.

Paso 2. Luego se utilizará una bolita que se lanzará de persona a persona para ceder la palabra y mencionar el nombre y que le gusta más del bosque, con el objetivo de conocer la identidad de la persona e introducir el tema a desarrollar.

Desarrollo del taller:

En la etapa central del taller se realizará una serie de actividades con el fin de orientar a los niños y niñas en distintos aspectos relacionados con la protección del bosque de ribera. Así como la importancia del bosque como un sistema ecológico donde ocurren relaciones intra e interespecíficas, las cuales se pueden ver limitadas por influencia del ser humano, y también enseñar que por nuestra obra podemos encontrar también soluciones.

Dinámica: Identificación de recursos naturales “Canción Bosque Tropical”

Tiempo requerido: Canción: 4.35min, total 25min

Material necesario: Papel blanco y de colores, lapiceros, lápices, marcadores.

Canción Bosque Tropical, Grupo musical Jacana jacana de Colombia

Link de You Tube: <https://www.youtube.com/watch?v=1pkqy37FI0I>

“El agua, para mí es importante, porque vivimos con ella y ella es como nuestra vida, también le sirve a todos los seres vivos, la tierra tenemos que mantenerla con unos árboles con animales para que pueda estar mejor el agua”

(Niño indígena de los Andes, Colombia)

“Lloviendo, lloviendo, el agua cayendo, el río naciendo oooooe,
lloviendo lloviendo, el bosque viviendo oooooe,
lloviendo lloviendo, las nubes llegando, el agua bailando oooooe

Bosque húmedo tropical, inmenso reino vegetal,
gran hogar para albergar un universo animal (2)

Lloviendo, lloviendo, las aves cantando, la vida sonando oooooe,
Lloviendo, lloviendo, las flores brotando oooooe
Lloviendo, lloviendo, las nubes llegando, el agua bailando oooooe

Bosque húmedo tropical, inmenso reino vegetal,
gran hogar para albergar un universo animal (2)

Bosque húmedo (12)

Tropical, vegetal, animal, mineral (3)”

Metodología:

Paso 1. Escribir en un papel 3 recursos que puede dar el bosque entregarlo al educador.

Paso 2. Entrega un segundo papel para escuchar la canción y escribir los elementos que se identifican.

Paso 2. Escuchar la canción Bosque Tropical, y poner atención en los diferentes elementos y recursos que se mencionan.

Paso 3. Escribir los recursos o elementos mencionados junto a los generados previamente en unas papeletas y pegarlas en un lugar visible.

Paso 4. Dialogar con los alumnos sobre la importancia del bosque tropical y de ribera. Preguntas generadoras:

¿Saben que es un bosque?

¿Saben que es un bosque de ribera?

¿Han obtenido algunos de los recursos naturales que provee el bosque en sus hogares?

Dinámica ¿Cuántas garzas pueden vivir aquí? (se puede cambiar según aves observadas en la zona)

Tiempo requerido: 15min

Material necesario: Tiza, un pito.

Metodología:

Paso 1. Previamente se establece una línea de partida, y se dibuja en el suelo círculos y cuadrados separados y de diferentes tamaños, además se traza una línea.

Paso 2. Se les explica que deben quitar sus zapatos, se colocan de espaldas en la línea, se distribuyen los zapatos y a la cuenta de tres deben buscar los zapatos y agruparse en las figuras.

Paso 3. Luego se van tachando las figuras, para que algunos se encuentren muy juntos e incluso quedar sin sitio disponible.

Paso 4. Explicación final: Los animales necesitan de diferente hábitat y recursos disponibles, al no haberlos tendrán problemas para alimentarse y vivir por lo que incluso algunos no los obtienen y pueden morir. Por eso entre más formas que representan el bosque, hay más disponibilidad de recursos para los animales. Preguntas generadoras:

¿Qué es el hábitat?

¿Han escuchado de la ley de la jungla?

