



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Análisis y evaluación de las franjas ribereñas y de los usos
adyacentes en la microcuenca del río Toila, subcuenca del río Matanzas,
Guatemala

por

Jerson Elizardo Quevedo Corado

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas
Hidrográficas

Turrialba, Costa Rica, 2008

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO INTEGRADO
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

FIRMANTES:

Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Consejero Principal

Laura Benegas, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Zayra Ramos, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Ogden Rodas, M.Sc.
Miembro Comité Consejero

Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado

Jerson Elizardo Quevedo Corado
Candidato

DEDICATORIA

A Dios que es todo poderoso, por haberme guiado e iluminado a lo largo de mis estudios.

A mis abuelos: Juan Antonio Corado y Maura Ramírez, con mucho cariño

A mis padres: Gonzalo Quevedo Monterroso y María de Jesús Corado Ramírez, por todos sus esfuerzos y sacrificios.

A mis hermanos: Hugo, Edin, Ilmida, José, Magaly, Geidy y Lucy y a mis queridas sobrinitas, por sus muestras de cariño.

A mi novia: Vivian Mejía (**mi querida bebida**) por todo su amor, cariño y comprensión durante mis años de estudio, que sin duda alguna sigue siendo mi aliento cada día.

A mis suegros: Elba de Mejía y Carlos Mejía, por su cariño y apoyo moral brindado durante mis años de estudio.

A mis cuñaditas: Adriana e Irene por sus muestras de cariño y a mi sobrinita Poly.

A mis tías y tíos por sus muestras de cariño

A todos mis primos y primas por su apoyo y sabios consejos

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación FORD por su gran apoyo durante mis estudios de maestría.

A Anabela Acevedo y Aracely Teleguario por su gran apoyo durante mis estudios

A la WWF por su gran apoyo en la realización de esta investigación.

A mi profesor consejero: Francisco Jiménez por su desinteresado empeño, tiempo y esmero, así como por sus valiosos consejos durante el desarrollo de la presente investigación, le estoy muy agradecido, que Dios le bendiga siempre.

A Fernando Casanoves, Zayra Ramos, Laura Benegas y Ogden Rodas: por su valiosos aportes que no solamente contribuyeron con este estudio, sino que también ayudaron a fortalecerme, tanto profesional como personalmente.

A Ogden Rodas por todo su apoyo durante el desarrollo de esta investigación, le estoy muy agradecido.

A Prudencio Reyes: por su valioso apoyo durante el desarrollo de la fase de campo de esta investigación.

A los miembros de las comunidades de San Antonio I, San Antonio II, Sajmijá, San Francisco II, San Francisco III, San Francisco Seyau, Santo Domingo I, Santo Domingo II, y Santo Domingo III, por todo el apoyo brindado.

BIOGRAFÍA

El autor nació en el municipio de Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa, Guatemala, el 04 de marzo de 1979. Se graduó de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en agosto del 2004.

