

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LICENCIATURA EN CIENCIAS FORESTALES CON ÉNFASIS EN MANEJO FORESTAL

**REHABILITACIÓN FORESTAL EN ÁREAS DE PROTECCIÓN DE RÍOS Y
QUEBRADAS EN CINCO OBSERVATORIOS DEL AGUA EN LA GRAN ÁREA
METROPOLITANA**

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal

ERICKA FRANCELA FERNÁNDEZ VEGA

Heredia, Costa Rica

Diciembre, 2023

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

M. Sc. Samira Jalet Quesada

Representante del Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

M. Sc. Melissa Blandón Naranjo

Dirección de EDECA

.....

Dra. Marilyn Romero Vargas

Tutora

.....

M. Sc. Ronny Villalobos Chacón

Lector

.....

M. Sc. María Álvarez Jiménez

Lectora

.....

Ericka Francela Fernández Vega

Postulante del trabajo

RESUMEN

La rehabilitación forestal en áreas de protección de ríos y quebradas (APRQ) requiere un proceso de restauración basado en las condiciones biofísicas actuales del ecosistema. El objetivo del estudio es aportar una propuesta de rehabilitación forestal en APRQ. Se seleccionaron 5 sitios en la Gran Área Metropolitana (GAM) que forman parte de los Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA), un eje de trabajo de la Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (ANRCCR). Se realizó una caracterización del uso de la tierra, de la composición arbórea y un análisis fisicoquímico de suelos. La propuesta de rehabilitación considera la caracterización diagnóstica de los sitios, los protocolos de reforestación, el criterio de expertos y el índice de valor de importancia de especies arbóreas. Los sitios presentan usos no conformes e invasiones residenciales y los suelos exhiben baja fertilidad y variedad de texturas en sus capas superficiales. Dentro de las especies arbóreas más abundantes se destacan *Erythrina poeppigiana* (poró extranjero), *Mangifera indica* (mango), *Tabebuia rosea* (roble de sabana) y *Guazuma ulmifolia* (guácimo). La propuesta de rehabilitación forestal se diseñó en 2 y 3 etapas de corto, mediano y largo plazo. La primera etapa busca mejorar las condiciones del suelo con especies de poco requerimiento de luz y demanda de nutrientes y la segunda etapa busca mejorar el ecosistema en su conjunto mediante un enriquecimiento de especies forestales. El propósito de la propuesta es que su ejecución sea llevada a cabo por la ANRCCR como acción piloto para otros sitios.

Palabras clave: Rehabilitación forestal, áreas de protección, Observatorios Ciudadanos del agua, Ley Forestal, ríos y quebradas.

DEDICATORIA

A Dios, pues sin Él nada sería posible; es quien me ha dado la fe y esperanza de ir hacia adelante por el buen camino, a no rendirme y confiar en que todo estará bien.

A mis padres, quienes han sido el pilar de mi vida, me han enseñado a luchar por mis sueños y me han apoyado siempre para lograr todas mis metas. Gracias por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho por sacarnos adelante a mis hermanos y yo.

A mis hermanos, Erick y Mariana, quienes siempre me han brindado su apoyo a la distancia, y confían siempre en mí y se enorgullecen de mis logros.

A mis sobrinos Valentina y Santiago, quienes son mis grandes tesoros, y me inspiran a siempre seguir creciendo y ser un ejemplo a seguir para ellos.

AGRADECIMIENTOS

A mi prima Jessica y su esposo Andrés, quienes me acogieron en su hogar para poder terminar mis estudios. Siempre se los agradeceré.

A mi tutora, Marilyn Romero, quien me ha dado todo su apoyo incluso en los momentos más difíciles. Además, a pesar de su cargada agenda, me ha apoyado hasta el final y dándome consejos sabios para poder sacar adelante mi proyecto.

A mis lectores, María Jiménez y Ronny Villalobos, quienes me guiaron en esta travesía y me apoyaron con su sabiduría e incluso trabajo de campo, y siempre me dieron una palabra amiga para seguir adelante.

A Guillermo Solórzano, quien como un amigo incondicional me apoyó en los trabajos de campo y me dio aliento cuando sentía que no podía.

A mis amigos y colegas que me dieron su apoyo en el trabajo de campo sin pedir nada a cambio, Andrés Molina, Katlerine Arauz, Manuel de Jesús, muchas gracias.

Al vivero forestal de la Universidad Nacional y sus colaboradores Gustavo Rojas y Pablo Villegas, quienes me dieron su apoyo en el trabajo de campo para los sitios en quebrada Perico y quebrada Lajas, y compartieron todo su conocimiento respecto a las especies recomendables.

Al laboratorio de suelos del INISEFOR y el profesor Rafael Murillo quienes me ayudaron con la parte de análisis fisicoquímico de suelos.

A la Universidad Nacional, quien siempre puso a disposición el transporte para poder realizar los trabajos de campo y su apoyo para la realización de los análisis de suelos.

Tabla de contenidos

Capítulo I.....	1
1. Introducción	1
1.1 Justificación y planteamiento del problema	2
1.2 Delimitación en tiempo, espacio, alcances	3
1.3 Ubicación en contexto social y ambiental de los 5 sitios de estudio.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
2. Marco teórico	4
2.1 Rehabilitación forestal para la restauración ecológica en espacios degradados.....	4
2.2 Protocolos de rehabilitación forestal: El caso de la GAM.....	7
2.3 Políticas e iniciativas de recuperación y protección de ríos y quebradas	8
2.3.1 Leyes y decretos para la protección de ríos y quebradas	8
2.3.2 Política Nacional para la recuperación de la cobertura arbórea en áreas de protección (AP) de ríos, pozos y nacientes.....	10
2.3.3 Estrategia Nacional de Ríos Limpios.....	10
2.3.4 Otros proyectos GAM con incidencia en las APRQ.....	12
2.4 El manejo forestal urbano.....	13
Capítulo II	15
3. Metodología	15
3.1 Ubicación de los sitios de estudio.....	15
3.2 Condiciones actuales del uso de la tierra.....	17
3.2.1 Composición arborecente del área de protección de cada río o quebrada en estudio como parte del manejo forestal	17
3.3 Selección y priorización de los Observatorios Ciudadanos del Agua para la rehabilitación forestal	18
3.3.1 Identificación de la situación social y ambiental de los OCA	20

3.3.2 Estudio de suelos de cada área de protección seleccionada.....	20
3.4 Selección de especies arbóreas y arbustivas aptas para los sitios.....	22
3.5 Criterios para formular la propuesta de rehabilitación forestal	22
Capítulo III	23
4. Resultados y discusión	23
4.1 Condiciones biofísicas y sociales	24
4.1.1 Aspectos biofísicos	24
4.1.2 Aspectos sociales	47
4.2 Priorización de los sitios a intervenir para la rehabilitación forestal.....	48
4.3 Propuesta de rehabilitación forestal en áreas de protección de ríos y quebradas (APRQ), en sitios de la Gran Área Metropolitana (GAM)	52
4.3.1 Introducción	52
4.3.2 Factores incluidos en el proceso de rehabilitación forestal.....	52
4.3.3 Quebrada Perico.....	57
4.3.4 Río Tiribí.....	63
4.3.5 Afluente María Aguilar.....	71
4.3.6 Quebrada Turú	78
4.3.7 Quebrada Lajas	83
4.3.8 Importancia de los viveros forestales en la rehabilitación de ecosistemas	89
4.3.9 Proceso de reforestación para la rehabilitación para las áreas de protección del presente estudio	91
4.3.10 Mantenimiento de las áreas reforestadas en la primera etapa del proceso de rehabilitación forestal.....	92
4.3.11 Cronograma de actividades de reforestación y mantenimiento de las áreas de protección.	97
5. Conclusiones	98
6. Recomendaciones.....	99
7. Referencias bibliográficas	101
8. Apéndices	113

9. Anexos.....	131
----------------	-----

Índice de cuadros

Cuadro 1. Leyes que se encuentran involucradas en el presente estudio.....	8
Cuadro 2. Categorías del Programa Bandera Azul Ecológica.	12
Cuadro 3. Lista de los Observatorios del Agua seleccionados para el estudio.	16
Cuadro 4. Criterios biofísicos y sociales para la priorización de áreas de protección en los OCA determinados.	19
Cuadro 5. Sistematización de la información del censo forestal.....	33
Cuadro 6. Resumen de resultados de análisis de suelos en los cinco sitios analizados	41
Cuadro 7. Valores de priorización para la propuesta de rehabilitación forestal	49
Cuadro 8. Condiciones de los sitios de estudio según la guía de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento de las áreas de protección de ríos y quebradas.....	55
Cuadro 9. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de quebrada Perico, Santa Ana, San José.	60
Cuadro 10. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de río Tiribí, La Unión, Cartago.	64
Cuadro 11. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA del afluente María Aguilar, La Unión, Cartago.....	71
Cuadro 12. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA del río Turú, San Isidro, Heredia	78
Cuadro 13. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de la quebrada Lajas, Santa Ana, San José	83
Cuadro 14. Especificaciones técnicas para la selección de especies arbóreas	91

Índice de figuras

Figura 1. Esquema resumen sobre la rehabilitación forestal.....	7
Figura 2. Proceso metodológico para la propuesta de rehabilitación forestal de las áreas de protección de los OCA´s priorizados.	15
Figura 3. Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA) seleccionados para el estudio.	17
Figura 4. Diagrama sobre criterios considerados para establecer los lineamientos de la propuesta de rehabilitación. Fuente: Elaboración propia con base a Villalobos (2013).	23

Figura 5. Distribución diamétrica de los árboles en las cinco áreas de protección.....	25
Figura 6. Número de árboles por especie, OCA río Tiribí (La Unión, Cartago)	25
Figura 7. Número de árboles por especie, OCA quebrada Perico (Santa Ana, San José)	26
Figura 8. Número de árboles por especie, OCA quebrada Turú (San Isidro, Heredia)	26
Figura 9. Número de árboles por especie, OCA afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)	27
Figura 10. Número de árboles por especie, OCA Quebrada Lajas (Santa Ana, San José)	27
Figura 11. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA río Tiribí (La Unión, Cartago).....	28
Figura 12. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA quebrada Perico (Santa Ana, San José).....	29
Figura 13. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA quebrada Turú (San Isidro, Heredia).....	30
Figura 14. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA afluente María Aguilar (La Unión, Cartago).....	31
Figura 15. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA Quebrada Lajas (Santa Ana, San José)	31
Figura 16. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en río Tiribí (La Unión, Cartago).....	34
Figura 17. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Perico (Santa Ana, San José)	35
Figura 18. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Turú (San Isidro, Heredia)	36
Figura 19. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en afluente María Aguilar (La Unión, Cartago).....	37
Figura 20. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Lajas (Santa Ana, San José)	38
Figura 21. Croquis del porcentaje de pendiente y texturas del suelo en río Tiribí (La Unión, Cartago)	43
Figura 22. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Perico (Santa Ana, San José).....	44
Figura 23. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Turú (San Isidro, Heredia).....	45
Figura 24. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en el afluente María Aguilar (La Unión, Cartago).....	46
Figura 25. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Lajas (Santa Ana, San José).....	46
Figura 26. Áreas construidas en los límites y dentro del área de protección de la quebrada Perico, Santa Ana, San José.	57
Figura 27. Distribución de Mangifera indica en quebrada Perico (Santa Ana, San José)	61

Figura 28. Zona de árboles frutales dentro de los márgenes del área de protección de quebrada Perico, San Ana, San José.	62
Figura 29. Capa de mapa catastral oficial de los distritos de zona catastrada: Zona 1, alrededor del área de protección de río Tiribí (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua	65
Figura 30. Residuos sólidos encontrados en los márgenes del río Tiribí, La Unión, Cartago	66
Figura 31. Cobertura de <i>Pennisetum purpureum</i> (pasto elefante) dentro del área de protección de río Tiribí (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua	68
Figura 32. Parte del área de protección censada en el afluente María Aguilar, La Unión, Cartago ..	72
Figura 33. Pasto elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) ubicado en los márgenes del afluente María Aguilar, La Unión, Cartago.....	72
Figura 34. Árboles plantados dentro y fuera del condominio Hacienda Imperial, La Unión, Cartago	73
Figura 35. Cobertura de <i>Pennisetum purpureum</i> (pasto elefante) dentro del área de protección del afluente María Aguilar (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua....	75
Figura 36. Área de protección de la quebrada Lajas invadida por casas, Santa Ana, San José	84
Figura 37. Cauce la de quebrada contaminada por aguas residuales, quebrada Lajas (Santa Ana, San José).....	84
Figura 38. Desechos sólidos encontrado dentro y en los márgenes de la quebrada Lajas, Santa Ana, San José.....	86
Figura 39. Árbol de guácimo (<i>Guazuma ulmifolia</i>) cortado dentro del área de protección de quebrada Lajas, Santa Ana, San José.....	87
Figura 40. Árboles de aproximadamente 1.30 metros ubicados en el vivero de la CNFL ubicado en Finca de la Sostenibilidad y la Energía, Dulce Nombre, Coronado, San José.....	90
Figura 41. Ejemplo de una correcta rodajea y eliminación de malezas.	93
Figura 42. Ejemplo de la ubicación del espeque a la hora de fertilizar.....	94
Figura 43. Ejemplo de una correcta poda de un árbol.....	95
Figura 44. Ejemplo de poda para ramas con menos de cinco centímetros de grosor.....	96
Figura 45. Ejemplo de poda para ramas de más de cinco centímetros de grosor.....	96
Figura 46. Cronograma anual de mantenimiento agrosilvicultural en áreas de protección reforestadas	97

Índice de apéndices

Apéndice 1. Cuestionario aplicado a los encargados de los Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA)	113
Apéndice 2. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA río Tiribí (La Unión, Cartago)	114
Apéndice 3. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Quebrada Perico (Santa Ana, San José)	115
Apéndice 4. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)	116
Apéndice 5. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Quebrada Turú (San Isidro, Heredia)	117
Apéndice 6. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA quebrada Lajas (Santa Ana, San José)	118
Apéndice 7. Gráficas producto del censo forestal realizado en los cinco Observatorios del agua	120
Apéndice 8. Análisis fisicoquímicos del suelo de los cinco Observatorios del agua	123
Apéndice 9. Especies censadas en los cinco sitios de área de protección de ríos y quebradas a cargo de los observatorios del agua de la ANRCCR y las especies recomendadas para rehabilitación según expertos encuestados, así como de fuentes bibliográficas investigadas	125

Índice de anexos

Anexo 1. Ejes de trabajo de los Observatorios Ciudadanos del Agua	131
Anexo 2. Descripción de las zonas de vida según L.R. Holdridge (1947) de los Observatorios Ciudadanos del Agua	131
Anexo 3. Lista de especies recomendadas para plantar según protocolo de reforestación evaluado por Gómez-Garita (2018) y Sánchez et al. (2015, p. 62)	132
Anexo 4. Parámetros para la interpretación de análisis de suelos	138

Capítulo I

1. Introducción

Los ríos y lagos proveen beneficios únicos tanto a las personas como a la naturaleza (Dourojeanni y Jouravlev, 1999, p. 129). Por lo tanto, es un deber proteger la integridad de estos recursos, pues no solamente tienen la función de satisfacer las necesidades humanas (como la sed o el aseo personal), sino también es un elemento fundamental para las producciones agrícola, forestal, de energías limpias, entre otras. En Costa Rica y a nivel mundial, este tipo de producción va en ascenso, igual que la urbanización (Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica, 02 de marzo de 2020).

En este contexto, es necesario tomar medidas de mitigación en lo que respecta a la deforestación e invasión de áreas protegidas. Como profesionales forestales, tomar partida en estos temas es clave para llevar al ecosistema ripario lo más cerca de las condiciones ambientales iniciales o buscar la rehabilitación. No obstante, hasta hace unos años han venido en aumento las iniciativas y el fomento de la toma de consciencia y protección de ríos del país en inclusive en áreas urbanas.

Entre esas iniciativas se encuentra una organización sin fines de lucro, totalmente voluntaria, que trabaja arduamente en dar a conocer la gravedad de la contaminación de los ríos a nivel nacional e internacional, y también involucrar a la población en las acciones de mejora. Llamada Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (ANRCCR), creada en el año 2016, de acuerdo con Roberto De la Ossa (comunicación personal, 06 de marzo, 2020), busca recuperar la salud de los ríos por medio de campos de acción como la calidad de agua realizando análisis en laboratorios y así tomar medidas para resguardar y proteger el recurso.

La rehabilitación, de acuerdo con Dourojeanni y Jouravlev (1999):

Busca lograr que la tierra sea útil una vez más después de una perturbación. Involucra la recuperación de los procesos y funciones del ecosistema en un hábitat degradado. La rehabilitación no necesariamente restablece la condición pre-perturbación, pero sí involucra el establecimiento de paisajes geológica e hidrológicamente estables que sostienen al mosaico natural del ecosistema. (p. 134)

En cierta forma, lo planteado en este proyecto se vuelve parte de los procesos asociados con la gestión de cuencas, ya que se consideran tanto el compromiso, como los acuerdos entre los actores que

conforman una alianza establecida, el abordaje de los sistemas de información geográfica (SIG) y todas las técnicas a disposición para describir lo que ocurre en la cuenca (Dourojeanni y Jouravlev, 1999, p.34).

Este estudio se enfoca en una de las necesidades que posee tanto el país como la entidad para la mejora de su accionar. Dicho proyecto se orienta hacia la elaboración de una propuesta de rehabilitación forestal en sitios degradados de áreas de protección ubicadas en cinco lugares pertenecientes a los Observatorios Ciudadanos del agua (OCA) de la ANRCCR que se distribuyen en tres provincias (San José, Heredia y Cartago). Para ello, se plantea evaluar el componente biofísico y social en áreas de protección de ríos y quebradas (APRQ) para la priorización y el diseño de estrategias de rehabilitación forestal.

1.1 Justificación y planteamiento del problema

En el país existe limitada información acerca de los ríos y quebradas, asimismo la ANRCCR carece de estudios enfocados en el componente forestal, el uso actual del suelo, condiciones de suelo, entre otros. Por ende, ha sido importante el diagnóstico forestal en áreas urbanas, conocer el sitio, e identificar la problemática y con base en eso se plantea la propuesta de rehabilitación forestal considerando dichos resultados, selección de especies, análisis fisicoquímicos del suelo. Además, se identificó dónde no se está cumpliendo con la Ley Forestal 7575, áreas con infraestructura u otro uso del suelo no acorde al que corresponde en un área de protección.

A nivel nacional, a pesar de haberse realizado estudios o propuestas para restauración y rehabilitación, no se han abarcado las áreas de interés del estudio (Villalobos-Chacón, 2013; Esquivel-Ugalde, 2013; Bermúdez-Rodríguez, 2015; Alvarado-Arguedas & Villalta-Calvo, 2016; Calvo-Villalobos, 2017; Gómez-Garita, 2018). Por ende, su importancia recae en la ampliación de investigaciones y propuestas de mejoras del ecosistema en áreas urbanas principalmente, pues en los trópicos existen las más altas y aceleradas tasas de crecimiento demográfico y urbanización (Marzluff, 2001 y McKinney, 2002 citado en Padilla y Ballester, 2022a).

En este estudio se tomarán en cuenta APRQ que están siendo monitoreados por cinco OCA, los cuales se encuentran dentro del Gran Área Metropolitana (GAM) y abarcan tres provincias: Heredia, San José y Cartago. Al tratarse de zonas urbanizadas, se puede hablar de problemáticas como la poca cobertura forestal, la erosión, la vulnerabilidad a eventos como deslizamientos, inundaciones, contaminación; y todo esto en conjunto afecta la integridad de las áreas de protección.

En este caso, se estaría trabajando en un área de protección descrita en el artículo 33, inciso b) de la Ley Forestal N° 7575 (1996), pues se mencionan los ríos y quebradas. Como se mencionó están en zonas urbanas, por lo que la franja sería de diez metros a cada lado siempre y cuando se trate de terrenos planos, de lo contrario, como se aclara en la cita, serían 50 metros medidos horizontalmente.

1.2 Delimitación en tiempo, espacio, alcances

El alcance de este proyecto ha sido lograr diagnosticar el estado actual de las áreas de protección de los ríos y quebradas en un contexto urbano. Lo anterior con la finalidad de determinar las necesidades que tienen para lograr rehabilitarse.

Con base en lo diagnosticado, se hizo una priorización de sitios para rehabilitar. Además, con base en análisis de suelos aplicados, investigación en bases de datos y consultas a expertos, se consideraron especies forestales nativas aptas para crecer en estos sitios y traer consigo beneficios a estas áreas urbanas.

Con respecto a los beneficiados directos, serían la ANRCCR como tal, pues esta información cuenta como un insumo para ir mejorando en el proyecto y tener más información acerca del estado de los sitios inscritos a los OCA en lo que respecta al uso actual del suelo. Indirectamente, las comunidades aledañas a los ríos Turú (Heredia), Tiribí (Cartago), afluyente María Aguilar (Cartago), quebrada Perico (San José) y quebrada Lajas (San José) se favorecerán al momento de mejorar las condiciones ambientales de estos ríos o quebradas si así lo requieren.

Cabe destacar que implementar estas acciones de rehabilitación forestal contribuye a los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): el 13 (acción por el clima) y el 15 (vida de ecosistemas terrestres), y si agrega el componente agua, se puede incluir el objetivo número 6 (agua limpia y saneamiento) (Naciones Unidas, mayo 2016, pp. 19-20,33-34, 37-38).

1.3 Ubicación en contexto social y ambiental de los 5 sitios de estudio

Los sitios de estudio se encuentran distribuidos dentro del GAM, abarcando tres provincias, Cartago, San José y Heredia. Específicamente los cantones La Unión, Santa Ana y San Isidro, respectivamente. Es decir, tres límites administrativos diferentes.

A nivel ambiental, están ubicados en dos zonas de vida según Holdridge (1974), las cuales son muy húmedo premontano (bmh-P), y bosque húmedo premontano (bh-P). Dentro de la primera están

quebrada Turú, afluente María Aguilar y río Tiribí, mientras que en la segunda se encuentran las quebradas Lajas y Perico (Anexo 2).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el componente biofísico y social en áreas de protección de ríos y quebradas en cinco Observatorios Ciudadanos del Agua dentro del Gran Área Metropolitana, para la priorización y el diseño de estrategias de rehabilitación forestal.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Diagnosticar las condiciones biofísicas y sociales de las áreas de protección de ríos y quebradas ubicadas en cinco Observatorios Ciudadanos del Agua.
- b) Priorizar los sitios de intervención como línea base para la rehabilitación forestal de las áreas de protección de ríos y quebradas.
- c) Diseñar una propuesta de rehabilitación forestal como insumo para el manejo forestal de las áreas de protección de ríos y quebradas en los sitios de estudio.

2. Marco teórico

2.1 Rehabilitación forestal para la restauración ecológica en espacios degradados

El término de rehabilitación forestal surge a partir del 2001, definido por un grupo de expertos en España como sinónimo de restauración, pero adaptado localmente a sitios urbanos (Veluk, 2001, citado por Villalobos, Bermúdez y Romero, 2013, pp. 77). Su objetivo es restablecer algunas características de la funcionalidad del ecosistema sin buscar recuperar parte sustancial de la biota nativa encontrada en un ecosistema de referencia apropiado (McDonald et al., 2016). Villalobos, et al. (2013, p. 77) aseguran que la rehabilitación no solamente necesita un manejo forestal, sino también una matriz del paisaje. Por ende, se puede considerar que la mayoría de los estudios que se enfocan en la restauración de espacios degradados, incluyendo áreas urbanas, lo que buscan y/o logran es rehabilitar el sitio.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), la rehabilitación forestal busca restablecer la capacidad de unas tierras boscosas degradadas para suministrar productos y servicios forestales, (FAO, 11 de marzo de 2020). Por tanto, dicha rehabilitación implica una restauración, pero sin el objetivo de devolver un bosque degradado a su estado original, ya que, como menciona Comín (2002), “en el proceso de recuperación de ambientes degradados, nunca se repite exactamente igual a la trayectoria de la sucesión original” (p. 3).

Ante la presencia de ecosistemas altamente degradados en términos de su composición, estructura y funcionamiento, como es el caso de la mayor parte de las APRQ de la GAM, la recomendación de la estrategia de restauración ecológica para la rehabilitación forestal señala que esta debe estar orientada no a recuperar el bosque natural, sino a rehabilitar hábitats y servicios ecosistémicos diversos de regulación, de provisión y culturales. Alguno de los ejemplos de estos servicios son el proveer recursos naturales, regular por medio de la mejora de las condiciones ambientales e integrar el ámbito cultural, como es el caso de la conectividad en la ciudad, por ejemplo, los corredores biológicos (Vanegas-Pinzón, 2015, p. 16).

La restauración ecológica como enfoque de la rehabilitación forestal se clasifica en activa y pasiva. La activa integra una técnica conocida como nucleación, la cual contempla factores limitantes como la tenencia de la tierra, acceso al recurso hídrico, conflictos por uso de suelo, procesos de la no planificación urbana, invasión, entre otros (Galeano-Galeano, 2019, p. 26); tales condiciones llevan a la necesidad de implementar acciones para restaurar dichas áreas. En este sentido, la restauración activa o nucleación es, dado el contexto de factores limitantes, una técnica apropiada para la rehabilitación de las APRQ en los sitios de estudio.

La nucleación “representa una potencialidad de integración de los paisajes fragmentados, una vez que genera efectos *locales* (en áreas degradadas a restaurar) y efectos de *contexto* (en áreas desconectadas por la fragmentación)” (Tres y Reis, 2007, p. 5). Yarrangton y Morrison (1974) menciona cómo las plántulas de roble establecidas en los núcleos maduran y se convierten en árboles desarrollados, jugando un papel dominante en el desarrollo existente y posterior de los parches, lo que permite el crecimiento de otras especies en el mismo sitio. Reis et al. (2003, p. 85) interpretan este estudio y describen el concepto de nucleación como la capacidad que tienen las especies para proveer una mejora expresiva de los rasgos ambientales, aumentando la probabilidad de que otras especies puedan habitar en el mismo lugar.

La conectividad del paisaje es, según Rico (2017), el “grado con el cual los elementos del paisaje facilitan o restringen el desplazamiento de las especies entre parches de hábitat” (p. 29) e incluye dentro de este concepto dos componentes, los cuales son conectividad estructural y funcional. El primero es a nivel de variabilidad espacial de los elementos físicos del paisaje (p.ej. cobertura forestal y distribución espacial de carreteras); mientras que el segundo respecta al comportamiento de los individuos en respuesta a esos elementos del paisaje, ya sea para restringir o facilitar el flujo de genes entre parches de hábitat.

Villalobos (2013) y Comín (2002) concuerdan en que la rehabilitación por sí misma afecta espacios, personas, expectativas e intereses privados y por ello se deben unir tres partes importantes para realizar el proyecto, las cuales son la social, la económica y la científico-técnica. En los aspectos científico-técnicos, Sánchez et al. (2015) recomiendan que el tipo de especies forestales para reforestar áreas degradadas debe considerar la zona de vida, el tipo de suelo, el papel de las especies de rápido crecimiento, nutrición, mantenimiento, especies invasores y el control de estas, entre otros aspectos importantes (Figura 1).

En este sentido, los protocolos de reforestación contextualizados a espacios geográficos son una herramienta clave en la restauración activa de los ecosistemas urbanos. En otras palabras, cada lugar y región deben tener sus protocolos de reforestación con fines de restauración ecológica considerando el estado de degradación del sitio, su contexto ecológico, social y cultural; de tal forma que el objetivo sea la mejora del hábitat y sus servicios ecosistémicos.

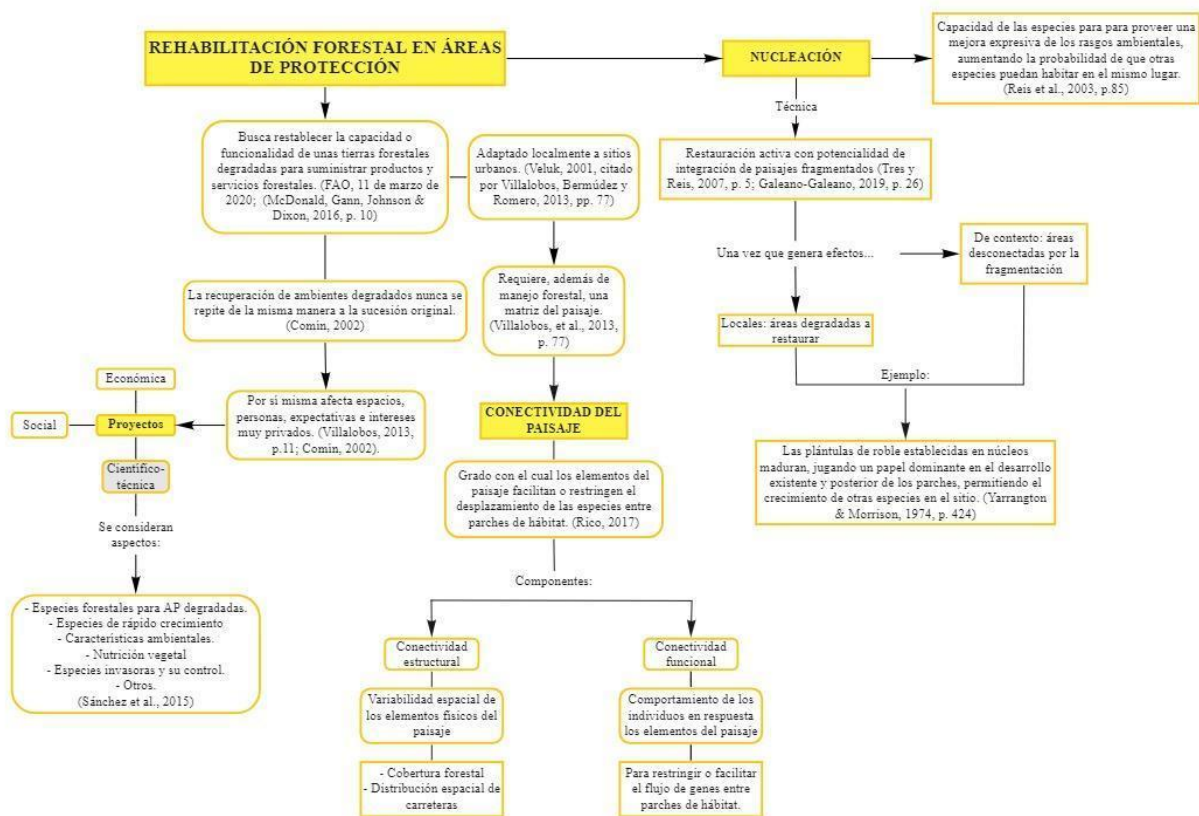


Figura 1. Esquema resumen sobre la rehabilitación forestal. Fuente: Elaboración propia

2.2 Protocolos de rehabilitación forestal: El caso de la GAM.

El “Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la GAM” es una guía técnica detallada de los pasos a seguir en una reforestación en espacios urbanos con fines de protección, conservación y manejo de las APRQ, que potencia los servicios ecosistémicos que estas brindan a la ciudad. (Sánchez et al., 2015, p.18).

Tanto en la cuenca del Tárcoles como en cuencas de Heredia cuentan con un protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización, donde se especifican técnicas para recuperar dichas áreas. Estos protocolos tienen como objetivo elaborar un conjunto de lineamientos que contribuyan a potencializar los procesos de arborización de áreas verdes en las cuencas hidrográficas de sus zonas (Jiménez, 2018 y Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles, s.f.).

2.3 Políticas e iniciativas de recuperación y protección de ríos y quebradas

La legislación nacional en pro de la protección de ríos y quebradas juega un papel importante. Su importancia radica en que es posible aplicar una rehabilitación forestal teniendo el respaldo legal para que no limiten los cambios que se deben realizar por el mejoramiento de un ecosistema. Así como en los casos de invasión a áreas de protección, con base en la ley, se puede realizar una reubicación de las personas que viven en estas zonas.

2.3.1 Leyes y decretos para la protección de ríos y quebradas

En materia de legislación para la protección de ríos y quebradas, el país cuenta con la Ley Forestal 7575, la Ley de la Biodiversidad 7788, la Ley de Aguas 276 y Manejo y Conservación de Suelos 7779, entre otros. En el Cuadro 1 se describen algunos de los artículos de leyes que se involucran en el presente estudio.

Cuadro 1. Leyes que se encuentran involucradas en el presente estudio.

LEY	Artículo	Definición o interpretación
Forestal 7575 (1996)	3	Inciso d) Ecosistema nativo o autóctono intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del 70 % de esa superficie y donde existan más de 60 árboles por hectárea de quince o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho.
	33	Sobre áreas de protección, se incluyen aquellas con una franja de 10 metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas los ríos, quebradas o arroyos si el terreno es plano, pero si es quebrado es de 50 metros medidos horizontalmente.
	34	Acerca de la prohibición de talar en las áreas de protección, a menos que se trate de proyectos de conveniencia nacional declarados por el Poder Ejecutivo.
Biodiversidad 7788 (1998)	49	“es un deber del Estado y los ciudadanos” el mantener los procesos ecológicos. Por ello, por medio del MINAE y los demás entes públicos pertinentes se dictarán normas técnicas adecuadas y se utilizarán mecanismos para su conservación como el ordenamiento y evaluaciones ambientales, evaluaciones de impacto, entre otros.

Aguas 276 (1942)	145	Para evitar la disminución de las aguas producida por la tala de bosques, todas las autoridades de la república procurarán, por los medios que tengan a su alcance, el estricto cumplimiento de las disposiciones legales referentes a la conservación de los árboles, especialmente los de las orillas de los ríos y los que se encuentren en los nacimientos de aguas.
	146-147	Se prohíbe la corta de árboles y destrucción de bosques nacionales que se encuentren situados en pendientes.
	148	Los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos, o aquellos en los cuales existan manantiales, en cuyas vegas o contornos hayan sido destruidos los bosques que les servían de abrigo, están obligados a sembrar árboles en las márgenes de los mismos ríos, arroyos o manantiales, a una distancia no mayor de cinco metros de las expresadas aguas, en todo el trayecto y su curso, comprendido en la respectiva propiedad.
	150	“Se prohíbe destruir, tanto en los bosques nacionales como en los terrenos particulares, los árboles situados a menos de cinco metros de los ríos o arroyos que discurren por sus predios”.
	154	Queda en absoluto prohibido al A y A enajenar, hipotecar o de otra manera comprometer las tierras que poseen o que adquieran en las márgenes de los ríos, arroyos o manantiales o en cuencas u hoyas hidrográficas en que broten manantiales o en que tengan sus orígenes o cabeceras cualquier curso de agua de que se surta alguna población. En terrenos planos o de pequeño declive, tal prohibición abrazará desde luego una faja de cien metros a uno y otro lado de dichos ríos, arroyos y manantiales; y en las cuencas u hoyas hidrográficas, doscientos cincuenta metros a uno y otro lado de la depresión máxima, en toda la línea, a contar de la mayor altura inmediata.
Manejo y conservación de suelos 7779 (1998)	1	“La presente ley tiene como fin fundamental proteger, conservar y mejorar los suelos en gestión integrada y sostenible con los demás recursos naturales, mediante el fomento y la planificación ambiental adecuada.”
	20	En las áreas previamente declaradas como críticas, según el artículo 16 de esta ley, ya sean de dominio privado o público, los dueños de los terrenos deberán aplicar forzosamente todas las medidas y prácticas que conlleven la recuperación del suelo y preservación del ambiente en general.

2.3.2 Política Nacional para la recuperación de la cobertura arbórea en áreas de protección (AP) de ríos, pozos y nacientes

A nivel nacional, la política ambiental ha tenido una evolución a partir de la década de los 60's, cuando se experimentó el inicio de una deforestación en todo el país, para la inclusión de la ganadería principalmente. Posteriormente, al verse reducida la cobertura boscosa a un 26.1 % surgió la necesidad de establecer una regulación para el manejo sostenible y recuperación de área forestal en el país (Gutiérrez et al., 2022).

A partir de esta situación, nació la primera Ley Forestal en 1969, posteriormente los incentivos para que los propietarios tomarán la decisión de reforestar y proteger lo que quedaba de bosque. Para el año 2001 se estableció el primer Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF 2001-2010), posteriormente se actualizó el PNDP 2011-2020 evaluado por MIDEPLAN y finalmente el PNDP 2021-2030 (Gutiérrez et al., 2022).

Después del surgimiento de estos planes, en el 2021 se creó finalmente la política Nacional Forestal 2022-2050. Propuesto con una visión a largo plazo para el desarrollo del país en materia ambiental por los próximos 30 años.

Esta política “pretende ser una orientación estratégica del desarrollo en materia de conservación, resguardo, monitoreo y disfrute de las AP de cuerpos de agua superficiales” (MINAE, 2020, p. 2). Dentro de sus ejes principales, el primero trata de la recuperación de áreas de protección, donde su primer lineamiento define a las AP como “sitios prioritarios e indispensables para la protección de recurso hídrico, el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos, la conectividad biológica, la conservación y aumento de la cobertura boscosa y el disfrute de la población...” (MINAE, 2020, p. 23).

2.3.3 Estrategia Nacional de Ríos Limpios

La Estrategia Nacional de Ríos Limpios es una iniciativa que pretende recuperar los ríos urbanos y su entorno implementando mejoras al ecosistema y la calidad de vida de las personas que rodean las cuencas urbanas. Esta estrategia involucra diversas instituciones tanto gubernamentales como no gubernamentales. En sus objetivos específicos toman en cuenta acciones como la rehabilitación ecológica (Rodríguez-Castillo y Sáez-Peña, 2020) la cual de acuerdo con Ospina-Arango et al. (2015) busca llevar el sistema degradado a ser autosostenible sin tener que llevarlo a su estado pre-disturbio.

Dentro de esta iniciativa se encuentra involucrada la ANRCCR) junto a otras 36 entidades. La ANRCCR es una organización sin fines de lucro que busca resguardar y proteger el recurso hídrico. Así como recuperar la salud de los ríos a través de la mejora de la calidad del agua y esto lo realizan, por ejemplo, haciendo estudios del agua en laboratorio para así conocer su estado (Roberto E. de la Ossa T., comunicación personal, 06 de abril de 2020). Además, tiene alcances interinstitucionales de los OCA. Involucra a instituciones públicas como las municipalidades, Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS) y el Ministerio de Salud, que apoyan a los centros educativos y otros actores importantes de las ONG, fundaciones, asociaciones y muchas más (ANRCCR, 2020).

Los OCA son plataformas para el empoderamiento ciudadano en busca del cuidado y protección del recurso hídrico. Tienen con objetivo recuperar la salud de los ríos por medio de la calidad del agua, ya sea aplicando análisis de laboratorios, recibiendo denuncias sobre el incumplimiento a la ley sobre la protección de las áreas de protección y el recurso hídrico y registrarlas, y participando en las actividades organizadas por la ANRCCR (Roberto E. de la Ossa T., comunicación personal, 06 de abril de 2020).

La ANRCCR posee nueve ejes de acción (Anexo 1), de los cuales hay dos que se relacionan directamente al presente proyecto. El primero es el *Programa Bandera Azul Ecológica*, que para los OCA es un requisito estar inscritos en la categoría de Microcuencas hidrológicas y así, mediante este, se encargan de proteger 500 metros a cada lado del margen del río. Otro eje que menciona es el de *recuperación de la cobertura forestal*, que busca la “protección de la flora y la fauna del bosque ribereño a través de actividades de reforestación e inventariado y monitoreo de animales y vegetación”. (Roberto E. de la Ossa T.; comunicación personal, 06 de abril de 2020)

Según el ICT (06 de abril de 2020), el Programa de Bandera Azul Ecológica (PBAE) nació como respuesta al fortalecimiento de la salud pública y de la actividad turística, y es administrado por varias instituciones del sector público y organizaciones de la empresa privada. La Bandera Azul Ecológica es un galardón que se otorga anualmente, y, por lo tanto, los inscritos deben renovar cada año para continuar dentro de esta; actualmente cuenta con 14 categorías y una de ellas es la de “Microcuencas” (Cuadro 2) (Acueductos y Alcantarillados (AyA), 2024.):

Cuadro 2. Categorías del Programa Bandera Azul Ecológica (basado en Acueductos y Alcantarillados (AyA), 2024).

Cambio climático-mitigación	Comunidades	Comunidad clima neutral
Centros educativos	Salud comunitaria	Microcuencas
Hogares sostenibles	Eventos especiales	Playas
Espacios naturales protegidos	Sector Agropecuario	Municipalidades
Eclesial-ecológica	Eco diplomática	

La categoría de Microcuenca fue creada en el 2008 mediante el informe N° 34777-MINAET-S-MEP y su galardón cuenta con cinco estrellas, siendo la quinta la de mayor puntaje (Bandera Azul Ecológica Costa Rica, 2016). Es en esta en la que se encuentran inscritos los OCA, pues los comités que pueden conformar las categorías son las de ríos, quebradas, lagos o manantiales. El fin de esta categoría, de acuerdo con Bandera Azul Ecológica Costa Rica (2016), es incentivar a las comunidades para promover la conservación, restauración y protección de los ríos y quebradas del país, los pasos a seguir para formar parte de esta categoría son los siguientes: inscripción, entregar un informe final y un manual de procedimientos.

Además, existen parámetros obligatorios establecidos por la Bandera Azul Ecológica Costa Rica (2016) los cuales son: ¹ descripción ecosistémica del trayecto, ² gestión del agua, ³ gestión local y fortalecimiento del control social, ⁴ gestión de residuos sólidos, ⁵ promoción de prácticas sostenibles de uso de suelo. En este último se contemplan las actividades de reforestación y/o protección de la cobertura vegetal existente. Cabe agregar, que el trayecto al que se refiere tiene una distancia de 500 metros como mínimo (Roberto E. de la Ossa T., comunicación personal, 26 de febrero de 2020 y Brenda Portugués Solano, comunicación personal, 09 de abril de 2020).

2.3.4 Otros proyectos GAM con incidencia en las APRQ

Los corredores biológicos interurbanos son estrategias de conservación de la naturaleza en espacios urbanos. En la GAM existen varios de estos, algunos de los cuales han sido apoyados por el proyecto “PNUD Paisaje Productivos 2018-2023” que tiene la finalidad de conservar la biodiversidad, gestionar sosteniblemente la tierra y el secuestro de carbono en paisajes de producción y corredores biológicos interurbanos, y así beneficiar a las personas y su ecosistema (Paisajes Productivos, 2019).

Dicha iniciativa apoya al Corredor Biológico Interurbano María Aguilar (CBIMA) (Proyecto Paisajes Productivos, 2018). El CBIMA tiene como misión incidir en que la planificación de la ciudad incorpore el respeto hacia el entorno natural, la participación ciudadana y así lograr rescatar la biodiversidad de la zona (Campos, 2019; Rodríguez, Rodríguez-Romero y Gutiérrez, 2020).

Asimismo, por un lado, el Corredor Biológico Interurbano Río Torres (CBIRT) es una iniciativa que conecta el río con la ciudad donde se ha hecho una evaluación para “identificar objetos de conservación y sus amenazas, y proponer estrategias de mitigación de conservación” (Trujillo et al., 2016). Por otro lado, el Corredor Biológico Ribereño Interurbano Subcuenca Reventado Aguacaliente (COBRI SURAC) fue creado en el 2016 y en este existe una relación conflictiva entre el hombre y los recursos naturales (Quirós, 2020). Al igual que estos corredores biológicos anteriormente mencionados, en el país se pueden encontrar más.

De igual manera, dentro de la GAM han emergido otros proyectos que entre sus objetivos incluyen la recuperación o rehabilitación de ecosistemas riparios. Por ejemplo, el proyecto Transición a una economía verde urbana en la GAM (TEVU), que busca la reactivación económica descarbonizada de esta zona por medio de reformas fiscales y políticas, así como la planificación urbana integrada y sostenible (Troya et al., 2020).

2.4 El manejo forestal urbano

El aumento considerable de la urbanización a nivel de la GAM extiende la necesidad de la población de buscar una buena calidad de vida. Cada centímetro cubierto por alguna clase de infraestructura reduce la presencia de áreas verdes que ayudan a mejorar la salud tanto física como mental de las personas, y la estabilidad del ecosistema. Además, al aumentar la población, su área de construcción, y la falta de planificación urbana (Padilla y Ballesteros, 2022b) dirige a muchas personas a establecerse en las APRQ, lo cual radica en una violación a la Ley Forestal 7575, pues esta no se permite la alteración de estos sitios.

A raíz de lo anterior, el concepto de “árbol urbano”, ha sido implementado en el país con la intención de establecer características específicas para seleccionar especies forestales para áreas urbanas. De acuerdo con Perdomo (2005 citado en De la Vega, 2017, p.5) el concepto de árbol urbano público es el siguiente:

Son todos aquellos árboles, arbustos y palmas en cualquier estado de crecimiento, ubicados sobre terrenos públicos, con fines de protección de la red hídrica, lúdica, de circulación urbana,

ambiental, así como de áreas degradadas, áreas de disposición de derechos y franjas de servidumbre.