Según su respuesta se les explicará que de la misma manera que ellos se empujaron y compitieron por entrar en el círculo, los animales normalmente deben de luchar entre ellos por esos recursos limitados.

¿Cuál es la importancia del bosque para las aves y para la fauna en general?

Dinámica: Árbol de problemas y soluciones.

Tiempo requerido: 25 min

Material necesario: Cartulina, marcadores, papel blanco y de colores, tijeras.

Metodología:

Paso 1. Elaborar dos árboles, uno será para pegar los problemas y el otro para soluciones

Paso 2. Elaborar grupos de 3-4 personas, a estos se les entrega dos papeles para escribir una problemática en cada uno y 3 papeles para escribir las posibles soluciones.

Paso 3. Pegar los papeles en los árboles y comentar las soluciones que se pueden desarrollar para la protección del bosque de ribera. Preguntas generadoras:

¿Por qué consideran que determinada actividad representa un problema para el bosque o río?

¿Cuáles soluciones pueden realizar desde sus hogares para proteger los recursos naturales?

Dinámica final de cierre: El río Maravilla

Tiempo requerido: 20 min

Material necesario: Cartón, cartulinas, papel blanco y de colores, cinta

Metodología:

Paso 1. Elaborar un mapa de la cuenca del río Maravilla, así como tener múltiples imágenes de problemas entre ellas residuos, caza, dibujos de caña, café, escuela, casas, bosque entre otros. Así como imágenes que pueden contribuir a las soluciones, basureros, camión de recolecta de residuos, reciclaje, cuidar el agua, educación, reforestación entre otros.

Paso 2. Los estudiantes deberán pegar las imágenes donde consideran correcto en el mapa de la Microcuenca.

Paso 3. El instructor pegará las soluciones mientras explica la respuesta o alcance que pueden tener como estudiantes, para cuidar el bosque y el agua. Preguntas generadoras:

¿Cuál es la principal problemática?

¿Cómo se puede solucionar dicha problemática?

Evaluación:

Tiempo requerido: 10 min

Material necesario: Papel, lápices

Metodología:

Paso 1: Aplicar la siguiente guía evaluativa a los estudiantes:

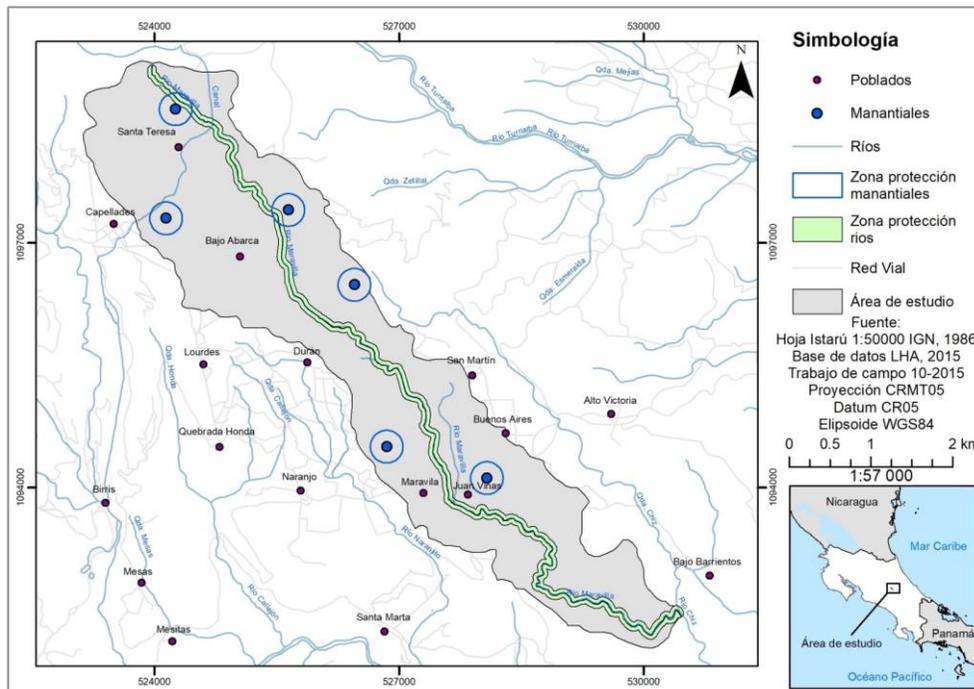
1. ¿Qué actividad le gustó más?
2. ¿Qué le gusto menos del taller?
3. ¿Qué cosas nuevas aprendió?
4. ¿Cuáles otras actividades les gustaría hacer?
5. ¿Le gustaría llevar otro taller similar?