A lo largo de su experiencia profesional se ha desempeñado en varias ramas que van desde la realización de inventarios y propuestas de planes de manejo de productos forestales no maderables, técnico forestal y de vida silvestre en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas y por último fungió como director regional de la sede del Consejo Nacional de Áreas Protegidas en Puerto Barrios, Izabal. En el año 2007 ingresa al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Costa Rica, donde obtiene su *Magister Scientiae* en manejo integral de cuencas hidrográficas, en diciembre de 2008.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| DEDICATORIA..... | II |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| BIOGRAFÍA | V |
| CONTENIDO | VI |
| RESUMEN..... | X |
| SUMMARY | XI |
| ÍNDICE DE CUADROS | XII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XV |
| LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS | XVII |
| 1 INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1.1 Objetivos del estudio..... | 21 |
| 1.1.1 <i>Objetivo general</i> | 21 |
| 1.1.2 <i>Objetivos específicos y preguntas de investigación</i> | 21 |
| 1.1.3 <i>Hipótesis del estudio</i> | 22 |
| 2 MARCO Referencial..... | 23 |
| 2.1 Problemas y desafíos de las cuencas hidrográficas en Guatemala..... | 23 |
| 2.2 Cuenca hidrográfica y manejo de cuencas | 25 |
| 2.2.1 <i>La cuenca hidrográfica</i> | 25 |
| 2.2.2 <i>Manejo de cuencas hidrográficas</i> | 25 |
| 2.3 Las franjas ribereñas | 26 |
| 2.3.1 <i>Definición de las franjas ribereñas</i> | 27 |
| 2.3.2 <i>Servicios ecosistémicos generados a través de las franjas ribereñas</i> | 28 |
| 2.3.3 <i>Funciones de la vegetación en los ecosistemas ribereños</i> | 29 |
| 2.3.4 <i>Efectos de la degradación de franjas ribereñas</i> | 32 |
| 2.3.5 <i>Las franjas ribereñas y la temperatura del agua</i> | 33 |
| 2.3.6 <i>Las franjas ribereñas y su relación con la luz solar</i> | 34 |
| 2.3.7 <i>Los bosques ribereños y su relación con los sedimentos y nutrientes</i> | 35 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.3.8 | <i>Los suelos de las franjas ribereñas</i> | 36 |
| 2.3.9 | <i>Anchos de las franjas ribereñas</i> | 37 |
| 2.4 | Caracterización de la vegetación ribereña | 38 |
| 2.5 | Métodos de la medición al nivel de especies | 40 |
| 2.5.1 | <i>Índices de Diversidad de Shannon (H')</i> | 41 |
| 2.5.2 | <i>Medición de la estructura del bosque</i> | 42 |
| 2.6 | Actividades agrícolas y ganaderas y su efecto en la calidad de agua | 42 |
| 2.7 | Parámetros físico-químicos de calidad del agua..... | 44 |
| 2.7.1 | <i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i> | 44 |
| 2.7.2 | <i>Oxígeno disuelto (OD)</i> | 45 |
| 2.7.3 | <i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</i> | 46 |
| 2.7.4 | <i>pH, acidez y alcalinidad</i> | 48 |
| 2.7.5 | <i>Residuos, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales disueltos (STD)</i> | 50 |
| 2.7.6 | <i>Nitratos y nitritos</i> | 50 |
| 2.7.7 | <i>Conductividad</i> | 51 |
| 2.7.8 | <i>Fósforo</i> | 52 |
| 2.7.9 | <i>Temperatura</i> | 52 |
| 2.7.10 | <i>Calcio</i> | 53 |
| 2.8 | Indicadores microbiológicos..... | 54 |
| 2.9 | Restauración de ríos y riberas..... | 55 |
| 2.10 | Índice RQI (<i>Riparian Quality Index</i>) para la valoración de las riberas fluviales | 56 |
| 3 | MATERIALES Y MÉTODOS | 59 |
| 3.1 | Localización y descripción del área de estudio | 59 |
| 3.2 | Metodología general | 62 |
| 3.3 | Metodologías por objetivos | 62 |
| 3.3.1 | <i>Análisis del marco legal e institucional sobre franjas ribereñas en Guatemala</i> | 64 |
| 3.3.2 | <i>Comparar las características edáficas y vegetales en bosques de franjas ribereñas y aledaños</i> | 64 |
| 3.3.2.1 | Composición y estructura del bosque en la franja ribereña y en áreas adyacentes ... | 64 |
| 3.3.2.2 | Definición de metodología para muestreo de suelos, en bosques ribereños y bosques adyacentes..... | 68 |
| 3.3.3 | <i>Evaluar la calidad ecológica de las riberas, su capacidad para reducir la erosión y su efecto sobre la calidad del agua</i> | 69 |