Asimismo, a raíz del desarrollo urbano de la GAM, en el 2021 el Poder Ejecutivo decretó una décima categoría de manejo de áreas silvestres protegidas llamada “Parques Naturales Urbanos (PANU)”. Los PANU “son áreas geográficas ubicadas dentro de zonas urbanas, que poseen ecosistemas terrestres y costeros de valor escénico, biológico, recreativo y ecoturístico, cuya importancia radica en la necesidad de proteger y conservar su biodiversidad” (Decreto Ejecutivo 42742-MINAE, 2021). Fueron creados con la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas, dando paso al concepto de “ciudad verde” teniendo el objetivo de valorar, conservar y promover los servicios ecosistémicos (Cajiao, 2021).

Según lo anterior, el manejo en una zona rural difiere de la zona urbana; pues las condiciones ambientales son más exigentes y limitan el crecimiento de muchas especies. Es decir, los árboles en este ecosistema, de acuerdo con Padilla y Ballesteros (2022a) deben tener entre sus características las siguientes: amplia distribución natural, plasticidad genética (capacidad de adaptarse a diferentes ambientes), resistencia a eventos extremos, poca necesidad de manejo, gremio ecológico, nativa, resistencia a plagas, adaptabilidad a suelos disturbados, entre otras.

Basado en lo anterior, se puede conocer que el manejo forestal urbano es un tema que viene tomando fuerza y dándosele la importancia que merece. Considerando las necesidades actuales en la GAM, este proyecto viene a dar apoyo al desarrollo de una cultura forestal urbana, en donde se conozca la importancia de la cobertura en una sociedad en donde la salud en áreas urbanizadas está en riesgo.

Capítulo II

3. Metodología

La metodología se basó primeramente en la obtención de información primaria como es la recopilación de datos, la asistencia al campo, el análisis e identificación de muestras de suelos y el procesamiento de información. Los anterior para diagnosticar el estado actual de las áreas de protección de los ríos y quebradas seleccionados.

También, se utilizó información secundaria por medio de búsqueda de fuentes confiables, ya sean libros, revistas, tesis, documentos en repositorios, revistas académicas, vídeos, comunicación personal, entre otros. Dentro de la investigación se realizó una búsqueda exhaustiva de información tanto a nivel nacional como internacional, metodologías sobre técnicas de reforestación, protocolos, leyes, entre otros y aunque muchas de estas fuentes no fueron citadas dentro del estudio, fueron de ayuda para guiar en la investigación. A continuación, se resume la metodología aplicada ([Figura 2](#)).



Figura 2. Proceso metodológico para la propuesta de rehabilitación forestal de las áreas de protección de los OCA priorizados. Fuente: Elaboración propia

3.1 Ubicación de los sitios de estudio

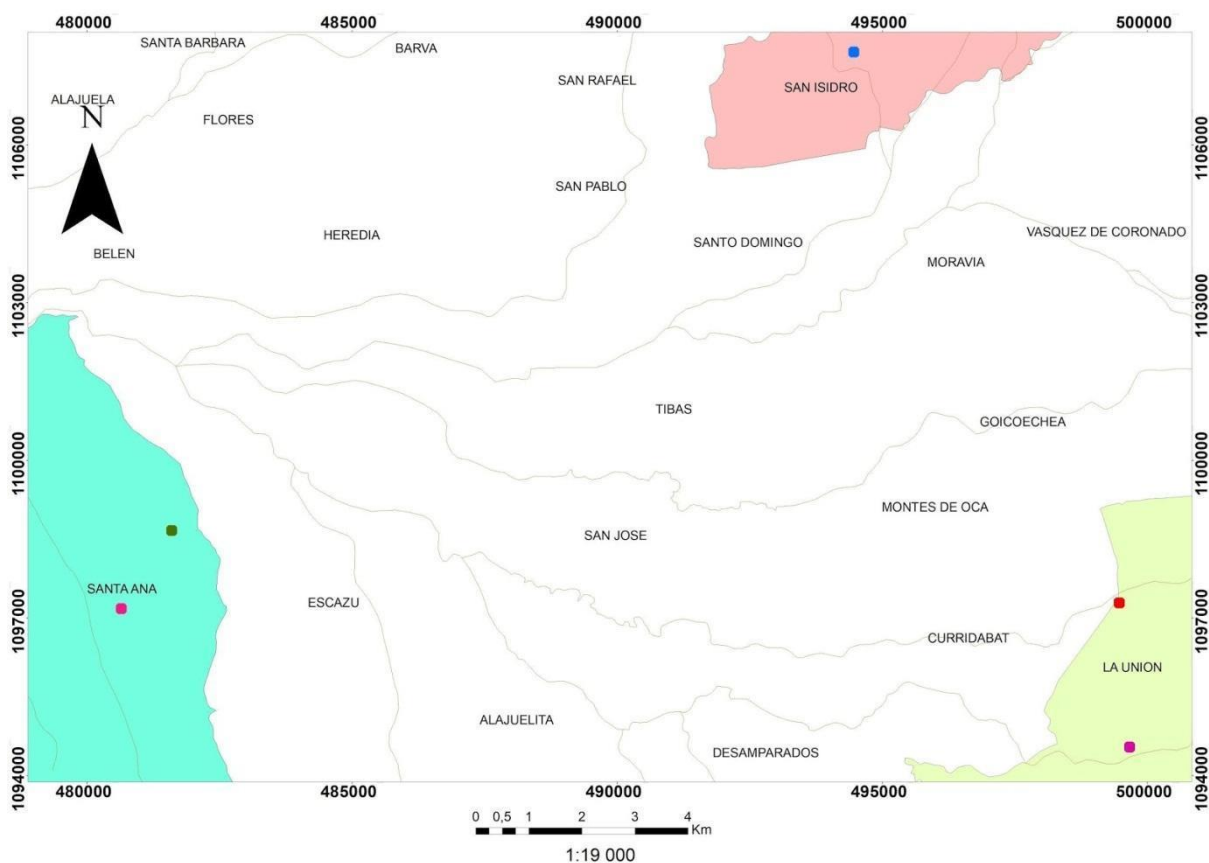
Los sitios están bajo monitoreo de cinco OCA distribuidos en tres provincias del país: Cartago, Heredia y San José y en diferentes zonas de vida ([Figura 3](#) y [Anexo 2](#)). Los ríos y quebradas

involucrados son la quebrada Turú, el afluente María Aguilar, el río Tiribí, la quebrada Lajas y la quebrada Perico, los cuales se encuentran dentro del GAM y están en zonas urbanas.

Dichos sitios fueron recomendados por la ANRCCR considerando las siguientes características: 1) todos están ubicados en las APRQ, 2) los OCA tienen una participación activa dentro de la ANRCCR como parte de su responsabilidad, 3) bajos niveles de urbanización y 4) inscripción al PBAE en categoría de Microcuenca. Cabe agregar que todos estos OCA confirmaron que se inscribirían al Programa de Bandera Azul Ecológica del año 2020 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Lista de los OCA seleccionados para el estudio (Brenda Portugués, comunicación personal, 2020).

Nombre del río/quebrada	Provincia	Cantón	Distrito	Organización	PBAE-2020
Turú	Heredia	San Isidro	San Isidro	Asociación de vecinos El Murmullo del Arroyo	Sí
Quebrada Perico	San José	Santa Ana	Santa Ana	Cooperativa Las Cabañas RL	Sí
Tiribí	Cartago	La Unión	San Diego	Asociación Movimiento Tiribí Limpio	Sí
Afluente María Aguilar	Cartago	La Unión	San Juan	Condominio Hacienda Imperial	Sí
Quebrada Lajas	San José	Santa Ana	Pozos	AVASOL	Sí



Ubicación de los Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA) Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (ANRCCR)

Simbología

OCA

- Afluente María Aguilar
- Quebrada Lajas
- Quebrada Perico
- Río Turú
- Tiribí - La Unión

CANTÓN

- LA UNIÓN
- SAN ISIDRO
- SANTA ANA

— Río

Elaborado por: Ericka Fernández Vega
 Fecha de elaboración: 17 de mayo de 2020
 Insumos: Atlas 2014, Base de datos de la ANRCCR
 Sistema de Coordenadas: CRTM05
 Proyección: Transversal de Mercator
 Datum: WGS84
 Unidades: metros

Diagrama de ubicación



Figura 3. Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA) seleccionados para el estudio. Fuente:

Elaboración propia

3.2 Condiciones actuales del uso de la tierra

3.2.1 Composición arborescente del área de protección de cada río o quebrada en estudio como parte del manejo forestal

Se realizó un inventario forestal, el cual la FAO (2020, p.1) lo define como la “recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada”. En ese caso se aplicó un inventario pie a pie, conocido también como censo forestal, en las áreas de protección de los cinco sitios

seleccionados (Cuadro 3) con el fin de obtener información confiable y actual para la reincorporación de nuevas especies sobre un trayecto de 500 metros a cada lado del río o quebrada. Al tratarse de un área protegida en zona urbana se utilizarán los 10 metros establecidos en el artículo 33 de la Ley Forestal 7575, a excepción de los sitios quebrados con pendientes mayores al 40 % donde se aumenta a 50 metros (m) medidos horizontalmente. Entonces, el área a censar es de 500*10 m a cada lado del río, y en total serían 10000 m².

Las variables evaluadas en el inventario fueron las siguientes: diámetro a la altura del pecho (DAP), especie (nombre científico y/o nombre común) de los individuos con diámetro mayor o igual a 15 cm, basado en la definición de bosque en el artículo 3, inciso d) de la Ley Forestal 7575 (1996). Los datos obtenidos se registraron en una hoja de Excel para analizarlos de acuerdo con los criterios establecidos para las áreas a priorizar. Cada individuo fue ubicado espacialmente con GPS para identificarlos en el software de ArcMap 10.5 y, una vez priorizados los sitios a rehabilitar, saber exactamente donde se puede integrar un individuo nuevo.

3.3 Selección y priorización de los OCA para la rehabilitación forestal

Las APRQ fueron recomendadas por el presidente de la ANRCCR, quien conocen a mayor profundidad los OCA a nivel nacional y sabe en donde radica la necesidad de estudios para la mejora del manejo forestal de estos sitios. Con base en lo anterior, se definieron 5 zonas las cuales están a cargo de los OCA. Estas poseen un área específica de 500 metros a cada lado del río o quebrada, es decir, un total de 10000 m².

Se utilizó como guía la metodología aplicada por Villalobos (2013) que considera una serie de criterios para priorizar áreas de protección. Sin embargo, se debió hacer ciertas adaptaciones como el criterio socioeconómico, pues en este trabajo aplica solamente la parte social; tampoco se incluye el parámetro del área efectiva de las UIF porque el área de protección es de 10000 m² para cada una.

Además, los términos de “capacidad de uso” y “cobertura” se cambiaron por “conflicto de uso de la tierra” y “cobertura/uso de la tierra”, pues esto cambió con el decreto N° 41960-MAG-MINAE, anexo 4 sobre nomenclatura para los diferentes usos y coberturas de la tierra (2019). El criterio social fue modificado, pues para este estudio fue a los encargados de cada OCA a quienes se les preguntó acerca de la situación actual del río o quebrada, y no a los propietarios.

Con respecto al porcentaje de pendiente se estableció una valoración de 40% definida en la Ley Forestal 7575, artículo 33 y su reglamento en el artículo 2, inciso v), y de esta manera se definió si el área a censar debe aumentarse a 25000 m². Entonces, se señalaron dos atributos en este criterio: pendiente mayor a 40% y menor a 40% (Cuadro 4).

Cuadro 4. Criterios biofísicos y sociales para la priorización de áreas de protección en los OCA determinados (Adaptado de Villalobos, 2013, p. 24).

CRITERIO	PARÁMETRO	VALOR (%)	VALORACIÓN DE 1 A 3	ATRIBUTO
Biofísico	Conflicto de uso de la tierra	10	2	Sobreuso
			1	A capacidad
	Cobertura/uso de la tierra	20	3	Suelo desnudo
			2	Agropecuario
			1	Forestal (bosque o plantación)
	Pendiente	20	2	>40 %
1			<40 %	
Social	Infraestructura en la zona de protección	10	2	Presencia
			1	Ausencia
	Cercanía de vías de acceso a la zona de protección	10	3	Sobre el área de protección
			2	A 5 metros del área de protección
			1	A más de 5 metros del área de protección
	Conocimiento de los encargados de los OCA's de las unidades de intervención seleccionada sobre la problemática ambiental que sufre área de protección	10	2	Desconoce
			1	Conoce
	Conflictos por tenencia de la tierra	10	2	Presencia
1			Ausencia	

La fórmula aplicada por Villalobos (2013) para obtener la UIF más prioritaria es la siguiente:

$$VR = (Vi * Vp) / i$$

Donde:

VR= Valor porcentual de la ponderación

Vi= Valor del indicador (escala de 3 a 1)

Vp= Valor porcentual del parámetro

i= Sumatoria de los indicadores del parámetro

3.3.1 Identificación de la situación social y ambiental de los OCA

Por medio de consultas a los encargados de los OCA se pretendió conocer el estado de conciencia de las comunidades aledañas al tracto del río o quebrada a intervenir. Además, verificar los problemas ambientales y de tenencia de tierra que existen para lograr la priorización de los sitios a intervenir con la rehabilitación forestal.

Para ello, se realizó un cuestionario corto donde se incluyó preguntas desde la situación ambiental, los actores involucrados, el nivel de información que tienen estas comunidades acerca de las actividades que se realizan y si estarían de acuerdo con la propuesta presente de ser necesaria (Apéndice 1).

3.3.2 Estudio de suelos de cada área de protección seleccionada

Para este estudio se realizó un muestreo de suelos a una profundidad de 30 centímetros que representa el horizonte A o conocido también como zona de lavado vertical, el cual es el más superficial, enraíza la vegetación herbácea y tiene abundante materia orgánica descompuesta o humus elaborado que determina el paso del agua arrastrándose hacia abajo, de fragmentos de tamaño fino y de compuestos solubles (Aguilar-Yanez, 2012, p. 25). Se dividió el área de protección en bloques para obtener un resultado más cercano a la realidad con cuatro muestras compuestas por sitio.

La finalidad fue obtener datos de ciertos parámetros para determinar el grado de fertilidad del suelo como la textura, el pH, la materia orgánica, la saturación de acidez (%), la suma de bases intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) (Apéndice 8.1). Además, la densidad aparente para determinar la compactación del suelo, ya que esta incide en el desarrollo y penetración de las raíces de las plantas.

El muestreo se realizó en zigzag de acuerdo con las recomendaciones generadas por Villalobos (comunicación personal, 13 de mayo, 2020) y las de Michelena, Irurtia, Eiza, Carfagno y Pirolo (2010). El número de muestras compuestas a recoger fue de cuatro por sitio, entonces serían 10 submuestras por cada muestra tomadas en la forma antes mencionada. Se establecieron cuatro

transectos con un arranque de forma aleatoria para cada sitio, dos a cada lado del río a lo largo del trayecto.

Los materiales utilizados fueron los cilindros metálicos o de aluminio de 10 cm de diámetro, 10 cm de altura y de 1 a 2 mm de espesor; también un cuchillo, un balde o una bolsa plástica grande para recolectar las submuestras, otras bolsas plásticas para empacar las muestras y marcadores o etiquetas para la identificación de estas.

Se realizó un análisis físico y químico de los suelos en el laboratorio del Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales (INISEFOR), para conocer el estado actual y determinar las especies adecuadas para el sitio. La metodología aplicada se basó en el estudio de Villalobos (2013), el manual de procedimientos de análisis físico de suelos de Michelena, Irurtia, Eiza, Carfagno y Pirolo (2010) y una guía para hacer muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad (Schweizer-Lassaga, 2020). El muestreo de suelos se realizó en las áreas de protección prioritarias definidas posterior a la evaluación de la composición florística.

3.3.2.1 Variables físicas para analizar

- a. Textura: es “la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla” (FAO, 2020, p.1). Para determinar la textura en este estudio se utilizará el triángulo de textura de suelos.
- b. Densidad aparente: el suelo debe tener cierta humedad que permita extraer la muestra sin que se fracture; si este no la tiene, se moja el sector donde se va a tomar la muestra. Clavar los cilindros a 30 cm de profundidad por ser de uso forestal, sin generar compactación en la muestra, se enrasa la muestra en ambos extremos y se debe asegurar que el volumen del cilindro quede completamente lleno, sin que queden grietas o faltante de material.

$$DA = P_{ss} / V_c$$

Donde:

DA: Densidad aparente (g/cm³)

P_{ss}: Peso seco del suelo (g) obtenido a temperatura constante de 105 °C durante 24 horas.

V_c: Volumen del cilindro (cm³)

- c. Profundidad: es la “capa superficial del suelo (horizonte A) junto con el subsuelo (E y B)” (FAO, 2020, p.1). Se utilizará, de acuerdo con el ingeniero agrónomo, Roger Muñoz Hernández (comunicación personal, 17 de julio de 2020), un barreno holandés que se introduce y se retira la

muestra de suelo contenida en la parte inferior del barreno, luego se vuelve a introducir en el mismo punto, se retira la muestra y así sucesivamente hasta encontrar capas endurecidas. A partir de ahí, se mide la profundidad a la cual se introdujo el barreno hasta encontrar las capas mencionadas anteriormente. Además, con esta recomendación coinciden Sosa (2012) y Ramírez (2005), este último cataloga el barreno como el instrumento más adecuado para muestrear suelos porque produce muestras homogéneas de igual volumen e igual profundidad y permite un proceso fácil y rápido.

3.3.2.2 Variables químicas para analizar

Las variables para considerar dentro del análisis químico son: pH, Ca, Mg, K, P, Cu, Zn, Mn, Fe y materia orgánica. Estas ayudarán a determinar cuáles especies son las aptas para el proceso de rehabilitación forestal.

3.4 Selección de especies arbóreas y arbustivas aptas para los sitios

Para la selección de las especies arbóreas y arbustivas de las áreas prioritarias a rehabilitar se tomó en consideración el “Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la GAM”, junto a su guía técnica para la aplicación de este (Sánchez et al., 2015, y Sánchez et al., 2019), así como las especies censadas en campo y una encuesta realizada a expertos en la materia. Cuando se elige la especie forestal se tienen que contemplar sus hábitos de crecimiento (así se sabe qué tanto tolera las condiciones del sitio, el uso y los valores ecosistémicos) y cuáles son los lugares potenciales para que se establezca si en un área de protección como las orillas de ríos o en áreas verdes, parques o cercanía a infraestructura (Cuadro 6).

Las especies propuestas por Sánchez et al. (2015) también fueron mencionadas por Gómez-Garita (2018). Dichas especies tienen sus características taxonómicas, su condición, origen, porte, copa, atractivo, requerimientos de luz, escenarios, altitud y zona de vida a la que pertenecen (Anexo 3). Cada característica viene con su definición previa para una mejor comprensión.

3.5 Criterios para formular la propuesta de rehabilitación forestal

Los resultados obtenidos del inventario forestal de las áreas de protección seleccionadas y los sitios escogidos como prioritarios para intervenir de acuerdo con los criterios biofísicos y sociales se tomaron como base para formular los criterios técnicos dirigidos a la rehabilitación. Para ello, se consideró la triangulación de Villalobos (2013) donde complementa la selección de unidades de

intervención y su diagnóstico, el inventario de composición arborescente y la selección de especies vegetales para establecer los lineamientos de la propuesta de rehabilitación (Figura 4).

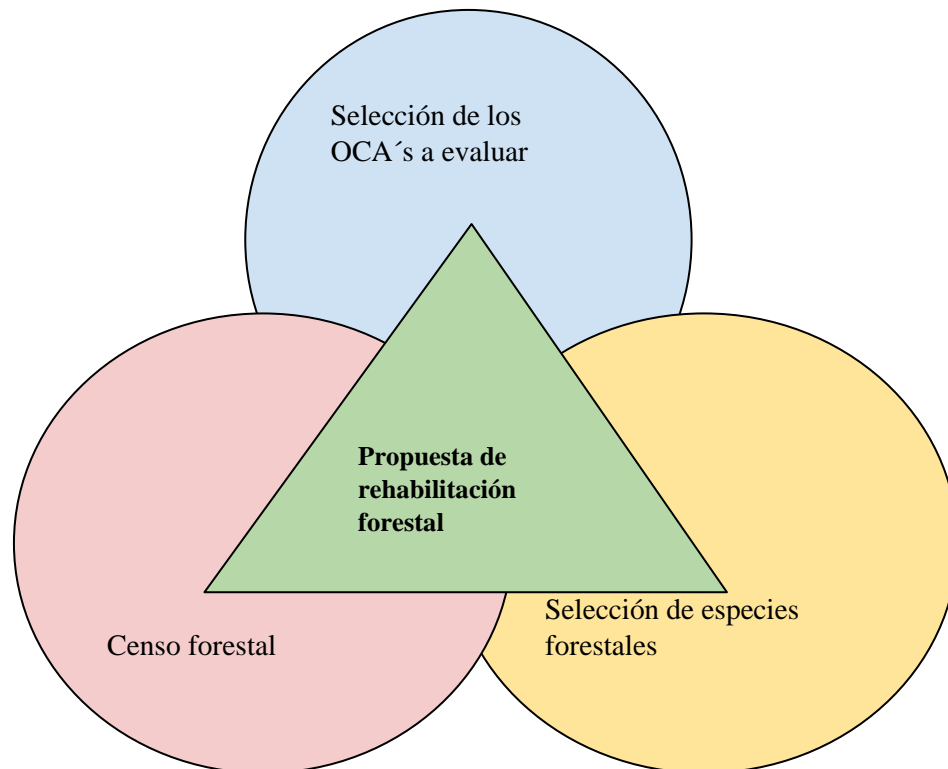


Figura 4. Diagrama sobre criterios considerados para establecer los lineamientos de la propuesta de rehabilitación. Fuente: Elaboración propia con base a Villalobos (2013).

Capítulo III

4. Resultados y discusión

El presente apartado muestra los resultados del censo forestal y muestreo de suelos realizado durante un período de siete semanas en cinco APRQ seleccionados para la propuesta de rehabilitación forestal (apéndices 2 al 6). Con la información colectada se determinó el número de individuos por especie, familia, origen (nativa, naturalizada o exótica), clase diamétrica (cm) y el área basal (m^2 por especie); así como las características fisicoquímicas que determinan la fertilidad del suelo.

Además de la propuesta de rehabilitación forestal para los sitios determinados como prioritarios para dicha acción, la cual está basada en los aspectos tanto biofísicos como sociales encontrados durante la investigación en campo.

4.1 Condiciones biofísicas y sociales

4.1.1 Aspectos biofísicos

4.1.1.1 Censo forestal

Los árboles más abundantes tienen un diámetro entre 15 y 25.99 cm, en los OCA evaluados y muy pocos mayores a 96 cm (Figura 5). Esto demuestra que el área de protección fue intervenida y ahora está en un proceso sucesional secundario (Resolución 115, 16 de noviembre de 2017).

El observatorio de quebrada Perico presenta mayor cantidad de árboles (232) y de especies (68); es decir, es el sitio más diverso. La quebrada Turú se encuentra en segundo lugar con 196 individuos y 40 spp. y de tercero está la quebrada Lajas con 114 (38 spp.) (Figuras 6 a 10, Cuadro 7).

Las especies más abundantes en las áreas de estudio son el poró extranjero (*E. poeppigiana*), el mango (*Mangifera indica*), el roble de sabana (*Tabebuia rosea*) y el guácimo (*Guazuma ulmifolia*). Muchas de las especies registradas coinciden con las recomendadas por Sánchez et al. (2015) y Villalobos (2013) para una rehabilitación forestal en espacios urbanos, por ejemplo, *E. poeppigiana*, *Bursera simaruba*, *Zygia longifolia*, *Mauria heterophylla*, *Diphysa americana*, *Tabebuia rosea*, entre otras.

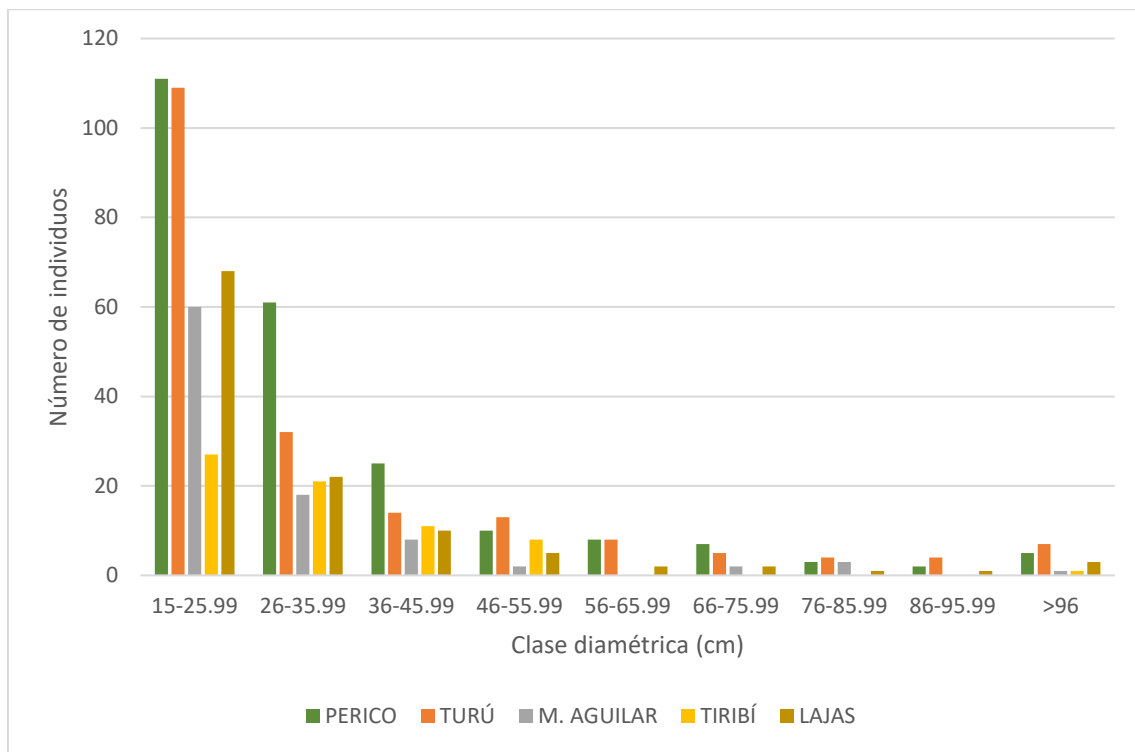


Figura 5. Distribución diamétrica de los árboles en las cinco áreas de protección. Fuente: Elaboración propia

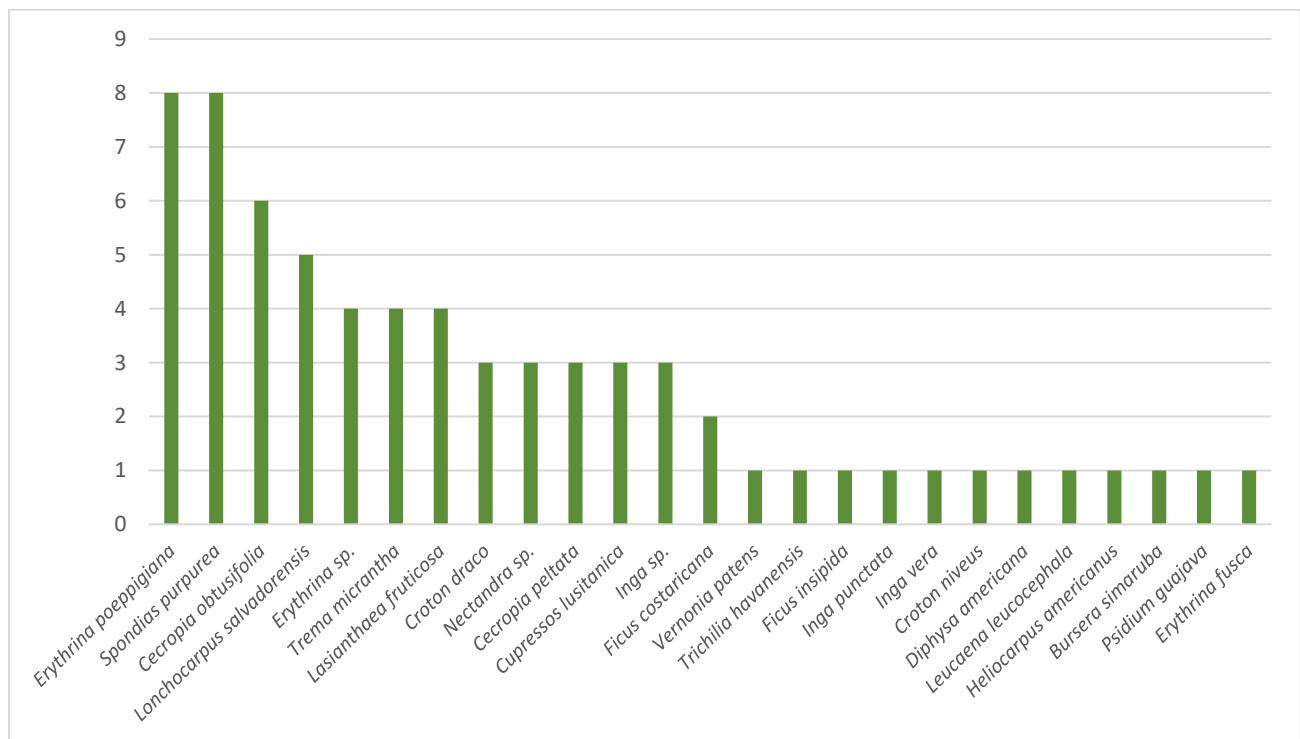


Figura 6. Número de árboles por especie, OCA río Tiribí (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

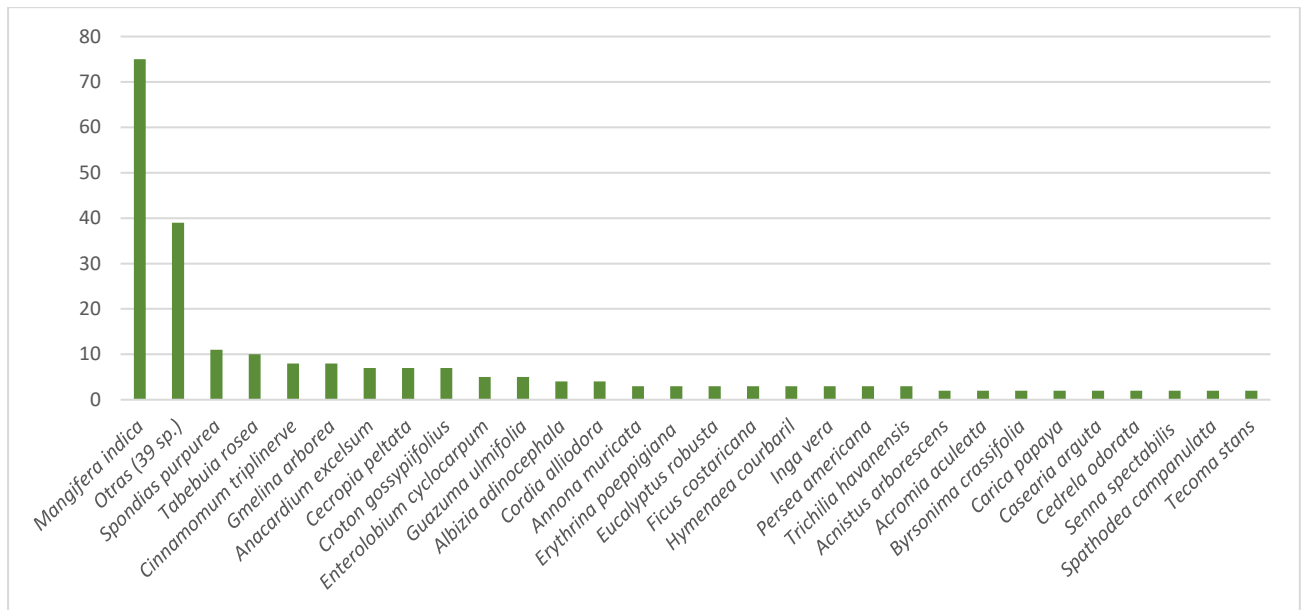


Figura 7. Número de árboles por especie, OCA quebrada Perico (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

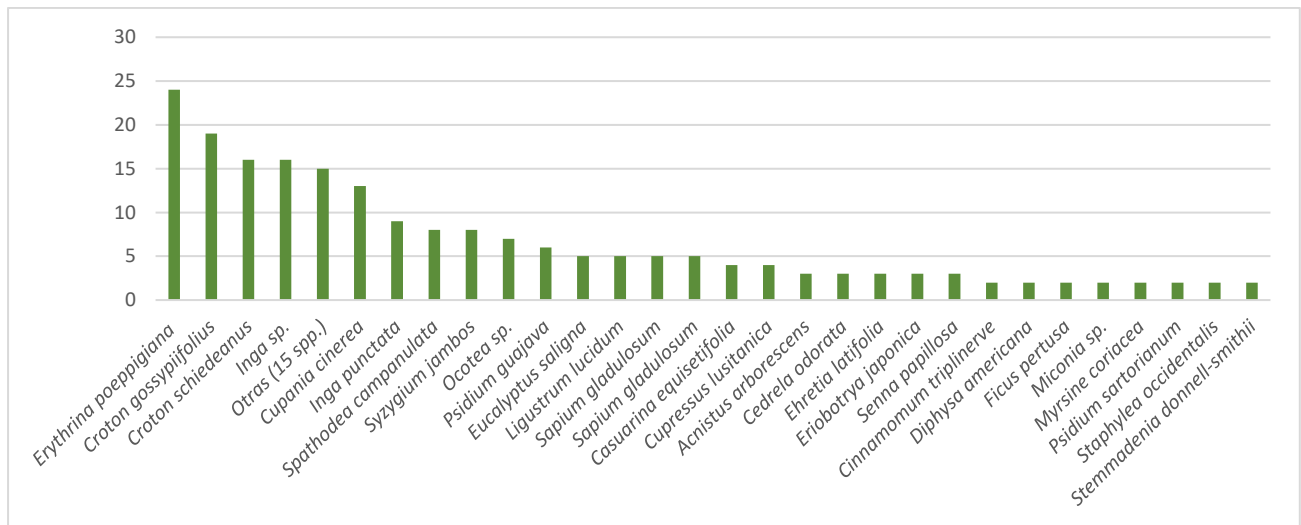


Figura 8. Número de árboles por especie, OCA quebrada Turú (San Isidro, Heredia). Fuente: Elaboración propia

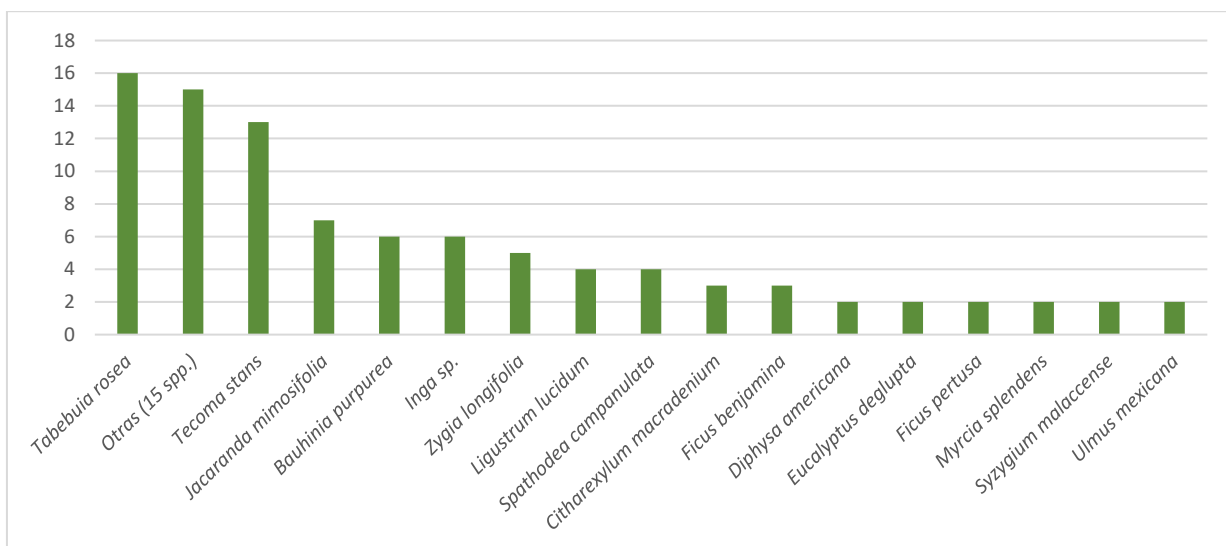


Figura 9. Número de árboles por especie, OCA afluyente María Aguilar (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

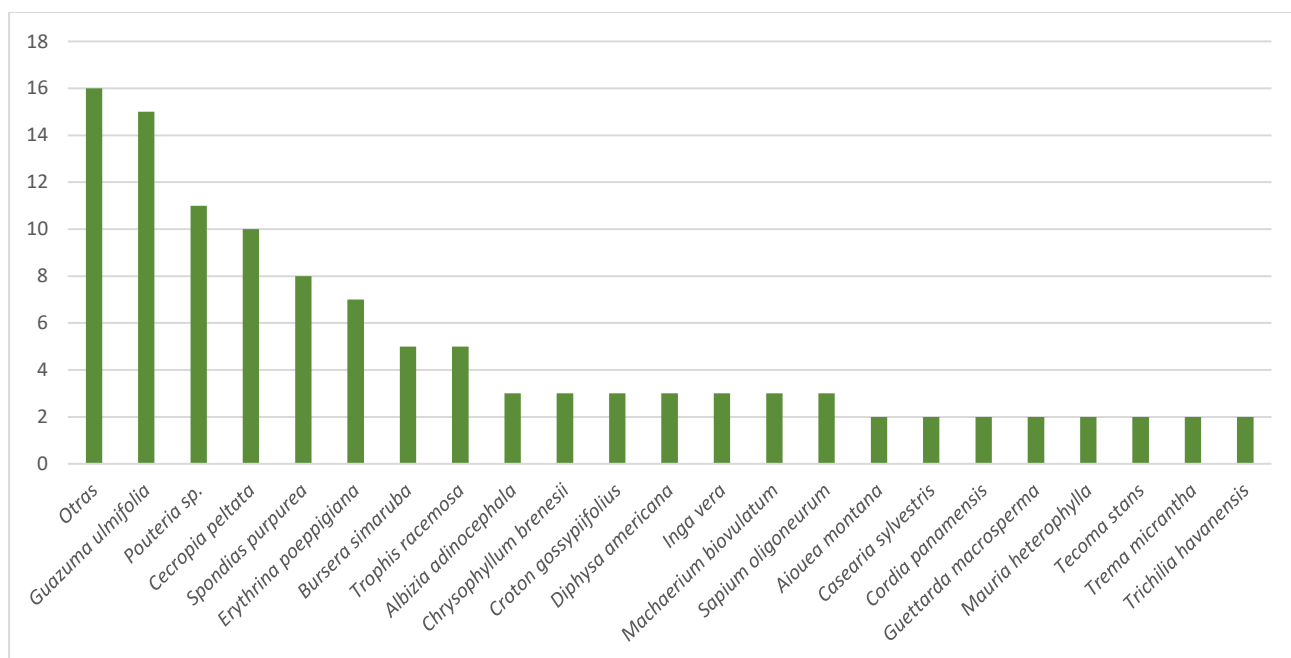


Figura 10. Número de árboles por especie, OCA Quebrada Lajas (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

La quebrada Perico presenta mayor diversidad en familias (33), seguido por Turú (24), Lajas (19), María Aguilar (15) y por último Tiribí (14) (Apéndice 6). Las familias con más árboles son Malvaceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Bignoniaceae y Papilionaceae; mientras que Mimosaceae, Myrtaceae y Papilionaceae poseen mayor número de especies.

En el área de estudio dominan las especies nativas en más del 60 %. En la quebrada Lajas todos los árboles pertenecen a esta categoría, mientras que en quebrada Perico se encontró el porcentaje más bajo debido a que *M. indica* es la más abundante y está naturalizada (Cuadro 6).

El área basal estimada de todos los árboles censados representa menos del 1% del área disponible para su crecimiento. En primer lugar, se encuentra la quebrada Perico con el valor de 27.37 m²; en segundo lugar, está la quebrada Turú con 26.031 m²; en tercer lugar, la quebrada Lajas con 11.802 m²; en cuarto lugar, afluente María Aguilar con 7.573 m² y quinto lugar 6.205 m². Las especies dominantes (m²·ha⁻¹) en este aspecto son el poró extranjero (*E. poeppigiana*: 1.928 m² en Tiribí y 12.501 m² en Turú), mango (*M. indica*) (4.467 m², Perico), jacaranda (*J. mimosifolia*) (1.472 m², María Aguilar) y el guácimo (*G. ulmifolia*) (2.039 m², Lajas) (Figuras 11 a 15).