Despedida

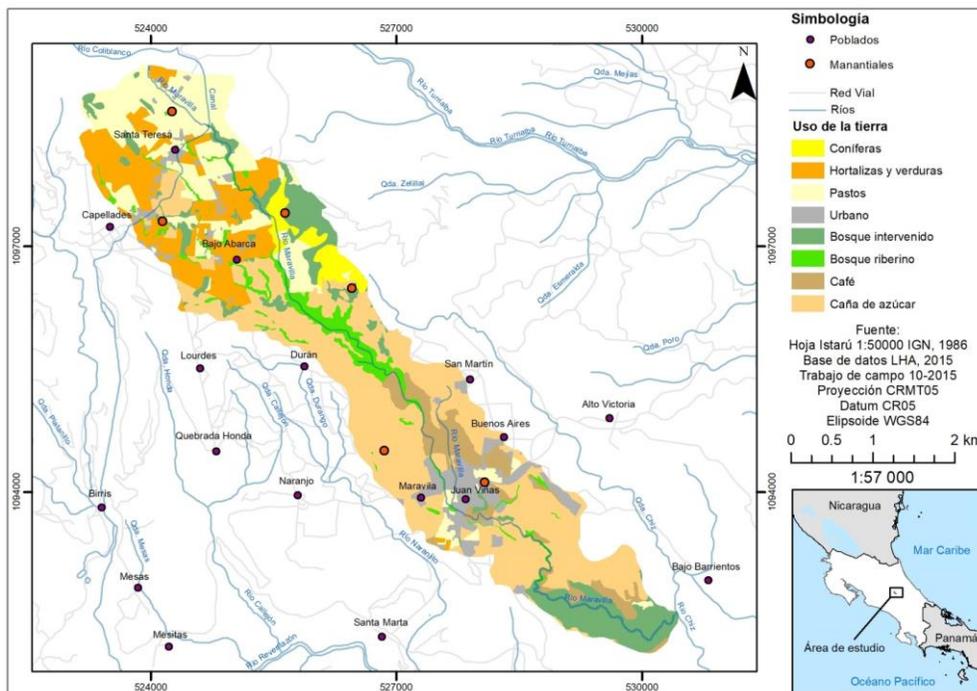
Se compartió con los estudiantes pinchos de frutas y se tomaron algunas fotos.

Las bases para la elaboración de las dinámicas fueron tomadas de Geilfus (2002).