| | |
|---|-----|
| Aplicación del RQI..... | 81 |
| 3.3.4 Conocer la percepción de las comunidades Q'eqchi sobre la toma de decisiones para el desarrollo de actividades en las franjas ribereñas de la microcuenca del río Toila | 90 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 91 |
| 4.1 Analizar el marco legal e institucional sobre franjas ribereñas en Guatemala..... | 91 |
| 4.1.1 Aspectos conceptualizados en la Constitución Política de la República..... | 91 |
| 4.1.2 Legislación relevante relacionada con las franjas ribereñas en Guatemala..... | 94 |
| 4.1.3 Políticas influyentes sobre las franjas ribereñas en Guatemala..... | 100 |
| 4.1.4 Marco institucional relacionado con franjas ribereñas..... | 101 |
| 4.1.5 Visión de diferentes instituciones y organizaciones sobre las franjas ribereñas | 107 |
| 4.2 Conocer la percepción de las comunidades Q'eqchi con relación a la importancia de las franjas ribereñas y sobre la toma de decisiones para el desarrollo de actividades | 121 |
| 4.2.1 Percepción de las comunidades q'echi' sobre la importancia de las franjas ribereñas. | 121 |
| 4.2.2 Percepción de las comunidades q'echi' acerca de los productos que se extraen de las franjas ribereñas | 123 |
| 4.2.3 Percepción de las comunidades q'echi', respecto a los suelos de las franjas ribereñas | 124 |
| 4.2.4 Percepción de las comunidades q'echi' respecto al efecto de las franjas ribereñas sobre los cultivos..... | 125 |
| 4.2.5 Percepción de las comunidades q'echi', respecto a la fauna en las franjas ribereñas ... | 126 |
| 4.2.6 Percepción de las comunidades q'echi' respecto al ancho óptimo de las franjas ribereñas..... | 127 |
| 4.3 Comparación de las características edáficas y vegetales en bosques de franja ribereña y alrededores..... | 128 |
| 4.3.1 Comparación entre suelos de bosques ribereños y bosques adyacentes | 128 |
| 4.3.2 Comparación entre las características vegetales de bosque de franja ribereña y bosques adyacentes | 134 |
| 4.3.2.1 Clasificación y caracterización de los tipos de bosque..... | 134 |
| 4.3.2.2 Estructura, diversidad y riqueza de especies..... | 140 |
| 4.4 Evaluación de la calidad ecológica de las riberas, su capacidad para reducir la erosión y el efecto de usos de la tierra adyacentes sobre la calidad del agua | 146 |
| 4.4.1 Determinación de la capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y contaminación originadas en áreas adyacentes | 146 |
| 4.4.1.1 Evaluación de la calidad ecológica de las riberas a través del índice RQI .. | 161 |
| 4.4.1.2 Relación entre los usos de la tierra y la calidad de agua | 173 |

| | | |
|-----|---|-----|
| | Relación entre los usos de la tierra y la calidad del agua..... | 180 |
| 5 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 186 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 186 |
| 5.2 | Recomendaciones | 188 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 190 |
| 7 | Anexos | 196 |

Quevedo Corado, JE. 2008. Análisis y evaluación de las franjas ribereñas y de los usos adyacentes en la microcuenca del río Toila, subcuenca del río Matanzas, Guatemala.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue contribuir al conocimiento sobre la importancia de las franjas ribereñas como fuentes de generación de servicios ecosistémicos, económicos y sociales. La investigación se realizó en la microcuenca del río Toila, subcuenca del río Matanzas y consistió en el análisis de los siguientes aspectos: marco legal e institucional de las franjas ribereñas, visión institucional y percepción de los productores sobre las franjas ribereñas, capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación, evaluación de la calidad ecológica de las riberas, influencia de los usos de la tierra en la calidad del agua y la comparación de las características edáficas y vegetales de los bosques ribereños y adyacentes.

Los resultados muestran que existe un régimen jurídico disperso, con enfoque sectorial y carente de una ley específica que oriente la administración y gestión de los recursos naturales a nivel de franjas ribereñas. Sin embargo, existe una percepción favorable de las instituciones y de las comunidades con relación a la importancia de estas áreas.

Los suelos ribereños mostraron ser más fértiles en comparación con los adyacentes, mientras que la composición y estructura de los bosques ribereños y adyacentes fue similar para ambos tipos de bosque. Sin embargo, las especies indicadoras fueron diferentes para cada tipo de bosque. La capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación fue buena en el cauce principal y moderado en las quebradas, lo cual se explica por los tipos de uso de la tierra existente en estas áreas. La mayoría de los tramos evaluados de las franjas ribereñas presentaron buenas condiciones con respecto a su estructura y funcionamiento hidrológico, como lo evidencian los valores de RQI obtenidos, que están entre 80 y 100. A pesar de la existencia de buena cobertura vegetal en la microcuenca y a pesar de que las comunidades no fertilizan en las áreas de cultivo, se constató que todos los usos de la tierra, a excepción del bosque natural, influyeron negativamente en la calidad del agua. Asimismo, el oxígeno disuelto, temperatura, nitratos y nitritos fueron afectados negativamente por todos los usos de la tierra, excepto por el bosque natural.

Palabras clave: Vegetación ribereña, composición y estructura, Servicios ecosistémicos, erosión, índice de calidad ribereña, calidad del agua.

Quevedo Corado, JE. 2008. Analysis and evaluation of riparian vegetation and adjacent land uses in the Toila River micro-watershed, Matanzas river sub-watershed, Guatemala.