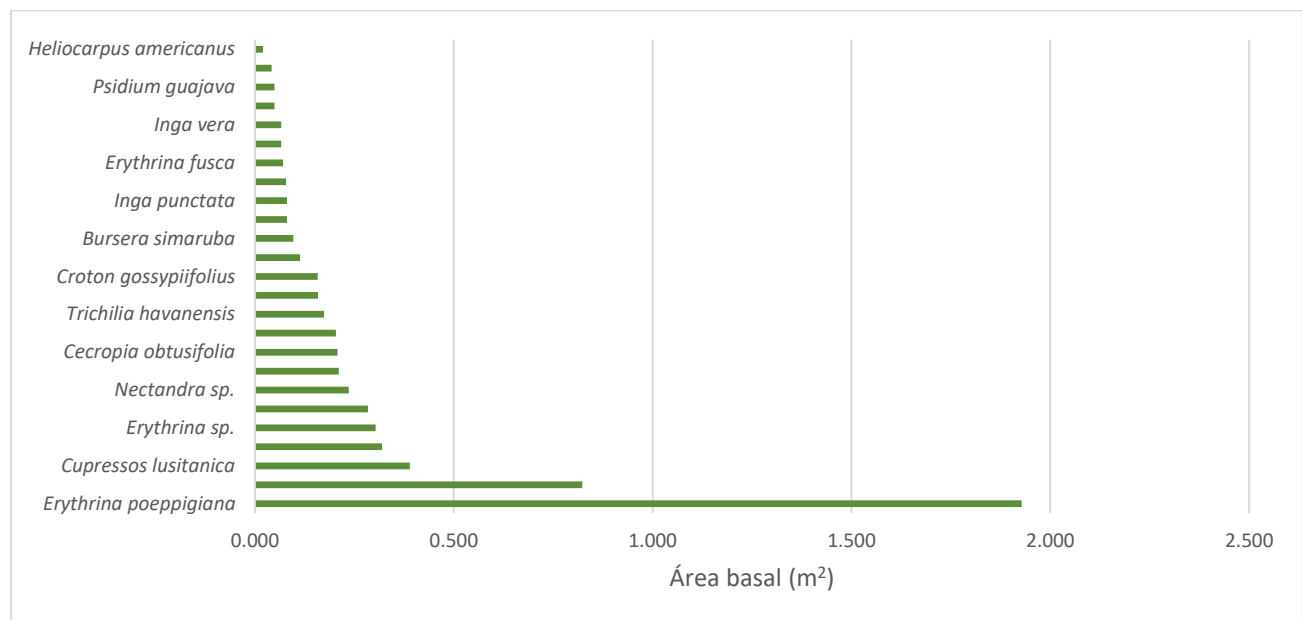


Figura 11. Área basal (m²·ha⁻¹) por especie, OCA río Tiribí (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

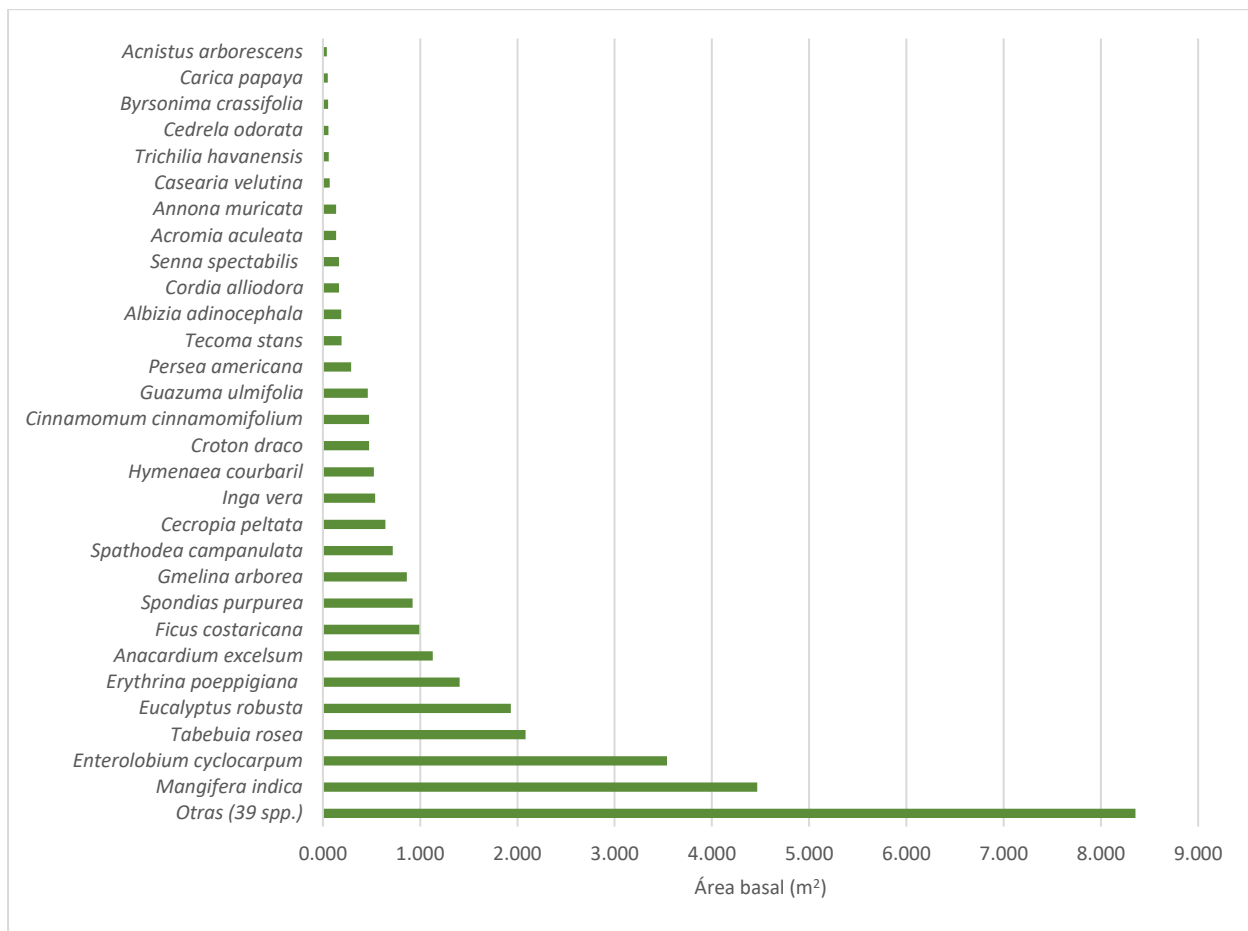


Figura 12. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA quebrada Perico (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

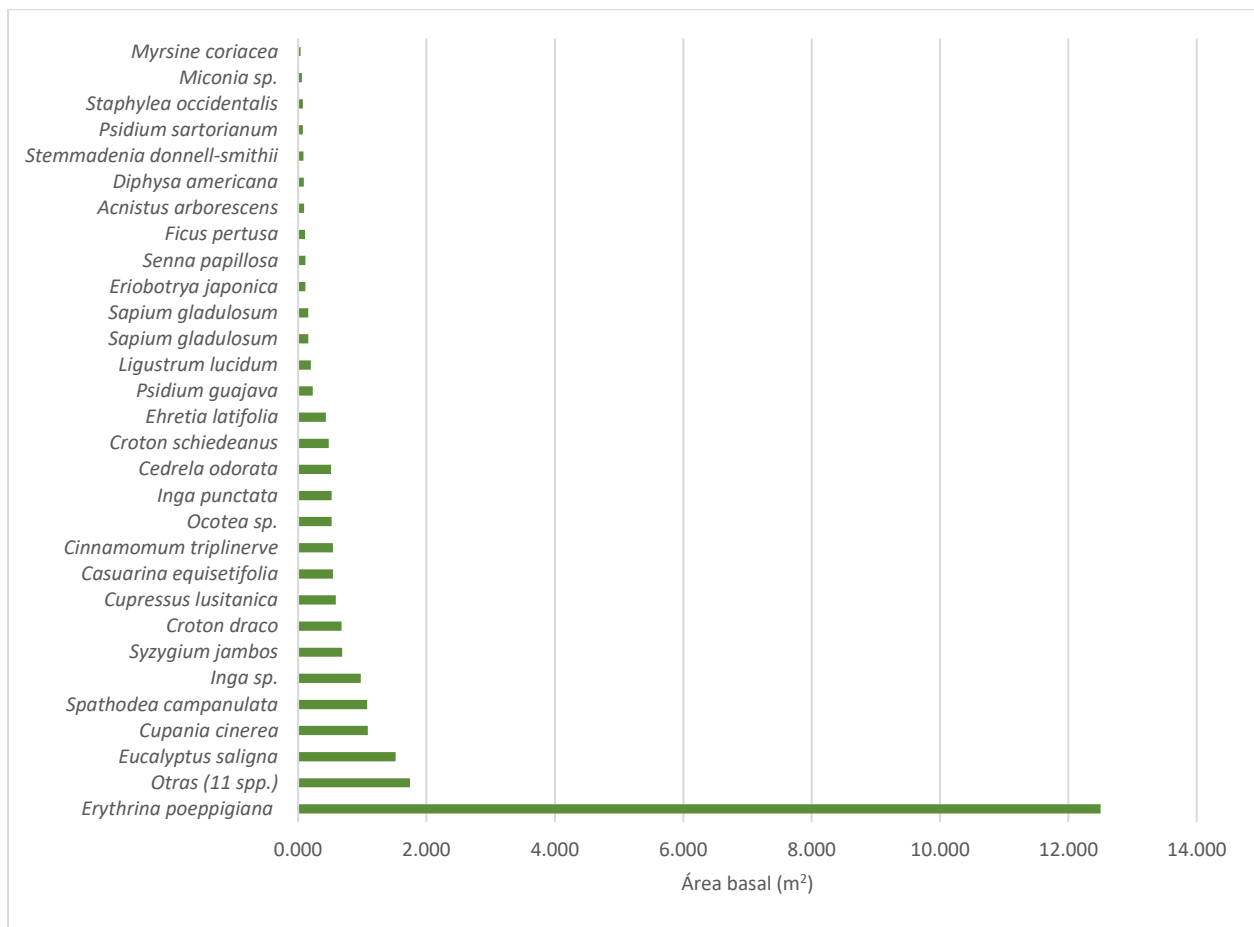


Figura 13. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA quebrada Turú (San Isidro, Heredia). Fuente: Elaboración propia

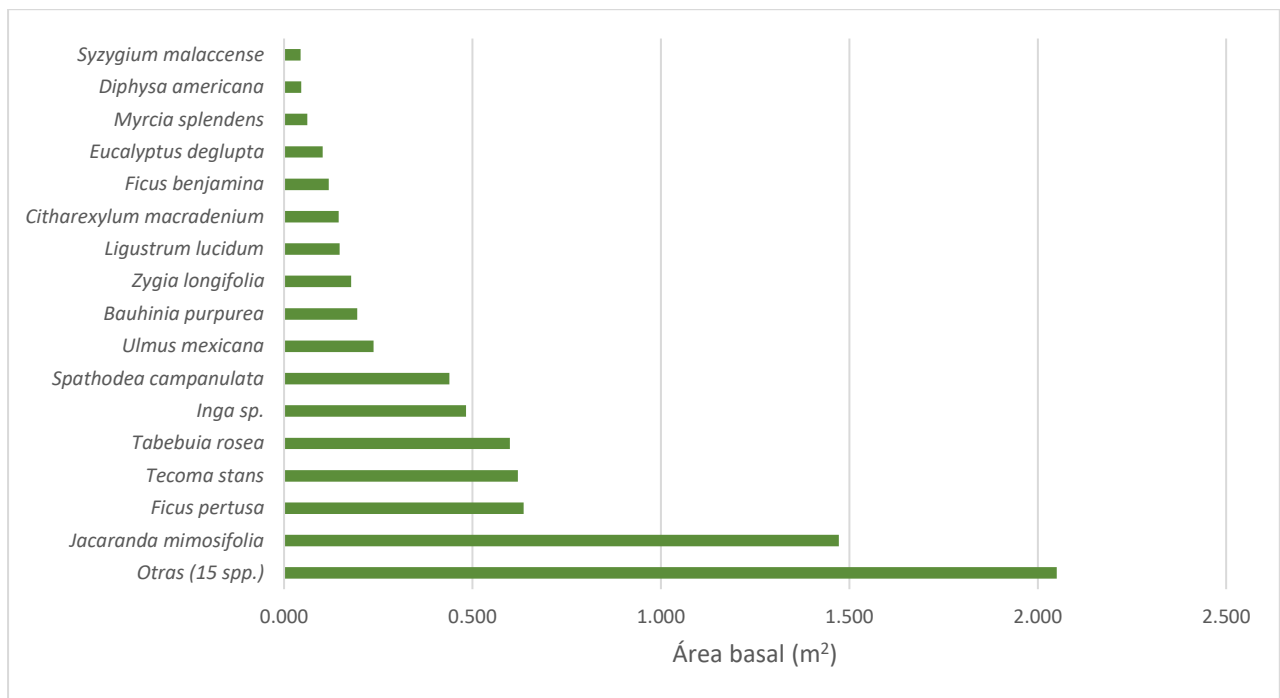


Figura 14. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA afluyente María Aguilar (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

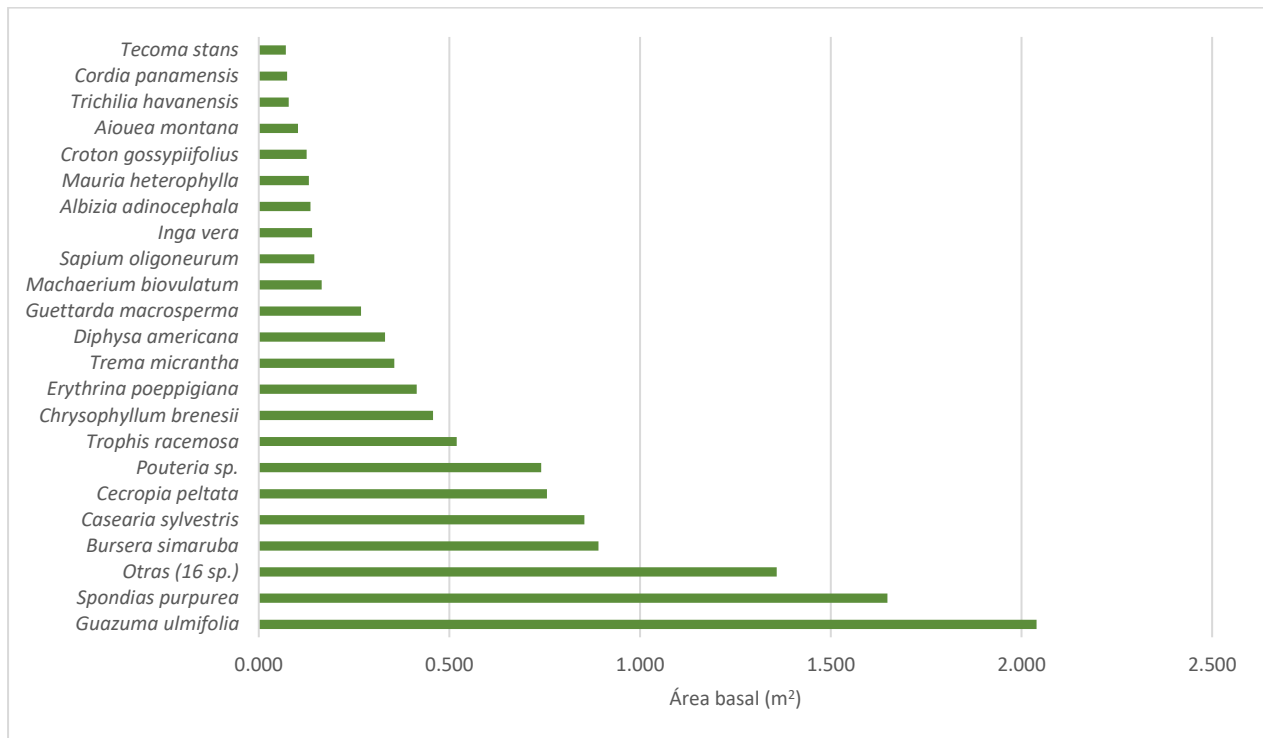


Figura 15. Área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) por especie, OCA Quebrada Lajas (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

En el 80 % de los sitios de estudio la vegetación leñosa es predominante, sin embargo, de igual forma el área de protección se encuentra en sobreuso, es decir que la cobertura del suelo no es bosque. En el

caso del río Tiribí, el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) compite con la cobertura forestal, y en el afluente María Aguilar es dominante, porque la población humana aledaña prefiere, por seguridad visual, mantenerlo. La infraestructura se encuentra en todos los sitios, principalmente casas de habitación, escuelas, carreteras asfaltadas, puentes, entre otros (Figuras 16 a 20 y Cuadro 5).

El incremento de la urbanización, la industrialización y la población generan una alteración en el paisaje natural y la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas. Lo anterior tiene efectos como la impermeabilización de la superficie producto de la construcción de casas, calles, banquetas y estacionamientos, por lo cual la infiltración de la lluvia se reduce y como consecuencia el volumen de escurrimiento aumenta, el flujo es transportado eficientemente sobre la superficie y existe menor almacenamiento (Campos-Aranda, 2010).

En América Latina y el Caribe existen altos y rápidos niveles de urbanización, alrededor de un 80 % de la población vive en áreas urbanas, lo que afecta los sistemas socio ecológicos (United Nations, 2015; Dobbs-Brown, 2021). Aunado a esto, el alto consumo de agua de las ciudades a nivel mundial (75% para uso residencial e industrial) (Salbitano et al., 2017) genera presión sobre las cuencas hidrográficas.

En un estudio realizado en Melbourne, Australia, por Ordoñez, Threlfall, Kendal y Hochuli (2020), se encontraron conflictos que son comparables con Costa Rica, ya que incluyen la expansión urbana y densificación, los cuales hacen difícil cumplir con las prioridades de la ecologización urbana. Agregan que en unas secciones de las ciudades aumentan el número de árboles y en otras los remueven por la necesidad de expandir la infraestructura.

Martén y Jankilevich (2021) demuestran la pérdida de cobertura y desertificación que existe en el GAM y destacan la importancia de analizar la composición del sitio para conocer el patrón de continuidad paisajística con parcelas de recuperación. En otras palabras, utilizar la composición florística como herramienta de rehabilitación forestal y conocer la vegetación existente facilita la priorización de especies para la reforestación.

Cuadro 5. Sistematización de la información del censo forestal.

OCA	Tiribi La Unión, Cartago	Perico Santa Ana, San José	Turú San Isidro, Heredia	María Aguilar La Unión, Cartago	Lajas Santa Ana, San José
Censo forestal	Se identificaron 68 árboles, pertenecientes a 25 especies y 14 familias.	232 árboles en total, distribuidos en 68 especies, y 32 familias.	Una totalidad de 191 individuos, distribuidos en 39 especies y 24 familias.	94 árboles encontrados, pertenecientes a 31 especies y 15 familias.	Posee un total de 114 árboles, agrupados en 38 especies y 18 familias.
Origen de las especies	94.1 % nativas, 4.4 % exóticas y 1.5 % naturalizadas.	61.2 % nativas, 30 % naturalizadas y 9 % exóticas.	80.6 % (158 árboles) nativas, 11.2 % (22) exóticas y 8.2 % (16) naturalizadas.	81.9 % (77 árboles) nativas, 11.7 % (11) y 6.4 % (6) naturalizadas.	100 % árboles nativos
Clase diamétrica (cm)	39.7 % entre 15 y 25.99 cm, 30.9 % de 26 a 35.99 cm. Un árbol mayor a 96 cm.	48 % entre 15 y 25.99 cm. 26 % de 26 a 35.99 cm. 2 % mayor a 96 cm.	56 % entre 15 y 25.99 cm, luego un 16.3 % entre 26 y 35.99 cm y, 3.6 % mayor a 96 cm.	63.8 % entre 15 y 25.99 cm, 19.1 % de 26 a 35.99 cm y un árbol mayor a 96 cm.	59.6 % entre 15 y 25.99 cm, 19.3 % de 26 a 35.99 cm, 8.8 % con dap entre 36 y 45.99 cm y 2.6 % mayor o igual a 96 cm.
Área basal (m²)	Total: 6.205 m ² <i>E. poeppigiana</i> (1.928 m ² , 31.1 %), <i>S. purpurea</i> teniendo la misma cantidad de árboles 0.824 m ² (13.3 %).	Total: 27.371 m ² El mango (<i>M. indica</i>) tiene el 16 % (4.467 m ²), y el guanacaste (<i>E. cyclocarpum</i>) 12.9 % (3.537 m ²).	Total: 26.031 m ² <i>E. poeppigiana</i> con 12.501 m ² (47.8 %) del total, y targuá (<i>C. draco</i>) con 1.518 m ² (5.8 %).	Total: 7.573 m ² La jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>) 19.4 % (1.472 m ²), el higuerón (<i>Ficus pertusa</i>) 8.4 % (0.636 m ²).	Total: 11.802 m ² El guácimo (<i>G. ulmifolia</i>) 17.3 % (2.039 m ²), y el jocote (<i>S. purpurea</i>) con 14 % (1.649 m ²).
Tipo de cobertura de la tierra	La vegetación leñosa es (38.6 %, 0.63 ha), el pasto elefante (35.8 %, 0.58 ha) y el pasto o área sin vegetación leñosa 11.1 % (0.18 ha).	La vegetación leñosa 58 % (0.66 ha), infraestructura (25.1%, 0.28 ha) y el pasto o sin vegetación leñosa (14.3 %, 0.16 ha).	La vegetación leñosa 78.3 % (0.86 ha), el pasto o sin vegetación leñosa (11.8 %, 0.12 ha) y la infraestructura con 7.6 % (0.08 ha).	El pasto elefante (47.8 %, 0.51 ha), la vegetación leñosa (29.5 %, 0.31 ha) y el pasto o área sin vegetación leñosa (11.6 %, 0.12).	La vegetación leñosa (66.9 %, 1.21 ha), el potrero arbolado (16.8 %, 0.30 ha) y la infraestructura (7.7 %, 0.09 ha).

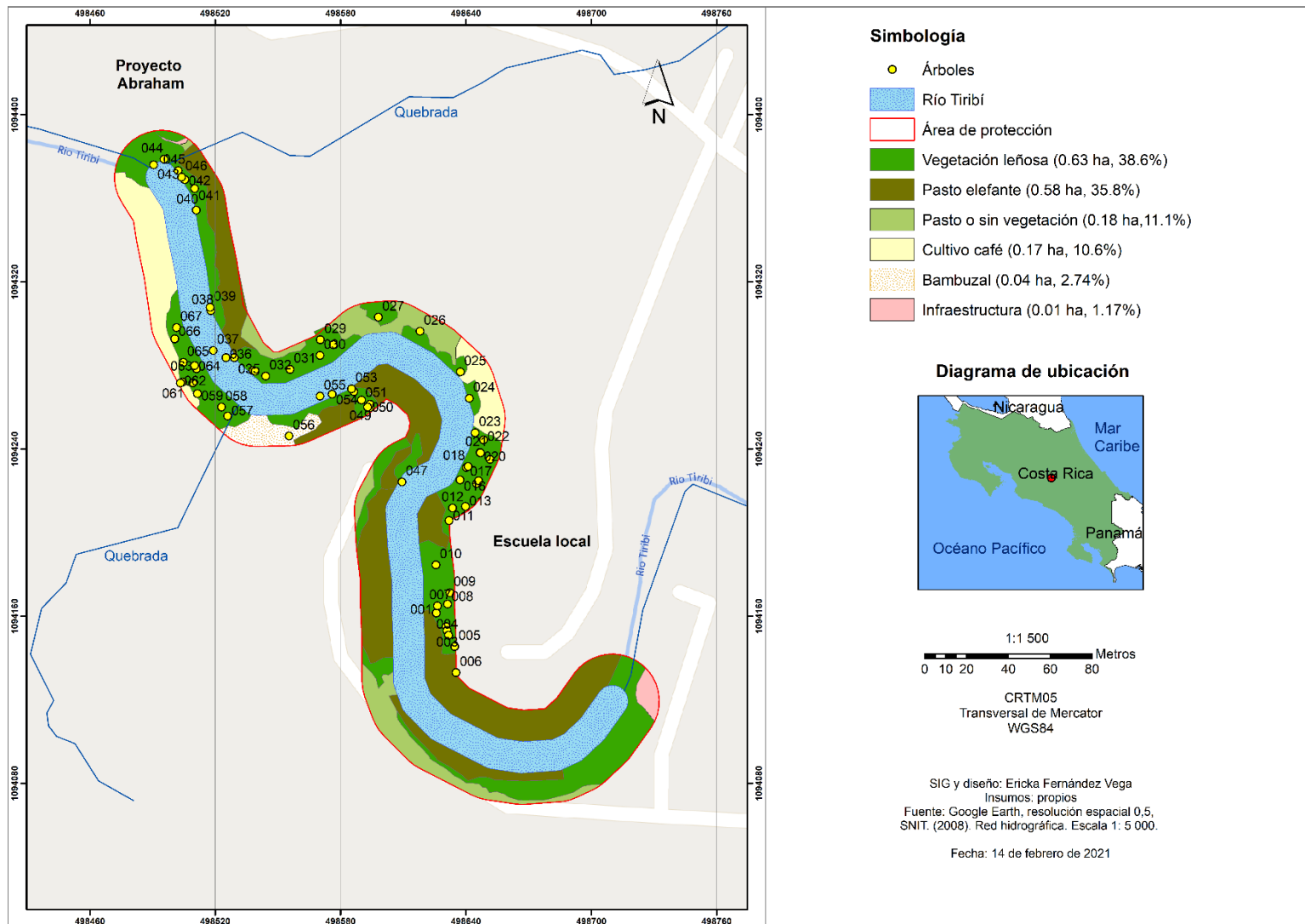


Figura 16. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en río Tiribí (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

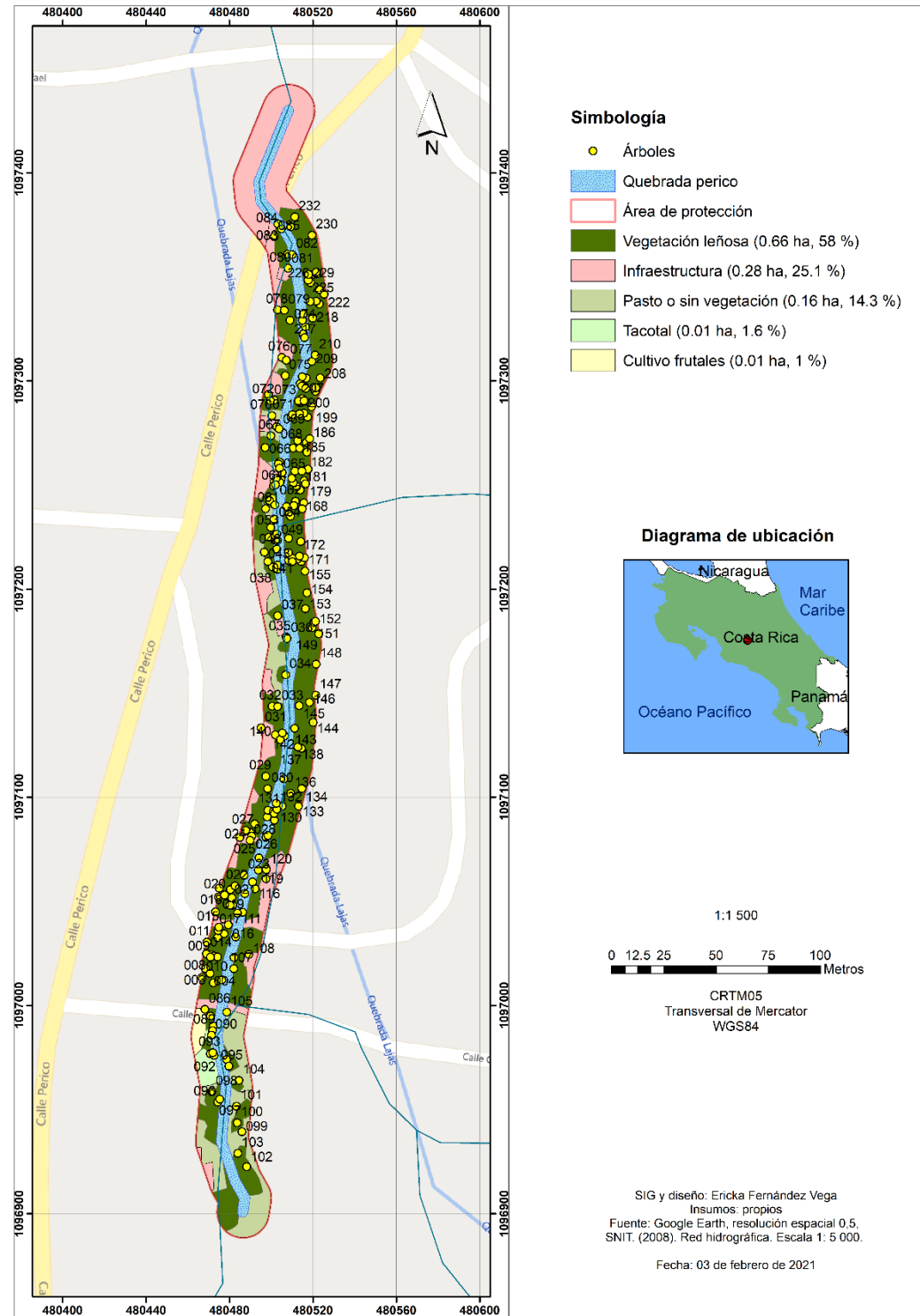


Figura 17. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Perico (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

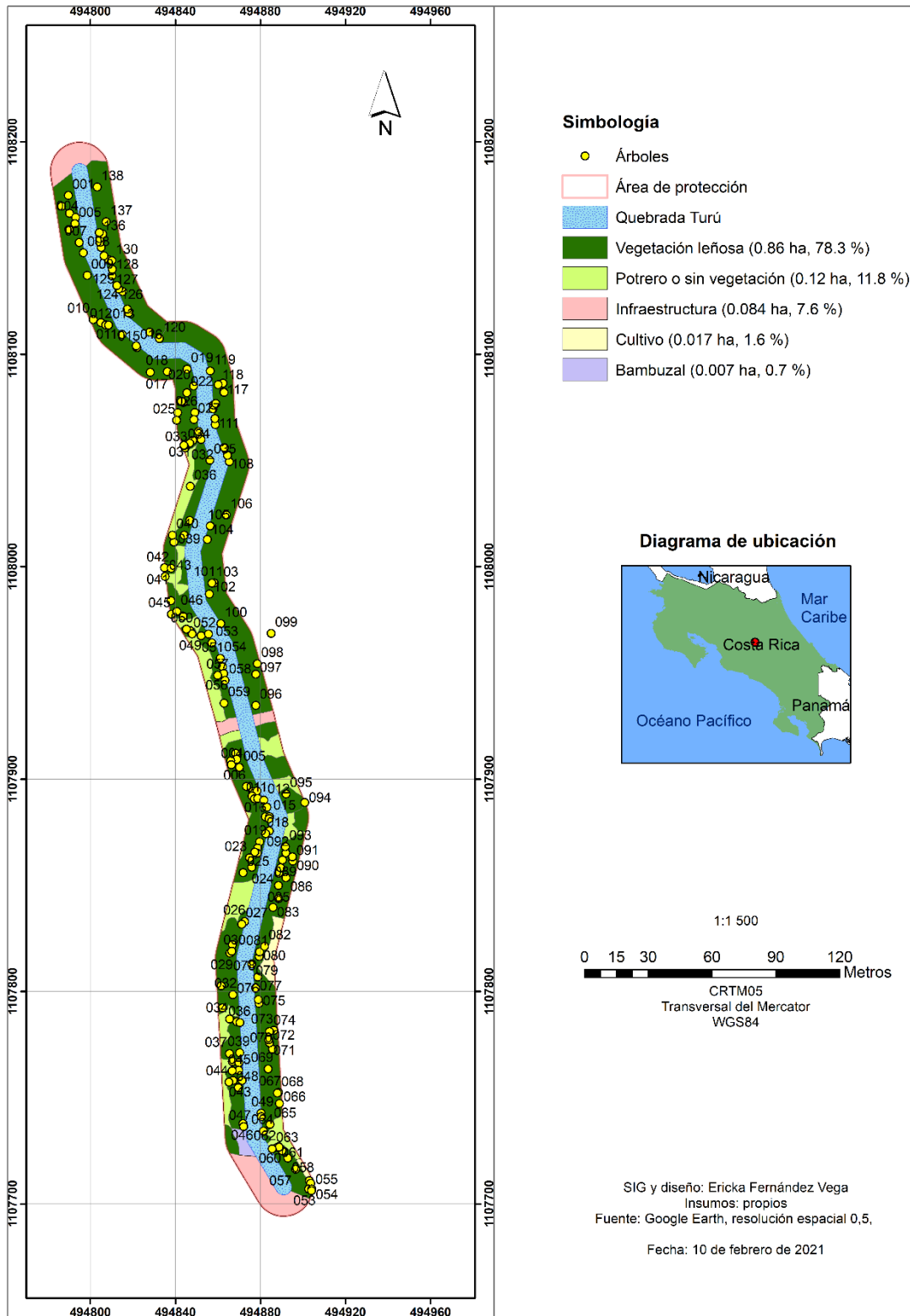


Figura 18. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Turú (San Isidro, Heredia). Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en afluente María Aguilar (La Unión, Cartago). Fuente: Elaboración propia

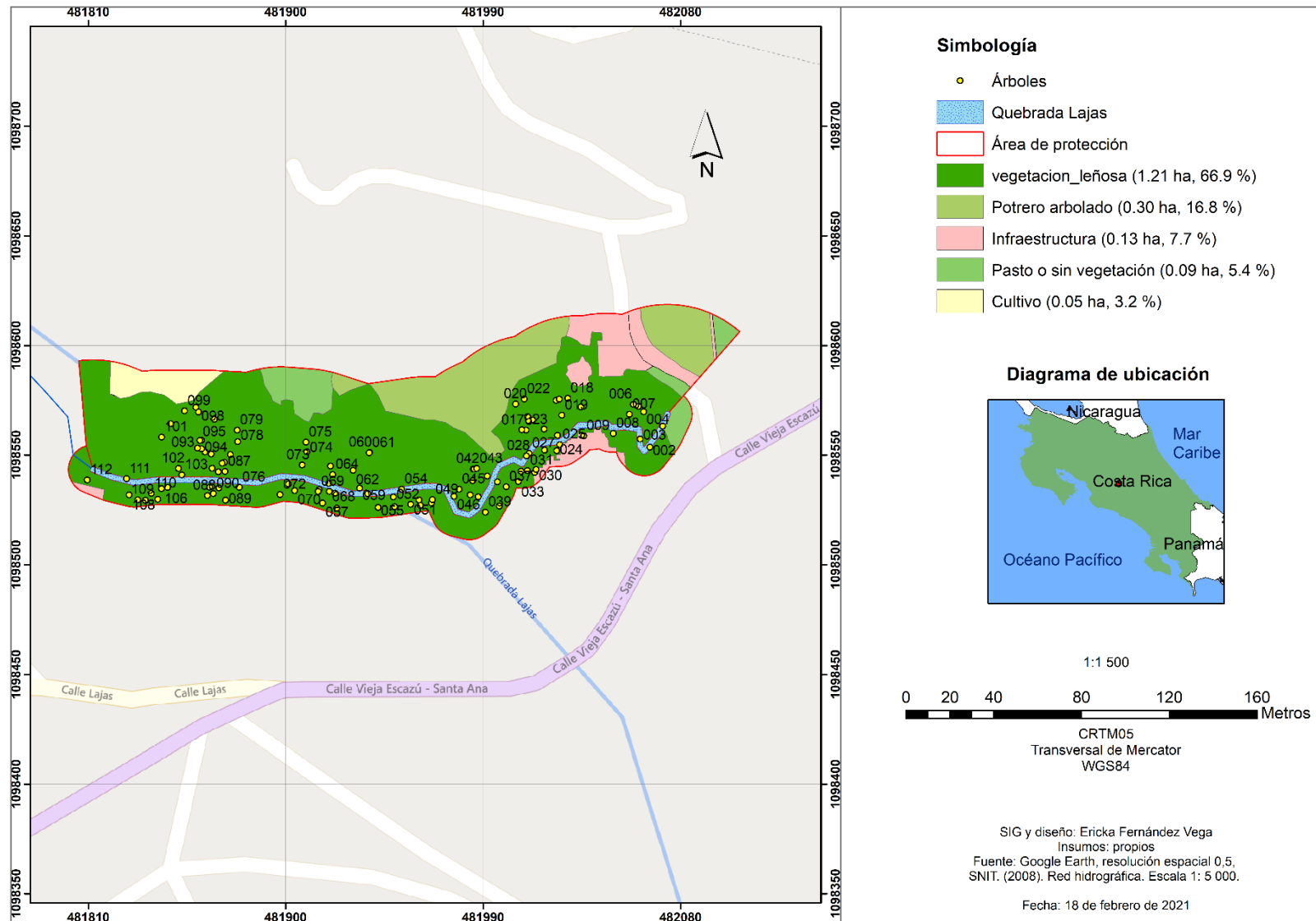


Figura 20. Mapa de cobertura de la tierra y árboles censados en quebrada Lajas (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Muestreo de suelos

La interpretación de los resultados del laboratorio inició con la identificación del suelo según el orden y grandes grupos (Apéndice 8.2). Los órdenes encontrados fueron Inceptisol (Tiribí [*dystrandept*], María Aguilar [*dystrandept*], Perico [*ustropept*] y Turú [*dystrandept*]) y Ultisol (Lajas [*tropohumult*] (Centro Científico Tropical (CCT), 1989). Esto significa que tres de los sitios presentan suelos asociados a cenizas volcánicas [*dystrandept*] y relativamente jóvenes con fertilidad media (suma de bases) en condiciones naturales. Sin embargo, en todos los sitios, los resultados muestran fertilidad baja y muy baja ($2.93 \text{ cmol (+)} \cdot \text{l}^{-1}$), según el Decreto Ejecutivo N°41960 (12 de noviembre de 2019) (Anexo 4.1). Lo anterior podría ser el resultado de alteraciones antrópicas producto de la urbanización que, como señalan Vanegas (2016) y Rojas e Ibarra (2003), provocan la fragmentación del ecosistema; así como la pérdida de fertilidad del suelo.

En términos de la saturación de acidez (4.29 %), pH (6.34) y acidez ($0.13 \text{ cmol (+)} \cdot \text{l}^{-1}$), los resultados muestran fertilidades altas (Cuadro 8), lo cual es contradictorio con lo señalado en el Decreto Ejecutivo N°41960 (12 de noviembre de 2019) (Anexo 4.1). Sin embargo, la capacidad del suelo para ayudar en el crecimiento de las plantas está definida por la saturación de bases intercambiables, aun cuando las variables antes señaladas presentan condiciones favorables a la fertilidad. Es decir, la fertilidad con base en la saturación de bases intercambiables señala una muy baja fertilidad.

Es importante destacar que en todos los suelos de los OCA evaluados hay un bajo contenido de fósforo (P, $1.41 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), lo cual es un aspecto negativo, ya que este elemento es esencial para el crecimiento de la planta (Linguist, Dwain y Hill, 2011). En este sentido, se deben tomar medidas de fertilización, utilizando la fórmula N-P-K que recomiendan comúnmente como los nutrientes principales (Hurtado, 2020) para cuando se busca un correcto crecimiento de la planta con los elementos básicos.

Además, al tratarse de sitios donde hay una mayor abundancia de especies relativamente jóvenes con diámetros entre 15 y 26 cm, sumado a los árboles que han sido plantados y que son más delgados, existe una mayor demanda de nutrientes. Según Alvarado y Raigosa (2012), casi no hay un reciclaje de nutrientes en el suelo hasta que se desarrolla la corona. También mencionan la competencia con malezas como factor de demanda de nutrientes y el desarrollo de las raíces no permiten competir contra estas, particularmente cuando hay una pobre presencia de micorrizas.

De acuerdo con Fileccia, Guadagni y Hovhera (2014) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la cantidad máxima total de cationes disponible para intercambiar con la solución del suelo que es capaz de soportar. Dependen del “tipo y cantidad de arcilla y del contenido de materia orgánica” (Chinchilla, Mata y Alvarado, 2011, p. 92). En los sitios de estudio se muestran resultados de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICe), la cual consiste en la suma de las bases intercambiables y la acidez (Chávez-Ávila, 2015). Este parámetro confirma que la fertilidad es baja en los sitios muestreados y la razón se puede explicar debido a las deficiencias en los cationes (Ca [$1.68 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$], Mg [$0.39 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$], K [$<0.14 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$]) a pesar de tener un pH en un rango entre lo óptimo y medio. Es decir, el problema de la fertilidad no es la acidez.

A pesar de no haber suelos andisoles, sí hay presencia de ceniza volcánica al igual que este orden (Alvarado y Raigosa, 2012), los cuales poseen generalmente una CICe entre 5 y $10 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ o incluso menores a $5 \text{ cmol}(+)\cdot\text{l}^{-1}$ y por ello también es frecuente que presenten bajos contenidos en calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Méndez y Bertsch, 2012), como lo es en este caso. Estos valores son considerados críticos por dichos autores (Anexo 4.2).

De acuerdo con Méndez y Bertsch (2012), a nivel nacional una de cada cuatro muestras de suelo presenta problemas de calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables y potasio (K), que muestran valores por debajo de los niveles críticos de estos elementos. Las deficiencias de bases intercambiables pueden estar asociadas con las texturas arenosas o franco-arenosas del suelo en regiones muy lluviosas, donde el lavado o lixiviado de los nutrientes del suelo ocurre fácilmente, sobre todo si hay erosión del suelo (Alvarado y Raigosa, 2012).

Se encontraron cinco tipos de texturas: franco, franco arenoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso y arcillo arenoso, las cuales pertenecen a las categorías mediana, moderadamente gruesa, moderadamente fina y fina, respectivamente según el Decreto Ejecutivo N° 41960 (12 de noviembre de 2019) (Cuadro 8). Los suelos francos de acuerdo con Andrades y Martínez (2014), poseen características como adecuada retención de agua y nutrientes, correcta aireación, permite la penetración de raíces y se trabaja con poca resistencia; lo cual lo vuelve un suelo fértil. Sin embargo, según lo comentado anteriormente, en estos lugares se contradice lo que afirma dicho autor, lo cual nuevamente puede estar relacionado con el grado de alteración de los suelos en áreas urbanas.

El río Tiribí es el único sitio donde se presentan suelos franco arcilloso (en el tercer bloque), con valores de arena, arcilla y limo relativamente equilibrados. Andrades y Martínez (2014) sostienen que, si el porcentaje de arcilla es mayor a 30%, el tipo de suelo es arcilloso. El afluente María Aguilar y

quebrada Perico tienen tanto francos como franco-arenosos. Por el contrario, en la quebrada Turú, tres de cuatro bloques son franco-arenosos. Quebrada Lajas fue el lugar que se diferenció de los demás, ya que en su mayoría tiene del tipo franco arcillo arenoso y arcillo arenoso (Figuras 21 a 25 y Cuadro 7).

Cuadro 6. Resumen de resultados de análisis de suelos en los cinco sitios analizados

OCA	Bloque	Textura	pH	MO	Sat. Acid.	Suma de bases	CICE	Densidad aparente (g/m ³)		
			UpH	%	cmol (+)/l	R1	R2	R3		
Perico	1	Franco	6.54	2.6	2.95	2.53	2.6	1.04	1.41	1.68
	2	Franco	6.61	3.1	2.74	2.73	2.8	1.37	1.19	1.36
	3	Franco Arenoso	6.55	3.2	4.07	2.12	2.2	1.3	1.36	1.42
	4	Franco Arenoso	6.94	4.5	4.4	1.94	2	1.47	1.17	1.53
Turú	1	Franco Arenoso	5.90	4.3	9.89	1.64	1.8	0.82	0.92	0.91
	2	Franco Arenoso	6.30	3.2	5.7	2	1.6	1.05	0.96	1
	3	Franco	5.80	2.9	4.21	2.05	2.1	1.11	1.1	1.11
	4	Franco Arenoso	5.82	3.7	5.61	1.85	2	1	1	1.05
María Aguilar	1	Franco Arenoso	6.30	2.4	1.72	2.28	2.3	0.95	0.85	0.81
	2	Franco Arenoso	6.80	2.5	3.04	2.23	2.3	0.93	0.89	0.9
	3	Franco	6.41	3.4	2.06	4.28	4.4	0.74	0.84	0.64
	4	Franco	6.65	4.9	2.12	4.15	4.2	1.2	0.96	0.95
Tiribí	1	Franco Arenoso	5.77	2.4	4.8	1.8	1.9	1.2	1.2	1.1
	2	Franco	6.64	1.9	2.9	3.7	3.8	1.2	1.1	1.1
	3	Franco Arcilloso	6.47	2.5	20	3.65	4.6	1.1	1.3	1.2
	4	Franco	5.48	3.6	7.24	2.82	3	1.2	1.3	1.4
Lajas	1	Franco arcillo arenoso	7.04	3.0	ND	4.45	4.45	1.1	1.2	1.2
	2	Arcillo arenoso	6.41	4.6	0.04	4.25	4.30	1.4	1.2	1.1
	3	Franco arcillo arenoso	6.22	2.0	0.04	3.70	3.74	1.3	1.0	1.2
	4	Franco arcillo arenoso	6.10	4.5	0.02	3.78	3.80	1.3	1.1	1.0

*ND: no determinado

El pH, basado en Molina y Meléndez (2002), presenta valores medios (5-6) para la quebrada Turú, y en dos bloques del río Tiribí; mientras que en quebrada Perico y el afluente María Aguilar tienen las condiciones óptimas (6-7) para el crecimiento de una planta y una correcta asimilación de la mayoría de los nutrientes. Quebrada Lajas tiene un valor de 7.04 en el primer bloque (suelo alcalino), al igual que un alto contenido de hierro (Fe), esto puede deberse a los niveles de contaminación que hay a lo largo del sitio, lo que hace que los metales pesados como el hierro (Fe) lleguen al suelo y al encontrarse un pH por encima de lo básico hay una mayor adsorción de estos, más que los suelos ácidos (Álvarez-Rodríguez y Fernández-Marcos, 2010). Sumándole la alcalinidad asociada a las texturas finas a moderadamente finas que al aumentar pueden dificultar la disponibilidad de nutrientes, así como la actividad biológica (Courel, 2019) (Apéndices 8.1 y 8.3).

Andrades y Martínez (2014) muestran un rango levemente más amplio, pero los parámetros concluyen en el mismo resultado. Añaden que cuando un suelo está entre 5.6 y 6.5 de pH, es decir, ácido, la

actividad microbiana es reducida y la asimilación del fósforo también, muestran problemas en el desarrollo radicular y son pobres en bases de cambio (Ca^{++} , Mg^{++} , K^{++}). Es decir, reforestar en la primera zona de Lajas necesita primero de un encalado para evitar problemas de adaptación de las plantas.

La materia orgánica (MO%) es dependiente del material vegetal, la textura y el pH del suelo. La deforestación o cambios en el uso de la tierra, se van a generar afectaciones en el contenido de esta (Alvarado y Raigosa, 2012). Solamente en Tiribí existe un bajo contenido ($<2\%$) y en los demás sitios el nivel es medio (2-5%); por lo que, según Fileccia, Guadagni y Hovhera (2014), se crean impactos positivos en la fertilidad del suelo y la productividad.

La densidad aparente (DA) describe la compactación del suelo y representa la relación entre sólido y el espacio poroso (Rojas, 2012; Alvarado y Raigosa, 2012). De acuerdo con Keller y Håkansson (2010), esta puede verse afectada por el contenido de partículas de textura en el suelo (arcilla, arena y limo). Alvarado y Raigosa (2012) afirman que con el cambio de uso de la tierra existen efectos importantes en los contenidos de materia orgánica y otras propiedades como la densidad aparente.

En quebrada Perico se detectó que algunas repeticiones presentan niveles de compactación, pues tienen valores mayores a $1.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Apéndice 8.4), esto puede deberse a residuos producto de la construcción de infraestructura como muros de gaviones o de contención (Apéndices 3.2 y 3.3). En el río Tiribí y la quebrada Lajas se observó un valor igual a $1.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Incluso, en un estudio realizado por Calderón-Medina, Bautista-Mantilla y Rojas-González (2018) se clasifican como alto una DA de 1.34 y $1.38 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$. Los promedios calculados determinaron que no hay problemas de compactación del suelo. Por lo anterior, se podría decir que los árboles a proponer no tendrán limitaciones en la penetración de sus raíces.