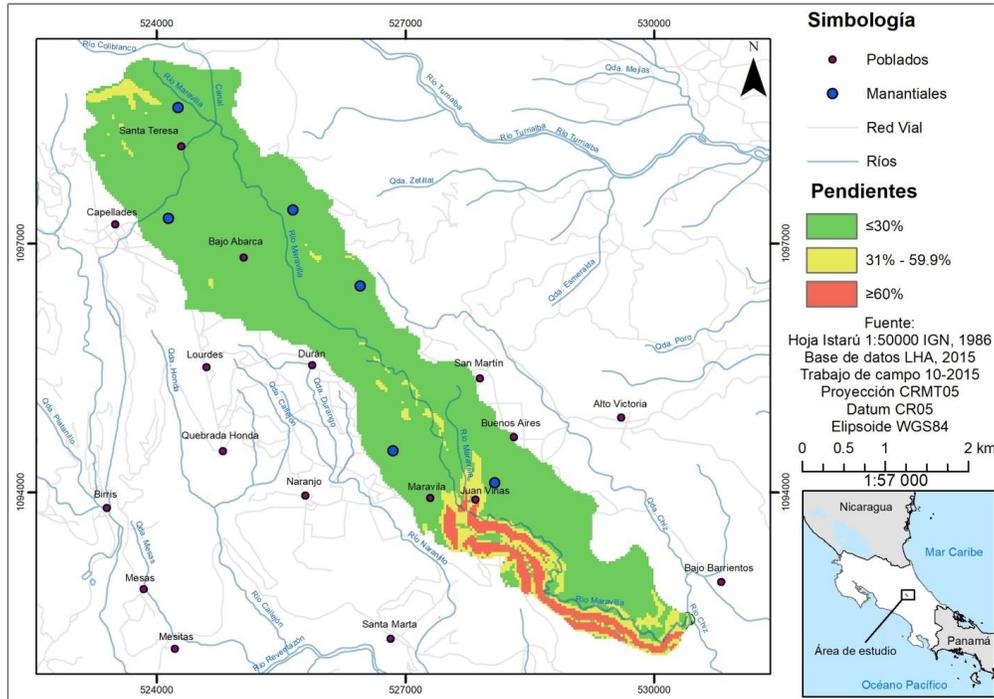
Anexo 4. Mapa de la zona de protección de los ríos de 50 m en el río Maravilla y zona de protección de los manantiales con radio de 200 m.



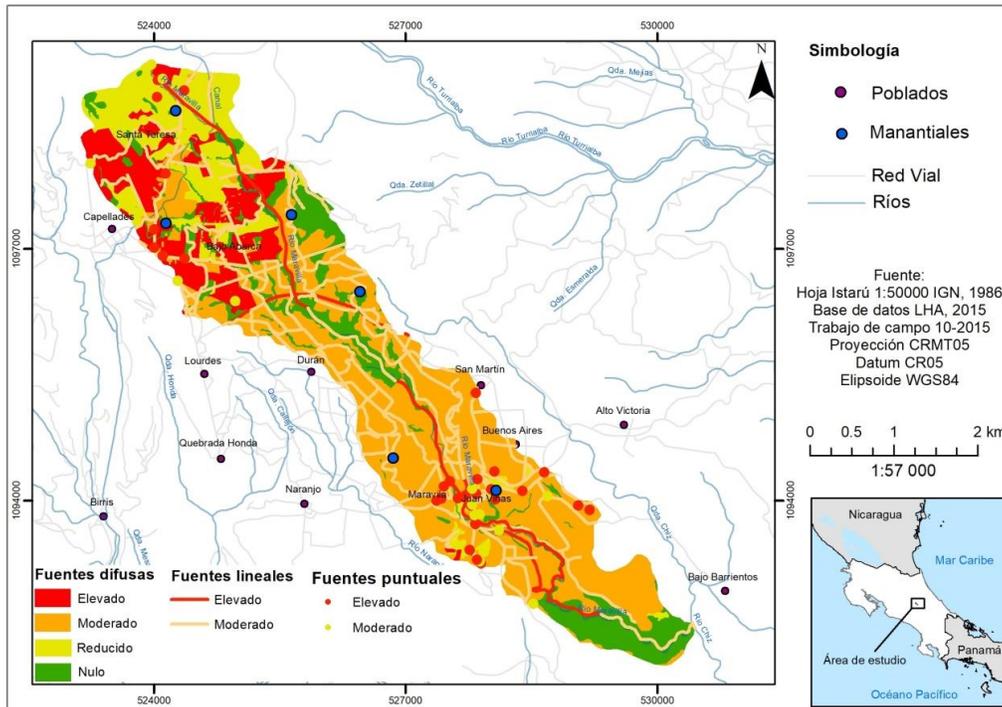
Anexo 5. Mapa de la cobertura del uso de la tierra en la microcuenca del río Maravilla



Anexo 6. Mapa de pendientes en la microcuenca del río Maravilla



Anexo 7. Mapa de amenaza a la contaminación hidrogeológica según las fuentes difusas, lineales y puntuales, en la microcuenca del río Maravilla



Anexo 8. Comprobante de la realización de los talleres por parte de la Escuela Cecilio Lindo.