SUMMARY

The main objective of this research thesis was to contribute to the knowledge about the role of the riparian vegetation as a source of ecosystemic, economic and social services. The research was done in the Toila river micro-watershed, Matanzas river sub-watershed, Guatemala. The research analyzed the legal and institutional framework concerning the riparian vegetation as well as the stakeholders perception about its usefulness. In addition, a qualitative evaluation of the riparian vegetation was done to determine the role of such landcover in erosion and pollution control, ecological functionality, and the influence of landuse its relation to the water quality and soil characteristics.

The results show that there is a sparse legal system and that there is not an specific law regarding the riparian vegetation and natural resources management. However, both stakeholders and technicians of different government organizations recognize the importance of such landcover.

The soils associated with riparian vegetation showed more fertility than the ones adjacent to them. Meanwhile, there is no difference between the composition and structure of the riparian vegetation and the adjacent landuses. The capacity of the riparian vegetation to control and diminish the erosion processes was more evident in the main river courses and not to clear in the secondary tributaries. Most of the evaluated riparian vegetation showed a good structure and a good hydrological functioning. In spite that there is a good landuse cover in the micro-watershed and that no fertilizer is added to the crops, all the landuses, excluding the natural forest, showed a negative influence in water quality.

Key words: riparian vegetation, riparian forest structure, riparian forest composition, water quality, soil erosion, ecosystemic services, riparian quality index, Toila river.