Con respecto a la conductividad eléctrica (CE), se indica que los suelos no son salinos, ya que poseen valores entre lo normal ($<4 \text{ Ds}\cdot\text{m}^{-1} = 4 \text{ Ms}\cdot\text{cm}^{-1}$), lo cual es positivo puesto que de lo contrario la vegetación se vería afectada en su desarrollo (Piedra y González, 2013; Richards, 1980 citado por Montes de Oca et al., 1996) (Apéndice 8.1). Esto significa que las especies a plantar en las áreas de protección crecerán sin problemas de salinidad.

En relación con las pendientes, quebrada Lajas y río Tiribí fueron los únicos con terrenos muy quebrados ($>40\%$), sin embargo, en este último sitio no se trabajó con un ancho de 50 metros de protección debido a las condiciones del entorno como la presencia de propiedades privadas, construcciones y escuelas que impedían el ingreso al sitio para toma de muestras. En Lajas la situación

fue distinta, pues en el lado donde se aumentó la distancia sí se podía ingresar y existían árboles que entran en los límites definidos metodológicamente ($dap \geq 15$ cm). Los tres sitios restantes registran porcentajes menores al 40% (Figuras 21 a 25).

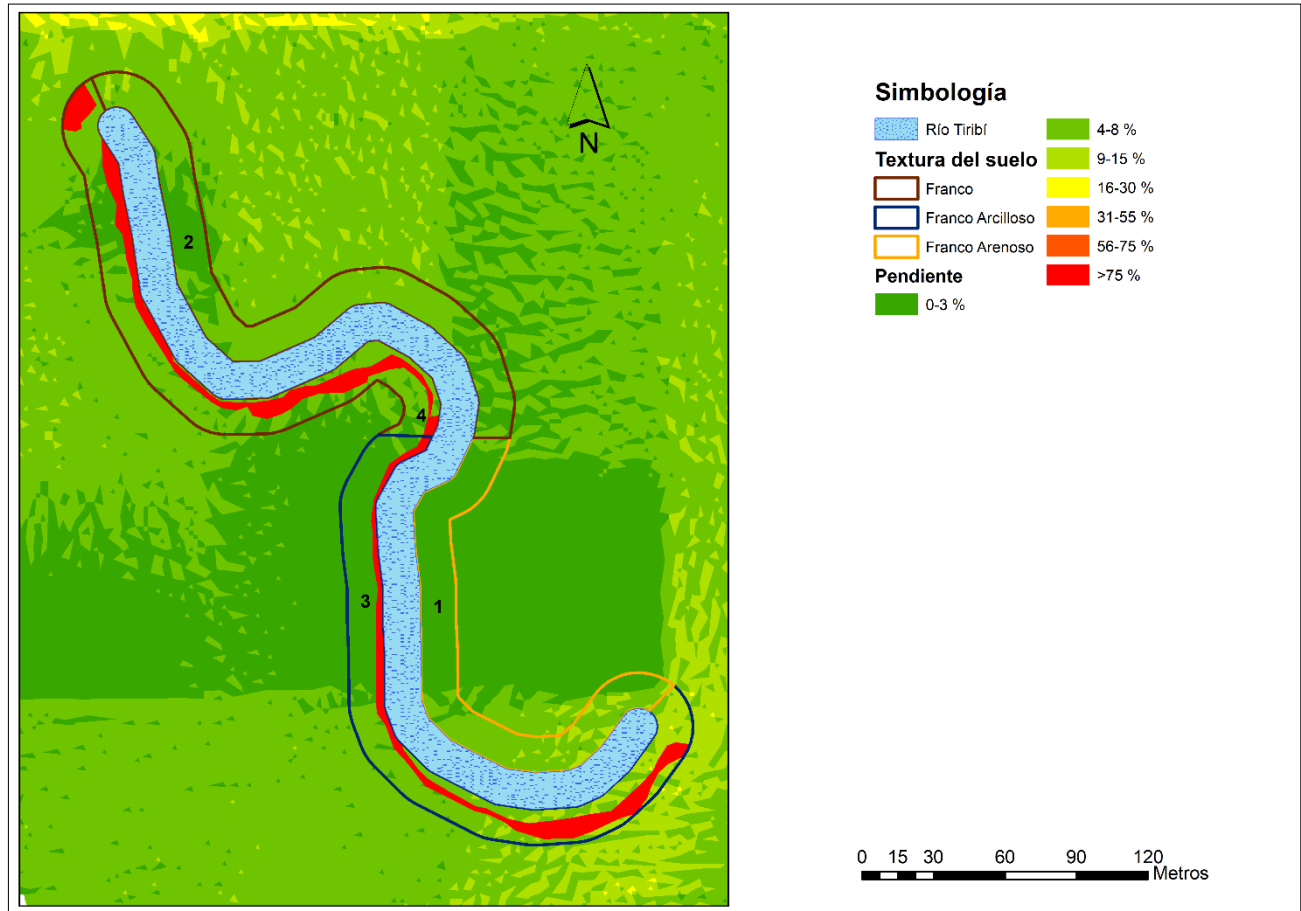


Figura 21. Croquis del porcentaje de pendiente y texturas del suelo en río Tiribí (La Unión, Cartago).

Fuente: generado a partir de la imagen satelital de Google Earth Pro



Figura 22. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Perico (Santa Ana, San José). Fuente: generado a partir de la imagen satelital de Google Earth Pro

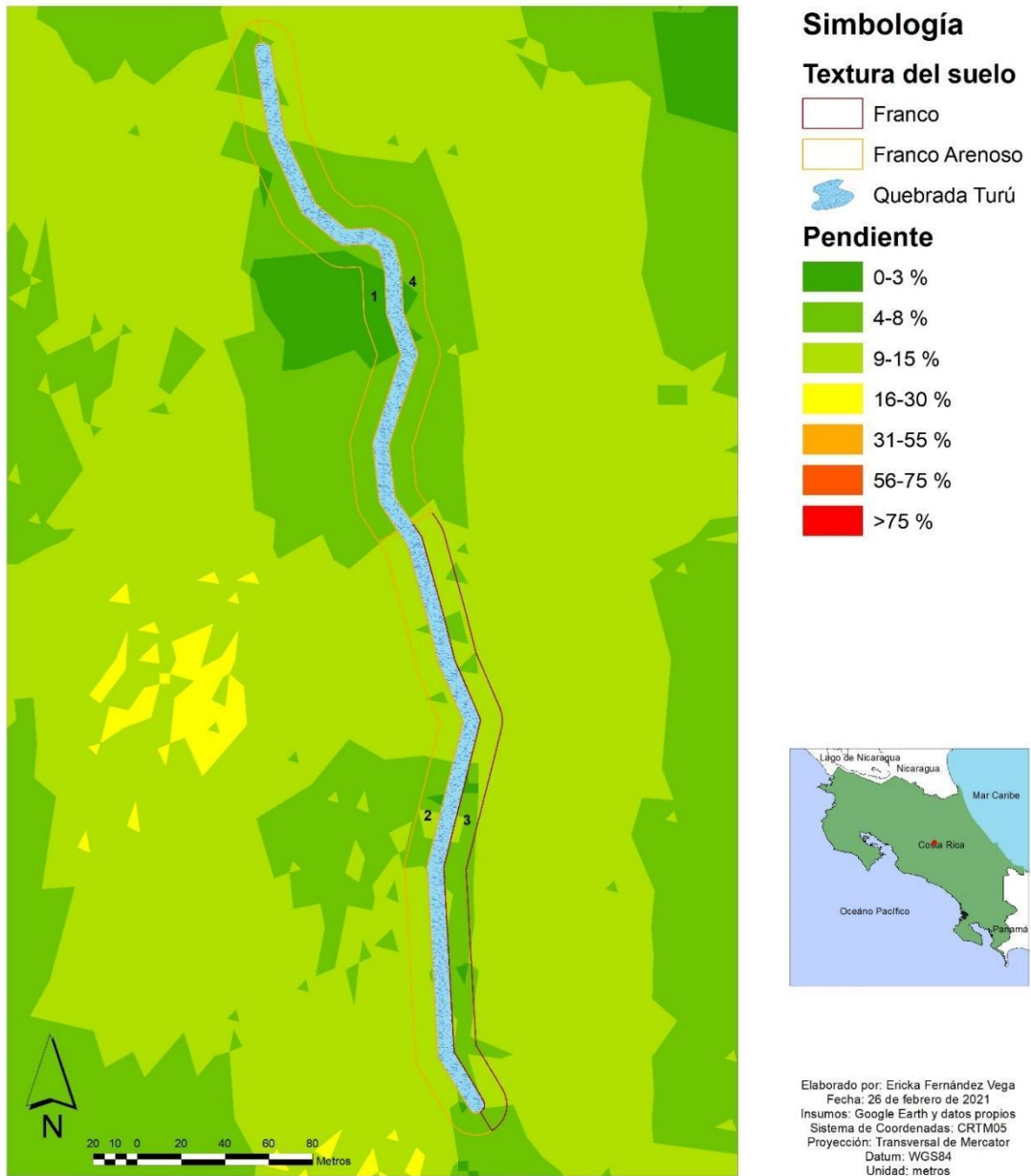


Figura 23. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Turú (San Isidro, Heredia). Fuente: generado a partir de la imagen satelital de Google Earth Pro

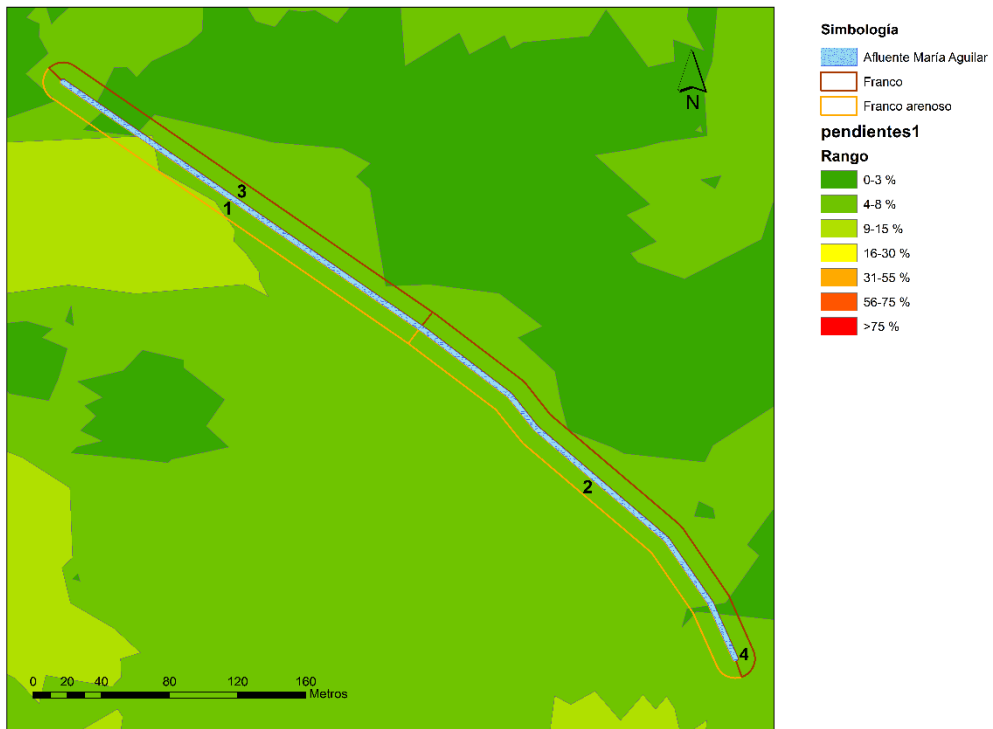


Figura 24. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en el afluyente María Aguilar (La Unión, Cartago). Fuente: generado

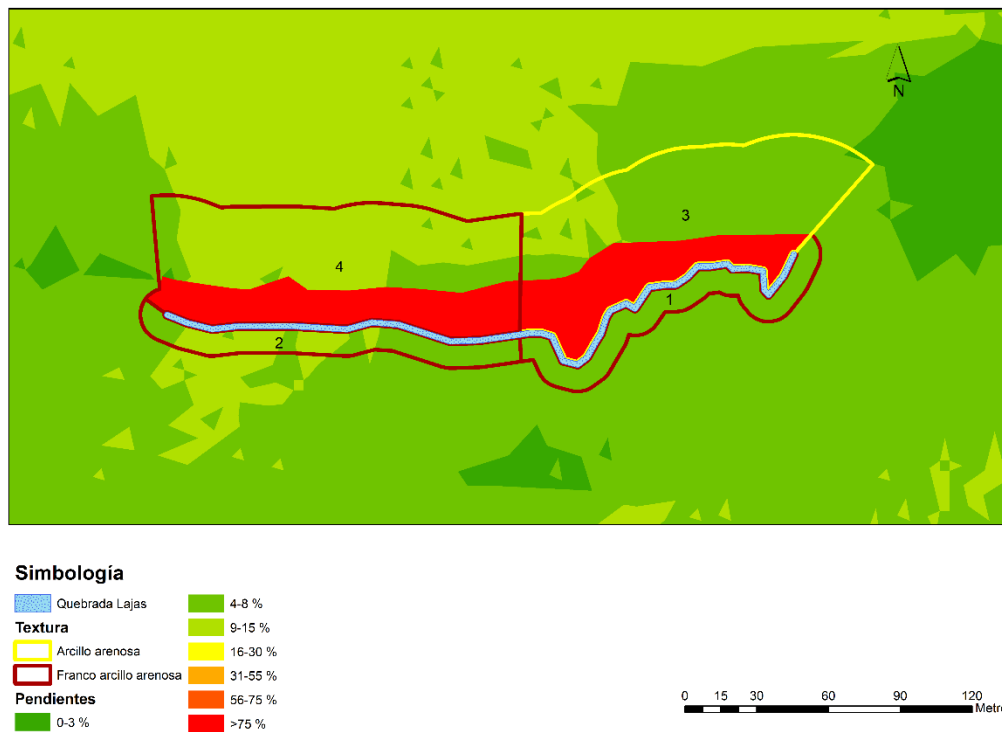


Figura 25. Croquis del porcentaje de pendiente y textura del suelo en quebrada Lajas (Santa Ana, San José). Fuente: generado a partir de la imagen satelital de Google Earth Pro

4.1.2 Aspectos sociales

Para conocer sobre aspectos socioambientales de las APRQ, se realizó una entrevista en línea a los encargados de los cinco OCA de este estudio (Lajas, Perico, Turú, Tiribí y el afluente María Aguilar). Además, se le solicitó a cinco más (La Quebradilla, Nuevo Pital, Pejibaye, Liberia y Cañas) que llenaran el formulario con el propósito de validar los datos, ya que, si bien estos OCA no están dentro del área de estudio, el conocimiento y experiencia de los participantes en calidad de expertos aporta elementos valiosos en relación con las problemáticas de las APRQ en espacios urbanos en general y la percepción de la rehabilitación de estas áreas.

El 90% de los OCA consultados opinan que sí existe una problemática ambiental dentro del río o quebrada. La principal situación es la contaminación por aguas residuales y/o desechos sólidos (60%); seguida del urbanismo sin planificación o invasión a áreas de protección (20%); y la ausencia de una gestión integrada del agua potable por parte del acueducto municipal (10%). El 10% restante no respondió.

Con respecto a los conflictos por tenencia de la tierra, el 30% indican que sí hay. Sin embargo, los sitios seleccionados en el estudio para el trabajo de campo no presentaron ningún problema y así lo indican en la respuesta.

La definición de “rehabilitación forestal” es conocida por el 50% de las personas que respondieron, un 30% menciona que tal vez, mientras que solo un 10% indican desconocerla y un 10% no contestó. Según lo que mencionan, coinciden hasta cierto punto con el concepto, pero lo principal que creen es que trata de plantar árboles principalmente nativos o autóctonos. Hubo un ejemplo que incluyó la parte de un estudio como tal para la toma de decisiones al momento de reforestar.

En lo que el 100% de los entrevistados concordó, es que una propuesta de rehabilitación forestal ayudaría con los objetivos de cada OCA en el marco de la protección del recurso hídrico. También que la comunidad aledaña al sitio estaría de acuerdo con las actividades a proponer, la razón es porque hay un compromiso ambiental por parte de ellos y están conscientes del beneficio mutuo que se puede obtener.

Por último, creen que es correcto que se realicen charlas informativas donde se presenten los resultados sobre el estado biofísico de los sitios. De manera implícita, este trabajo busca llegar a cada uno de los OCA y crear conciencia ambiental.

4.2 Priorización de los sitios a intervenir para la rehabilitación forestal

Dentro de los datos obtenidos se destaca que el 80% de los cinco sitios evaluados poseen una capacidad de uso de la tierra en condiciones de sobreuso, esto significa que no se cumple la Ley Forestal 7575, mientras que el 10 % restante está en uso conforme. Esto se explica principalmente porque al tratarse todos de un terreno de clase VIII, es definido en el artículo 1 del Decreto N°41960 (12 de noviembre de 2019) como las tierras que “no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agrícola, pecuaria o forestal.” Es decir, un área de protección de APRQ entra en esta categoría y aclaran que solo en caso de no ser Patrimonio Natural del Estado se puede hacer cambio de uso del suelo de agropecuario a otro tipo, por lo que no es permitido realizar actividades productivas ni intervenir talando árboles (Ley N°7575, art. 34, 13 de febrero de 1996).

En el criterio social se destaca que ningún sitio tiene problemas de tenencia de la tierra; son conscientes de la problemática ambiental dentro de las áreas de protección y las cercanías de vías de acceso al área de protección están sobre esta o a cinco metros máximo (Cuadro 7).

Los cinco sitios de estudio fueron definidos como prioridad para la rehabilitación forestal ya que presentaron valores superiores al 50%. El parámetro con mayor peso que influyó en este resultado fue el tipo de cobertura de la tierra con un 20% para todos, que como se mostró en los aspectos biofísicos, existen suelos desnudos, cultivos agrícolas, vegetación leñosa, entre otros.

El segundo aspecto que sobresale como prioridad es la pendiente, porque cuando se presentan pendientes superiores al 40%, los riesgos de erosión del suelo son mayores y traen consigo el deterioro del área de protección (Hincapié-Gómez y Ramírez-Ortíz, 2010). A esto se le suma la presencia de infraestructura que potencializa aún más la degradación del terreno. Además, esta variable es clave al momento de la selección de especies (Sánchez et al., 2015; Jiménez, 2018)

La cercanía a las vías es importante ya que al momento de una rehabilitación forestal se debe contar con acceso a los sitios. Afortunadamente, en todos los lugares censados están a menos de cinco metros del área de protección.

La entrevista a los expertos permitió conocer que los encargados de cada OCA están conscientes de la problemática ambiental existente, lo cual es clave para una mejor comunicación y accionar entre estos actores y la población involucrada. Además, al haber una ausencia de conflictos por tenencia de la tierra, las actividades a proponer tendrán mayor flexibilidad de ideas porque no se estarían involucrando asuntos legales de ese tipo, que por lo general tienden a ser muy complejos.

Cuadro 7. Valores de priorización para la propuesta de rehabilitación forestal

Criterio	Parámetro	Observatorio									
		Perico	Valor (%)	Tiribí	Valor (%)	María Aguilar	Valor (%)	Turú	Valor (%)	Lajas	Valor (%)
B I O F Í S I C O	Conflicto de uso de la tierra	Sobreuso	10	Sobreuso	10	Sobreuso	10	A capacidad	6.7	Sobre uso	10
	Cobertura/uso de la tierra	Suelo desnudo, agropecuario y forestal	20	Suelo desnudo, agropecuario y forestal	20	Suelo desnudo, agropecuario y forestal	20	Suelo desnudo, agropecuario y forestal	20	Suelo desnudo, agropecuario y forestal	20
	Pendiente	<40 %	6.7	>40 %	13.3	<40 %	6.7	<40 %	6.7	>40 %	13.3
S O C I A L	Infraestructura en el área de protección	Presencia	6.7	Presencia	6.7	Presencia	6.7	Presencia	6.7	Presencia	6.7
	Cercanía de vías de acceso al área de protección	Sobre el área de protección	5	A 5 metros del área de protección	3.3	Sobre el área de protección	5	Sobre el área de protección	5	A cinco metros del área de protección	3.3
	Conocimiento de los encargados de los OCA's de las unidades de intervención seleccionada sobre la problemática ambiental que sufre área de protección	Conocen	3.3	Conocen	3.3	Conocen	3.3	Conocen	3.3	Conocen	3.3
	Conflictos por tenencia de la tierra	Ausencia	3.3	Ausencia	3.3	Ausencia	3.3	Ausencia	3.3	Ausencia	3.3
TOTAL (%)			55.0		60.0		55.0		51.7		60.0

4.3 Propuesta de rehabilitación forestal en áreas de protección de ríos y quebradas (APRQ), en sitios de la Gran Área Metropolitana (GAM)

4.3.1 Introducción

La rehabilitación forestal es un proceso de restauración ecológica de corto, mediano y largo plazo que considera las características biofísicas y sociales del sitio y su entorno. En Costa Rica y particularmente en la GAM, existe la normativa de regulación y protección de los ríos y quebradas (Ley 7575 y sus reglamentos). Sin embargo, la rehabilitación es compleja debido a varios factores, desde las condiciones actuales de degradación del ecosistema, las problemáticas socioculturales y las dificultades de control del ordenamiento territorial. Toda acción de recuperar el ecosistema de las APRQ requiere, además de objetivos y un proceso en etapas, contar con un diagnóstico de la condición de cada sitio a rehabilitar. Por tal razón, la presente propuesta parte de una valoración de las condiciones forestales, edáficas y de uso de la tierra. Asimismo, es importante conocer para quién o quiénes se dirige la propuesta, ya que son los actores sociales los que la ejecutarán. En este caso, la propuesta va dirigida a la Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica, donde los OCA (ANRCC, 2020) están involucrados a través de diferentes organizaciones locales.

La propuesta de rehabilitación forestal se realiza para cinco sitios localizados en APRQ de la GAM donde intervienen los OCA. Cada sitio tiene sus particularidades, por tanto, no se trata de aportar un listado de especies a reforestar, sino de un proceso gradual considerando las condiciones y contexto del ecosistema actual, así como las recomendaciones de reforestación existentes en protocolos ya establecidos y de expertos entrevistados.

El diagnóstico de las condiciones actuales está basado en las características edáficas, aspectos ecológicos como zonas de vida, infraestructura o uso de la tierra e inventarios forestales de cada uno de los sitios estudiados; aspectos que han sido descritos con detalle en los apartados anteriores.

4.3.2 Factores incluidos en el proceso de rehabilitación forestal

4.3.2.1 Factor edáfico

El factor edáfico es ampliamente reconocido por el rol fundamental del suelo en el desarrollo de las plantas. Las características de los suelos son claves para el establecimiento de las especies arbóreas ya que, dependiendo de los requerimientos nutricionales de la especie, así se desarrollará. El análisis de suelos realizado permite conocer su estado nutricional, las deficiencias y exceso de elementos en

el suelo. Los aspectos como densidad aparente, textura, materia orgánica y fertilidad son importantes a la hora de establecer los objetivos y etapas de la rehabilitación forestal. Estas características edáficas están asociadas al tipo de suelo, a procesos naturales de formación del suelo y a los procesos antrópicos que han modificado sus condiciones naturales desde la deforestación al desarrollo de áreas urbanas.

La densidad aparente del suelo describe la compactación de este y representa la relación entre sólido y el espacio poroso (Rojas, 2012; Alvarado y Raigosa, 2012). De acuerdo con Alvarado y Raigosa (2012), en áreas sin cobertura vegetal con el tiempo la densidad aparente aumenta y la velocidad de infiltración se reduce afectando la producción de sedimentos in situ. Los procesos de erosión son un factor de formación del relieve y de los suelos, sin embargo, la tasa de erosión anual media o alta debido a factores antrópicos constituyen un problema de pérdida de suelo en el sitio (y fuera de este). El suelo en las APRQ, al ser terrenos que bordean un curso de agua, se enfrenta a la erosión hídrica de forma natural (FAO, 2017). La erosión genera desgaste en el lecho del río y en sus riberas, acumulando sedimentos que aumentan los problemas de contaminación fluvial (Roslan, et al., 2013). No obstante, al igual que en el caso de los sitios de estudio, las alteraciones antropogénicas como la deforestación y el cambio de uso de la tierra han cubierto el suelo o lo han expuesto a procesos de erosión y compactación.

En el caso de la textura, esta es importante por varias razones, pero sobre todo para la fertilidad del suelo. Los suelos con un porcentaje de más del 50% de arena se clasifican como suelos de textura gruesa, lo que significa que poseen baja capacidad de retención de agua y nutrientes; principalmente se puede llegar a perder mucho nitrógeno (INTAGRI, 2017), generando un bajo desarrollo de las plantas. Con base en lo anterior, es importante tomar en cuenta que para la zona con suelos franco-arenosos se va a requerir aplicación de materia orgánica y una fertilización alta en nitrógeno. Los demás sitios poseen suelos de textura media, según la clasificación de INTAGRI (2017), ya que presentan porcentajes menores a 35% de arcilla y 50% de arena; lo que significa que tienen una alta capacidad productiva y no se presentan problemas de lavado de nutrientes ni retención hídrica; por el contrario, se tiene disponibilidad de ambos. Para las áreas con este tipo de suelos se requiere una nutrición base con abono proveniente de compost o el N-P-K.

Ahora bien, en términos de macronutrientes, todos los sitios presentan deficiencias de calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P), así como un exceso de cobre (Cu). Las deficiencias de bases intercambiables pueden estar asociadas a las texturas arenosas o franco-arenosas del suelo en regiones

muy lluviosas, donde el lavado o lixiviado de los nutrientes del suelo ocurre fácilmente, sobre todo si hay erosión del suelo (Alvarado y Raigosa, 2012).

Como se mencionó en los resultados del trabajo de campo, la materia orgánica (MO) depende de diferentes componentes, como lo son el material vegetal, textura y pH; esta proporción debe ser balanceada, ya que los microorganismos encargados de la descomposición del material vegetal dependen de esto, y son considerados por Alvarado y Raigosa (2012) importantes para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas. De todos los 5 sitios estudiados, solo el Tiribí presentó un bajo contenido de MO (<2%), mientras que los otros presentaron niveles medios (2-5%).

Las pendientes quebradas solo se presentaron en quebrada Lajas y río Tiribí (>40%), donde este último no se consideró para aumentar el margen de protección a 50 metros, ya que las condiciones del entorno no eran favorables, como, por ejemplo, propiedades privadas, construcciones como escuelas que limitan proceso de rehabilitación (Figuras 20 a 24).

4.3.2.2 Condiciones forestales actuales

El conocer de las existencias actuales de especies forestales en el sitio de estudio brinda un panorama más claro de lo que se ha adaptado o que crece bien en un ecosistema ripario en áreas urbanas. De esta manera, cuando se busca la rehabilitación forestal se utiliza como guía para una correcta selección de especies forestales que incrementen la diversidad y abundancia.

Respecto a las condiciones forestales actuales, las especies que se encontraron durante el inventario forestal fueron en su mayoría especies heliófitas (necesitan luz para crecer). Ahora bien, para rehabilitar un sitio no se deben tener plantas de un solo grupo ecológico, por lo tanto, en este caso es necesario combinar con esciófitas (toleran la sombra en sus primeras etapas de vida) y colocarlas en las zonas donde ya existe cierta cobertura forestal que no permite el paso de la luz.

Además del inventario en campo y las encuestas realizadas a expertos, la existencia de protocolos locales de reforestación en condiciones similares al del estudio son de gran importancia en la propuesta. En este sentido, se utilizó el “Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la GAM” junto a su guía técnica para la aplicación de este, la cual contiene a las APRQ y los cuerpos de agua de dominio público como dos de los escenarios de protección (Sánchez et al., 2015; Sánchez et al., 2019). Dicha guía contiene tres condiciones de terreno para la reforestación: terreno aterrado suelto, terreno invadido por malezas, de hojas angostas y gramíneas de crecimiento rápido y terreno con tacotal urbano. Los terrenos aterrados y sueltos se

encontraron en el río Tiribí y la quebrada Lajas; los invadidos por malezas (considerada especie invasora en el presente estudio) se observaron principalmente en el río Tiribí y el afluente María Aguilar; y el tacotal urbano está en todos los sitios analizados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Condiciones de los sitios de estudio según la guía de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento de las APRQ.

Condición	Perico	Tiribí	María Aguilar	Turú	Lajas
1. Terreno aterrado suelto		X			X
2. Terreno invadido por pastos o hierbas de hojas angostas y gramíneas de crecimiento rápido*		X	X		
3. Terreno con tacotal urbano	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia con datos de Feoli, Sánchez, Scorza, Valle y Artavia (2019). Nota * El término de maleza fue sustituido por hierbas o pastos

Dentro de las especies propuestas para la rehabilitación forestal se incluyeron las dinamogénicas (por ejemplo, *Acnistus arborescens* y *Bursera simaruba*), es decir aquellas nativas dominantes que constituyen la mayoría de la vegetación de un sitio, tienen más cobertura y que generan cambios que promueven una sucesión (Romero-Mejía, 2005; Matos, 2006 citado por Salmerón-López, 2018). Son importantes porque propician cambios dirigidos a la regeneración de un sitio (Salamanca y Camargo, 2000). Estas especies deben poseer ciertas características que hacen que el proceso de rehabilitación sea exitoso; dentro de las que mencionan Rondón y Vidal (2005, citado en Sanchún, et al., 2016, p.43-44), se encuentran las siguientes:

- Follaje grande y fuerte.
- Propagación sencilla y rápida.
- Sistema radicular profundo.
- Rápido crecimiento.
- Resistencia contra la sedimentación.
- Preferiblemente especies autóctonas.
- Especies rústicas (pioneras, invasoras), poco exigentes de la calidad de sitio.

- Que requieran mínimas labores de mantenimiento, como riego, aplicación de fertilizantes, limpieza, podas, etc.
- Resistencia a las plagas y enfermedades.
- Resistencia al fuego y recuperación rápida después de los incendios (capacidad de rebrotes).
- Que sean poco palatables (apetecidas por el ganado).
- En aquellos casos que sean para utilizar en las zonas de amortiguamiento deben ofrecer alguna utilidad a las comunidades locales.

En total se recomendaron 104 especies para la rehabilitación, de las cuales un 38.46% forman parte de las 177 especies que se enlistan en el protocolo de reforestación del GAM ([Apéndice 9](#)). Dentro de las especies más destacadas en las recomendaciones, el censo y la investigación teórica se encuentran *Zygia longifolia* (sotacaballo), la cual posee altos beneficios para el ecosistema ripario, tales como alimento para mamíferos, protección de cuerpos de agua, soporte del suelo, restauración y rehabilitación forestal, entre otras (Jiménez-Zúñiga, 2018).

Además de considerar las especies que crecen en los alrededores de las APRQ, también es importante tomar en cuenta, cuáles especies tienen el índice de valor de importancia (I.V.I.) más alto. El I.V.I. “es un indicador de la importancia fitosociológica de una especie, dentro de una comunidad” (Lozada, 2010, p.79), y se calculó con la siguiente fórmula, expresada por el autor citado:

$$I.V.I. = A_r + D_r + F_r$$

Donde:

A_r = Abundancia relativa

D_r = Dominancia relativa

F_r = Frecuencia relativa

A continuación, se presenta la propuesta de rehabilitación forestal para cada uno de los sitios, la cual está diseñada en etapas.

4.3.3 Quebrada Perico

4.3.3.1 Descripción del sitio

La quebrada Perico se encuentra localizada en el distrito Santa Ana, del cantón Santa Ana en la provincia de San José, y el área de estudio está a monitoreado por el OCA de Cooperativa Las Cabañas RL. A continuación, se describen los aspectos principales del censo forestal realizado, los usos de la tierra encontrados y las condiciones edafológicas elementales del sitio.

En términos de su vegetación forestal, en este sitio se censaron un total de 232 árboles de 15 centímetros de diámetro o más, pertenecientes a 68 especies, en su mayoría con diámetros entre 15 y 35.99 cm (74%) y un área basal de 27.371 m², distribuidos finalmente en 11200 m² (1.12 ha) de terreno.

Los usos de la tierra encontrados dentro de los 10 metros de área de protección de la quebrada son: vegetación leñosa (58%), infraestructura (25.1%), pastos o sin vegetación (14.3%), tacotal (1.6%) y cultivo de frutales (1%). Los espacios construidos con infraestructura (calles, casas y muros de contención) representan el 25% del área y no son viables para la rehabilitación forestal, a no ser que se cambie el uso del suelo ya que, al estar cubiertos de materiales como pavimento, cementación y techos, no hay un espacio apropiado para el crecimiento de especies arbóreas o arbustivas (Figura 26). No obstante, las casas que están dentro de los límites de la Cooperativa Las Cabañas tienen a su alrededor zonas verdes como jardines, o pastos o áreas sin vegetación, lo cual significa que son áreas potenciales para incluir en esta primera etapa.



Figura 26. Áreas construidas en los límites y dentro del área de protección de la quebrada Perico, Santa Ana, San José. Fuente: Elaboración propia

Los espacios construidos dentro del APRQ representan conflictos de uso de la tierra al ser un uso no conforme al que establece la Ley Forestal 7575, y su solución es responsabilidad de los propietarios y las autoridades. Además, la cementación de los suelos ocasiona problemas de impermeabilización, lo cual aumenta la escorrentía superficial del agua de lluvia y por ende una menor infiltración en el suelo (FAO, 2017), lo que produce efectos negativos dentro y fuera del sitio.

Con respecto a las características del suelo, el sitio exhibe unas condiciones medias en términos de materia orgánica, densidad aparente, textura y relieve. Los contenidos de materia orgánica (MOS) en promedio alcanzan 3.35%, clasificado como un valor medio. La densidad aparente presenta valores mayores a $1.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que significa que aún no hay problemas serios de compactación. Sin embargo, cuando el suelo está expuesto, conforme pase el tiempo la densidad aparente tiende a aumentar y se reducirá la capacidad de infiltración (Alvarado y Raigosa, 2012).

Las texturas de suelo van de franco (al lado este del sitio) a franco arenoso (al oeste). Los suelos francos encontrados tienen 44% y 46% de arena, 23% de arcilla y de limo 31% y 33%, es decir, la capacidad de retención de nutrientes es media si se compara con suelos de texturas francos arenosos cuyo porcentaje de arena es del 56%, 13 y 15% de arcilla y 31 y 29% de limo, donde su capacidad de retención de nutrientes es baja (INTAGRI, 2017). En lo que concierne al pH, este se encuentra dentro del rango óptimo (6.67). No siendo así para las bases intercambiables como la relación $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{K}$ con un promedio de 5.03, cuando lo óptimo es entre 10 y 40. (Molina y Meléndez, 2002).

Por otra parte, las condiciones del terreno son relativamente planas (4%-8%), por lo que el acceso para una reforestación no es un problema. Por esa razón, es importante darles el máximo aprovechamiento a las áreas potenciales para rehabilitar en esta primera etapa. Las características anteriores del sitio permiten que el 75% del área sea apto para el proceso de rehabilitación.

A continuación, se presentan las etapas del proceso de rehabilitación recomendado para la quebrada Perico:

4.3.3.2 Primera etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (0 a 5 años)

En la primera etapa del proceso de rehabilitación forestal se busca llegar a mejorar las condiciones del suelo, de manera tal que se disminuya el lavado y erosión de nutrimentos, volviéndolos disponibles para las plantas. (Alvarado y Raigosa, 2012)

Para el caso de quebrada Perico, dentro de las residencias de la propiedad de Cooperativa Las Cabañas se propone trabajar con la población residente. Con la finalidad de que aumenten la cobertura arbórea

en sus áreas verdes con especies ya sean de porte bajo, arbustos, hierbas, con floración atractiva para la fauna, y/o árboles frutales para un doble beneficio.

Dentro de los arbustos considerados para estas áreas está el *Acnistus arborescens* (güítite) y *Hamelia patens* (coralillo), los cuales poseen requerimientos altos de luz solar para su desarrollo y bajos de humedad y son recomendados por varios autores (Morales et al. 2012; Calderón, 2022) para zonas urbanas por su función en la protección de suelos, atracción de fauna y producción de flores atractivas.

También está la especie *Chamaedorea costaricana* (pacaya), una palma de hasta tres metros de altura, recomendada por Morales et al. (2012) para el Valle Central. Ya que tiene la capacidad de proteger suelos, una tolerancia a la sombra alta y es atractiva para decorar zonas verdes como las de los jardines de las casas.

De acuerdo con Alvarado y Raigosa (2012), la capacidad de un árbol o ecosistema de producir biomasa con pocos nutrientes es una característica importante para considerar al momento de elegir especies para suelos degradados y deficientes en nutrimentos. Con la información del censo forestal realizado en la quebrada Perico, se pueden seleccionar especies nativas que tengan características beneficiosas para el ecosistema ribereño y que se lograrán adaptar y desarrollar en estos suelos.

Especies para rehabilitación forestal

Las siguientes especies de árboles se pueden plantar en esta primera etapa de rehabilitación forestal ya que se encuentran en cantidades reducidas y, al ver su capacidad de adaptación a estas condiciones edáficas, se puede asegurar un mayor éxito en su desarrollo. Además de sus características positivas que benefician el medio ecosistémico.

De la especie *Byrsonima crassifolia* (nance) se registraron solamente dos individuos, con un diámetro promedio de 18 centímetros. Este árbol de hasta 12 metros de altura es recomendado por los expertos, Morales et al. (2012) y encuestados para el Valle Central por sus funciones de protección de suelos y atracción de fauna, pues sus frutos son carnosos, consumidos tanto por los humanos como por mamíferos y aves. Además, tiene una floración amarillo-anaranjadas vistosas, es heliófita y presenta un crecimiento rápido (Barrance et al., 2003).

En la misma cantidad que *B. crassifolia*, se encontró *Tecoma stans* (candelillo, carboncillo, vainillo). Esta especie, que puede alcanzar hasta seis metros de altura, también es recomendada por Morales et al. (2012) porque ayuda en la protección de los suelos, atrae fauna y presenta floración casi todo el

año y con un color amarillo atractivo para los jardines o senderos de la cooperativa. También, estos autores afirman que los requerimientos lumínicos son medios y en humedad son bajos.

Por otro lado, considerando el I.V.I. obtenido de cada especie censada de la quebrada Perico se mostró a *Mangifera indica* (mango) como la especie con mayor índice de valor de importancia (I.V.I.) con 81 %, seguido de *Enterolobium cyclocarpum* (guanacaste) con un 17%, muy por debajo del “mango” (Cuadro 9). *Tabebuia rosea*, a pesar de tener solo siete individuos, se encuentra en tercer lugar (16%), y es recomendada por sus funciones de protección de suelos, atracción de fauna y una floración muy bonita de un color que va desde blanco hasta rosado intenso con requerimientos de luz medios y en humedad altos (Morales, et al., 2012), por lo cual es importante aumentar su abundancia.

Cuadro 9. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de quebrada Perico, Santa Ana, San José.

Especie	I.V.I.
<i>Mangifera indica</i>	80.98
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	17.23
<i>Tabebuia rosea</i>	16.23
<i>Spondias purpurea</i>	12.85
<i>Anacardium excelsum</i>	10.16

La *M. indica* es una especie exótica naturalizada, ya que se ha adaptado y convertido en nicho ecológico de especies de animales como fuente de alimento, hogar y sombra. Así como los aportes de materia orgánica al suelo por sus hojas, frutos o semillas que caen y se degradan. Sin embargo, en este sitio la dominancia relativa de esta especie es muy alta (16%), por lo que se recomienda durante esta primera etapa una sustitución gradual de algunos de estos individuos por especies nativas, de tal forma que exista un equilibrio en el I.V.I. de las especies.

Las zonas donde están más agrupados los individuos de *M. indica* son la norte y la sur del transecto de 500 metros censado (Figura 27), y por tanto donde se propone la sustitución gradual de algunos de estos individuos por especies nativas. Cabe agregar que este proceso requiere de un permiso de corta otorgado por el SINAC a través de un (a) regente forestal por tratarse de un APRQ en donde, acorde con la Ley N° 7575 (1996) artículo 34, está prohibida la tala de árboles a menos que sean proyectos declarados por el Poder Ejecutivo como de conveniencia nacional o riesgo humano. Al tratarse de un asunto de mejoramiento del ecosistema ripario, se puede justificar con bases científicas la necesidad de intervenir.

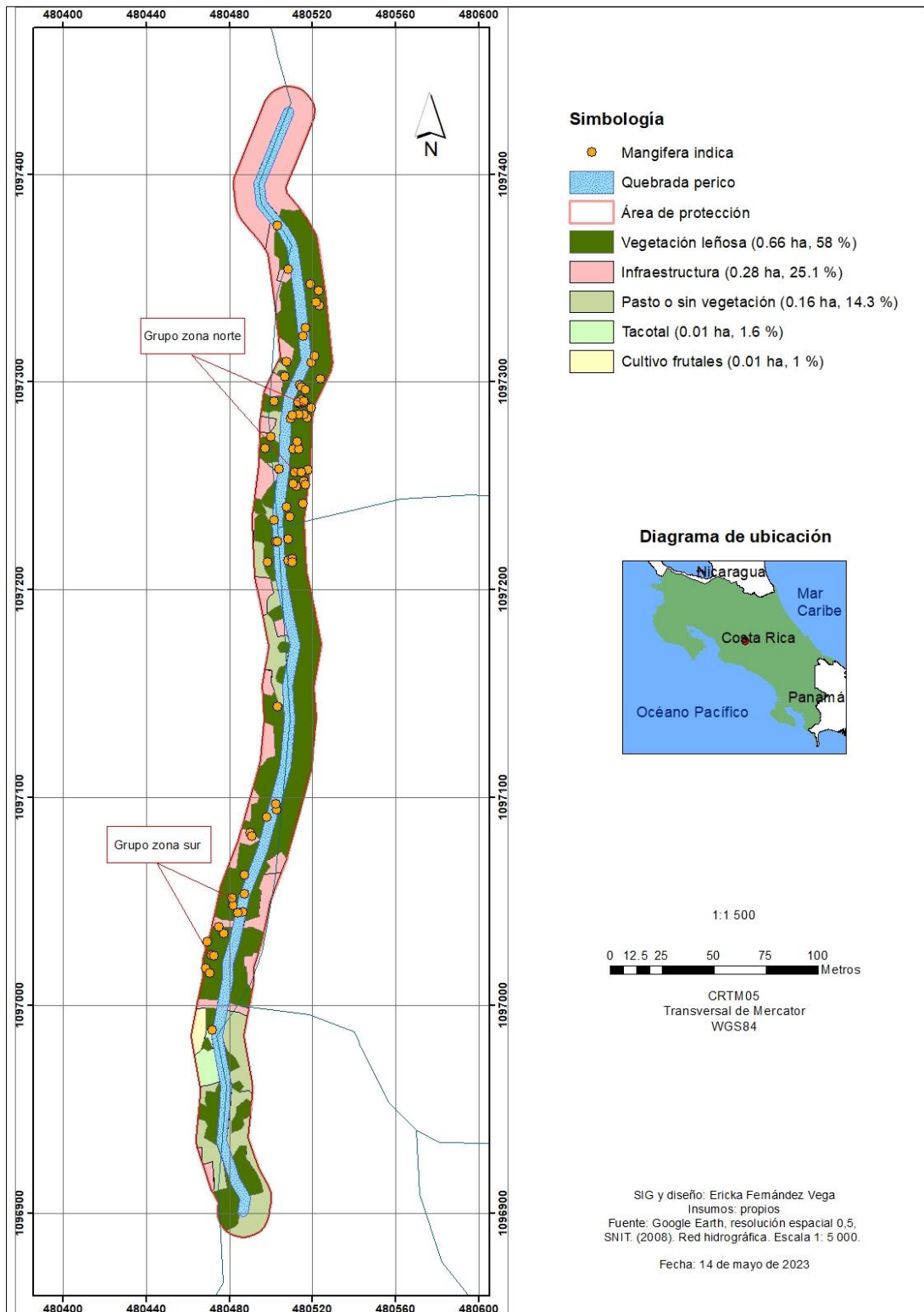


Figura 27. Distribución de *Mangifera indica* en quebrada Perico (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

En el sector sur del área muestreada se identificó un terreno con tacional urbano (Figura 18), el cual se desconoce a quien pertenece. Para esa área en específico se debe demarcar y dar mantenimiento silvicultural a los árboles que ya estén creciendo y que tengan un metro o más de altura (Sánchez, et al., 2015), procedimiento que se explica más adelante. Así como realizar un enriquecimiento con otras especies como las recomendadas anteriormente.