MINISTERIO DE EDUCACION PÚBLICA
DIRECCION REGIONAL DE TURRIALBA Y JIMÉNEZ
CIRCUITO 01
ESCUELA CECILIO LINDO MORALES
TELEFAX 2532 2105
Email: esc.cecillindomorales@mep.go.cr

Duración aproximada: 2 horas

Taller: El bosque de ribera es maravilloso.
Facilitadora: María Isabel Vargas Valverde
Estudiante de Educación Ambiental.
Universidad Nacional

Sección	Docente	Participantes	Firma del docente
4-1	Elsy Brava Giannados	19	Elsy Brava Giannados
4-2	Eunice Calderón Campos	20	Eunice Calderón
5-1	Ivannia Jiménez Calderón	32	Ivannia Jiménez Calderón
6-1	Damaris Chung Gómez	21	Damaris Chung Gómez
6-2	Alba Umara Rojas	21	Alba Umara Rojas

Gabriela Estrada Quirós
MSc. Gabriela Estrada Quirós
Directora



María Isabel Vargas Valverde
María Isabel Vargas Valverde
Facilitadora

Anexo 9. Fotografías de los talleres realizados en la Escuela Cecilio Lindo. Fotos: Isabel Vargas, Alicia Fonseca y Urpi Castañeda



Anexo 10. Listado de especies de árboles DAP>10cm en 4 tramos de 30x1m en las nacientes de 50 manzanas (Modificado de Jose Aguilar, Ingrid Leitón, Yanory Monge, Stephanie Valle & Isabel Vargas)

Familia	Especie	Número de individuos	Abundancia relativa (%)
Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	1	1.72
Asteraceae	<i>Neomirandea angularis</i>	1	1.72
Cupressaceae	<i>Cupressus sp.</i>	3	5.17
Hypericaceae	<i>Vismia baccifera</i>	1	1.72
Lauraceae	<i>Cinnamomun triplenerve</i>	1	1.72
Lauraceae	<i>Beilschmiedia sp.</i>	1	1.72
Malvaceae	<i>Hampea appendiculata</i>	17	29.31
Malvaceae	<i>Wercklea insignis</i>	8	13.79
Melastomataceae	<i>Miconia prasina</i>	6	10.34
Melastomataceae	<i>Miconia trinerva</i>	1	1.72
Melastomataceae	<i>Miconia sp</i>	1	1.72
Melastomataceae	<i>Conostegia xalapensis</i>	1	1.72
Moraceae	<i>Ficus sp.</i>	1	1.72
Myrsinaceae	<i>Ardisia revoluta</i>	1	1.72
Piperaceae	<i>Piper auritum</i>	2	3.44
Rubiaceae	<i>Palicourea lasiorrachis</i>	1	1.72
Salicaceae	<i>Hasseltia floribunda</i>	2	1.72
Siparunaceae	<i>Siparuna sp.</i>	3	5.17
Solanaceae	<i>Cestrum sp.</i>	1	1.72
Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i>	4	6.89
Verbenaceae	<i>Citharexylum macradenium</i>	1	1.72
Total: 17	20	58	100

Datos: Los árboles obtuvieron un DAP promedio de 27cm, el rango se encontraba entre 10cm y 66 cm de DAP. La mayoría de los individuos muestreados se distribuyeron entre las clases diamétricas inferiores. La altura promedio fue de 17m con un rango entre los 3m y 32m en donde los individuos también se ubicaron en las clases inferiores de acuerdo con la altura.