El área para reforestar en esta primera etapa es de 0.17 ha, lo que equivale a un 15.6 % del área total, más la sustitución de algunos árboles de *M. indica*, lo que deja un 26.1 % sin poder rehabilitar (cultivo de frutales e infraestructura).

4.3.3.3 Segunda etapa de rehabilitación forestal: mediano plazo (6 a 10 años)

En esta segunda etapa se pretende generar un enriquecimiento de especies dentro del cultivo de frutales (100 m²) (Figura 28). La finalidad es aumentar la diversidad de especies con árboles de mayor tamaño que lleguen a generar diferentes doseles en el futuro. Actualmente lo que existe en este 1% son cítricos, por lo que su altura máxima es de tres metros.



Figura 28. Zona de árboles frutales dentro de los márgenes del área de protección de quebrada Perico, Santa Ana, San José. Fuente: Elaboración propia

Dentro de las especies que se pueden incluir está *Plumeria rubra* (cacalojoche, flor blanca, frangipani), recomendada para el Valle Central para procesos de rehabilitación (Sánchez et al., 2015; Morales et al., 2012). Morales et al. (2012) menciona que va desde 2 a 15 metros de altura y dentro

de sus beneficios está la protección de suelos. Además, tiene una tolerancia media de sombra, por lo que se puede introducir en este sitio donde ya existe vegetación.

También *Tabernaemontana litoralis* (huevos de caballo, guijarro) es recomendada para el Valle Central. Tiene una altura que va desde los 3 a 10 metros, posee una tolerancia media a la sombra, brinda protección al suelo y atrae fauna pues tiene unos frutos verde anaranjado carnosos (Morales et al., 2012)

Por otra parte, el tacotal urbano al que se le dio mantenimiento en la primera etapa se puede enriquecer al igual que el cultivo de frutales con las especies mencionadas anteriormente. Ya que, como se dijo, tienen un grado de tolerancia a la sombra y podrán desarrollarse correctamente.

Una vez que los doseles comiencen a cerrar, se iniciará una redistribución interna de nutrimentos dentro de los individuos, es decir, la velocidad de acumulación de nutrimentos en la biomasa va a decrecer (Alvarado y Raigosa, 2012).

4.3.3.4 Tercera etapa de rehabilitación forestal: largo plazo (11 a 15 años)

En la tercera etapa de rehabilitación forestal, se pretende recuperar aquellas áreas que están construidas (25.1 %, 0.28 ha), es decir, en las que no hay acceso para plantar árboles. Dado esto, se debe hacer un cambio de uso del suelo, al uso que debe existir, el de bosque.

Para lograr este objetivo, se debe acudir a los entes competentes como la municipalidad, el Ministerio de Salud y la ANRCC como institución a cargo del diagnóstico realizado. Incluso, se pueden tomar en cuenta el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) y el Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), debido a que se requerirá la reubicación de las familias que se encuentran invadiendo el área de protección de la quebrada Perico.

4.3.4 Río Tiribí

4.3.4.1 Descripción del sitio

El área de estudio del río Tiribí se localiza en el distrito San Diego del cantón La Unión en la provincia de Cartago, y está a cargo del OCA de La Asociación Movimiento Tiribí Limpio. En este sitio se censaron un total de 68 árboles, pertenecientes a 25 especies con diámetros principalmente de 15 a 35.99 (70.6%) y un área basal de 6.205 m², distribuidos finalmente en 16100 m² (1.61 ha) de terreno.

Las cinco especies con mayor I.V.I. son *Erythrina poeppigiana* (54.6%), *Spondias purpurea* (36.8%), *Cecropia obtusifolia* (20.99%), *Lonchocarpus salvadorensis* (19.85%) y *Erythrina sp.* (19.85 %) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de río Tiribí, La Unión, Cartago

Especie	I.V.I.
<i>Erythrina poeppigiana</i>	54.60
<i>Spondias purpurea</i>	36.80
<i>Cecropia obtusifolia</i>	20.99
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	19.85
<i>Erythrina sp.</i>	16.65

Los usos de la tierra encontrados dentro de los 10 metros de área de protección de la quebrada son: vegetación leñosa (38.6%), *Pennisetum purpureum* o “pasto elefante” (35.8%), pastos o sin vegetación (11.1%), cultivo de café (10.6%), bambuzal (2.74%) e infraestructura (1.17%). Las plantaciones de café, muy cerca al cauce, están desarrolladas como monocultivo a ambos lados del río. De acuerdo con FAO (2000), el monocultivo es común debido a su facilidad para sembrar y cosechar, sin embargo, presentan problemas de malezas y ataques de plagas.

El área de protección del río Tiribí, además de la variedad de usos de suelos en su franja riparia, también posee múltiples propietarios (Figura 29), así como los posibles cambios a su cauce debido a los movimientos de tierra que se están haciendo río abajo dentro del Proyecto Abraham; incluyendo unos apartamentos residenciales para las madres solteras de bajos recursos. Esto lo hace un sitio de trabajo complejo, pues no todas las zonas se podrán intervenir de la misma forma.



Figura 29. Capa de mapa catastral oficial de los distritos de zona catastrada: Zona 1, alrededor del área de protección de río Tiribí (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT (2020).

La textura de los suelos va de franco, con una relación arena-arcilla-limo (42.5%-23%-34.5%) a franco arenosos (74.3%-1.3%-24.4%). Esta área tiene una cantidad muy baja de arcilla debido a que algunas de las muestras tomadas fueron dentro del espacio de influencia directa del río y había mucha presencia de arena. También hay texturas franco arcillosos (34%-30.8%-35.3%) en la parte donde se ubica la zona residencial, al lado sur del río, y tiene una distribución porcentual muy similar entre los tres componentes, característica que es ventajosa para el desarrollo de las especies. En la parte del bambusal se encuentran los mismos suelos que al norte (francos) pero con una relación arena-arcilla-limo de 48.5%-20.9%-30.6%, donde la arena tiene el mayor porcentaje, pero por tratarse de áreas cercanas e incluso dentro de los márgenes de los ríos es normal.

Los contenidos de materia orgánica en el suelo fueron bajos y medios (1.9% a 3.6%), mientras que la densidad aparente arrojó promedios menores a $1.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, valor que indica que hay bajos niveles de compactación y los árboles plantados no tendrán problemas para penetrar sus raíces en búsqueda de agua y nutrimentos.

Por otra parte, las condiciones del terreno son relativamente planas (0 a 15%), a excepción del lado oeste donde existe un corte de tierra a lo largo del margen del río con una pendiente superior al 75%. El acceso al área de protección se puede hacer por el lado este en la escuela local (con la debida

autorización de la dirección del centro educativo), y para la parte oeste, se ingresaría por el área sureste, a través de una propiedad privada, con el debido permiso de los propietarios. Se recomiendan específicamente esas zonas de ingreso dado que previamente, para el trabajo de campo, se utilizaron las mismas gracias a la autorización de las personas a cargo.

Es importante resaltar que la franja de protección no se amplió a 50 metros en las áreas con pendiente mayor a 75% por las condiciones del entorno, como presencia de construcciones y propiedades privadas sin acceso; pero las áreas disponibles tienen potencial de rehabilitación en esta primera etapa.

Cabe destacar que, a lo largo de los márgenes del río, se observaron desechos sólidos como televisores, ropa, y otros tipos de basura (Figura 30); situación que dentro de la primera etapa se debe considerar antes de iniciar con la reforestación.



Figura 30. Residuos sólidos encontrados en los márgenes del río Tiribí, La Unión, Cartago. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las etapas del proceso de rehabilitación recomendado para el río Tiribí:

4.3.4.2 Primera etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (0 a 5 años)

Para iniciar la primera etapa de rehabilitación forestal en este sitio es necesaria la eliminación de residuos sólidos debido a que esto incide en la calidad del suelo, el agua y el entorno paisajístico, además de ser un obstáculo para la reforestación. Por consiguiente, coordinar campañas de limpieza del río y sus alrededores, prácticas de reciclaje y talleres de educación ambiental son estrategias de cuidado ambiental que se requieren para su mejora.

Para lograrlo, es importante involucrar a la comunidad y en especial a la institución educativa que colinda con esta área de protección, a través de campañas educativas que fomenten y concienticen

sobre el cuidado de los recursos naturales. Una de las formas sería brindando mayores espacios de participación dentro del OCA a cargo para actividades de limpieza. También, en el mismo proceso de rehabilitación forestal donde se explique la importancia y funcionalidad de esta actividad. Lo anterior incluye a los niños de la escuela aledaña, pues son quienes cuidarán en un futuro del medio ambiente.

Las áreas potenciales para la rehabilitación forestal en el río Tiribí en esta primera etapa están cubiertas por *P. purpureum*, y las áreas con pastos o sin vegetación suman juntos un 47 % de cobertura. El pasto elefante, *P. purpureum* es una especie que pertenece al grupo de las gramíneas perennes y se origina de África tropical y húmeda que ahora está naturalizada en América tropical y subtropical (2000); esto incluye a Costa Rica, pues se introdujo con el objetivo de producir forraje para ganado (Calvo-Villalobos, 2021).

Concordando con lo mencionado por Calvo-Villalobos (2021), la rehabilitación de un ecosistema va más allá de solo plantar especies forestales, pues también se deben eliminar las especies que se vuelven invasoras y afectan el equilibrio del ecosistema. En este caso, el zacate elefante es esa planta que se debe erradicar, pues dicho autor explica que en el Valle Central es donde se han formado poblaciones más densas y presentan mayores problemas ecológicos. Existe un protocolo de manejo de zacate elefante realizado por dicho autor que guía para controlar esta especie principalmente en zonas urbanas, por lo que es muy importante considerarla para esta primera etapa de la rehabilitación forestal.

La distribución de *P. purpureum* se localiza a lo largo de ambos márgenes del río ([Figura 31](#)). Este tipo de gramíneas compiten fuertemente por nutrientes (Alvarado y Raigosa, 2012), limitando la disponibilidad para los árboles presentes y los que se busca reforestar. Por tal razón, se debe considerar la eliminación y sustitución de forma gradual y en época seca para evitar que la crecida del río o el exceso de agua por lluvias afecte el crecimiento de los árboles a plantar, o incluso provoque su muerte.

Cabe resaltar que, el considerar la erradicación de esta gramínea, requeriría la eliminación desde la raíz por su alta capacidad de rebrote. No obstante, como afirma Calvo (2021), esta opción resulta ser muy laboriosa y costosa. Por lo tanto, lo que recomienda para reducir costos es una corta lo más cerca de la superficie del suelo para que la raíz quede debilitada y tarde más en regenerarse.

Para sacarle ventaja a la eliminación del pasto elefante, los residuos de la corta se pueden dejar, ya que la descomposición de sus hojas y tallos enriquecerán el suelo con nutrientes que luego serán aprovechados por los árboles. Incluso Garro (2016), dentro de las medidas para manejar la erosión,

enlista el uso de coberturas muertas. Estos residuos orgánicos al quedar sobre la superficie cuando se descomponen le devuelven los nutrientes al suelo, como el fósforo (P) para convertirse en ácido fosfórico (H_2PO_4), disponible para ser absorbido por las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1994), elemento que está deficiente en este sitio.

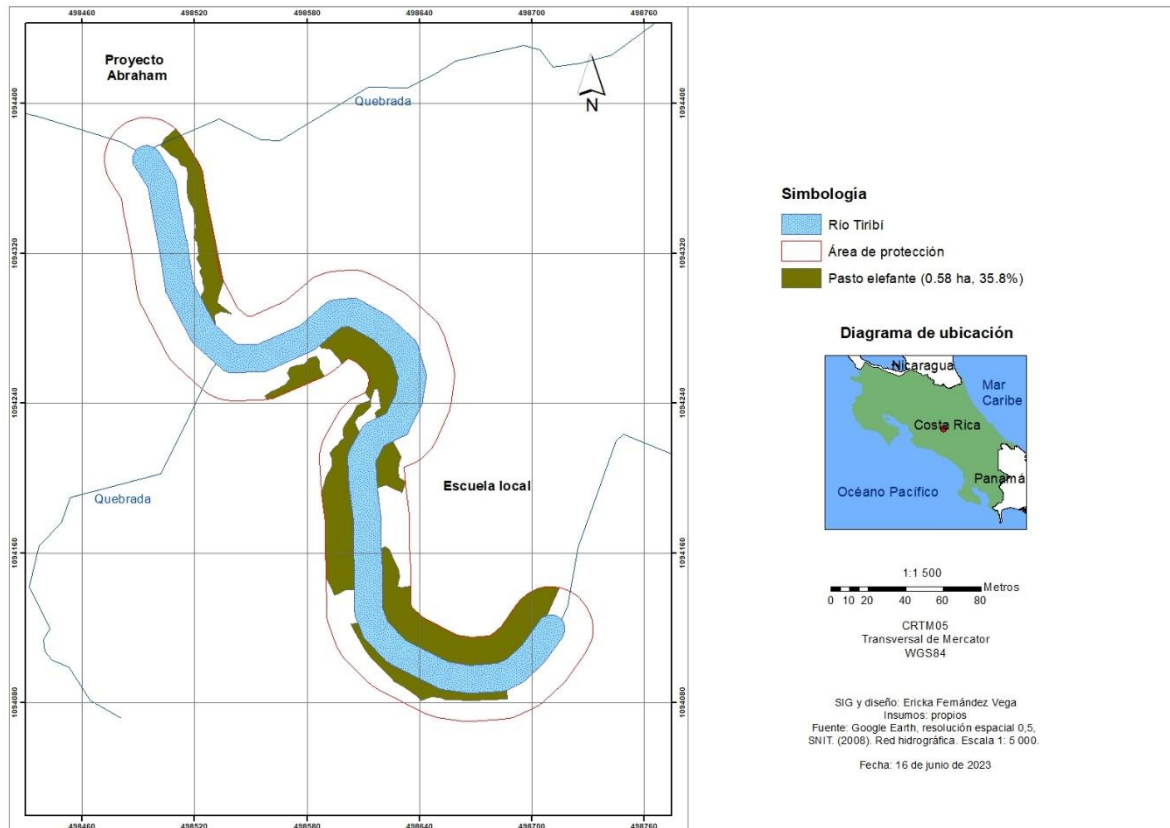


Figura 31. Cobertura de *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) dentro del área de protección de río Tiribí (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua. Fuente: Elaboración propia

Especies para la primera etapa de rehabilitación forestal

Para rehabilitar estas áreas invadidas se recomienda la plantación de especies “sombrija”. Dentro de los árboles que se mencionan y que coinciden con las especies seleccionadas para la propuesta de rehabilitación forestal están *Inga sp.*(cuajiniquil/guaba) y *Ficus sp.* (higuerón). Además, especies de crecimiento rápido que van a competir con el zacate/pasto como *Croton draco* (targuá) y *Schizolobium parahyba* (gallinazo) que, aunque no fueron muestreadas en el sitio, sí son recomendadas por Sánchez et al. (2015) y Morales (2012) para procesos de rehabilitación forestal.

En lo que respecta a *C. draco*, recomendada por Morales et al. (2012), es un árbol de hasta 10 metros de altura que dentro de sus funciones está la protección del suelo y la atracción de fauna. Además, añade que tiene un alto requerimiento de luz, pero necesita de poca humedad.

La especie *S. parahyba* es catalogada como de crecimiento rápido, heliófita y crece bajo diferentes condiciones climáticas, con preferencia por los suelos fértiles, profundos y húmedos, pero no en suelos arenosos y sitios propensos a inundaciones (Barrance et al., 2003, p. 870), por lo que se debe plantar en las partes más retiradas del río.

Alvarado y Raigosa (2012) mencionan que algunas especies arbóreas mejoran el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) después de 5, 10 o 16 años de establecidas, como por ejemplo *Leucaena leucocephala* (leucaena, ipil ipil) y *Cordia alliodora* (laurel), que aumentaron a los 10 años los contenidos de carbono (C) en más de 82% y la especie *Dialium guineense* (tamarindo de montaña) en un 37% por sobre el control.

En el caso de *C. alliodora* y *D. guineense* son especies recomendadas por Sánchez et al. (2015) para rehabilitación de áreas de protección. El laurel (*C. alliodora*) es considerada una especie pionera del bosque secundario, pero su buen desarrollo depende del tratamiento edáfico que se le dé, por ejemplo, descompactación del suelo y el control de las gramíneas a su alrededor (Alvarado y Raigosa, 2012).

La *L. leucocephala* es recomendada por Morales et al. (2012) para el Valle Central y es parte de las especies censadas en el área de protección del río Tiribí. Pese a que es introducida, tiene la función de protección del suelo, y puede alcanzar hasta ocho metros de altura. Además, esta leguminosa genera grandes aportes al suelo como fijadora de nitrógeno (N) (Camacaro et al., 2004).

El área para reforestar en esta primera etapa es 0.76 ha, lo que equivale a un 46.9% del área total, lo que deja un 11.8% aún sin rehabilitar (cultivo de café e infraestructura). El área con bambú (0.04 ha, 2.74%) se dejará, ya que brinda servicios ambientales sobre el ecosistema tales como prevención de la erosión, mejora de la estructura del suelo, aporte de nutrientes, retención y almacenamiento de agua. (Ceccon y Gómez, 2019)

4.3.4.3 Segunda etapa de rehabilitación forestal: mediano plazo (6 a 10 años)

El cultivo de café, al no estar combinado con ningún otro modelo productivo, se vuelve una oportunidad, pues permite proponer los sistemas agroforestales que permitan una mejora del paisaje, la productividad y del ecosistema. A pesar de que no se lograría acercarse a un bosque ribereño, se podrán mejorar las funciones ecológicas que se buscan.

En esta segunda etapa se pretende abarcar las áreas de cultivo que son aproximadamente 1742 m² en dos sectores del área de estudio, el primero al lado este (1216 m²) y el segundo al lado noroeste (526 m²). Cabe resaltar que esta área solo es de la parte que están dentro de los 10 metros de protección del afluente.

Especies para la segunda etapa de rehabilitación forestal

El cultivo requiere el componente arbóreo como, por ejemplo, especies pertenecientes a la familia Fabaceae (leguminosas), las cuales aportan mucha materia orgánica y nitrógeno al suelo (Chavarría, 2013) y le puede ayudar a los propietarios a mejorar su productividad.

Las especies de *Inga spp.* (guabas) se han utilizado históricamente en sistemas agroforestales y son abundantes a nivel nacional dentro de los SAF con pagos por servicios ambientales en San José, junto con *Erythrina spp.* (Barrance et al., 2003; Quesada, 2019; Fernández, 2010).

Barrance et al. (2003) describe a las guabas que se han utilizado en SAF y afirman que producen mucho follaje capaz de generar una cubierta de mulch permanente, proporcionando nutrientes y control de malezas. También, agregan que son destacadas por su competitividad y adaptabilidad a una variedad de condiciones ecológicas y amplio rango altitudinal.

Como ya están establecidas las plantas de café, se debe realizar la plantación de árboles a un distanciamiento que se adapte a lo existente. El establecimiento del componente arbóreo debe ser en hileras con tres opciones de distanciamiento para *Inga spp.*: 10 x 10, 10 x 12 y 12 x 12 metros, y para *Erythrina spp.* de 12 x 12 y 10 x 25 metros (Chavarría, 2013). Es decir, para el total de 0.17 ha, si se selecciona *Inga spp.* como el componente forestal para el café, entonces serían aproximadamente 17 árboles (10 x 10). Si, por el contrario, se elige *Erythrina spp.* serían más o menos 12 árboles (12 x 12). Otra opción sería combinar estas dos especies a una densidad de 12 x 12 para cada una.

Cabe resaltar, que la especie *Erythrina spp.* está de primero y quinto lugar con mayor importancia en el ecosistema censado (55% y 17%, respectivamente); aspecto que aumenta las probabilidades de adaptación al tipo de suelo presente en este sitio.

4.3.4.4 Tercera etapa de rehabilitación forestal: largo plazo (11 a 15 años)

En la tercera etapa para el río Tiribí se pretende mantener el monitoreo de los árboles plantados e incluso los que se censaron en este estudio. Es decir, hacer un censo forestal y muestreo de suelos para

así conocer la tasa de mortalidad y determinar si las especies recomendadas fueron las correctas, así como conocer si el estado del suelo ha mejorado o se mantiene.

La metodología para seguir en esta etapa debe ser la misma implementada en el presente estudio (Sección 3.2 Condiciones actuales del uso de la tierra), ya que, si se aplica un método diferente, los resultados no son comparables. De esta manera, se pueden analizar los datos obtenidos con los nuevos.

4.3.5 Afluente María Aguilar

4.3.5.1 Descripción del sitio

El área de estudio del afluente María Aguilar se encuentra localizada en el distrito San Juan del cantón La Unión en la provincia de Cartago y está a cargo del OCA del Condominio Hacienda Imperial. En este sitio se censaron un total de 94 árboles, pertenecientes a 31 especies con diámetros en su mayoría de 15 a 35.99 cm (82.9%) y un área basal de 7.573 m², distribuidos finalmente en 10500 m² (1.05 ha) de terreno.

Las especies con mayor I.V.I. son *Tabebuia rosea* (roble de sabana) de 41.95%, *Tecoma stans* (vainillo) de 35.85%, *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda) de 34.33%, *Inga* sp. (guaba) de 19.14% y *Bauhinia purpurea* (casco de venado) de 15.33%. Es decir, son las cinco especies más importantes para este sitio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA del afluente María Aguilar, La Unión, Cartago

Especie	I.V.I.
<i>Tabebuia rosea</i>	41.95
<i>Tecoma stans</i>	35.85
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	34.33
<i>Inga</i> sp.	19.14
<i>Bauhinia purpurea</i>	15.33

En este sitio no se logró censar una franja de 10 metros a cada lado del afluente por la infraestructura existente. Como máximo, al lado del condominio se alcanzaron aproximadamente cuatro metros, ya que existe una malla y una tapia que rodea dicha área residencial (Figura 32); mientras que al lado de la urbanización Monserrat hay espacios donde se podía abarcar 10 metros, pero en otras partes no por la presencia de cercas con alambre de púas o parques encerrados con malla.



Figura 32. Parte del área de protección censada en el afluente María Aguilar, La Unión, Cartago.
Fuente: Elaboración propia

Los usos actuales encontrados dentro del área de protección de la quebrada son: *Pennisetum purpureum* o “pasto elefante” (47.8%), vegetación leñosa (29.5%), pastos o sin vegetación (11.6%), cultivo de café (6.6%) e infraestructura (4.5%) (Figura 20). Para los administradores del condominio, la alta abundancia y altura del pasto elefante les parece algo positivo, ya que este les da seguridad al no permitir que personas externas vean hacia dentro del lugar (Figura 33).



Figura 33. Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) ubicado en los márgenes del afluente María Aguilar, La Unión, Cartago. Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que tanto el condominio como OCA han tomado la iniciativa de reforestar con 100 árboles donados por Acueductos y Alcantarillados (AyA) en el año 2012 dentro de los cuatro metros censados y en sus jardines recreativos al lado interno (Figura 34), pero como no eran árboles con diámetros iguales o mayores a los 15 centímetros no se tomaron en cuenta dentro del censo. Las

especies plantadas son: *Bahuinia purpurea* (casco de venado), *Tabebuia ochracea* (corteza amarilla), *Citharexylum donnell-smithii* (dama), *Diphysa americana* (guachipelin), *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda), *Syzygium malaccense* (manzana de agua), *Eriobotrya japonica* (níspero), *Tabebuia rosea* (roble sabana), *Ligustrum lucidum* (trueno) y *Tecoma stans* (vainillo). Además, dos meses después realizaron un seguimiento y registraron que solamente siete árboles habían desaparecido, probablemente por una limpieza de maleza que habían realizado días antes (F. Arellano, comunicación personal, 7 de julio de 2020).



Figura 34. Árboles plantados dentro y fuera del condominio Hacienda Imperial, La Unión, Cartago.
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las características edáficas, este sitio presentó dos tipos de texturas, francos y francos arenosos. La primera textura posee porcentajes inferiores al 50% en arena, en arcilla 13%, y en limo 39%; mientras que el franco arenoso, como es de esperarse, posee un porcentaje de arena superior a 50%, de arcilla 11% y de limo 34 y 25%. Para este último, los altos porcentajes de arena se deben a que las muestras fueron tomadas al lado oeste, es decir donde el área de protección está reducida a 4 metros o menos, muy cerca del paso del agua, donde por ser una quebrada la arena se encontrará en altas concentraciones.

Los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) están dentro de la categoría media, con un promedio de 3.3%; mientras que para la densidad aparente se obtuvieron valores muy por debajo del límite ($<1.05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) mencionado por INTAGRI (2017), lo que presenta problemas de compactación ($1.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$). Las deficiencias en las bases intercambiables evidencian la baja fertilidad del suelo, a excepción del potasio (K), el cual presenta un exceso en los bloques tres y cuatro (2.2 y $2.3 \text{ cmol (+)}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivamente) y condiciones óptimas en los bloques uno y dos (0.56 y $0.61 \text{ cmol (+)}\cdot\text{l}^{-1}$ respectivamente). Los bloques con altos contenidos de K muestran un mayor déficit de manganeso

(Mn) y calcio (Ca), posible efecto generado por el mismo exceso (Larriva, 2003). La relación Ca/Mg en promedio fue de 6.5, sobrepasando lo óptimo (2 a 5), mientras que hay bajas relaciones de Ca/K y Ca+Mg/K con promedio de 1.6 y 1.9 respectivamente. El pH está dentro de los valores óptimos con un promedio de 6.44, es decir, no existe problemas de acidez. Lo anterior resulta beneficioso para las plantas, ya que, si hubiese valores mayores a 7, el crecimiento y buen desarrollo sería limitado por los riesgos de toxicidad (Pérez, 2013).

Por otra parte, las condiciones del terreno son relativamente planas (0 a 15%), aunque se puede mencionar que hay ciertos cortes de tierra que dificultan el acceso. El ingreso al área de protección del afluente se puede hacer, para el lado este por la Urbanización Monserrat, y para la parte oeste, se ingresaría por el condominio Hacienda Imperial.

A continuación, se presentan las etapas del proceso de rehabilitación recomendado para el afluente María Aguilar:

4.3.5.2 Primera etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (0 a 5 años)

Para la primera etapa de rehabilitación forestal es muy importante darle un seguimiento y mantenimiento a los árboles que se plantaron hace 11 años o más por el OCA encargado. Así como registrar si después de todo ese tiempo ha habido muertes y conocer cuales especies fueron. El mantenimiento recomendado para especies ya adaptadas es la poda y verificar que no presenten riesgos de deslizamiento.

El *P. purpureum* (pasto elefante) es un problema, pues es muy abundante a ambos lados en los márgenes del afluente ([Figura 35](#)). No obstante, se debe controlar y sustituir por arbustos, así como árboles de porte bajo. Las especies deben ser livianas, con poca altura, pero frondosas, y con buen agarre de suelo, pues así no generará un deterioro o deslizamientos. Por lo tanto, pueden considerarse especies como *Zygia longifolia* (sotacaballo), entre otras.

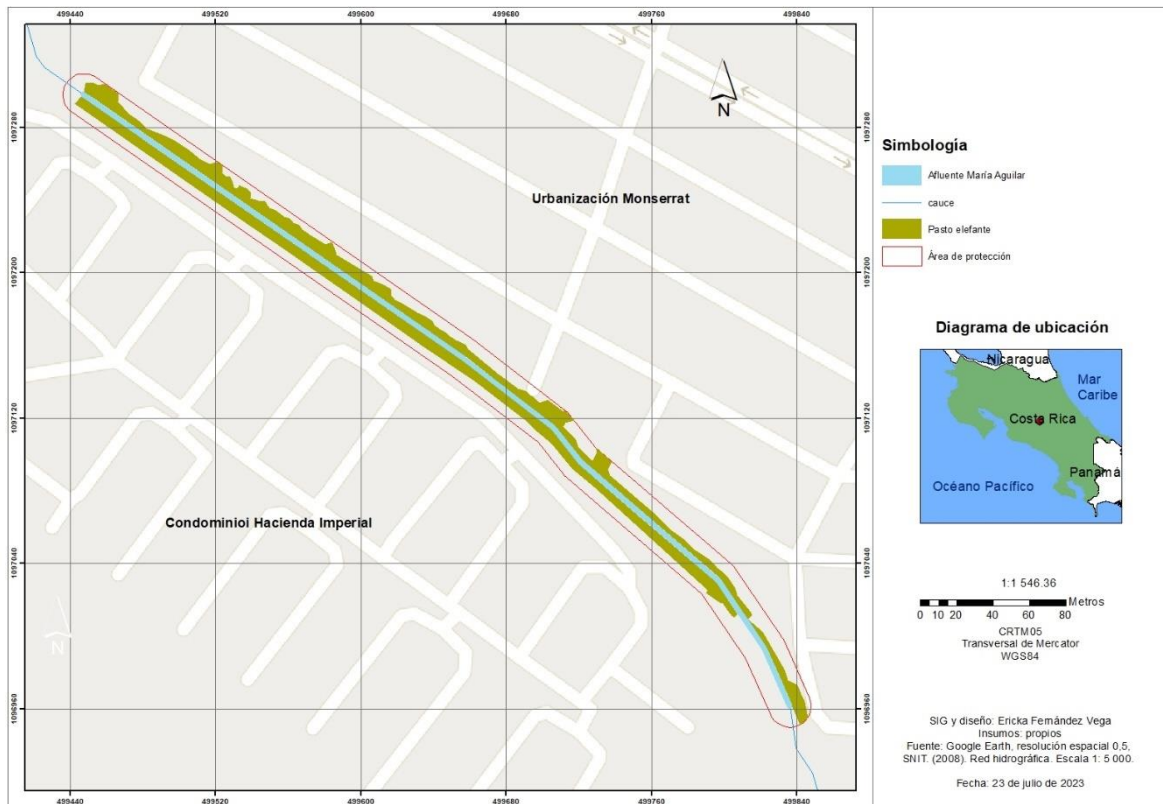


Figura 35. Cobertura de *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) dentro del área de protección del afluente María Aguilar (La Unión, Cartago) a cargo del Observatorio Ciudadanos del Agua. Fuente: Elaboración propia

El proceso de erradicación deberá ser gradual y se seguirán las instrucciones de la guía para control del pasto elefante elaborada por Calvo-Villalobos (2021). Es importante plantar con el sistema tresbolillo por las pendientes marcadas que se presentan en ciertas partes del trayecto censado.

Otra razón por la que se busca un proceso gradual es debido a que, como dicha gramínea está cumpliendo función de seguridad visual para los habitantes y administradores del condominio, no se debe cortar todo en un solo momento, pues el impacto sería notable al tratarse de 0.51 hectáreas aproximadamente de cobertura. La mejor opción a nivel de efectividad para erradicar el pasto elefante sería extraerlo por completo. Sin embargo, como bien lo dice Calvo (2021), y se explicó anteriormente esta opción resulta ser muy laboriosa y costosa. Por lo que es mejor hacer un corte lo más cerca de la superficie del suelo.

Especies para la primera etapa de rehabilitación forestal

Para rehabilitar estas áreas invadidas se recomienda la plantación de especies “sombrilla”. Dentro de los árboles que se mencionan y que coinciden con las especies censadas y también recomendadas por profesionales están la *Inga sp.*(cuajiniquil/guaba) y el *Ficus sp.* (higuerón).

Las *Inga spp.* han sido utilizadas para brindar sombra a cultivos como el café, controlar malezas y fijar nitrógeno. Tal es el caso de *I. punctata* e *I. vera* que son destacadas por ser comunes en las orillas de los ríos. Mientras que *I. marginata* ha brindado buenos resultados en cultivos para sus rendimientos, por su resistencia en la competitividad con malezas (Barrance et al., 2003). Además, esta última especie es recomendada para el Valle Central debido a que dentro de sus funciones está proteger los suelos y atraer fauna (Morales et al., 2012).

Especies de crecimiento rápido que van a competir con el zacate/pasto como *Croton draco* (targuá) y *Cecropia sp.* (guarumo) están presentes en el sitio y son recomendadas por Sánchez et al. (2015) y Morales (2012) para procesos de rehabilitación forestal. Además, Sanchez et al. (2015) menciona que especies como *Inga sp.* y *Cecropia sp.* son aptas para sitios con pendientes marcadas por su capacidad de amarrar suelos. En lo que respecta a *C. draco*, es sugerida por Morales et al. (2012) ya que es un árbol de hasta 10 metros de altura que, dentro de sus funciones está la protección del suelo y la atracción de fauna. Además, añade que tiene un alto requerimiento de luz, pero necesita de poca humedad.

Otra especie es *Ehretia latifolia* (raspaguacal), la cual fue recomendada por los expertos encuestados por su distribución natural en esta zona, atracción de fauna y control de erosión. Puede alcanzar de 12 a 25 metros de altura y se distribuye naturalmente desde 1200 a 2000 msnm (Zamora, 2014).

Por otra parte, es importante considerar las especies que se encontraron durante el censo, debido a que estas ya se pueden verificar que tendrán una adaptación a las condiciones del suelo actual y a su vez las pueden llegar a mejorar.

4.3.5.3 Segunda etapa de rehabilitación forestal: mediano plazo (6 a 10 años)

En esta segunda etapa se pretende abarcar las áreas de cultivo que son aproximadamente 700 m² en la parte sureste al final del área de estudio. Cabe resaltar que esta área solo es de la parte que está dentro de los 10 metros de protección del afluente.

Especies para la segunda etapa de rehabilitación forestal

El cultivo requiere de un aumento de árboles como, por ejemplo, especies pertenecientes a la familia Fabaceae (leguminosas), las cuales aportan mucha materia orgánica y nitrógeno al suelo (Chavarría, 2013) y le puede ayudar al propietario a mejorar su productividad.

Las especies de *Inga* spp. se han utilizado históricamente en sistemas agroforestales y son abundantes a nivel nacional dentro de los SAF con pagos por servicios ambientales en San José, junto con *Erythrina* spp. (Barrance et al., 2003; Quesada, 2019; Fernández, 2010).

Barrance et al., 2003) describe a las Ingas que se han utilizado en SAF, producen mucho follaje capaz de generar una cubierta de mulch permanente, proporcionando nutrientes y control de malezas. También, agrega que son destacadas por su competitividad y adaptabilidad a una variedad de condiciones ecológicas y amplio rango altitudinal.

Como ya están establecidas las plantas de café, se debe realizar la plantación de árboles a un distanciamiento que se adapte a lo existente. El establecimiento del componente arbóreo debe ser en hileras con tres opciones de distanciamiento para *Inga* spp.: 10 x 10, 10 x 12 y 12 x 12 metros, y para *Erythrina* spp. de 12 x 12 y 10 x 25 metros (Chavarría, 2013).

Es decir, para el total de 0.07 ha, si se selecciona *Inga* spp. como el componente forestal para el café, entonces serían aproximadamente siete árboles (10 x 10). Si por el contrario se elige *Erythrina* spp. serían más o menos cinco árboles (12 x 12). Otra opción sería combinar estas dos especies a una densidad de 12 x 12 para cada una.

Cabe resaltar, que la especie *Inga* sp. es la cuarta con mayor importancia en el ecosistema censado (19 %). Aspecto que aumenta las probabilidades de adaptación al tipo de suelo presente en este sitio.

4.3.5.4 Tercera etapa de rehabilitación forestal: largo plazo (11 a 15 años)

Una vez reforestadas estas áreas y eliminado la presencia del pasto elefante, se abre paso a la tercera etapa de rehabilitación forestal. La cual consiste en la eliminación de los 400 m² de infraestructura presente en el área de protección.

Este proceso requiere de la intervención de la municipalidad de La Unión y de los propietarios del condominio Hacienda Imperial y Urbanización Monserrat. Es por ello que esta etapa tiene un nivel de dificultad mayor, porque se genera conflictos sociales.

Una vez que se abra espacio en dicha área se debe eliminar cualquier residuo de construcción, así como hacer otro análisis de suelos al menos de la densidad aparente, para determinar el grado de

compactación que existe. Una vez que se conozca este dato, si el suelo está muy compactado, se deberá buscar crear aireación para que, al momento de plantar, los árboles no tengan problemas para penetrar sus raíces.

Cabe agregar que, en esta tercera etapa, para el afluente María Aguilar, se pretende mantener el monitoreo de los árboles plantados e incluso los que se censaron en este estudio. Es decir, hacer un censo forestal y muestreo de suelos. Para así conocer la tasa de mortalidad y determinar si las especies recomendadas fueron las correctas; así como conocer si el estado del suelo ha mejorado o se mantiene.

La metodología para seguir en esta etapa debe ser la misma implementada en el presente estudio (Sección 3.2 Condiciones actuales del uso de la tierra). Ya que, si se aplica un método diferente, los resultados no son comparables. De esta manera se puede analizar los datos obtenidos con los nuevos.

4.3.6 Quebrada Turú

4.3.6.1 Descripción del sitio

El área de estudio de la quebrada Turú se encuentra localizada en el distrito San Isidro, cantón San Isidro en la provincia de Heredia, y está a cargo del OCA de Asociación de vecinos El Murmullo del Arroyo. El trayecto de la quebrada está principalmente a lo largo del Condominio El Arroyo. En este sitio se censaron un total de 191 árboles, pertenecientes a 39 especies, con diámetros principalmente entre 15 y 25.99 cm (56%) y un área basal de 26.031 m², distribuidos finalmente en 10880 m² (1.09 ha) de terreno.

Las cinco especies con mayor I.V.I. son *Erythrina poeppigiana* (poró gigante) (73.45%), *Croton draco* (targuá) (22.52%), *Inga sp.* (guaba) (20.53%), *Croton schiedeanus*. (colpachí) (18.61%) y *Cupania cinerea* (Casquil) (17.81%) (Cuadro 12). Es decir, son las cinco especies más importantes en este sitio.

Cuadro 12. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA del río Turú, San Isidro, Heredia

Especie	I.V.I.
<i>Erythrina poeppigiana</i>	73.45
<i>Croton draco</i>	22.52
<i>Inga sp.</i>	20.53
<i>Croton schiedeanus</i>	18.61

Los usos actuales encontrados dentro de los 10 metros de área de protección de la quebrada son: vegetación leñosa (78.3%), pastos o sin vegetación leñosa (11.8 %), infraestructura (7.6%), cultivos (1.6%) y bambuzal (0.7%) (Figura 18). Dentro del porcentaje de pastos o sin vegetación están incluidos los patios de las residencias dentro del condominio, y la infraestructura identificada es de las calles y puentes que comunican a las comunidades y a nivel interno del condominio.

La quebrada Turú es el sitio de estudio con el porcentaje de cobertura forestal más alto (78.3%). Además, tiene potencial de reforestación en las áreas de pastos o sin vegetación (0.12 hectáreas) para esta primera etapa de rehabilitación. Esta quebrada presenta mejores condiciones, la comunidad a cargo ha tomado la responsabilidad de cuidar el área, con acciones como campañas de limpieza, reforestación y vigilancia. Todo lo anterior ha permitido que la calidad del agua mejore debido a la disminución de residuos sólidos y mayor cobertura vegetal. Sin embargo, no se atacan los problemas de la parte de arriba del sitio, lo cual afecta el gran esfuerzo realizado por la comunidad.

Con respecto a las condiciones edáficas, se determinaron dos texturas de suelo. La primera es franco arenoso, encontrado en tres de los cuatro bloques muestreados (Figura 23); con porcentajes de arena en promedio de 54%, arcilla 16% y de limo 29.7%. Mientras que el segundo tipo de textura es franco, con porcentajes de arena de 48%, arcilla 22.8% y limo 29.2%. Dichos valores muestran que en la mayor parte del área de estudio puede haber problemas de retención de nutrientes y agua por los altos porcentajes de arena y bajos en arcilla, según lo establecido por INTAGRI (2017). Sin embargo, los porcentajes de materia orgánica tienen valores medios, en promedio de 5.95%, y una densidad aparente favorable inferior a $1.12 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, indicando que no existen problemas de compactación del suelo, a pesar de haber presencia de potreros.

Las deficiencias en las bases intercambiables evidencian la baja fertilidad del suelo. La relación Ca/K es de 2.4, 1.7 y 1.6, y la de Ca/Mg/K es de 2.9, 2.2 y 2.1. Los valores bajos se presentan en los bloques dos, tres y cuatro, los cuales están en las zonas más intervenidas como el parque, patios de casas y el potrero. Mientras que los valores óptimos están en el primer bloque donde hay una alta cobertura boscosa. Con respecto al pH se obtuvo un promedio de 5.9 que indica que existe un poco de acidez pues está dentro del rango medio (5-6). Lo anterior se traduce a que la disponibilidad y asimilación de nutrientes se ve afectada, alterando la estructura del suelo. (Castellanos, 2014)

Por otra parte, las condiciones del terreno son relativamente planas (0 a 15%), lo cual es positivo para los procesos de reforestación en la primera etapa. El ingreso al área de protección de la quebrada se realiza por el Condominio El Arroyo, con su respectivo permiso.

A continuación, se presentan las etapas del proceso de rehabilitación recomendado para el río Turú:

4.3.6.2 Primera etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (0 a 5 años)

Para la primera etapa de rehabilitación forestal se busca mejorar las condiciones de los suelos con el propósito de mejorar su fertilidad y bajar los niveles de acidez. Primeramente, se requiere la aplicación de enmiendas (cales) ((Espinoza y Molina, 1999, Sánchez y Salinas 1983, Alvarado et al., 2001, Espinoza 2002, Zapata 2003, citados en Salazar et al., 2011), lo cual también puede ayudar con la falta de elementos base, pues en el caso de los carbonatos de calcio y de sulfato de calcio, poseen cantidades de calcio (Ca) y azufre (S); mientras que la dolomita brinda contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) (Espinoza y Meléndez, 1999 citado en Salazar et al., 2011). No obstante, para determinar la necesidad de encalar, se debe considerar si la especie a plantar es o no tolerante a la acidez, el contenido de acidez en el suelo (5.9), la calidad del producto que se va a utilizar, y el manejo del producto al aplicarse (Salazar et al., 2011).

En esta primera etapa, se debe reforestar las áreas de potrero o sin vegetación (0.12 hectáreas), pues es en este se encuentra el espacio disponible para iniciar la reforestación.

Especies para la primera etapa de rehabilitación forestal

Se requiere aumentar la abundancia de especies ya existentes en el sitio, y que tienen funciones para el mejoramiento del suelo. Tales como, *Citharexylum donnell-smithii* (dama), que además fue recomendado por los profesionales y está en la lista de especies para la restauración en Mesoamérica (Sanchún et al., 2016). Cabe considerar, que dicha especie es muy común en el Valle Central, pero presenta un crecimiento lento (Rojas y Torres, 2016).

La siguiente especie es *Tabernaemontana donnell-smithii* (huevos de caballo, bijarro), antes llamado *Stemmadenia donnell-smithii*, se registraron solo dos individuos. También, mencionada como una especie para la restauración en Mesoamérica (Sanchún et al., 2016), con alturas que pueden variar de 3 a 11 metros (Boza, 2019). También, se toma en cuenta para el Valle Central entre otras funciones, por su protección de suelos, atracción de fauna, y flores amarillas atractivas. (Morales et al., 2012)

Otro árbol recomendado es *Diphysa americana* (guachipelin), ya que tiene dos individuos. Recomendada tanto para restauración en Mesoamérica, como específicamente para el Valle Central de Costa Rica (Sanchún et al., 2016 y Morales et al., 2012). Barrance et al. (2003) menciona que es utilizado en potreros, debido a su alto contenido de proteína (19-27 %) y compuestos nitrogenados en sus hojas, que las vuelve apetecidas por el ganado, y es excelente fijador de nitrógeno (N) aportando nutrientes al suelo. Dicho autor agrega que esta especie no es exigente en cuanto a los suelos bajos en fertilidad, característica que es positiva para este proceso.

De las especies de *Miconia spp.*, hay presencia de dos árboles. A pesar de que no se identificó el espécimen, se encontró que la *M. argentea* (maría, capilote, maría colorado, santa maría) es recomendada al igual que las mencionadas anteriormente, en la lista para restauración en Mesoamérica y el Valle Central de Costa Rica (Sanchún et al., 2016 y Morales et al., 2012). Dentro de sus funciones se encuentra la protección de los suelos, atracción de fauna y flores blancas que llaman la atención (Morales et al., 2012).

Otra especie es *Ehretia latifolia* (raspaguacal), la cual fue recomendada por los expertos encuestados, por su distribución natural en esta zona, atracción de fauna y control de erosión. Puede alcanzar de 12 a 25 metros de altura y se distribuye naturalmente desde 1200 a 2000 msnm (Zamora, 2014).

En esta primera etapa se puede iniciar con estas especies explicadas. Pues se espera que, con sus beneficios, en cinco años se puedan realizar nuevos análisis físicoquímicos del suelo para determinar si hubo mejoría en cuanto a su acidez y composición de nutrimentos.

4.3.6.3 Segunda etapa de rehabilitación forestal: mediano plazo (6 a 10 años)

Para esta segunda etapa se recomienda buscar en primera instancia un acercamiento con la comunidad quebrada arriba, así como con la municipalidad para promover campañas de educación ambiental. Que se realicen actividades que dé un sentido de pertenencia a los pobladores y perciban lo positivo de cuidar del ecosistema ribereño.

Una de las maneras de lograr un acercamiento es hacer del conocimiento de las personas, los resultados obtenidos en el presente estudio, los logros como OCA Asociación de vecinos El Murmullo del Arroyo, comparados con nuevos estudios como lo que se mencionó en el cierre de la primera etapa, análisis de suelos. De esa forma cuando existen evidencias, y más si son de carácter científico, hay mayor credibilidad y les dará una percepción distinta.

En el momento en que se cumpla con esta primera parte de la segunda etapa, se puede solicitar ser partícipes de una segunda reforestación. La cual tiene la finalidad de enriquecer las áreas de sucesión primaria y los sitios con el uso de cultivos.

Con respecto a las áreas reforestadas en la primera etapa, se requiere de diferentes especies que lleguen a diversificar. De esta manera, se dará un paso más hacia la recuperación de la funcionalidad de un ecosistema ribereño.

Por otro lado, para los cultivos presentes dentro y en los límites del área de protección de la quebrada, se busca concientizar al propietario de dirigirse a la producción mixta. Es decir, establecimiento de sistemas agroforestales; esta se define en la Ley Forestal N° 7575 (1996) artículo 3, inciso h) como “forma de usar la tierra que implica la combinación de especies forestales en tiempo y espacio con especies agronómicas, en procura de la sostenibilidad del sistema”.

Estos sistemas han sido estudiados y confirmado que la productividad incrementa después de combinar un cultivo anual con uno perenne; asimismo su importancia en la conservación de especies vegetales y animales (Fournier, 1981; Guiracocha et al., 2001; Corella, 2016; Gonzales, et al., 2016; Ramírez, 2021).

Especies para la segunda etapa de rehabilitación forestal

El cultivo requiere de un aumento de árboles. Como por ejemplo especies como las pertenecientes a la familia Fabaceae (leguminosas), las cuales aportan mucha materia orgánica y nitrógeno al suelo (Chavarría, 2013) y le puede ayudar al propietario a mejorar su productividad.

Las especies de *Inga* spp. se han utilizado históricamente en sistemas agroforestales y que es abundante a nivel nacional dentro de los SAF con pagos por servicios ambientales en San Jose, junto con *Erythrina* spp. (Barrance et al., 2003; Quesada, 2019; Fernández, 2010).

Barrance et al. (2003) describe a las Ingas que se han utilizado en SAF como especies que producen mucho follaje capaz de generar una cubierta de mulch permanente, proporcionando nutrientes y control de malezas. También, agrega que son destacadas por su competitividad y adaptabilidad a una variedad de condiciones ecológicas y amplio rango altitudinal.

Como ya están establecidas las plantas de café, se debe realizar la plantación de árboles a un distanciamiento que se adapte a lo existente. El establecimiento del componente arbóreo tiene tres

opciones de distanciamiento para *Inga spp.*: 10 x 10, 10 x 12 y 12 x 12 metros, y para *Erythrina spp.* de 12 x 12 y 10 x 25 metros. (Chavarría, 2013)

Es decir, para el total de 0.017 ha, si se selecciona *Inga spp.* como el componente forestal para el café, entonces serían aproximadamente dos árboles (10 x 10). Si por el contrario se elige *Erythrina spp.* serían más o menos dos árboles (12 x 12). Otra opción sería combinar estas dos especies a una densidad de 12 x 12 para cada una. Es importante aclarar que estos números son solo para el área dentro de los 10 metros de protección de la quebrada.

Cabe resaltar que estas especies recomendadas son parte de las cinco más importantes en el ecosistema censado con porcentajes de I.V.I. de 73.45 % para *E. poeppigiana* y 20.53 % para *Inga sp.* Por lo cual, son altas las probabilidades de una buena adaptación al suelo del lugar.

4.3.7 Quebrada Lajas

4.3.7.1 Descripción del sitio

El área de estudio de la quebrada Lajas se encuentra localizada en el distrito Pozos del cantón Santa Ana en la provincia de San José, y está a cargo del OCA de AVASOL. En este sitio se censaron un total de 114 árboles, pertenecientes a 38 especies, con diámetros principalmente entre 15 y 25.99 cm (59.6 %) y un área basal de 11.802 m², distribuidos finalmente en 17800 m² (1.78 ha) de terreno.

Las especies con mayor I.V.I. son *Guazuma ulmifolia* (guácimo) con 43.6%, *Spondias purpurea* (jocote) con 28%, *Pouteria sp.* (Sapote) con 25.57%, *Cecropia peltata* (guarumo) con 23.95% y *Bursera simaruba* (indio pelado) con 16.32% (Cuadro 13). Es decir, son las cinco especies más importantes en este sitio.

Cuadro 13. Especies con mayor índice de valor de importancia en el OCA de la quebrada Lajas, Santa Ana, San José

Especie	I.V.I.
<i>Guazuma ulmifolia</i>	43.60
<i>Spondias purpurea</i>	28.00
<i>Pouteria sp.</i>	25.57
<i>Cecropia peltata</i>	23.95
<i>Bursera simaruba</i>	16.32

Los usos actuales encontrados dentro del área de protección de la quebrada son: vegetación leñosa (66.9 %), potrero arbolado (16.8 %), infraestructura (7.7 %), pastos o sin vegetación leñosa (5.4 %),

y cultivos (3.2 %) ([Figura 20](#)). Pese que existe un alto porcentaje de cobertura vegetal, esta no está registrada dentro del censo forestal porque no alcanza el diámetro mínimo establecido de 15 cm. El área cubierta por infraestructura (0.13 ha) incluye principalmente las casas que han invadido áreas de protección en condición de “precaristas” ([Figura 36](#)).



Figura 36. Área de protección de la quebrada Lajas invadida por casas, Santa Ana, San José. Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los otros sitios estudiados, la quebrada Lajas presenta un serio problema de contaminación por residuos sólidos y aguas residuales que caen directamente al cauce, así como una clara invasión al área de protección ([Figura 37](#)). Siendo de esta forma, es necesario implementar un tratamiento de aguas residuales y limpieza de la fuente hídrica. Las aguas que caen contienen productos químicos como el jabón, lixiviados, y es muy probable que, si se realiza un análisis del agua, se encuentren coliformes fecales, entre otro tipo de componentes dañino para el ambiente.



Figura 37. Cauce la de quebrada contaminada por aguas residuales, quebrada Lajas (Santa Ana, San José). Fuente: Elaboración propia

Se recomienda que la Alianza recolecte muestras de agua para su respectivo análisis de laboratorio, incluyendo estudios de macroinvertebrados. Los macroinvertebrados acuáticos según Carrera y Fierro (2001) son animales que se ven a simple vista, por ello la palabra “macro” de grande e “invertebrado” porque no poseen huesos, y son indicadores de la calidad del agua. Agregan que se utilizan en el monitoreo, pues algunos de estos individuos no sobreviven si la calidad del agua es mala, y otros a pesar de esto se adaptan y se mantienen en el medio. Mencionan, por ejemplo, a las moscas de piedra, que solo viven en agua muy limpia, a diferencia de ciertas larvas o gusanos de otras moscas que resisten altos niveles de contaminación. Estos últimos son los causantes de muchas enfermedades como la malaria, el paludismo o el mal de chagas.

Con respecto a las condiciones edáficas, se determinaron dos texturas de suelo. La primera es franco arcillo arenoso, encontrado en tres de los cuatro bloques muestreados (Figura 25) con porcentajes de arena en promedio de 58.7 %, arcilla 25.3 % y de limo 16 %. El segundo tipo de textura es arcillo arenoso, con porcentajes de arena de 48 %, arcilla 34 % y limo 18 %. Dichos valores muestran que en la mayor parte del área de estudio puede haber problemas de retención de nutrientes y agua por los altos porcentajes de arena y bajos en arcilla, según lo establecido por INTAGRI (2017).

Las muestras obtenidas arrojaron porcentajes de materia orgánica en promedio de 3.52%, valor que está dentro del rango medio y una densidad aparente inferior a $1.24 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$, lo que indica que no existen problemas de compactación del suelo, a pesar de la presencia de potreros. Las deficiencias en las bases intercambiables evidencian la baja fertilidad del suelo. No obstante, la relación Ca/K va de 3.8 a 15 y la de Ca/Mg/K es de 5.2 a 11.1; cifras encontradas dentro de lo óptimo. Los datos obtenidos arrojaron que el pH está dentro de los valores óptimos con un promedio de 6.44, es decir, no existe problemas de acidez. Lo anterior resulta beneficioso para las plantas, ya que, si hubiese valores mayores a siete, el crecimiento y buen desarrollo sería limitado por los riesgos de toxicidad (Pérez, 2013).

Por sus condiciones de pendientes superiores a 40%, la franja de protección al lado norte aumentó (Figura 25) debido a lo que establece la Ley Forestal N° 7575 (1996) en su artículo 33. Mientras que al lado sur se mantuvo en 10 metros desde el margen de la quebrada.

4.3.7.2 Primera etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (0 a 5 años)

Dentro de lo que se debe realizar en esta primera etapa, está la recolección de residuos sólidos a lo largo de los bordes de la quebrada Lajas (Figura 38), comenzando por el sector este, donde está la mayor cantidad de basura de gran tamaño.



Figura 38. Desechos sólidos encontrado dentro y en los márgenes de la quebrada Lajas, Santa Ana, San José. Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la frecuencia de las actividades de recolección de basura (campana), el OCA a cargo, bajo los lineamientos de la ANRCCR, maneja una logística para este tipo de actividades, dado que parte de sus funciones está participar en las actividades organizadas por la Alianza. Por lo anterior, se deja a criterio de estas personas el establecimiento del número de veces que se visitará el sitio y la duración por día. Con esto se logrará seguir un cronograma específico para las campañas.

Para que sea posible el mejoramiento de las condiciones biofísicas de este sitio es clave la participación de los actores directos e indirectos, comenzando por los residentes del lugar, la municipalidad responsable, el Ministerio de Salud, los centros educativos aledaños, así como los encargados del OCA junto a la ANRCCR.

La idea de involucrar a los actores antes mencionados es fortalecer el estado de quebrada Lajas por medio del establecimiento de una mayor autoridad y confianza en la comunidad acerca de que lo que se piensa realizar es algo firme y convincente y es necesario asumir la responsabilidad para lograr el objetivo.

Es de suma importancia que se considere la educación ambiental como una de las acciones: brindar charlas sobre manejo de residuos y las regulaciones que existen en cuanto a APRQ descritas en el presente estudio.

Por otra parte, es necesario realizar monitoreos sobre la flora del lugar, ya que durante el censo se encontró un árbol de gran tamaño cortado. Lo anterior da indicios de que están ingresando al área de protección a extraer madera, ya que el árbol era un *Guazuma ulmifolia* (guácimo) (Figura 39).



Figura 39. Árbol de guácimo (*Guazuma ulmifolia*) cortado dentro del área de protección de quebrada Lajas, Santa Ana, San José. Fuente: Elaboración propia

4.3.7.3 Segunda etapa de rehabilitación forestal: corto plazo (6 a 10 años)

Una vez lograda una reubicación de las viviendas, es posible considerar una reforestación de las áreas de protección. Eso sí, se debe considerar realizar un nuevo análisis de suelos de estas zonas que estuvieron cubiertas por infraestructura, que incluya variables como la densidad aparente para determinar el nivel de compactación que tiene y aplicar un tratamiento previo a la plantación.

De acuerdo con Alvarado y Raigosa (2012), la capacidad de un árbol o ecosistema de producir biomasa con pocos nutrientes es una característica importante para considerar al momento de elegir especies para suelos degradados y deficientes en nutrimentos. Es por ello que, con la información del censo forestal realizado en la quebrada Lajas, se pueden seleccionar especies nativas que tengan características beneficiosas para el ecosistema ribereño y que lograrán adaptar y desarrollar en estos suelos.

Especies para rehabilitación forestal

Las siguientes especies se pueden plantar en esta segunda etapa de rehabilitación forestal, ya que se encuentran en cantidades reducidas y al ver su capacidad de adaptación a estas condiciones edáficas,

se puede asegurar un mayor éxito en su desarrollo. Además de sus características positivas que benefician el medio ecosistémico.

De las especies *Inga spp.* (guabas) se registraron solamente cuatro individuos, tres de ellos de *Inga vera* (cuajiniquil) con un diámetro promedio de 26 centímetros. Este árbol de hasta 15 metros de altura (Zamora, 2014) es recomendado por Sánchez et al. (2015) para la rehabilitación forestal. Es de rápido crecimiento y ofrece servicios ambientales como fijación de nitrógeno y fertilización a través de sus residuos como mulch (Barrance et al., 2003).

También, se encontró *Tecoma stans* (candelillo, carboncillo, vainillo) con solo dos individuos. Esta especie que puede alcanzar hasta 6 metros de altura también es sugerida por Morales et al. (2012) porque ayuda en la protección de los suelos, atrae fauna y presenta floración casi todo el año y con un color amarillo. También, mencionan estos autores que los requerimientos lumínicos son medios y en humedad son bajos.

Otra especie encontrada con baja abundancia es *Bursera simaruba* (indio pelado) con cinco individuos. La recomiendan los expertos encuestados y Sánchez et al. (2015) para la rehabilitación forestal en la GAM. Puede alcanzar 19 metros de altura, aunque Barrance et al. (2003) habla de hasta 30 metros y menciona que se ha utilizado para el control de la erosión, pues es capaz de soportar condiciones de suelo extremas y se recomienda la obtención de semillas dentro de la misma zona.

De la especie *Byrsonima crassifolia* (nance) no se registraron individuos, pero es recomendada por los expertos encuestados, Sánchez et al. (2015) y Morales et al. (2012) para el Valle Central por sus funciones de protección de suelos y atracción de fauna, pues sus frutos son carnosos y consumidos tanto por los humanos como por mamíferos y aves. Además, tiene una floración amarillo-anaranjadas vistosas, es heliófita y presenta un crecimiento rápido (Barrance et al., 2003).

Inicialmente se pueden plantar estas especies para que el suelo se vaya recuperando de los impactos generados por el establecimiento de infraestructuras sobre este. Cuando estas plantas se establezcan y adapten, se puede llegar a realizar un enriquecimiento de especies.

4.3.7.4 Tercera etapa de rehabilitación forestal: largo plazo (11 a 15 años)

En esta tercera etapa para la quebrada Lajas se pretende mantener el monitoreo de los árboles plantados e incluso los que se censaron en este estudio. Es decir, hacer un censo forestal y muestreo

de suelos nuevamente para así conocer la tasa de mortalidad y determinar si las especies recomendadas fueron las correctas; así como conocer si el estado del suelo ha mejorado o se mantiene.

La metodología para seguir en esta etapa debe ser la misma implementada en el presente estudio (Sección 3.2 Condiciones actuales del uso de la tierra), ya que, si se aplica un método diferente, los resultados no son comparables. De esta manera se puede analizar los datos obtenidos con los nuevos.

4.3.8 Importancia de los viveros forestales en la rehabilitación de ecosistemas

Para el proceso de rehabilitación forestal será necesario tener una fuente que provee el material vegetativo. La forma más confiable y recomendable si no se tiene este material a mano o no se tienen los implementos para la reproducción de árboles, es un vivero forestal: este tendrá variedad de especies en diferentes etapas de desarrollo y que lleven un proceso de adaptación al medio.

Un vivero forestal, de acuerdo con Sanchún y Obando (2016), “es un área dedicada a la producción de árboles de especies forestales, destinados a ser utilizados en la restauración, forestación, reforestación, repoblación forestal o cualquier otra actividad que involucre el establecimiento de especies forestales” (p. 350). Los viveros forestales son una alternativa rápida en los proyectos de reforestación, debido a que muchas veces la recolección de material genético directamente del sitio para luego su reproducción puede resultar más costosa y riesgosa, así como la opción de siembra directa de semillas. Lo anterior justifica la selección de un vivero, pues en estos podemos encontrar árboles ya establecidos de una altura recomendable para plantar, de un metro o más (Figura 40), y con una buena calidad genética; lo que asegura su supervivencia y desarrollo en el campo.



Figura 40. Árboles de aproximadamente 1.30 metros ubicados en el vivero de la CNFL ubicado en Finca de la Sostenibilidad y la Energía, Dulce Nombre, Coronado, San José. Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que no se pueden llegar a encontrar especies poco comunes en estos sitios de reproducción forestal, existe una variedad considerable de especies arbóreas. A nivel del GAM se tiene disponibilidad de varios viveros, dentro de los cuales se pueden mencionar el de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz y el vivero de la Universidad Nacional, Campus Omar Dengo (colaborador del presente proyecto).

Los viveros de la CNFL están ubicados en la Finca de la Sostenibilidad y la Energía, Dulce Nombre, Coronado, San José, Universidad para la Paz, El Rodeo, Ciudad Colón y San José. Su producción anual para el año 2021 fue de 27,585 unidades y desde el 2018 se han producido 237,315 árboles (CNFL, 2021). Actualmente, producen incluso especies de alto valor ecológico, tomando en cuenta su uso múltiple y así generar diferentes beneficios al usuario final.

Por otra parte, se encuentra el vivero Forestal de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, campus Omar Dengo. En este se produce una gran variedad de especies, desde plantas medicinales hasta de uso forestal, así como ciertas investigaciones acerca de las plantas de Costa Rica.

4.3.9 Proceso de reforestación para la rehabilitación para las áreas de protección del presente estudio

4.3.9.1 Selección de árboles en el vivero forestal

Las características de cada individuo que se va a plantar deben reflejar una apariencia saludable, principalmente si proviene de un vivero forestal. Sánchez et al. (2015) menciona las siguientes características para un árbol sano al momento de trasladar de vivero a campo (Cuadro 14).

Cuadro 14. Especificaciones técnicas para la selección de especies arbóreas. Fuente: elaboración propia con datos de Sánchez et al. (2015)

Altura (m)	1.5
Copa	Definida, bien formada, frondosa, diámetro mínimo de 75 cm.
Follaje	Buenas condiciones de turgencia, sin signos de resequeidad, sin manchas foliares por hongos, sin amarillamiento o clorosis, ni mosaicos o arrugamientos producto de virosis, bacterias, deficiencias nutricionales o enfermedades fisiológicas. Libre de mutilaciones o marcas provocadas por insectos mutiladores.
Diámetro (cm)	5
Fuste o tronco	Recto, un solo eje, libre de ramas. Libre de perforaciones producto de insectos o daño mecánico
Adobe	Consistente y proporcional al tamaño del árbol tipo urbano, en bolsa plástica.
Raíces	Poda de raíz totalmente recuperado y sin raíces expuestas

4.3.9.2 Densidad de árboles a plantar

La densidad de plantación recomendada es de tres metros. Con esta distancia mínima se procura tener una alta densidad a mediano y largo plazo, lo que ayuda a disminuir la erosión eólica e hídrica por la cobertura y traslape de copas, y, dado que la velocidad de crecimiento entre especies es distinta, se generarán diferentes doseles (Sánchez et al., 2015).

4.3.9.3 Fertilización

El análisis fisicoquímico de los suelos realizado permite el dato exacto de los contenidos de nutrimentos. En todos los sitios se presentó una deficiencia de fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio

(Mg), por lo que al momento de plantar se deben aplicar fertilizantes con altos contenidos de estos tres elementos. Para el caso del fósforo (P), Sánchez et al. (2015) especifican las fórmulas 10-30-10 o la 12-24-12 (N-P-K), granulado aplicado al fondo del hueco. La dosis que recomiendan estos autores es de 20 gramos para árboles de 1.5 metros y 40 gramos para los de 2 a 3 metros. Agregan que después del abono, se debe cubrir con tierra suelta unos 2.5 centímetros para aislarlo de las raíces y así no se quemem.

4.3.9.4 Seguimiento de árboles plantados

Es muy importante que una vez que realice la reforestación, se haga un levantamiento geográfico de todos los árboles con el uso de un GPS o manualmente. De acuerdo con Sánchez et al. (2015), esto permitirá medir los porcentajes de sobrevivencia de los individuos. Es decir, en la primera etapa cada año se debe realizar un inventario de la existencia de los árboles.

4.3.10 Mantenimiento de las áreas reforestadas en la primera etapa del proceso de rehabilitación forestal

Sánchez et al. (2015) resaltan la importancia de dar un mantenimiento silvicultural como mínimo durante los primeros tres años posterior a la plantación pues lo describen como el “período crítico de establecimiento”.

4.3.10.1 Levantamiento topográfico de cada árbol plantado

Además de hacerse un registro de los árboles plantados durante o después de la siembra, se debe repetir un registro una vez al año durante los primeros 3 a 5 años donde solo se incluyan los individuos que estén vivos.

4.3.10.2 Rodajea del árbol

Se realiza una chapea alrededor del árbol con una medida de radio mínima de un metro. Se recomienda hacerlas de tres a cuatro veces al año, según la tasa de crecimiento de cada especie. La época recomendada para hacerlo es la lluviosa, pues es cuando se activa el crecimiento de las plantas. La manera más recomendable para hacerlo es manual con machete o pala, pues si se utiliza motoguadaña se puede herir el árbol plantado (Figura 41) (Sánchez et al., 2015).

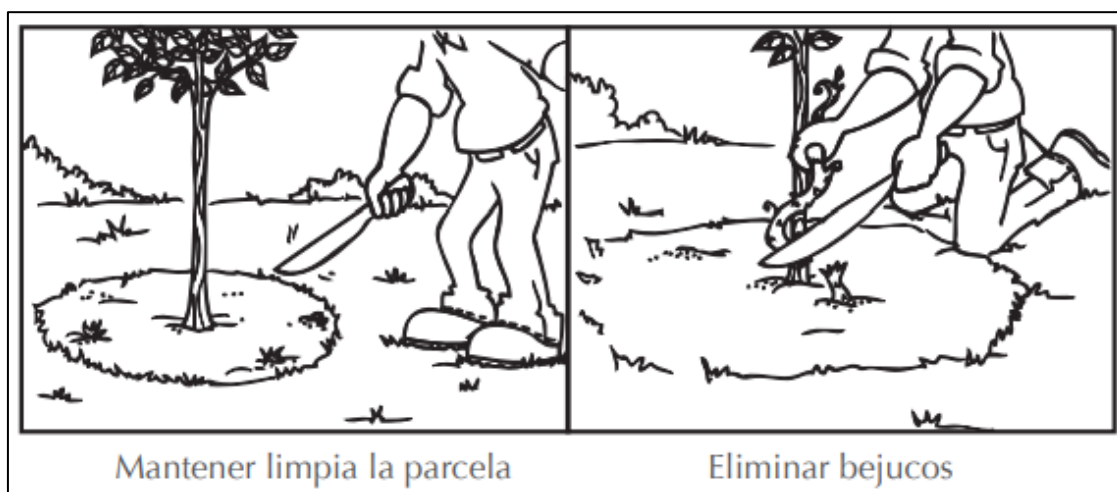


Figura 41. Ejemplo de una correcta rodajea y eliminación de malezas. Fuente: ONF (2009)

4.3.10.3 Control de plagas y enfermedades

De acuerdo con Sánchez et al. (2015), posterior a la plantación se debe aplicar un herbicida sistémico como mínimo dos veces al año y en época lluviosa. Concordando con Morales et al. (2012, p. 30) es importante, “mantener un programa sistemático de monitoreo de la salud de los árboles y arbustos plantados a fin de determinar a tiempo la necesidad de control.”

4.3.10.4 Fertilización

Con base en Sánchez et al. (2012, p.) se debe seguir lo siguiente:

La segunda aplicación se debe realizar tres o cuatro meses posteriores, una fórmula completa que será más efectiva en la etapa de crecimiento activo y adaptación del árbol al terreno. La dosis de abono a aplicar es de 20 gramos para árboles de 1.5 metros y 40 gramos para los de dos a tres metros. Cuando son árboles de más de cuatro metros, no es necesario aplicar abono, debido a que estos ya se han establecido. De manera opcional se puede aplicar una tercera abonada para preparar el árbol para la época seca, se recomienda una fórmula orgánica (gallinaza, compost, heces de cerdo o vaca, lombricompost) que provea gradualmente al árbol de nitrógeno y mantenga la humedad puntual.

A) Primera abonada

Se debe aplicar en época lluviosa y se recomienda utilizar fertilizaciones fosfóricas (N-P-K: 10-30-10 o 12-24-12), ya que estimulan el crecimiento de la raíz mientras que las fertilizaciones nitrogenadas fomentan el rápido crecimiento de materia verde y se exponen las estructuras (tejidos tiernos) que se predisponen al ataque de plagas y enfermedades. Si se quiere utilizar alguna fertilización nitrogenada,

se recomienda aplicarla de manera fraccionada y orgánica, no química, ya que estaría disponible para el árbol, pero de manera lenta y gradual, lo que no causa el indeseable efecto mencionado (de abundante tejido tierno susceptible).

En terrenos con pendiente, para que la abonada (después de la plantación) sea más efectiva, se debe realizar de forma espequeada (hacer un hueco de unos 4-5cm de ancho y 5-7 centímetros de profundidad, cerca de la base del árbol, colocar el abono y cubrirlo con tierra, para que no lo lave la lluvia). Es importante recordar que, el espeque se debe hacer en el lado superior al árbol con respecto a la pendiente, pues esto genera que, con la lluvia, el abono se escurra hacia la raíz del árbol y realizarlo en la línea de la gotera, donde el crecimiento radical es activo (Figura 42).

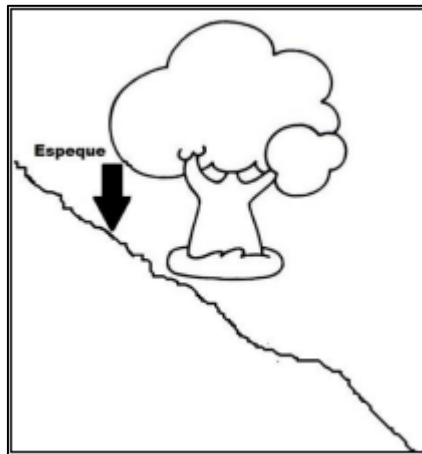


Figura 42. Ejemplo de la ubicación del espeque a la hora de fertilizar. Fuente: PCHCB, 2013 cita en Sánchez et al. (2015)

4.3.10.5 Poda

“Consiste en la eliminación de ramas, ya sea desde su base o en sus partes medias o terminales.” (Morales et al., 2012, p.42) Estas podas no son prohibidas dentro del área de protección siempre y cuando estén supervisadas por un profesional o ingeniero forestal y se recomienda realizarlas al menos una vez al año a los árboles que requieran podas de mantenimiento o sanitarias (Sánchez et al. 2015). La ONF (2009) señala que se deben hacer en época seca para que el secado del corte sea mejor y evitar el ataque de plagas.

Por otra parte, la primera poda se debe realizar cuando los árboles alcancen al menos tres metros de altura y solo cortando hasta una tercera parte de la copa (Figura 43); si se excede de este rango, el árbol se puede ver afectado en su desarrollo (ONF, 2009).

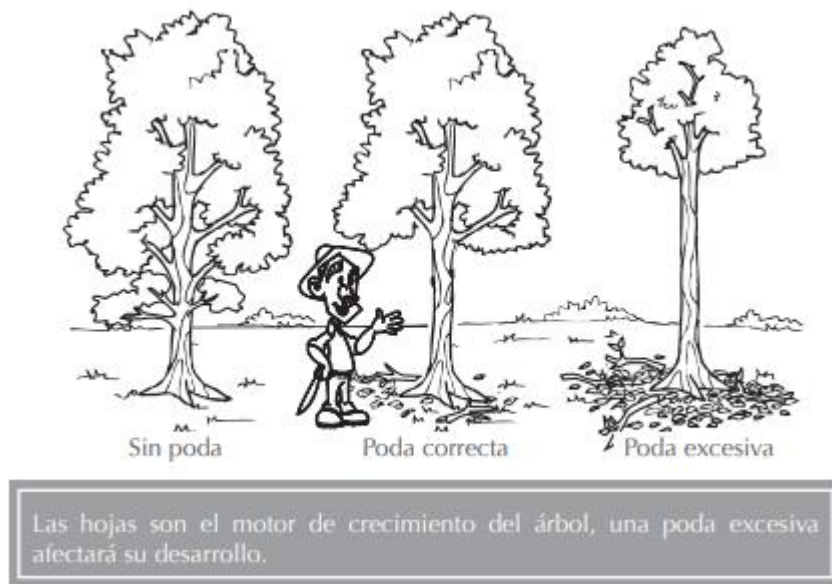


Figura 43. Ejemplo de una correcta poda de un árbol. Fuente: ONF (2009)

a) Tipos de podas:

a. Poda de forma

“Su objetivo es controlar el crecimiento de la copa de los árboles para adecuarla al espacio disponible para su crecimiento o, dado el caso, modificar su estructura con el fin de que adquiera la forma deseada.” (Morales et al., 2012, p. 43)

b. Poda fitosanitaria

Consiste en eliminar las ramas atacadas por plagas o enfermedades. Generalmente se aplica cuando el daño causa un efecto adverso a la estética, existe riesgo de colapsar y afectar la inversión humana o hay un riesgo evidente de que el agente causal pueda avanzar sobre el resto del árbol o hacia otros individuos. (Morales et al., 2012, p. 43)

b) Pasos para una correcta poda:

La poda “debe hacerse al ras del tronco, sin desgarrar la corteza y evitando provocar daños en la madera que puedan afectar su calidad o que faciliten la entrada de enfermedades, a través de las heridas del corte.” (ONF, 2009, p.22)

a. Primera poda

1) Poda de ramas con menos de cinco centímetros de grosor se debe hacer en dos cortes (Figura 44).

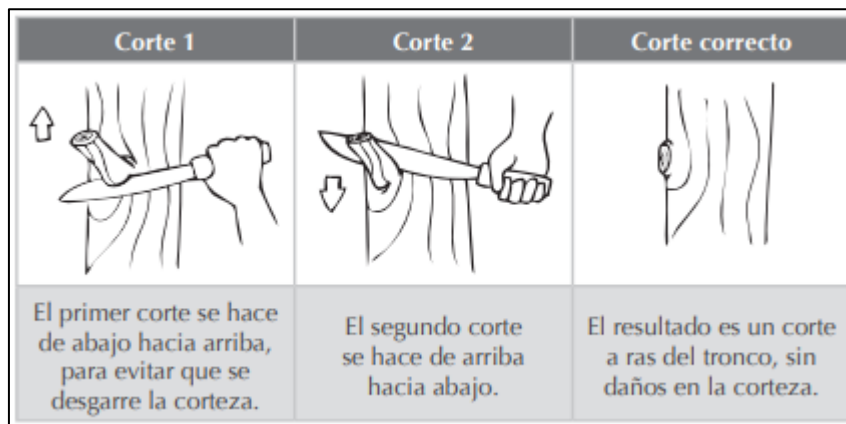


Figura 44. Ejemplo de poda para ramas con menos de cinco centímetros de grosor. Fuente: ONF (2009)

2) Poda de ramas con un grosor mayor cinco centímetros se deben hacer en tres cortes (Figura 45).

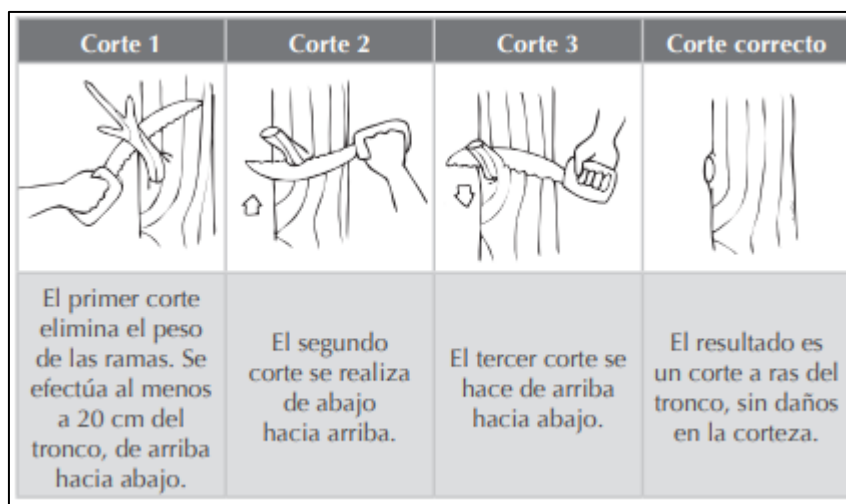


Figura 45. Ejemplo de poda para ramas de más de cinco centímetros de grosor. Fuente: ONF (2009)

Una vez realizado el corte de las ramas, es importante no olvidar colocar la pasta desinfectante selladora (para injertos). Esta tiene la finalidad de evitar que ingresen agentes patógenos, bióticos o abióticos al individuo. (Sánchez et al., 2015)

b. Segunda poda

Siguiendo las recomendaciones de la ONF (2009), pero según la especie, se puede hacer hasta 3.5 metros de la base del árbol. Se puede utilizar un serrucho de mango largo, un machete y escalera o podadora de extensión.

c) Cuidados al momento de realizar una poda

Los siguientes cuidados son mencionados por la ONF (2009):

- Evite lesiones en los árboles, así como cortes mal hechos que puedan perjudicar la calidad de la madera y facilitar el ingreso de plagas y enfermedades.
- Efectúe un buen manejo del material residual, para impedir acumulaciones que provocan incendios o la generación de plagas y enfermedades.
- En caso de presencia de enfermedades, manipule cuidadosamente las herramientas utilizadas, para evitar el contagio de árboles sanos.
- Evite podas muy altas, entre mayor altura más se dificulta su ejecución, lo que puede afectar el crecimiento de los árboles.

4.3.11 Cronograma de actividades de reforestación y mantenimiento de las áreas de protección.

Para un correcto proceso de rehabilitación, es fundamental tener programadas las actividades anuales tanto de reforestación como de mantenimiento (Figura 46).

Actividad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Realización de mapa del área a intervenir												
Levantamiento geográfico de cada árbol plantado												
Rodaja previa a plantación de cada árbol												
Aplicación de herbicida por contacto												
Rodaje de mantenimiento de cada árbol												
Podas sanitarias y de mantenimiento												
Aplicación de abono o fertilizante												
Plantación de árboles												

Figura 46. Cronograma anual de mantenimiento agrosilvicultural en áreas de protección reforestadas.

Fuente: Elaboración propia con datos de PCHCB (2013) citado en Sánchez, et al. (2019)

5. Conclusiones

De los 97 OCA inscritos alrededor del país, se seleccionaron y priorizaron para una rehabilitación forestal 5 sitios: área de protección de quebrada Perico, quebrada Lajas, río Tiribí, afluyente María Aguilar, y quebrada Turú, los cuales presentaron usos de la tierra no conformes a la Ley N° 7575. Además, en el sitio de quebrada Lajas se presenta invasión al área de protección por uso residencial informal (7.7 %).

En términos generales, las condiciones de suelos de los 5 sitios fueron medias en cuanto a textura del suelo, densidad aparente y pH. Las texturas de suelos encontradas en los sitios son variadas. Para la quebrada Perico, quebrada Turú y afluyente María Aguilar, se encontraron suelos francos (50 %, 25 % y 50 %, respectivamente) y franco arenosos (50 %, 75 % y 50 %, respectivamente); mientras que en el río Tiribí hay franco-arenosos (25 %), francos (50 %) y franco arcillosos (25 %) y en quebrada Lajas con franco arcillo arenosos (75 %) y arcillo arenosas (25 %). Es decir, la variabilidad en textura es notable. La fertilidad varió según los sitios, desde baja a media, principalmente con deficiencias en calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P).

Dentro de los árboles que se encontraron durante el censo forestal, se destacan las especies *Erythrina poeppigiana* (poró), *Mangifera indica* (mango), *Tabebuia rosea* (roble de sabana) y *Guazuma ulmifolia* (guácimo). Un 7.85 % de estas especies censadas también se encuentran dentro de estudios y protocolos para rehabilitación de áreas protegidas.

En los 5 sitios de estudio, es posible la reforestación con fines de rehabilitación del ecosistema ripario, sin embargo, bajo las condiciones actuales de invasiones residenciales, esta no es posible realizarse en el 100 % del área de los sitios, aun cuando se trate de un área de protección del río o quebrada. La excepción es quebrada Turú, de la cual las únicas áreas construidas son calles a ambos extremos del lugar y un puente en medio del trayecto estudiado.

El manejo forestal urbano es un tema que ha venido en auge en los últimos años. Debido al aumento en las tasas de crecimiento y urbanización, la necesidad de establecer áreas verdes para mejorar la calidad de vida de las personas se ha convertido en un tema nacional importante, hasta el punto de que se sumara una décima categoría de manejo llamada “Parques Naturales Urbanos”. La cual viene a conservar y proteger la biodiversidad.

La propuesta viene a complementar el manejo forestal con la particularidad del trabajo en áreas urbanas. Es así como a través de un diagnóstico de las condiciones biofísicas por medio de inventarios forestales, muestreo de suelos, cálculo del área según su uso de suelo dentro del área de protección, se llegó a determinar cuáles sitios son prioritarios para la rehabilitación forestal. Acorde con los resultados, fueron dos sitios que destacaron como prioritarios, río Tiribí (Cartago) y quebrada Lajas (San José), ambos con un valor de 60 %, y quebrada Turú arrojó el porcentaje más bajo 51.7 %. No obstante, a este último se le formuló también una propuesta, pues a pesar de estar en las mejores condiciones a comparación de los otros cuatro sitios, posee aspectos de mejora a nivel de manejo forestal.

La reforestación por etapas, respaldada en el diagnóstico de los sitios, se presenta como una estrategia efectiva de rehabilitación del ecosistema ripario, donde las especies forestales recomendadas para la esta se basan, en parte, en el protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección del GAM. Por otro lado, estos protocolos son una herramienta muy útil para guiarse al momento de una reforestación. No obstante, al ser una guía que se aplica a nivel general dentro de la GAM, no tiene la especificidad para determinar si la especie que se quiere plantar crecerá y se desarrollará de la manera correcta, pues la diversidad tanto de suelos como de escenarios urbanos, cambian el rumbo de un proceso de rehabilitación.

Para la ANRCC, el presente estudio es un proyecto piloto que servirá de herramienta base para replicar en los diferentes OCA del país. De esta manera, sus esfuerzos por mejorar la calidad del agua a nivel de Costa Rica se completan cada vez más, pues la calidad del agua de los ríos y quebradas a escala país se complementarían con la rehabilitación forestal del ecosistema ripario. Los análisis de suelos y los inventarios forestales complementan los análisis de agua que usualmente realizan los OCA.

6. Recomendaciones

Primeramente, es importante generar un diagnóstico biofísico a través de un inventario forestal para determinar el estado actual del área de protección, si está a capacidad el uso del suelo o si existe un sobreuso como infraestructura, o algún otro cambio de uso.

El análisis de suelos es importante en el proceso de diagnósticos de las condiciones del sitio, pues este nos ayuda a determinar cuáles especies forestales son aptas para ese suelo, o si se necesita enmiendas para que mejorar las características de este. Además, de forma inversa, se pueden hacer estos muestreos y análisis en cada etapa de la rehabilitación forestal, para conocer si el aumento en la

cobertura forestal ha ido mejorando las condiciones fisicoquímicas del suelo. Cabe agregar, que es necesario considerar metodologías específicas que se adapten al lugar.

A nivel metodológico y de gestión existen limitaciones. No obstante, debido al incremento de las áreas urbanizadas es importante que se realicen estudios en estas APRQ. Pues el manejo forestal es clave para las áreas urbanas, espacios verdes y en las AP.

Para mejorar el ecosistema ripario, además del aumento de cobertura forestal, resulta importante incorporar otro tipo de vegetación. Es decir, se requieren hacer más estudios en este aspecto para determinar cómo mejorar las condiciones actuales.

Es importante considerar los diferentes factores sociales y ambientales al momento de proponer una rehabilitación forestal en APRQ, ya que la problemática en áreas urbanas va más allá de ausencia de árboles, pues también influyen la invasión a estas áreas, la contaminación con residuos sólidos y aguas negras, la desinformación de las personas que conviven con estos ecosistemas y la involucración aislada de las instituciones competentes. Por lo cual, se debe buscar una alianza entre diferentes actores multidisciplinarios que brinden su apoyo en diferentes partes de lo que conlleva una rehabilitación forestal.

A los ciudadanos se les recomienda formar parte de organizaciones como los OCA para que participen del proceso de mejoramiento de la calidad de los ríos de Costa Rica y, principalmente, ser conscientes de las acciones de cada uno, qué se está haciendo por o en contra del bienestar del medio ambiente.

Es importante que se busque tener incidencia política en el tema de rehabilitación forestal. Esto para que sirva como instrumento para los planes reguladores de las municipalidades, en el tema de las áreas de protección.

7. Referencias bibliográficas

- Acueductos y Alcantarillados (AyA). (actualizado en 2024, 25 de febrero). *Programa Bandera Azul Ecológica*.
<https://www.aya.go.cr/laboratorio/banderaAzul/SitePages/Objetivos%20por%20Categor%C3%ADa.aspx>
- Aguilar-Yanez, G. (2012). *Manual práctico de mecánica de suelos*. Instituto Técnico Superior “Eugenio Espejo” https://issuu.com/itseebabahoyo/docs/manual_prctico_de_mec_nica_de_su
- Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (ANRCCR). (2020, 19 de marzo). *Alcance interinstitucional de los Observatorios Ciudadanos del Agua*.
<https://www.riosycuencas.com/publicaciones/1619>
- Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica (ANRCCR). (2020, 2 de marzo). *Observatorios ciudadanos del agua*.
<http://riodocumentaries.com/alianzariosycuencas/developer/index.php/es/component/content/article/148-proyectos/proyecto-de-cooperacion-nacional/2141-observatorios-del-agua?Itemid=562>
- Alvarado, A. y Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales* (1.a ed.). Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS).
- Alvarado-Arguedas, J. y Villalta-Calvo, J. (2015). *Propuesta de ordenamiento y restauración forestal del corredor hídrico ribereño de un segmento del río Sarapiquí, Heredia, Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica]. Biblioteca Facultad Tierra y Mar.
- Álvarez, E. y Fernández, M. (2011). Metales pesados en el suelo. En M. López, E. y Sainz, J. (eds.), *Gestión de residuos orgánicos del uso agrícola* (1ra ed.). Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela.
https://www.academia.edu/36160772/Gesti%C3%B3n_de_residuos_org%C3%A1nicos_de_uso_agr%C3%ADcola
- American Forests. (2012). *Urban forests case studies: Challenges, potential and success in a Dozen Cities*. https://issuu.com/americanforests/docs/af_urbanforestscasestudies_final_web_test
- Andrades, M. y Martínez, E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de La Rioja-Servicio de Publicaciones.
- Arellano-Hartig, F. (2012). *Situación e intervención realizada por el Comité de Bandera Azul Ecológica*. Programa de Reforestación Hacienda Imperial.
- Arguedas-Ortiz, D. (2016, 29 de julio). Gran Área Metropolitana: víctima y cómplice del cambio climático. *Ojo al Clima*. <https://ojoalclima.com/gran-area-metropolitana-victima-y-complice-del-cambio-climatico/>

- Bandera Azul Ecológica Costa Rica. (2016). *Manual de procedimientos galardón microcuencas*. <https://banderaazulecologica.org/landing-de-categorias/microcuencas>
- Barrance, A., Beer, J., Boshier, D., Chamberlain, J., Cordero, J., Detlefsen, G., Finegan, B., Galloway, G., Gómez, M., Gordon, J., Hands, M., Hellin, J., Hughes, C., Ibrahim, M., Kass, D., Leakey, R., Mesén, F., Montero, M., Rivas, C., ..., y Pennington, T. (2003). *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. OFI/CATIE.
- Bermúdez-Rodríguez, O. (2015). *Análisis del paisaje para la microcuenca del río Quebrada Honda para determinar estrategias de ordenamiento y restauración forestal* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica]. Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional.
- Briceño, A. (2020). *Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica. Ejes de trabajo de los Observatorios Ciudadanos del Agua*. <http://alianzariosycuencascr.org/index.php/es/component/content/article/163-publicaciones/observatorios-ciudadanos-del-agua/3814-ejes-de-trabajo-de-los-observatorios-ciudadanos-del-agua?Itemid=562&fbclid=IwAR1Dy030C3PjEAnweSr8hLPa7N1GrI8UaBM6KLO9Bm3zihzc58iaXNKqx3Q>
- Cajiao, M. (2021). Parques Naturales Urbanos: Nueva categoría de manejo de áreas silvestres protegidas en Costa Rica. *Ambientico*, 278 (10): 63-65. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/35863/011-Cajiao.pdf>
- Calderón-Medina, C., Bautista-Mantilla, G. y Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2),141-157. <http://dx.doi.org/10.22579/20112629.524>
- Calvo-Brenes, G. y Mora-Molina, J. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 33-39. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/617/543
- Calvo-Villalobos, 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 de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica]. Biblioteca Facultad Tierra y Mar.
- Camacaro, S., Garrido, J. y Machado, W. (2004). Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek* y su transferencia a las gramíneas asociadas. *Zootecnia Tropical*, 22(1), 49-70. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692004000100004

- Campos-Aranda, D. (2010). *Introducción a la hidrología urbana..*
[https://www.academia.edu/15233413/Introducción a la hidrología urbana?email_work_card=view-paper](https://www.academia.edu/15233413/Introducción_a_la_hidrología_urbana?email_work_card=view-paper)
- Campos, J. (2019). *Corredor Biológico Interurbano María Aguilar*. Proyecto Biodiver_City San José.
<http://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/corredores-biologicos/corredor-biologico-interurbano-maria-aguilar-0>
- Carrera, C. y Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. EcoCiencia.
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>
- Castro, A. (2017, 11 de enero). Tárcoles: a la espera de un milagro. *Semanario Universidad*.
<https://semanariouniversidad.com/pais/httpsemanariouniversidad-ucr-crtarcoles/>
- Centro Científico Tropical (CCT). (1989-2014). *Tipos de suelos en Costa Rica*. Escala 1: 200 000. Disponible en Atlas Digital de Costa Rica (2014) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Chávez-Ávila, A. (2015). *Comparación de dos métodos de determinación de la capacidad de intercambio catiónico en suelos de la región central de Honduras*. [Proyecto de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana de Honduras]. Biblioteca Digital.
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4564/1/CPA-2015-021.pdf>
- Chinchilla, M., Mata, R. y Alvarado, A. (2011). Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del río Pirris, región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 83-107. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43622353006>
- Comín, F.A. (2002). Restauración ecológica: teoría versus práctica. *Ecosistemas*, 11(1-5).
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/309/304>
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). (2021). *Tercer Informe de Sostenibilidad 2021*.
https://www.cnfl.go.cr/contenido/documentos/transparencia/informacion-institucional/cnfl_2021_informe_sostenibilidad.pdf
- Contraloría General de la República (CGR). (2014). *Informe de la auditoría de carácter especial acerca del cumplimiento de las obligaciones establecidas en la normativa para el resguardo de las áreas de protección de los ríos ubicados en la gran área metropolitana* (N° DFOE-AE-IF-14-2014). https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2014/SGYD_D_2014021793.pdf
- Courel, G. (2019). Guía de estudio. Suelos salinos y sódicos. *Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán*.
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjFpM2rztvAhWjmuAKHaYYDVYQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.edafologia.org%2Fapp%2Fdownload%2F9026474176%2FSuelos%2BSalinos%2BBy%2Bs%25C3%25B3dicos%2B2019.pdf%3Ft%3D1563476239&usg=AOvVaw0mu2xStd9mEgTWbYTiWp6D>

- De La Vega, F. (2017). *Descripción y análisis de la metodología de evaluación visual de árboles urbanos-VTA (Visual Tree Assessment)* [Proyecto de bachillerato, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional Universidad Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3441/de-la-vega-centuri%c3%b3n-fernando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dobbs-Brown, C. (2021, 26 de marzo). *Servicios ecosistémicos* [ponencia]. Seminario Virtual: Gestión del arbolado Urbano y su aporte ecosistémico. Plataforma de Zoom meetings. <https://www.youtube.com/watch?v=RxeIvM9V6Fg>
- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (1999). *Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/31384/S99120968_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Esquivel-Ugalde, A. (2013). *Propuesta de restauración forestal de las áreas de protección de los principales afluentes del Corredor Biológico Río Pará Grande* [Tesis de licenciatura Universidad Nacional de Costa Rica. Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1994). *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Servicio Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Fileccia, T., Guadagni, M. y Hovhera, V. (2014). *Ukraine: soil fertility to strengthen climate resilience*. <https://issuu.com/world.bank.europe.central.asia/docs/ukraine-soil-fertility-to-increase->
- Galeano-Galeano, J.D. (2019). *Diseño y establecimiento piloto de núcleos de vegetación nativa para recuperación de áreas degradadas en un tramo del río Guamal, San Carlos de Guaroa-Meta* [Tesis de bachillerato, Universidad Santo Tomas]. Repositorio de Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16669/2019juliangaleano.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Gómez-Garita, C. (2018). *Evaluación de un protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la Subregión de San José, de la Gran Área Metropolitana* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional]. Biblioteca Facultad Tierra y Mar.
- Gómez-Ramírez, C. (2019). *Diagnóstico en terrenos inclinados para el desarrollo de distritos de riego, caso de estudio: veredas de la zona norte del municipio de Paipa*. [Proyecto Social, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Universidad Católica. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24233/1/Proyecto%20de%20Grado.pdf>
- Gutiérrez, M., Lobo, S. y Ramírez, H. (2022). La política forestal costarricense: evolución histórica, avances y retos en la década de la restauración. *Ambientico*, 283 (1): 4-9.

https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/38595/3010-22_art01_Ambientico_283_dig.pdf

Gutiérrez Wa-Chong, T. (2018, 12 de febrero). Represas eléctricas dan la mano al río más contaminado del mundo. *La República.net*. <https://www.larepublica.net/noticia/represas-electricas-dan-la-mano-al-rio-mas-contaminado-del-mundo>

Hincapié-Gómez, E. y Ramírez-Ortíz, F. (2010). Riesgo a la erosión en suelos de ladera de la zona cafetalera. *CENICAFÉ*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/404/1/avt0400.pdf>

Hurtado, E. (2020, 11 de diciembre). Cómo influye el pH sobre la disponibilidad de nutrientes en las plantas. *Campo de Bienamayor*. <https://www.campodebenamayor.es/ph-y-nutricion-de-las-plantas/>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y Ministerio de Salud (MINSa). (2016). *Política nacional de saneamiento en aguas residuales*. AyA-MINAE-MS. <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Saneamiento%20en%20Aguas%20Residuales%20marzo%202017.pdf>

Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2016a). *Informe de caracterización básica territorio Barva-Santa Bárbara-San Isidro-San Rafael-Santo Domingo-Vara Blanca*. <https://www.inder.go.cr/heredia-rural/Caracterizacion-Barva-Santa-Barbara-San-Isidro-San-Rafael-Santo-Domingo-Vara-blanca.pdf>

Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2016b). *Región Central, Caracterización del territorio Cartago-Oreamuno-El Guarco-La Unión*. <https://www.inder.go.cr/correque/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf>

Instituto Costarricense de Turismo (ICT). (2020, 06 de abril). *Programa de Bandera Azul Ecológica. San José, Costa Rica: Visit Costa Rica*. <https://www.ict.go.cr/es/sostenibilidad/bandera-azul.html>

INTAGRI. (2017). Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas. *Serie Suelos. Artículos Técnicos de INTAGRI*, (29). <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

Jager, M. y Quirós, G. (2016). *Diagnóstico cantonal de la Municipalidad de San Isidro de Heredia*. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwig2YXz8c3oAhVRMt8KHb1-BFoQFjADegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.munisanisidro.go.cr%2Findex.php%2Fdocumentos%2Fproyectos-sociales%3Fdownload%3D540%3Adiagnostico-pieg-san-isidro&usq=AOvVaw12THJGwrJOX5QtdZZV2Z3c>

Jiménez-Zúñiga, E. (2018). *Rehabilitación de áreas degradadas en el parque para el Desarrollo Humano Alajuelita, San José, Costa Rica* [Proyecto Universitario, Instituto Tecnológico de Costa

Rica].

https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/ob_2_rehabilitacion_de_areas_degradadas_en_el_parque_para_el_desarrollo_humano_alajuelita_san_jose_costa_rica_alajuelita.pdf

Jiménez, J., Brenes, F., Araya, F., Acosta, V. y Gutiérrez, S. (2019). *Inventario de flora y fauna corredor biológico interurbano María Aguilar: propuesta de plantas nativas para incorporar y reproducir*. Corredor Biológico Interurbano María Aguilar. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/cr/undp_cr_Inventario_flora_fauna_CBIMA_19.pdf

Jiménez, Q. (2018). *Protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización para la provincia de Heredia*. Subcomisión Heredia-CGICRG. <https://www.belen.go.cr/documents/20181/76421/Protocolo+Reforestaci%C3%B3n+Heredia/c6e7d54d-f5ac-4bcb-bde5-676eb3051bf6>

Keller, T. y Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil matter content. *Geoderma*, 154(3-4), 398-406. <https://www.researchgate.net/requests/r86560259>

Ley 276 de 1942. Ley de Aguas. 27 de agosto de 1942. Diario Oficial La Gaceta N°190. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=11950&nValor3=91553&strTipM=TC

Ley 7788 de 1998. Ley de Biodiversidad. 30 de abril de 1998. Diario Oficial La Gaceta N°101. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=39796&nValor3=74714&strTipM=TC

Ley 7779 de 1998. Ley de Uso, Manejo y Conservación de suelos. 30 de abril de 1998. Diario Oficial La Gaceta N°97. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=26421&nValor3=93194&strTipM=TC

Ley 7575 de 1996. Ley Forestal. 16 de abril de 1996. Diario Oficial La Gaceta N° 72. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=41661&nValor3=94526

Lozada, J. (2010). Consideraciones metodológicas sobre los estudios de comunidades forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 77-88. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/31647/ensayo2.pdf;jsessionid=9E43BE9E561FDEBD876B8924C481B9E7?sequence=1>

Linquist, B.A., Ruark, M.D. y Hill, J.E. (2011). Soil order and management practices control soil phosphorus fractions in managed wetland ecosystems. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 90, 51-62. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-010-9411-3>

- Martén, E. y Jankilevich, C. (2021, 26 de marzo). *Observatorio del paisaje* [ponencia]. Seminario Virtual: Gestión del arbolado Urbano y su aporte ecosistémico. Plataforma de Zoom meetings. <https://www.youtube.com/watch?v=RxeIvM9V6Fg>
- Martínez, F. (2016). *Edafología y fertilidad de suelos*. https://issuu.com/gabrielamunoz76/docs/modulo_edafologia_y_fertilidad_de_s
- Méndez, J. y Bertsch, F. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. CIA-ACCS. ISBN: 97899689942263
- McDonald, T., Gann, GD., Jonson, J. y Dixon, KW. (2016). *International standards for the practice of ecological restoration-including principles and key concepts*. https://seraustroasia.com/wheel/image/SER_International_Standards.pdf
- Michelena, R., Irurtia, C., Eiza, M., Carfagno, P. y Pirolo, T. (2010). *Manual de procedimientos de análisis físico de suelos*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_analisis_fisicos.pdf
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2010). Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de las opciones de cosecha de agua. Consultoría SP-16-2009: Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistemas de riego en la producción agropecuaria. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F06-5898.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2020). *Política Nacional de Áreas de Protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes, 2020-2040*. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2020/09/Politica-Nacional-de-Areas-de-Proteccion_2020-40.pdf
- Molina, E. y Meléndez, G. (2002). *Tabla de interpretación de análisis de suelos*, CIA-UCR. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Tablas%20Interpretación%20Análisis%20Foliar.pdf>
- Montes de Oca, P., Mata, R. y Chaves, M. (1996). Estudios de salinidad en la provincia de Guanacaste (Costa Rica) y caracterización de algunos suelos con influencia salina. *Agronomía Mesoamericana*, 7(2), 77-83. https://www.mag.go.cr/rev_meso/v07n02_077.pdf
- Morales, J., Montero, V., Castillo, A. y Rosas, C. (2012). *Árboles y arbustos para uso urbano en el Valle Central, Costa Rica*. Editorial INBio.
- Municipalidad de Santa Ana. (2018, 23 de mayo). *Mapa*. <https://www.santaana.go.cr/index.php/institucional/el-canton/mapa>
- Naciones Unidas. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*, Santiago, Chile. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe>

- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Ospina-Arango, O.L., Vanegas-Pinzón, S., Escobar-Niño, G.A., Ramírez, W. y Sánchez, J.J. (2015). *Plan Nacional de restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ordoñez, C., Threlfall, C., Kendal, D. y Hochuli, D. (2020). How urban forest managers evaluate management and governance challenges in their decision-making. *Forests*, 11(9), 963. <http://dx.doi.org/10.3390/f11090963>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2000). *Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares: Manual de capacitación para trabajadores de campo en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/3/V5290S/v5290s00.htm#TopOfPage>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Voluntary guidelines for sustainable soil management*. <https://www.fao.org/3/bl813e/bl813e.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020, 09 de abril). *Conjunto de herramientas para la gestión forestal sostenible: Inventario Forestal*. <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/forest-inventory/basic-knowledge/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020 (a)). *Propiedades físicas del suelo*. Portal de suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Padilla, C. y Ballesteros, F. (2022a). Características para una adecuada selección de especies en árboles urbanos. *Ambientico*: 284 (3): 17-23. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/39260/ART-284-03.pdf>
- Padilla, C. y Ballesteros, F. (2022b). Establecimiento y manejo de árboles en la ciudad. *Ambientico*: 284 (4): 24-29. <https://www.ambientico.una.ac.cr/wp-content/uploads/tainacan-items/5/35863/011-Cajiao.pdf>
- Paisajes Productivos. (2018). *Actividades productivas y conservación de la biodiversidad pueden coexistir*. http://www.paisajesproductivos.org/publicaciones/pdf_4.pdf
- Paisajes Productivos. (2019). *Un proyecto pionero para las personas y la biodiversidad*. Paisajes Productivos. <http://www.paisajesproductivos.org/index.php?page=proyecto.php#close>
- Pérez, E. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de química del recinto de Grecia, sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *Revista Inersedes*, 14(29), 6-18. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/13496/12765>

- Piedra, A. y González, M. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v34n4/ctr05413.pdf>
- Poder Ejecutivo. (2018, 19 de marzo). Decreto N° 41960-MAG-MINAE. *Establecimiento de la metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras agroecológicas de Costa Rica*. Diario Oficial La Gaceta N° 215. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=90001&nValor3=118346&strTipM=FN
- Poder Ejecutivo. (2021, 17 de marzo). Decreto N° 42742-MINAE. *Creación y regulación de la categoría de manejo denominada Parques Naturales Urbanos (PANU), y de un Programa Nacional para su promoción e implementación*. Diario Oficial La Gaceta N° 53. https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=93919&nValor3=124840&strTipM=FN
- Quirós-Quesada, L.M. (2020). *Corredor Biológico Cobri Surac*. Proyecto Corredores Biológicos. <http://biocorredores.org/corredoresbiologicos/corredores-biologicos/corredor-biologico-cobri-surac>
- Ramírez, F. (2005). *El muestreo de suelos*. CIA-INTA-ACCS. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/muestreo_suelos.pdf
- Reis, A.; Campanhã-Bechara, F.; Bazzo de Espíndola, M; Koehntopp-Vieira, N & Lopes de Souza, L. (2003). Restoration of damaged land areas: using nucleation to improve successional processes. *Natureza & Conservação*, 1(1), 85-92. https://www.researchgate.net/publication/339541240_Restoration_of_damaged_land_areas_using_nucleation_to_improve_successional_processes
- Rico, Y. (2017). La conectividad del paisaje y su importancia para la biodiversidad. *U.M.S.N.H*, 6(34), 28-30. https://www.researchgate.net/publication/321197535_La_conectividad_del_paisaje_y_su_importancia_para_la_biodiversidad
- Rodríguez, C. M., Rodríguez-Romero, H. y Gutierrez-Rojas, R. (2020). *Política nacional para la recuperación de la cobertura arbórea y resguardo de las áreas de protección de ríos, quebradas, arroyos y nacientes*. MINAE, San José, Costa Rica. Con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas (PNUD). <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2020/06/Pol%C3%ADtica-Nacional-%C3%81reas-de-Protecci%C3%B3n.-05-06-2020.pdf>
- Rodríguez-Castillo, G. y Sáez-Peña, E. (2020). *Estrategia nacional para la recuperación de cuencas urbanas 2020-2030*. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2020/02/Estrategia-Nacional-Rios-Limpios_Recuperacion-de-Cuencas-Urbanas-2020-2030.pdf

- Rojas, A. e Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y los efectos sobre la población. *Población y desarrollo*, (25): 5-10. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5654360.pdf>
- Rojas, J. (2012). *Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa*. INTA- Centro Regional Chaco Formosa, Estación Experimental Sáenz Peña. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf
- Romero-Mejía, A. (2005). Propuesta metodológica para seleccionar especies pioneras leñosas con fines de restauración ecológica, dentro de la reserva biológica Cachalú (Encino-Santander). *Colombia Forestal*, 9(18), 52-59. <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939557004.pdf>
- Roslan, Z., Naimah, Y. y Roseli, Z. (2013). River bank erosion risk potencial with regards to soil erodibility. *River Basin Management VII*(172) 289-297. 10.2495/RBMM130241
- Salamanca, B. y Camargo, G. (2000). *Protocolo distrital de restauración ecológica: Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá*. Fundación Estación Biológica Bachaqueros. <https://cerrosorientales.com/wp-content/uploads/2016/04/DAMA-ProtocolodeRestauracion-2000.pdf>
- Salazar, M. (2011, 05 de agosto). *Ecosistemas. Zonas de vida de Costa Rica* [Mensaje en un blog] . <http://ecosystems-ecosistemas.blogspot.com/2011/08/zonas-de-vida-de-costa-rica.html>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M. y Chen, Y. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. <http://www.fao.org/3/i6210s/i6210s.pdf>
- Salmerón-López, A. (2018, 22-26 de mayo). *Diversidad funcional y resiliencia en bosques y matorrales secos costeros de la Reserva de Biosfera Baconao*. Cuba. VIII Meeting of The World Network Of Island and Coastal Biosphere Reserves. http://xarxabiosfera.cime.es/WebEditor/Pagines/file/VIII%20Meeting%20Menorca%202018/Presentacions/5_Arturo_funcional.pdf
- Sánchez, G., Valle, D., Scorza, F., Feoli, S. y Artavia, R. (2015). *Protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección del GAM*. MINAE, Municipalidad de San José y Compañía Nacional de Fuerza y Luz. http://www.edumovil.com/conectividad_ecosistemas/wp-content/uploads/2017/11/Protocolo-Reforestacion-Rehab-Mant-de-AP-en-la-GAM.pdf
- Sánchez, G., Valle, D., Scorza, F., Feoli, S. y Artavia, R. (2015). *Guía para la aplicación del protocolo de reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en las áreas de protección de la Gran Área Metropolitana*. <https://huelladelfuturo.cr/sites/default/files/2020-07/guia-reforestacion-gam.pdf>
- Sanchún, A. y Obando, G. (2016). El papel de los viveros forestales en la restauración. En A. Sanchún (ed.), *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas* (pp. 349-409). Scriptorium

Taller de Diseño Editorial. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/ST-GFE-no.03.pdf>

Secretaría Técnica del Plan Nacional de Desarrollo Urbano. (2013, octubre). *Zonas de vida-Plan GAM 2013*. https://www.mivah.go.cr/Documentos/PlanGAM2013/03-CARTOGRAFIA/3_Ambiental/Zonas_Vida_GAM.pdf

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2010). *Políticas para las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) del Sistema Nacional de Conservación SINAC-2011-2015..* <http://www.sinac.go.cr/ES/docu/ASP/PolíticasASPSINAC2011.pdf>

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2017, 11 de noviembre). *Código de prácticas de los estándares de sostenibilidad para el manejo de los bosques secundarios*. La Gaceta N° 42, Alcance 49. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=86058&nValor3=111499&strTipM=TC

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) y Programa REDD-CCAD-GIZ. (2014). *Protocolo de campo para la identificación de especies arbóreas: Información taxonómica y dendrológica de las especies arbóreas de Costa Rica*. <https://www.sirefor.go.cr/pdfs/VOLUMEN-3.-PROTOCOLO-PARA-LA-IDENTIFICACION-ESPECIES.pdf>

Sosa, D.A. (2012, 15 de marzo). *Técnicas de toma y remisión de muestras de suelos*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-tcnicas_de_toma_y_remisin_de_muestras_de_suelos.pdf

TEC Digital. (2014). *Acerca del GAM. Plan GAM*. <https://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/gam/?q=node/11>

Tres, D.R. y Reis, A. (16 a 22 de abril de 2007). La nucleación como propuesta para la restauración de la conectividad del paisaje [Simposio]. II Simposio internacional sobre restauración ecológica, Cuba. https://www.researchgate.net/publication/228653997_La_nucleacion_como_propuesta_para_la_restauracion_de_la_conectividad_del_paisaje

Troya-Rodríguez, J., Campos-Gómez, I., Hernández, A., Araya, J., Guerrero, M., Dobles, C. y Martínez, T. (2020). *Transición Hacia una Economía Verde Urbana*. https://m.facebook.com/story.php?story_fbid=718999885566936&id=124162787610223

Trujillo-Acosta, A. Peraza-Estrella, M.J. Marina-Hipólito, J.G. y Feoli-Boraschi, S. (2016). Evaluación del Corredor Interurbano Río Torres, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14 (34), 53-62. 10.18845/rfmk.v14i34.3001

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2015). *World urbanization prospects: The 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/366). <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- Vanegas-López, M. (2016). *Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias*. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/especies/Invasoras/files/comp1/Manual_reforestacion_utilizando_especies_nativas.pdf
- Villalobos, R. (2013). *Rehabilitación forestal de la zona de protección de la microcuenca del Río Pirro, Heredia, Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional]. Biblioteca Facultad Tierra y Mar.
- Villalobos, R., Bermúdez, T., y Romero, M. (2013). Percepción que de la rehabilitación forestal de la zona de protección del río tienen sus vecinos. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci.)*, 46(2), 78-83. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.46-2.7>
- Weatherspark. (01 de enero de 1980 al 30 de diciembre de 2016). *El clima promedio en Santa Ana*. <https://es.weatherspark.com/y/15452/Clima-promedio-en-Santa-Ana-Costa-Rica-durante-todo-el-año>
- Yarranton, G.A. y Morrison R.G. (1974). Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal Ecology* 62(2), 417-428. 10.2307/2258988

8. Apéndices

Apéndice 1. Cuestionario aplicado a los encargados de los Observatorios Ciudadanos del Agua (OCA)

Datos generales
Nombre completo:
Correo electrónico:
Número de teléfono:
Profesión:
OCA:
Información por consultar
1. ¿Piensa que existe una problemática ambiental en este sitio? Sí/No/Tal vez
2. De existir una problemática ¿Cuál sería?
3. ¿Hay conflictos por tenencia de la tierra en propiedades colindantes al sitio? Sí/No/Tal vez
4. ¿Cuáles actores se encuentran involucrados en este OCA?
5. ¿De dichos actores, cuántos y cuáles tienen una mayor participación y/o influencia?
6. ¿Sabe qué significa rehabilitación forestal? Sí/No/Tal vez
7. De ser "sí" en la pregunta anterior, indique un ejemplo de Rehabilitación forestal
8. ¿Considera usted que una propuesta de rehabilitación forestal ayudaría con los objetivos del OCA respecto a la protección del recurso hídrico? Sí/No/Tal vez
9. ¿Cree que la comunidad aledaña al sitio a intervenir esté de acuerdo con estas actividades propuestas? Sí/No/Tal vez
10. Indique el "porqué" de la pregunta N° 9
11. ¿Se debería realizar una charla informativa donde se presenten los resultados sobre el estado biofísico de estos sitios? Sí/No/Tal vez

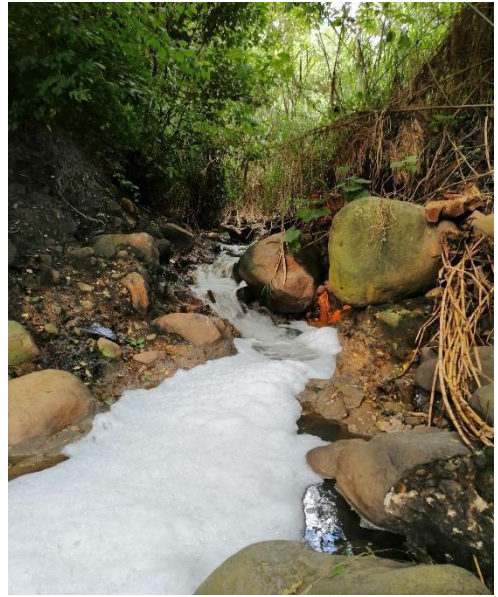
Apéndice 2. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA río Tiribí (La Unión, Cartago)



Apéndice 2.1 Construcción cercana al río Tiribí pertenecientes al Proyecto Abraham (La Unión, Cartago)



Apéndice 2.2 Área cubierta principalmente por pasto elefante impidiendo el establecimiento de especies arbóreas en el río Tiribí, La Unión (Cartago)



Apéndice 2.3 Aguas jabonosas que caen al río Tiribí provenientes de una quebrada conecta al sitio (La Unión, Cartago)



Apéndice 2.4 Parte del río Tiribí donde caen las aguas jabonosas (La Unión, Cartago)

Apéndice 3. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Quebrada Perico (Santa Ana, San José)



Apéndice 3.1 Árboles plantados recientemente en CoopeCabañas dentro del área de protección de quebrada Perico (Santa Ana, San José)



Apéndice 3.2 Muros de contención construidos dentro del área de protección en quebrada Perico (Santa Ana, San José)



Apéndice 3.3 Muros de gaviones establecidos a cada lado de la quebrada Perico (Santa Ana, San José)



Apéndice 3.4 Parte de la quebrada Perico con basura (Santa Ana, San José)



Apéndice 3.5 Propiedades construidas dentro del área de protección de quebrada Perico (Santa Ana, San José)

Apéndice 4. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)



Apéndice 4.1 Canales creados producto del establecimiento de un cafetal que abarca parte del área de protección



Apéndice 4.2 Cultivo de café dentro del área de protección del afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)



Apéndice 4.3 Condominio Hacienda Imperial colindante con el afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)

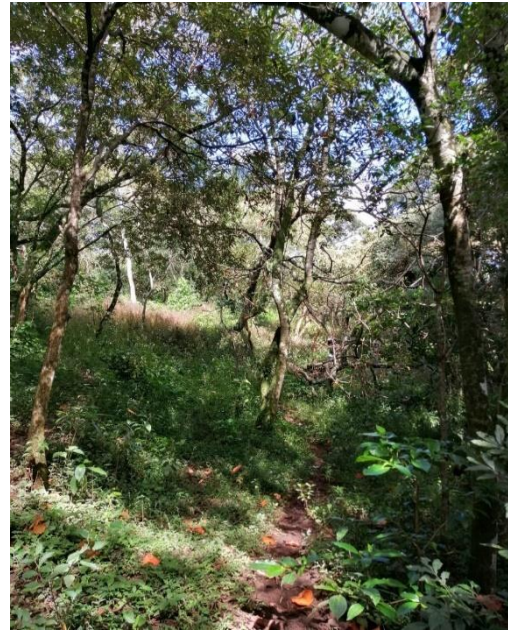


Apéndice 4.4 Área del afluente María Aguilar (La Unión, Cartago)

Apéndice 5. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA Quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 5.1 Zona de potrero colindante al área de protección de la quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 5.2 Área en regeneración natural colindante con la quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 5.3 Cambio de uso del suelo durante el trayecto por el área de protección de la quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 5.4 Árboles identificados dentro del área de protección de la quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 5.5 Propiedad privada colindante con el área de protección de la quebrada Turú (San Isidro, Heredia)

Apéndice 6. Realización del censo forestal y muestreo de suelos en el OCA quebrada Lajas (Santa Ana, San José)



Apéndice 6.1 Zona descubierta dentro del área de protección de quebrada Lajas (Santa Ana, San José)



Apéndice 6.2 Propiedad dentro del área de protección de quebrada Lajas (Santa Ana, San José) y desechos sólidos de gran tamaño



Apéndice 6.3 Basura desechada en la quebrada Lajas (Santa Ana, San José)



Apéndice 6.5 Pila lavamanos sobre el cauce de la quebrada Lajas (Santa Ana, San José) junto a otros desechos contaminantes

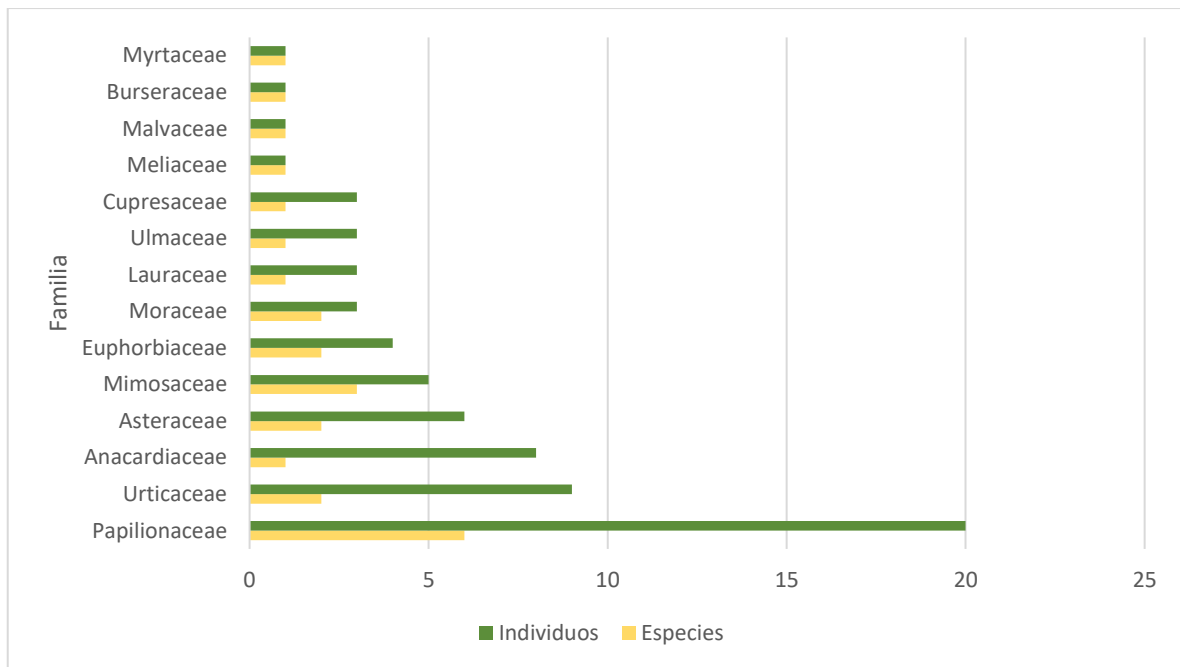


Apéndice 6.4 Rollo de alambre de púas arrojado dentro del área de protección de la quebrada Lajas (Santa Ana, San José)

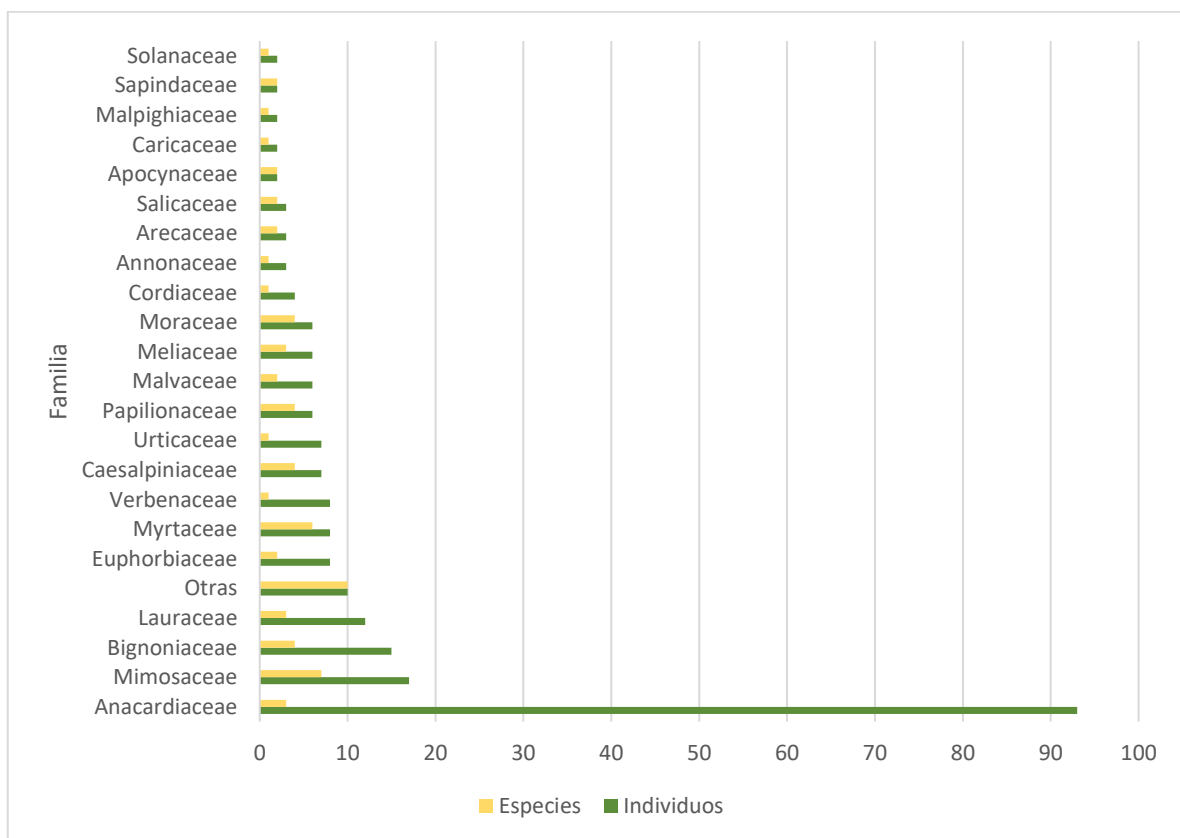


Apéndice 6.6 Árbol de guácimo (*Guazuma ulmifolia*) cortado dentro del área de protección de quebrada Lajas (Santa Ana, San José)

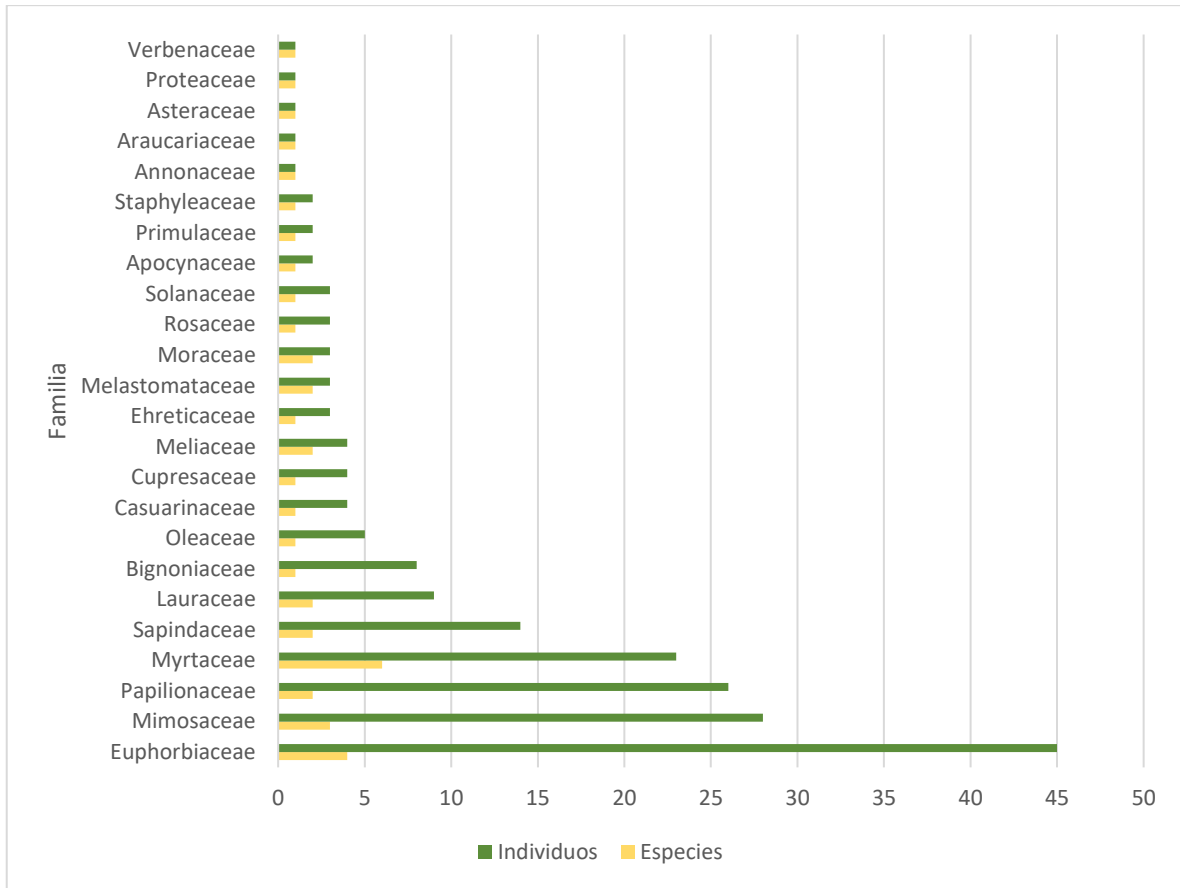
Apéndice 7. Gráficas producto del censo forestal realizado en los cinco Observatorios Ciudadanos del Agua del agua



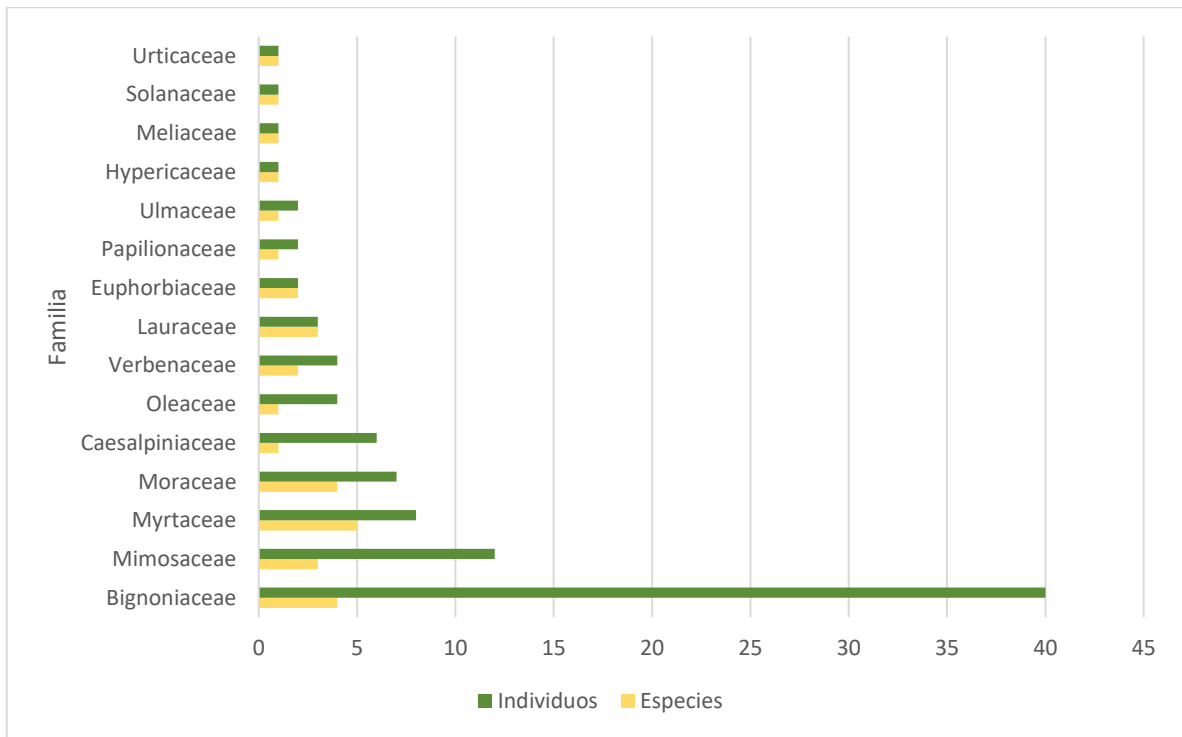
Apéndice 7.1 Número de especies y árboles por familia, OCA río Tiribí (La Unión, Cartago)



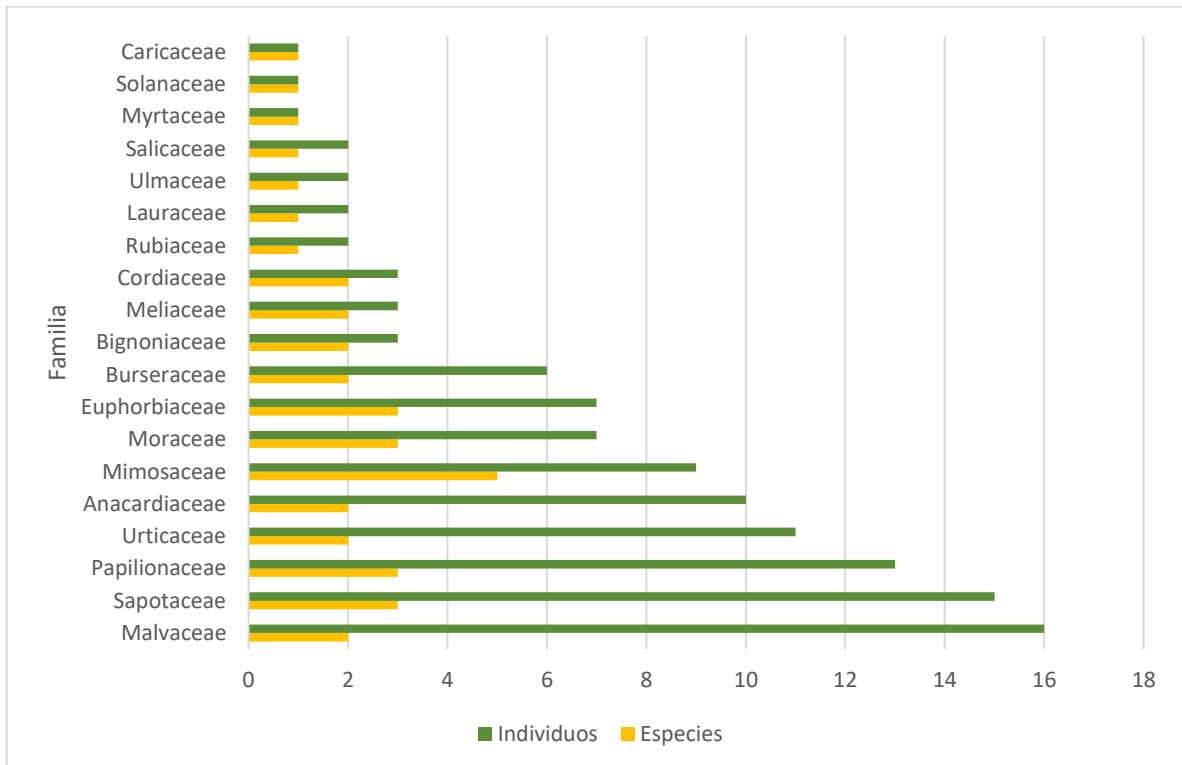
Apéndice 7.2 Número de especies y árboles por familia, OCA quebrada Perico (Santa Ana, San José)



Apéndice 7.3 Número de especies y árboles por familia, OCA quebrada Turú (San Isidro, Heredia)



Apéndice 7.4 Número de especies y árboles por familia, OCA afluyente María Aguilar (La Unión, Cartago)



Apéndice 7.5 Número de especies y árboles por familia, OCA Quebrada Lajas (Santa Ana, San José)

Apéndice 8. Análisis fisicoquímicos del suelo de los cinco Observatorios Ciudadanos del Agua

Apéndice 8.1 Análisis químico de suelos de los cinco Observatorios Ciudadanos del Agua

OCA	Bloque	pH	CE	MO	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	P	Cu	Zn	Mn	Fe	Sat acid	Sat Ca	Sat Mg	Sat K	Ca/Mg	Ca/K	Ca+Mg/K
		UpH	ms/cm	%	cmol (+)/l				mg/l				%	%	%	%	NA	NA	NA		
Perico	1	6.54	0.035	2.6	0.077	1.5	0.39	0.64	2.6	3.5	7.6	2.8	4.4	32	2.95	57.5	15	24.5	3.8	2.3	3
	2	6.61	0.033	3.1	0.077	1.6	0.44	0.69	2.8	7.2	7.8	7.8	6.3	42	2.74	57	15.7	24.6	3.6	2.3	3
	3	6.55	0.035	3.2	0.09	1.3	0.3	0.52	2.2	0.03	5.1	1.6	1.8	48	4.07	59	14	24	4.3	2.5	3.1
	4	6.94	0.054	4.5	0.09	1.5	0.28	0.16	2	0.06	4.8	1.9	1.8	54	4.4	74	14	7.9	5.4	9.4	11
Turú	1	5.9	0.04	4.3	0.18	1.2	0.35	0.09	1.8	0.078	11	3.6	3	79	9.89	65.9	19.2	4.9	3.4	13.3	17.2
	2	6.3	0.037	3.2	0.09	1.2	0.29	0.51	1.6	0.032	9.5	2.4	2.1	58	5.7	75.9	18.4	0	4.1	2.4	2.9
	3	5.8	0.036	2.9	0.09	1.1	0.3	0.65	2.1	0.063	12	2	3.2	65	4.21	51.4	14	30.4	3.7	1.7	2.2
	4	5.82	0.032	3.7	0.11	0.96	0.3	0.59	2	0.025	11	2.1	3.3	91	5.61	49	15.3	30.1	3.2	1.6	2.1
M. Aguilar	1	6.3	0.055	2.4	0.04	1.5	0.22	0.56	2.3	0.38	13	2.6	2.1	82	1.72	64.7	9.5	24.1	6.8	2.7	3.1
	2	6.8	0.059	2.5	0.07	1.4	0.22	0.61	2.3	0.21	11	3.6	1.6	41	3.04	60.9	9.6	26.5	6.4	2.3	2.7
	3	6.41	0.072	3.4	0.09	1.7	0.28	2.3	4.4	0.43	15	3.7	2.8	41	2.06	39	6.4	53	6.1	0.7	0.9
	4	6.65	0.075	4.9	0.09	1.7	0.25	2.2	4.2	0.43	14	5.9	3.7	54	2.12	40	5.9	52	6.8	0.8	0.9
Tiribí	1	5.77	0.047	2.4	0.09	1	0.35	0.45	1.9	0.22	7.2	3.2	3.3	66	4.8	53	19	24	2.9	2.2	3
	2	6.64	0.074	1.9	0.11	1.7	0.4	1.60	3.8	0.15	17	3.2	2.8	35	2.9	45	10	42	4.3	1.1	1.3
	3	6.47	0.092	2.5	0.9	1.6	0.45	1.60	4.6	0.17	16	3.7	3.7	56	20	35	9.9	35	3.6	1	1.3
	4	5.48	0.042	3.6	0.22	0.96	0.36	1.50	3	0.19	15	2.6	5.7	61	7.24	32	12	49	2.7	0.6	0.9
Lajas	1	7.04	0.081	3.0	-	3.5	0.32	0.63	4.45	11	8.8	33	2.2	34	0	79	7.2	14	10.9	5.6	6.1
	2	6.41	0.052	4.6	0.04	3.2	0.70	0.35	4.30	1.40	8.3	4.5	1.7	34	0.93	75	16.3	8	4.6	9.1	11.1
	3	6.22	0.059	2.0	0.04	2.3	0.80	0.60	3.74	1.40	10	1.8	5.9	19	1.1	61	21	16	2.9	3.8	5.2
	4	6.10	0.059	4.5	0.02	2.7	0.90	0.18	3.80	1.30	8.1	3.4	6.0	32	0.5	71	24	5	3.0	15	20

Apéndice 8.2 Órdenes de suelos según el sitio de estudio (basado en el Atlas de Costa Rica, 2014)

OCA	Clase	Gran Grupo	Característica
Perico	Inceptisol	USTROPEPT	Derivado de suelos aluviales
Turú	Inceptisol	DYSTRANDEPT	Presencia cenizas volcánicas
M Aguilar	Inceptisol	DYSTRANDEPT	Presencia cenizas volcánicas
Tiribí	Inceptisol	DYSTRANDEPT	Presencia cenizas volcánicas
Lajas	Ultisol	TROPOHUMULT	Horizonte argílico

Apéndice 8.3 Resultados de los análisis químicos de la textura del suelo y su categoría de los cinco Observatorios Ciudadanos del Agua

OCA	Bloque	Textura	Categoría	Arena	Arcilla	Limo
				%	%	%
Perico	1	Franco	Mediana	46	23	31
	2	Franco	Mediana	44	23	33
	3	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	56.1	12.7	31.2
	4	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	56.5	14.8	28.7
Turú	1	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	54	15	31
	2	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	55.8	16.7	27.5
	3	Franco	Mediana	48	22.8	29.2
	4	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	52.3	17	30.7
M Aguilar	1	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	64	11	25
	2	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	55	11	34
	3	Franco	Mediana	48	12.7	39.3
	4	Franco	Mediana	48.6	12.8	38.6
Tiribí	1	Franco Arenoso	Moderadamente gruesa	74.3	1.3	24.4
	2	Franco	Mediana	42.5	23	34.5
	3	Franco Arcilloso	Moderadamente fina	34	30.8	35.3
	4	Franco	Mediana	48.5	20.9	30.6
Lajas	1	Franco arcillo arenosa	Moderadamente fina	66	22	12
	2	Franco arcillo arenosa	Moderadamente fina	52	26	22
	3	Arcillo arenosa	Fina	48	34	18
	4	Franco arcillo arenosa	Moderadamente fina	58	28	14

Apéndice 8.4 Densidad aparente del suelo de los Observatorios Ciudadanos del Agua estudiados

OCA	Densidad aparente (g/m ³)			
		R1	R2	R3
PERICO	B1	1.04	1.41	1.68
	B2	1.37	1.19	1.36
	B3	1.3	1.36	1.42
	B4	1.47	1.17	1.53
TURÚ	B1	0.82	0.92	0.91
	B2	1.05	0.96	1
	B3	1.11	1.1	1.11
	B4	1	1	1.05
MARÍA AGUILAR	B1	0.95	0.85	0.81
	B2	0.93	0.89	0.9
	B3	0.74	0.84	0.64
	B4	1.2	0.96	0.95
TIRIBÍ	B1	1.2	1.2	1.1
	B2	1.2	1.1	1.1
	B3	1.1	1.3	1.2
	B4	1.2	1.3	1.4
LAJAS	B1	1.1	1.2	1.1

	B2	1.4	1.2	1.1
	B3	1.3	1.0	1.2
	B4	1.3	1.1	1.0

Apéndice 9. Especies censadas en los cinco sitios de área de protección de ríos y quebradas a cargo de los Observatorios Ciudadanos del Agua de la ANRCCR y las especies recomendadas para rehabilitación según expertos encuestados, así como de fuentes bibliográficas investigadas

Apéndice 9.1 Especies para el área de protección de quebrada Perico, Santa Ana, San José.

Especies censadas	Especies Recomendadas (por expertos y fuentes bibliográficas)	
<i>Mangifera indica</i>	<i>Andira inermis</i>	<i>Swartzia ochracea</i>
<i>Spondias purpurea</i>	<i>Hura crepitans</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>
<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Acnistus arborescens</i>
<i>Cinnamomum triplinerve</i>	<i>Bursera simaruba</i>	<i>Swartzia ochracea</i>
<i>Gmelina arborea</i>	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>
<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Pouteria sp.</i>	<i>Acnistus arborescens</i>
<i>Cecropia peltata</i>	<i>Andira inermis</i>	<i>Casearia arguta</i>
<i>Croton gossypifolius</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Casearia corymbosa</i>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>
<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Allophylus racemosus</i>	<i>Cupania glabra</i>
<i>Albizia adinocephala</i>	<i>Ardisia compresa</i>	<i>Eugenia salamensis var. hiraefolia</i>
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Cedrela salvadorensis</i>	<i>Eugenia oerstediana</i>
<i>Annona muricata</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Aiouea sp.</i>
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Ocotea sp</i>
<i>Eucalyptus robusta</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Persea sps</i>
<i>Ficus costaricana</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Ficus sp</i>
<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Myroxylon balsamum</i>	<i>Jacaranda caucana</i>
<i>Inga vera</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Lonchocarpus sp</i>
<i>Persea americana</i>	<i>Ficus insipida</i>	<i>Albizia adinocephala</i>
<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Ficus costaricana</i>	<i>Luehea speciosa</i>
<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Ficus jimenezii</i>	<i>Anacardium excelsum</i>
<i>Acromia aculeata</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>	<i>Mapighia glabra</i>
<i>Byrsonima crassifolia</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Miconia sp</i>
<i>Carica papaya</i>	<i>Ocotea sinuata</i>	<i>Conostegia sp</i>
<i>Casearia arguta</i>	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	<i>Trichilia havanensis</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Cecropia obtusifolia</i>	<i>Trichilia martiana</i>
<i>Senna spectabilis</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Hamelia patens</i>
<i>Spathodea campanulata</i>	<i>Muntigia calabura</i>	<i>Tecoma stans</i>
<i>Tecoma stans</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Croton draco</i>
<i>Zygia longifolia</i>	<i>Astronium graveolens</i>	<i>Cedrela odorata</i>

<i>Banara guianensis</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Chamaedorea costaricana</i>
<i>Bauhinia purpurea</i>	<i>Hauya elegans</i>	<i>Cojoba arborea</i>
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Cordia alliodora</i>
<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Byrsonima crassifolia</i>	<i>Inga spp.</i>
<i>Chrysophyllum cainito</i>	<i>Handroanthus impetiginosa</i>	<i>Plumeria rubra</i>
<i>Citrus sp.</i>	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Tabernaemontana litoralis</i>
<i>Cocos nucifera</i>	<i>Ardisia revoluta</i>	
<i>Cojoba arborea</i>	<i>Senna spectabilis</i>	
<i>Cupania guatemalensis</i>	<i>Amyris sylvatica</i>	
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Blakea gracilis</i>	
<i>Eriobotrya japonica</i>	<i>Croton xalapensis</i>	
<i>Erythrina berteroana</i>	<i>Veronia triflosculosa</i>	
<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Andira inermis</i>	
<i>Eugenia oerstediana</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>	
<i>Ficus benjamina</i>	<i>Myroxylon balsamum</i>	
<i>Ficus insipida</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	
<i>Fraxinus uhdei</i>	<i>Ficus insipida</i>	
<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Ficus costaricana</i>	
<i>Hura crepitans</i>	<i>Ficus jimenezii</i>	
<i>Inga punctata</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>	
<i>Inga sapindioides</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	
<i>Luehea speciosa</i>	<i>Ocotea sinuata</i>	
<i>Machaerium biovulatum</i>	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	
<i>Maclura tinctoria</i>	<i>Cecropia obtusifolia</i>	
<i>Myrsine pellucido-punctata</i>	<i>Trema micrantha</i>	
<i>Persea caerulea</i>	<i>Muntingia calabura</i>	
<i>Psidium friedrichsthalianum</i>	<i>Hura crepitans</i>	
<i>Sapindus saponaria</i>	<i>Lafoensia punicifolia</i>	
<i>Senna reticulata</i>	<i>Bursera simaruba</i>	
<i>Senna skinneri</i>	<i>Ceiba pentandra</i>	
<i>Syzygium jambos</i>	<i>Pouteria sp.</i>	
<i>Syzygium malaccense</i>	<i>Andira inermis</i>	
<i>Thevetia ovata</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	
<i>Thevetia peruviana</i>	<i>Trichilia havanensis</i>	
<i>Trichilia americana</i>	<i>Allophylus racemosus</i>	
<i>Vismia baccifera</i>	<i>Ardisia compresca</i>	
<i>Yuca guatemalensis</i>	<i>Cedrela salvadorensis</i>	

Apéndice 9.2 Especies para el área de protección de río Tiribí, La Unión, Cartago.

Especies censadas	Especies Recomendadas (por expertos y fuentes bibliográficas)		
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Croton draco</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>

<i>Spondias purpurea</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Nectandra spp.</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Cinnamomum spp.</i>	<i>Cordial alliodora</i>
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Ardisia compressa</i>	<i>Miconia argentea</i>	<i>Dialium guineense</i>
<i>Erythrina sp.</i>	<i>Casearia arguta</i>	<i>Inga spp.</i>	<i>Cedrela odorata</i>
<i>Trema micrantha</i>	<i>Aiouea sp.</i>	<i>Casimiroa sapota</i>	<i>Cedrela tonduzii</i>
<i>Lasianthaea fruticosa</i>	<i>Ocotea sp</i>	<i>Quercus insignis</i>	<i>Cupania glabra</i>
<i>Croton gossypifolius</i>	<i>Persea sps</i>	<i>Miconia tonduzii</i>	<i>Phyllanthus acuminatus</i>
<i>Nectandra sp.</i>	<i>Ficus sp</i>	<i>Conostegia macrantha</i>	<i>Robinsonella lindeniana</i>
<i>Cecropia peltata</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Viburnun costaricanum</i>	<i>Myrcia spendlens</i>
<i>Cupressos lusitanica</i>	<i>Mapighia glabra</i>	<i>Hyeronima poasana</i>	<i>Picramnia antidesma</i>
<i>Inga sp.</i>	<i>Miconia sp</i>	<i>Daphnosis amaricana</i>	
<i>Ficus costaricana</i>	<i>Conostegia sp</i>	<i>Cojoba costaricensis</i>	
<i>Vernonia patens</i>	<i>Senna spectabilis</i>	<i>Justicia aurea</i>	
<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Trichilia martiana</i>	<i>Montanoa guatemalensis</i>	
<i>Ficus insipida</i>	<i>Hamelia patens</i>	<i>Alnus acuminata</i>	
<i>Inga punctata</i>	<i>Tecoma stans</i>	<i>Vernonia patens</i>	
<i>Inga vera</i>	<i>Sapium sp.</i>	<i>Erythrina spp.</i>	
<i>Croton niveus</i>	<i>Quercus sp.</i>	<i>Senna sp</i>	
<i>Diphysa americana</i>	<i>Juglans sp.</i>	<i>Myrsine coriacea</i>	
<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Bocconia frutescens</i>	
<i>Heliocarpus americanus</i>	<i>Ulmus mexicana</i>	<i>Trema micrantha</i>	
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Ehretia latifolia</i>	<i>Eugenia salamensis var. hiraefolia</i>	
<i>Psidium guajava</i>	<i>Pouteria spp.</i>	<i>Eugenia costaricensis</i>	
<i>Erythrina fusca</i>	<i>Prunus annularis</i>	<i>Myrcianthes fragans</i>	

Apéndice 9.3 Especies para el área de protección de afluente María Aguilar, La Unión, Cartago.

Especies censadas	Especies Recomendadas (por expertos y fuentes bibliográficas)	
<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Croton draco</i>
<i>Tecoma stans</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Nectandra spp.</i>
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Cinnamomum spp.</i>
<i>Bauhinia purpurea</i>	<i>Ardisia compressa</i>	<i>Miconia argentea</i>
<i>Inga sp.</i>	<i>Casearia arguta</i>	<i>Inga spp.</i>
<i>Zygia longifolia</i>	<i>Aiouea sp.</i>	<i>Casimiroa sapota</i>
<i>Ligustrum lucidum</i>	<i>Ocotea sp</i>	<i>Quercus insignis</i>
<i>Spathodea campanulata</i>	<i>Persea sps</i>	<i>Miconia tonduzii</i>
<i>Citharexylum macradenium</i>	<i>Ficus sp</i>	<i>Conostegia macrantha</i>
<i>Ficus benjamina</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Viburnun costaricanum</i>
<i>Diphysa americana</i>	<i>Mapighia glabra</i>	<i>Hyeronima poasana</i>

<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Miconia sp</i>	<i>Daphnopsis amaricana</i>
<i>Ficus pertusa</i>	<i>Conostegia sp</i>	<i>Cojoba costaricensis</i>
<i>Myrcia splendens</i>	<i>Senna spectabilis</i>	<i>Justicia aurea</i>
<i>Syzygium malaccense</i>	<i>Trichilia martiana</i>	<i>Montanoa guatemalensis</i>
<i>Ulmus mexicana</i>	<i>Hamelia patens</i>	<i>Alnus acuminata</i>
<i>Ficus jimenezii</i>	<i>Tecoma stans</i>	<i>Vernonia patens</i>
<i>Lippia myriocephala</i>	<i>Sapium sp.</i>	<i>Erythrina spp.</i>
<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Quercus sp.</i>	<i>Senna sp</i>
<i>Persea americana</i>	<i>Juglans sp.</i>	<i>Myrsine coriacea</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Bocconia frutescens</i>
<i>Cedrela tonduzii</i>	<i>Ulmus mexicana</i>	<i>Trema micrantha</i>
<i>Ocotea sp.</i>	<i>Ehretia latifolia</i>	<i>Eugenia salamensis var. hiraeifolia</i>
<i>Vismia baccifera</i>	<i>Pouteria spp.</i>	<i>Eugenia costaricensis</i>
<i>Croton niveus</i>	<i>Prunus annularis</i>	<i>Myrcianthes fragans</i>
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Cupania glabra</i>
<i>Ficus sp.</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Phyllanthus acuminatus</i>
<i>Eucalyptus sp.</i>	<i>Cordial alliadora</i>	<i>Robinsonella lindeniana</i>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Dialium guineense</i>	<i>Myrcia spendlens</i>
<i>Persea americana</i>	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Picramnia antidesma</i>
<i>Croton draco</i>	<i>Cedrela tonduzii</i>	<i>Cecropia sp.</i>

Apéndice 9.4 Especies para el área de protección de la quebrada Turú, San Isidro, Heredia.

Especies censadas	Especies Recomendadas (por expertos y fuentes bibliográficas)	
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Prunus spp.</i>	<i>Trichilia martiana</i>
<i>Croton gossypifolius</i>	<i>Ardisia revoluta</i>	<i>Hamelia patens</i>
<i>Croton schiedeana</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Tecoma stans</i>
<i>Inga sp.</i>	<i>Cedrela tonduzii</i>	<i>Sapium sp.</i>
<i>Cupania cinerea</i>	<i>Juglans olanchana</i>	<i>Justicia aurea</i>
<i>Inga punctata</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Montanoa guatemalensis</i>
<i>Spathodea campanulata</i>	<i>Ehretia latifolia</i>	<i>Alnus acuminata</i>
<i>Syzygium jambos</i>	<i>Mauria heterophylla</i>	<i>Vernonia patens</i>
<i>Ocotea sp.</i>	<i>Oreopanax spp.</i>	<i>Erythrina sp</i>
<i>Psidium guajava</i>	<i>Citharexylum donnel-smithii</i>	<i>Senna sp</i>
<i>Eucalyptus saligna</i>	<i>Quercus spp.</i>	<i>Bocconia frutescens</i>
<i>Ligustrum lucidum</i>	<i>Myrsine coriacea</i>	<i>Eugenia salamensis var. hiraeifolia</i>
<i>Sapium glabulosum</i>	<i>Miconia spp.</i>	<i>Eugenia costaricensis</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Nectandra spp.</i>	<i>Myrcianthes fragans</i>
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Ocotea spp.</i>	<i>Myrcia spendlens</i>
<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Inga spp.</i>	<i>Picramnia antidesma</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Cupania glabra</i>
<i>Ehretia latifolia</i>	<i>Rondeletia buddleioides</i>	<i>Phyllanthus acuminatus</i>
<i>Eriobotrya japonica</i>	<i>Robinsonella lindeniana</i>	<i>Conostegia sp</i>

<i>Senna papillosa</i>	<i>Persea caerulea</i>
<i>Cinnamomum triplinerve</i>	<i>Senna papillosa</i>
<i>Diphysa americana</i>	<i>Senna spectabilis</i>
<i>Ficus pertusa</i>	<i>Cornus disciflora</i>
<i>Miconia sp.</i>	<i>Croton draco</i>
<i>Myrsine coriacea</i>	<i>Hyeronima poasana</i>
<i>Psidium sartorianum</i>	<i>Guatteria oliviformis</i>
<i>Staphylea occidentalis</i>	<i>Conostegia macrantha</i>
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	<i>Ocotea sinuata</i>
<i>Araucaria columnaris</i>	<i>Swartzia ochracea</i>
<i>Cedrela tonduzii</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>
<i>Citharexylum donnell-smithii</i>	<i>Acnistus arborescens</i>
<i>Conostegia xalapensis</i>	<i>Ardisia compressa</i>
<i>Cupania glabra</i>	<i>Casearia arguta</i>
<i>Eugenia austin-smithii</i>	<i>Aiouea sp.</i>
<i>Ficus aurea</i>	<i>Persea sp.</i>
<i>Grevillea robusta</i>	<i>Ficus sp</i>
<i>Rollinia pittieri</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>
<i>Syzygium malaccence</i>	<i>Malpighia glabra</i>
<i>Verbesina sp.</i>	<i>Cedrela odorata</i>

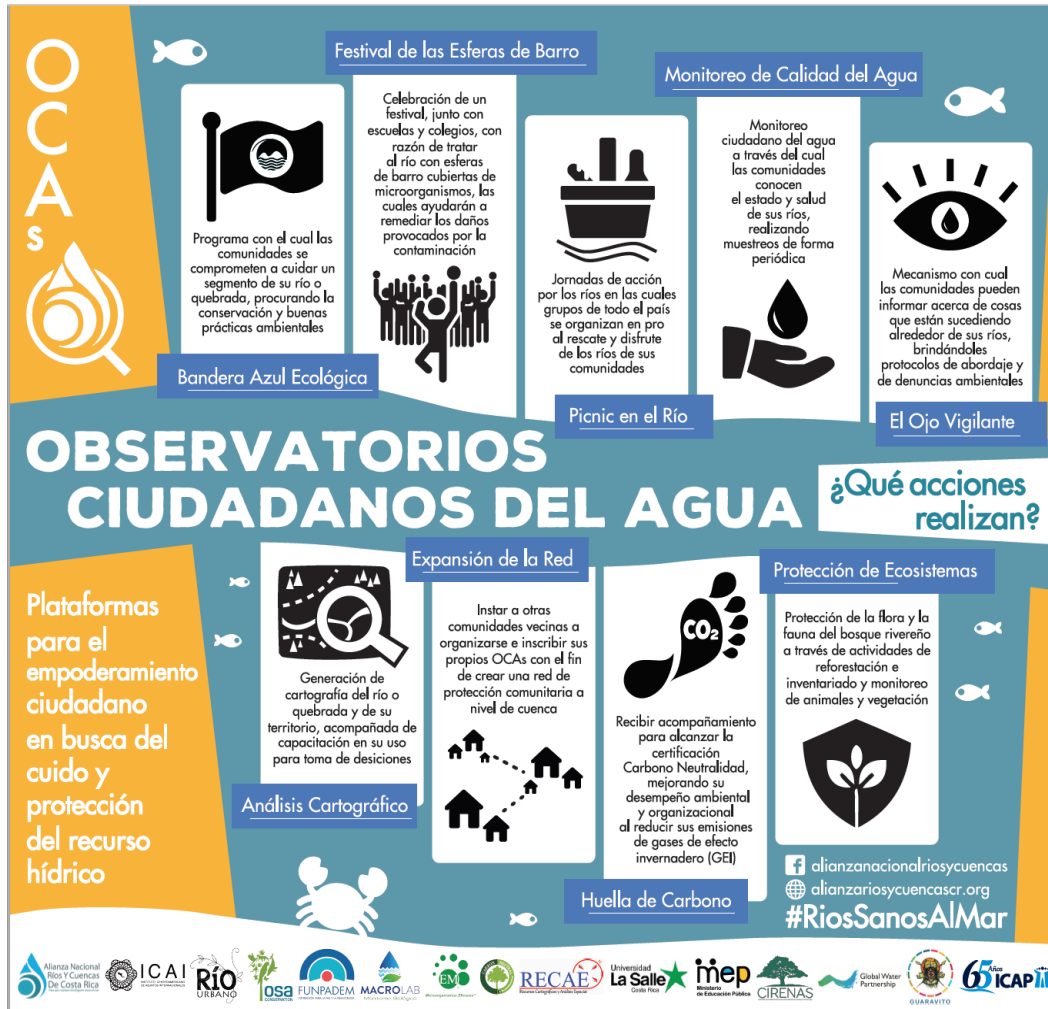
Apéndice 9.5 Especies para el área de protección de la quebrada Lajas, Santa Ana, San José.

Especies censadas	Especies Recomendadas (por expertos y fuentes bibliográficas)		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Andira inermis</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Amyris sylvatica</i>
<i>Pouteria sp.</i>	<i>Hura crepitans</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Blakea gracilis</i>
<i>Cecropia peltata</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Croton xalapensis</i>
<i>Spondias purpurea</i>	<i>Bursera simaruba</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Veronia triflosculosa</i>
<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Andira inermis</i>
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Pouteria sp.</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>
<i>Trophis racemosa</i>	<i>Andira inermis</i>	<i>Casearia arguta</i>	<i>Myroxylon balsamum</i>
<i>Albizia adinocephala</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Casearia corymbosa</i>	<i>Anacardium excelsum</i>
<i>Chrysophyllum brenesii</i>	<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>	<i>Ficus insipida</i>
<i>Croton gossypifolius</i>	<i>Allophylus racemosus</i>	<i>Cupania glabra</i>	<i>Ficus costaricana</i>
<i>Diphysa americana</i>	<i>Ardisia compressa</i>	<i>Eugenia salamensis var. hiraefolia</i>	<i>Ficus jimenezii</i>
<i>Inga vera</i>	<i>Cedrela salvadorensis</i>	<i>Eugenia oerstediana</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>
<i>Machaerium biovulatum</i>	<i>Swartzia ochracea</i>	<i>Aiouea sp.</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
<i>Sapium oligoneurum</i>	<i>Myrsine pellucidopunctata</i>	<i>Ocotea sp</i>	<i>Ocotea sinuata</i>

<i>Aiouea montana</i>	<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Persea sps</i>	<i>Cinnamomum triplinerve</i>
<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Ficus sp</i>	<i>Cecropia obtusifolia</i>
<i>Cordia panamensis</i>	<i>Myroxylon balsamum</i>	<i>Jacaranda caucana</i>	<i>Trema micrantha</i>
<i>Guettarda macrosperma</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Lonchocarpus sp</i>	<i>Muntigia calabura</i>
<i>Mauria heterophylla</i>	<i>Ficus insipida</i>	<i>Albizia adinocephala</i>	<i>Hura crepitans</i>
<i>Tecoma stans</i>	<i>Ficus costaricana</i>	<i>Luehea speciosa</i>	<i>Lafoensia puniceifolia</i>
<i>Trema micrantha</i>	<i>Ficus jimenezii</i>	<i>Anacardium excelsum</i>	
<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>	<i>Mapighia glabra</i>	<i>Ceiba pentandra</i>
<i>Acnistus arborescens</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Miconia sp</i>	<i>Pouteria sp.</i>
<i>Carica papaya</i>	<i>Ocotea sinuata</i>	<i>Conostegia sp</i>	<i>Andira inermis</i>
<i>Cedrela salvadorensis</i>	<i>Cinnamomum triplinerve</i>	<i>Trichilia havanensis</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Cecropia obtusifolia</i>	<i>Trichilia martiana</i>	<i>Trichilia havanensis</i>
<i>Croton sp.</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Hamelia patens</i>	<i>Allophylus racemosus</i>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Muntigia calabura</i>	<i>Tecoma stans</i>	
<i>Eugenia oerstediana</i>	<i>Zygia longifolia</i>	<i>Croton draco</i>	
<i>Ficus costaricana</i>	<i>Astronium graveolens</i>	<i>Cedrela odorata</i>	
<i>Ficus insipida</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Chamaedorea costaricana</i>	
<i>Inga sp.</i>	<i>Hauya elegans</i>	<i>Cojoba arborea</i>	
<i>Luehea speciosa</i>	<i>Platymiscium pinnatum</i>	<i>Cordia alliodora</i>	
<i>Pouteria campechiana</i>	<i>Byrsonima crassifolia</i>	<i>Inga spp.</i>	
<i>Protium sp.</i>	<i>Handroanthus impetiginosa</i>	<i>Plumeria rubra</i>	
<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Tabebuia rosea</i>	<i>Tabernaemontana litoralis</i>	
<i>Urera caracasana</i>	<i>Ardisia revoluta</i>	<i>Ardisia compressa</i>	
<i>Vachellia collinsii</i>	<i>Senna spectabilis</i>	<i>Cedrela salvadorensis</i>	

9. Anexos

Anexo 1. Ejes de trabajo de los Observatorios Ciudadanos del Agua



Anexo 2. Descripción de las zonas de vida según L.R. Holdridge (1947) de los 5 sitios de estudio.

- **Bosque muy húmedo premontano:** Sitios que poseen una bio-temperatura de 24-30 °C; un rango de precipitación desde los 2000 a 8000 mm anuales, de 0 a 3.5 meses secos y en el país existen aproximadamente 25945,9 (46.66 %) hectáreas con esta zona de vida. Su vegetación está constituida por especies como *Schefflera morototoni* (fosforilo), *Vochysia allenii* (botarrama), *Roupala montana* carne asada), *Cedrela odorata* (cedro amargo) y *Turpinia occidentalis* (falso cristóbal) (MAG, 2010, pp.35; Salazar, 05 de agosto de 2011).
- **Bosque húmedo premontano (bh-P):** Esta zona posee una precipitación promedio anual entre 1200 y 2200 mm, existen grandes áreas con suelos volcánicos, fértiles. Dentro de las especies más comunes están *Cedrela salvadorensis* (cedro), *Cedrela tonduzii* (cedro dulce), *Alvizia*

adinocephala (carboncillo), *Dendropanax arboreus* (fosforillo), entre otras (Salazar, 05 de agosto de 2011).

Anexo 3. Lista de especies recomendadas para plantar según protocolo de reforestación evaluado por Gómez-Garita (2018) y Sánchez et al. (2015, p. 62)

Nota y simbología utilizada en las tablas

*Especies con poblaciones amenazadas, normalmente se encuentran restringidas a Áreas Protegidas de Costa Rica en zonas bajas, en elevación inferiores a los 500 msnm, sin embargo, sería de gran importancia introducidas en el Bosque Urbano.

Requerimientos de luz: Hace referencia a las preferencias lumínicas de la especie principalmente en su etapa de desarrollo.

msnm: metros sobre el nivel del mar

NA: No aplica

PORTE	RANGO DE ALTURA
Pequeño	Árbol de 3-6.99 m
Mediano	Árbol de 7-14.99 m
Grande	Árbol mayor a 15 m

ATRACTIVO	SIGNIFICADO
Fl	Flor
Fr	Fruto
Fllj	Follaje

Escenarios: Cuando la recomendación de plantación en escenarios como: NP, LE, ARA, se deberá hacer la salvedad de que, si el árbol es de porte grande, no deberá plantarse en pendientes superiores a 25 %.

ESCENARIO	SIGNIFICADO	ÁREA RETIRO
NP	Nacientes permanentes	100 metros
AP-TQ	Áreas de Protección con Terreno Quebrado	50 metros
LE	Lagos y Embalses	50 metros
ARA	Áreas de Recarga Acuífera	50 metros
AP-UR	Áreas de Protección Urbana y Rural	10-15 metros

ZONA DE VIDA	SIGNIFICADO	msnm
bh-T	Bosque húmedo tropical	0-700
bh-P	Bosque húmedo de Premontano	700-1400
bmh-P	Bosque muy húmedo de Premontano	700-1400
bnh-MB	Bosque muy húmedo de Montano Bajo	1400-2700

Anexo 3.1 Especies recomendadas para la rehabilitación de áreas de protección degradadas.

Nombre científico	Nombre común	Familia	Condición	Origen
<i>Acacia farnesiana</i>	Aromo	Fabaceae	Árbol	Nativo
<i>Acnistus arborescens</i>	Güitite	Solanaceae	Árbol	Nativo
<i>Albizia saman</i>	Cenízaro	Fabaceae	Árbol	Nativo
<i>Alzatea verticillata</i>	NA	Alzateaceae	Árbol	Nativo
<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	Anacardiaceae	Árbol	Nativo
<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	Anacardiaceae	Árbol	Exótico
<i>Andira inermis</i>	Almendro de río	Papilionaceae	Árbol	Nativo
<i>Annona cherimola</i>	Anona	Annonaceae	Arbusto	Nativo
<i>Annona muricata</i>	Guanábana	Annonaceae	Árbol	Nativo
<i>Apeiba tibourbou</i>	Peine de mico	Malvaceae	Árbol	Nativo
<i>Ardisia sp.</i>	Tucuico	Myrsinaceae	Árbol	Nativo

<i>Artocarpus altilis</i>	Castaña-Árbol de pan	Moraceae	Árbol	Exótico
<i>Astronium graveolens</i>	Ronrón	Anacardiaceae	Árbol	Nativo
<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	Oxalidaceae	Arbusto	Exótico
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú	Poaceae	Bambú	Exótico
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	Bixaceae	Arbusto	Nativo
<i>Blakea gracilis</i>	San Miguel	Melastomataceae	Árbol	Nativo
<i>Bocconia frutescens</i>	Guacamayo	Papaveraceae	Árbol	Nativo
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	Moraceae	Árbol	Nativo
<i>Brugmansia sp.</i>	Reina de la noche	Solanaceae	Árbol	Exótico
<i>Bursera simarouba</i>	Indio desnudo	Burseraceae	Árbol	Nativo
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	Malpighiaceae	Árbol	Nativo
<i>Caesalpinia exostemma</i>	Gallito	Fabaceae	Arbusto	Nativo
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Hoja de sen	Fabaceae	Árbol	Nativo
<i>Catatola costaricensis</i>	Palo de papa	Icacinaceae	Árbol	Nativo
<i>Calliandra sp.</i>	Carboncillo	Fabaceae	Árbol	Exótico
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Cedro María	Clusiaceae	Árbol	Nativo
<i>Calyptanthes pallens</i>	Murta	Myrtaceae	Árbol	Nativo
<i>Carapa sp</i>	Caobilla	Meliaceae	Árbol	Nativo
<i>Canea papaya</i>	Papaya	Caricaceae	Planta arbustiva	Nativo
<i>Carludovica palmata</i>	Estococa	Cyclanthaceae	Árbol	Nativo
<i>Caryocar costaricense*</i>	Ajillo/Manú	Caryocaraceae	Árbol	Nativo
<i>Casearia sp</i>	Huesillo	Flacourtiaceae	Árbol	Nativo
<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	Rutaceae	Árbol	Nativo
<i>Cassia fistula</i>	Caña fistula	Fabaceae	Árbol	Exótico
<i>Cassia grandis</i>	Carao	Fabaceae	Árbol	Nativo
<i>Castilla elastica</i>	Palo de hule	Moraceae	Árbol	Nativo

Fuente: Adaptado de Gómez-Garita (2018)

Anexo 3.2 Características técnicas de las especies para la rehabilitación de áreas de protección degradadas.

Nombre científico	Nombre común	Altura (m)	Porte	Copa	Atractivo	Requer. Luz
<i>Acacia farnesiana</i>	Aromo	8	Pequeño	Extendida	Fl	Alta
<i>Acnistus arborescens</i>	Güitite	3	Pequeño	Compacta	Fl-Fr	Alta
<i>Albizia saman</i>	Cenízaro	30	Grande	Extendida	Fl-Fr	Alta
<i>Alzatea verticillata</i>	NA	15	Mediano	Compacta	Follj	Alta
<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	40	Grande	Extendida	Fl-Fr	Sombra
<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	12	Mediano	Compacta	Follj	Alta
<i>Andira inermis</i>	Almendo de río	15	Mediano	Redondeada	Fl-Fr	Sombra
<i>Annona cherimola</i>	Anona	9	Pequeño	Compacta	Fr	Alta
<i>Annona muricata</i>	Guanábana	8	Mediano	Piramidal	Fl-Fr	Alta
<i>Apeiba tibourbou</i>	Peine de mico	20	Grande	Abierta	Fl-Fr	Alta
<i>Ardisia sp.</i>	Tucuico	10	Mediano	Compacta	Fl-Fr	Media
<i>Artocarpus altilis</i>	Castaña-Árbol de pan	25	Grande	Compacta	Fr	Sombra
<i>Astronium graveolens</i>	Ronrón	30	Grande	Compacta	Follj	Alta
<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	10	Mediano	Compacta	Fr	Media
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú	12	Mediano	NA	Follj	Alta
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	5	Pequeño	Redondeada	Fl-Fr	Media
<i>Blakea gracilis</i>	San Miguel	5	Pequeño	Extendida	Fl-Fr	Media
<i>Bocconia frutescens</i>	Guacamayo	7	Mediano	Abierta	Fr	Alta
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	40	Grande	Compacta	Fr	Media
<i>Brugmansia sp.</i>	Reina de la noche	3	Pequeño	Abierta	Fl	Sombra
<i>Bursera simarouba</i>	Indio desnudo	19	Mediano	Abierta	Fr	Alta
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	12	Mediano	Extendida	Fl-Fr	Alta

<i>Caesalpinia exostemma</i>	Gallito	5	Pequeño	Extendida	Fl	Alta
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Hoja de sen	3	Pequeño	Compacta	Fl	Alta
<i>Calatola costaricensis</i>	Palo de papa	25	Grande	Abierta	Fr	Sombra
<i>Calliandra sp.</i>	Carboncillo	6	Pequeño	Extendida	Fl	Alta
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Cedro María	40	Grande	Compacta	Fr-Follj	Media
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño	25	Grande	Estratificada	Fl	Alta
<i>Calyptanthus pallens</i>	Murta	20	Grande	Compacta	Fr-Follj	Media
<i>Carapa sp</i>	Caobilla	40	Grande	Compacta	Fl-Fr	Alta
<i>Canea papaya</i>	Papaya	6	Pequeño	Abierta	Fr	Alta
<i>Carludovica palmata</i>	Estococa	3	Pequeño	NA	Fr-Follj	Sombra
<i>Caryocar costaricense</i>	Ajillo/Manú	55	Grande	Extendida	Fr-Follj	Sombra
<i>Casearia sp</i>	Huesillo	15	Mediano	Compacta	Fr	Media
<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	20	Grande	Compacta	Fr	Media
<i>Cassia fistula</i>	Caña fistula	6	Pequeño	Abta-Ext	Fl-Fr	Alta
<i>Cassia grandis</i>	Carao	20	Grande	Extendida	Fl-Fr	Alta
<i>Castilla elastica</i>	Palo de hule	30	Grande	Compacta	Fr	Alta

Fuente: Gómez-Garita (2018)

Anexo 3.3 Uso de las especies en cada escenario según su altura, distribución geográfica y zona de vida.

Nombre científico	Nombre común	Altura (m)	Escenario	msnm	Zona de vida
<i>Acacia farnesiana</i>	Aromo	8	En todos	0-1200	bh-T, bh-P
<i>Acnistus arborescens</i>	Güitite	3	En todos	900-2600	bh-P, bmh-P, bmh-MB
<i>Albizia saman</i>	Cenízaro	30	NP.LE, ARA	0-800	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Alzatea verticillata</i>	NA	15	NP.APTQ, LE, ARA	900-2200	En todas
<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	40	NP.LE, ARA	10-800	bh-T, bh.-P; bmh-P

<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón	12	En todos	0-500	bh-T, bh-P
<i>Andira inermis</i>	Almendo de río	15	NP.APTQ, LE, ARA	0-900	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Annona cherimola</i>	Anona	9	En todos	700-1800	bh-P, bmh-P, bmh-MB
<i>Annona muricata</i>	Guanábana	8	En todos	0-1000	bh-T, bn-P, bmh-P
<i>Apeiba tibourbou</i>	Peine de mico	20	NP.LE, ARA	0-1200	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Ardisia sp.</i>	Tucuico	10	En todos	0-1200	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Artocarpus altilis</i>	Castaña-Árbol de pan	25	NP.LE, ARA	0-2500	En todas
<i>Astronium graveolens</i>	Ronrón	30	NP.LE, ARA	0-1000	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Averrhoa carambola</i>	Carambola	10	En todos	0-1300	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Bambusa vulgaris</i>	Bambú	12	En todos	200-1600	En todas
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	5	En todos	0-1000	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Blakea gracilis</i>	San Miguel	5	En todos	1000-2500	bmh-MB
<i>Bocconia frutescens</i>	Guacamayo	7	En todos	100-3000	En todas
<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	40	NP.LE, ARA	50-1000	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Brugmansia sp.</i>	Reina de la noche	3	En todos	500-2500	En todas
<i>Bursera simarouba</i>	Indio desnudo	19	NP.LE, ARA	0-500	bh-T, bh-P
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	12	NP.APTQ, LE, ARA	0-1000	bh-T, bh-P
<i>Caesalpinia exostemma</i>	Gallito	5	En todos	0-1000	bh-T, bh-P
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	Hoja de sen	3	En todos	0-1500	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Calatola costaricensis</i>	Palo de papa	25	NP.LE, ARA	0-1700	En todas
<i>Calliandra sp.</i>	Carboncillo	6	En todos	0-2000	En todas
<i>Calophyllum brasiliense</i>	Cedro María	40	NP.LE, ARA	0-1700	En todas
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño	25	NP.LE, ARA	500-1500	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Calyptranthes pallens</i>	Murta	20	NP.LE, ARA	500-2000	En todas

<i>Carapa sp</i>	Caobilla	40	NP.LE, ARA	0-700	bh-T, bh-P
<i>Canea papaya</i>	Papaya	6	En todos	0-700	bh-T, bh-P
<i>Carludovica palmata</i>	Estococa	3	En todos	0-1500	bh-T, bh-P, bmh-P
<i>Caryocar costaricense</i>	Ajillo/Manú	55	NP.LE, ARA	0-600	bh-T
<i>Casearia sp</i>	Huesillo	15	NP.APTQ, LE, ARA	0-600	bh-T
<i>Casimiroa edulis</i>	Matasano	20	NP.LE, ARA	500-2500	bh-P, bmh-P, bmh-MB
<i>Cassia fistula</i>	Caña fistula	6	En todos	0-1000	bh-T, bh-P

Fuente: Gómez-Garita (2018)

Anexo 4. Parámetros para la interpretación de análisis de suelos

Anexo 4.1 Categorías y parámetros de fertilidad

Categoría	Suma de bases	Acidez	pH	Sat. Acidez
	cmol(+)/l	cmol(+)/l		%
Alta	>15	<0.3	>6.5-7	<10
Media	>5	<0.5	>5.5-6.5	<30
Baja	<5	0.5-1	4.5-5.5	<50
Muy baja	<5	>1	>4.5	>50

Fuente: Decreto Ejecutivo N° 41960 (12 de noviembre de 2019)

Anexo 4.2 Niveles críticos generales y condiciones medias, altas y anormales para interpretar los análisis de fertilidad de suelos. (Valores resaltados en rojo representan niveles que pueden ser problemáticos según cada variable)

	Característica	Unidades	Categoría			
			Nivel crítico	Media	Alta	Anormal
Parámetros de acidez	pH en agua		<5.5	5.6-6.5	>6.5	-
	Acidez	cmol (+)/L	<0.5	0.5-1.5	>1.5	
	Saturación de acidez	%	<10	10-50	>50	
	Suma de bases	cmol (+)/L	<5	5.-25	>25	
CICE y bases	CICE	cmol (+)/L	<5	5.-25	>25	
	Ca	cmol (+)/L	<4	4-20	>20	>50
	Mg	cmol (+)/L	<1	1-5	>5	>15
	K	cmol (+)/L	<0.2	0.2-0.6	>0.6	>5
Relaciones catiónicas	Ca/Mg		<2	2-5	>5	
	Ca/K		<5	5-25	>25	
	Ca+Mg/K		<10	10-40	>40	
	Mg/K		<2.5	2.5-15	>15	
P y micronutrientes	P	mg/L	<10	10-20	>20	>200

	Zn*	mg/L	<2	2-10	>10	>50
	Mn	mg/L	<5	5-50	>50	>100
	Fe	mg/L	<10	10-100	>100	>500
	Cu	mg/L	<2	2-20	>20	>100

Fuente: Méndez y Bertsch (2012, p.14)

pH 1:2,5 en agua. Acidez, Ca y Mg extraídos con KCl 1N, 1:10-K, P, Mn, Zn, Cu, Fe extraídos con Olsen Modificado, 1:10

* En el caso del Zn algunos estudios de calibración señalan que el nivel crítico es de 3 mg/L

Anexo 4.3 Tabla de interpretación de análisis de suelos

		BAJO	MEDIO	ÓPTIMO	ALTO
pH		<5	5 - 6	6 - 7	>7
Ca	cmol/L	<4	4 - 6	6 - 15	>15
Mg		<1	1 - 3	3 - 6	>6
K		<0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 0.8	>0.8
Acidez			0.3 - 1	< 0.3	>1
Sat. Al	%		10 - 30	<10	>30
P	mg/L	<12	12 - 20	20 - 50	>50
Fe		<5	5 - 10	10 - 50	>50
Cu		<0.5	0.5 - 1	1 - 20	>20
Zn		<2	2 - 3	3 - 10	>10
Mn		<5	5 - 10	10 - 50	>50
B		<0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1	>1
S		<12	12 - 20	20 - 50	>50
MO		%	<2	2 - 5	5 - 10
RELACIONES CATIÓNICAS		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K
		2 - 5	5 - 25	2.5-15	10 - 40

Fuente: Molina y Meléndez (2002)