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|-----|
| Cuadro 1. Recomendaciones de anchos de franjas ribereñas con diferentes tipos de vegetación | 39 |
| Cuadro 2. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química del oxígeno (DQO) 45 | |
| Cuadro 3. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica del oxígeno (DBO5) | 48 |
| Cuadro 4. Clasificación del agua en función de su dureza | 49 |
| Cuadro 5. Coordenadas geográficas de la microcuenca del río Toila | 59 |
| Cuadro 6. Usos de la tierra en la microcuenca del río Toila | 60 |
| Cuadro 7. Capacidad de cada tipo de cobertura para resistir la erosión | 71 |
| Cuadro 8. Categorías de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación con base a los valores de CR. .. | 74 |
| Cuadro 9. Número de observaciones realizadas por tipo de cobertura en la franja ribereña de la microcuenca del río Toila | 76 |
| Cuadro 10. Ubicación de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Toila..... | 78 |
| Cuadro 11. Valores del Índice RQI y alternativas de gestión recomendadas en cada caso..... | 82 |
| Cuadro 12. Matriz para la evaluación de la continuidad longitudinal de la vegetación ribereña (atributo 1) | 82 |
| Cuadro 13. Matriz para evaluación de las dimensiones de anchura del espacio ribereño con vegetación natural asociada al río (vegetación leñosa y helofitos) (atributo 2) | 83 |
| Cuadro 14. Matriz utilizada para la evaluación de la composición y estructura de la vegetación ribereña (en la orilla)(atributo 3) | 84 |
| Cuadro 15. Matriz para la evaluación de la composición y estructura de la vegetación ribereña (Tras la orilla) (atributo 3.1) | 84 |
| Cuadro 16. Matriz para la evaluación de la regeneración natural (atributo 4) de la vegetación ribereña (estrato arbóreo y arbustivo)..... | 85 |
| Cuadro 17. Matriz utilizada para la evaluación de las condiciones de las orillas (atributo 5) | 86 |
| Cuadro 18. Matriz para la evaluación de la conectividad de la ribera con el cauce (atributo 6) y permeabilidad y grado de alteración del relieve y suelo ribereño (atributo 7) | 87 |
| Cuadro 19. Atribuciones legales de entidades gubernamentales que tienes relación con las franjas ribereñas . | 102 |
| Cuadro 20. Respuestas de entrevistas sobre las funciones de las franjas ribereñas..... | 108 |
| Cuadro 21. Respuestas de entrevistas sobre las funciones y actividades que realizan las instituciones a nivel de recursos naturales en franjas ribereñas | 108 |
| Cuadro 22. Respuestas de entrevistas relacionadas con los mecanismos que utilizan las instituciones para la implementación de actividades en franjas ribereñas | 109 |
| Cuadro 23. Fortalezas de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas | 110 |
| Cuadro 24. Limitaciones de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas..... | 110 |
| Cuadro 25. Oportunidades de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas..... | 111 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 26. Respuestas de entrevistas relacionadas con los mecanismos de monitoreo para actividades implementadas | 112 |
| Cuadro 27. Respuestas relacionadas con las lecciones aprendidas en el implementación de actividades a nivel de recursos naturales en franjas ribereñas..... | 113 |
| Cuadro 28. Respuestas relacionadas con las instituciones que trabajan en temas de manejo de recursos naturales a nivel de franjas ribereñas | 114 |
| Cuadro 29. Respuestas relacionadas con el rol del gobierno en el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales a nivel de franjas ribereñas | 114 |
| Cuadro 30. Respuestas relacionadas con el rol que debería jugar el gobierno a través de sus instituciones en el manejo de recursos naturales a nivel de franjas ribereñas | 115 |
| Cuadro 31. Respuestas relacionadas con los obstáculos que impiden la realización de las actividades de manejo y conservación de las franjas ribereñas..... | 116 |
| Cuadro 32. Respuestas relacionadas con las consideraciones de cómo se están manejando las franjas ribereñas en Guatemala..... | 117 |
| Cuadro 33. Respuestas relacionadas con las principales actividades que están deteriorando los ecosistemas ribereños de los ríos en Guatemala..... | 117 |
| Cuadro 34. Respuestas relacionadas con las Leyes, Políticas y Normativas relacionadas con el manejo y protección de las franjas ribereñas de los ríos en Guatemala..... | 118 |
| Cuadro 35. Respuestas de los entrevistados con relación a la aplicación del marco legal existente sobre franjas ribereñas en Guatemala..... | 119 |
| Cuadro 36. Respuestas relacionadas con los proyectos y actividades que se están desarrollando a nivel de franjas ribereñas en Guatemala..... | 119 |
| Cuadro 37. Respuestas relacionadas con la funcionalidad de un esquema de compensación de servicios ecosistémicos en franjas ribereñas | 120 |
| Cuadro 38. Elementos resaltados de las comunidades q'ech'i, respecto a los efectos de las franjas ribereñas sobre los cultivos | 126 |
| Cuadro 39. Animales presentes en las franjas ribereñas, de acuerdo con la percepción de las comunidades q'echi' | 127 |
| Cuadro 40. Medias y análisis de varianzas entre los parámetros físicos-químicos de suelos de áreas de bosque ribereño con los suelos de áreas de bosques adyacentes | 131 |
| Cuadro 41. Matriz de correlaciones y de probabilidades para los parámetros físicos-químicos evaluados. | 132 |
| Cuadro 42. Índices de valor de importancia (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques ribereños | 135 |
| Cuadro 43. Resultados de la prueba de Montecarlo para el valor indicador máximo para cada especie en bosques ribereños y adyacentes | 139 |
| Cuadro 44. Índices de Shannon y de Simpson para áreas de bosques ribereños y adyacentes..... | 141 |
| Cuadro 45. Densidades de los individuos muestreados para ambos tipos de bosque..... | 145 |
| Cuadro 46. ANAVA para la estructura de los bosques ribereños y adyacentes..... | 146 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 47. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 3, proveniente de la comunidad de San Antonio I..... | 147 |
| Cuadro 48 Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 2 proveniente de la comunidad de San Antonio I..... | 149 |
| Cuadro 49. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 1 proveniente de la comunidad de San Antonio I..... | 149 |
| Cuadro 50. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada proveniente de la comunidad de San Francisco I, San Francisco III y San Francisco Seyau | 150 |
| Cuadro 51. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada proveniente de áreas de cultivo de San Francisco I y II | 151 |
| Cuadro 52. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de quebrada proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II | 152 |
| Cuadro 53. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de quebrada II proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II..... | 153 |
| Cuadro 54. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para la franja ribereña izquierda del cauce principal de la microcuenca Toila..... | 154 |
| Cuadro 55. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para la franja ribereña derecha del cauce principal de la microcuenca Toila..... | 155 |
| Cuadro 56 Valores del índice CR y pendientes promedio, determinados por SIG y mediante observación en el campo..... | 157 |
| Cuadro 57. Valores promedio del índice CR en la parte baja, media y alta en la microcuenca Toila..... | 159 |
| Cuadro 58. Análisis de sensibilidad para el Índice CR con base a la pendiente, el tipo de cobertura y el factor de área | 160 |
| Cuadro 59. Valores del índice RQI con base a los atributos evaluados | 163 |
| Cuadro 60. Estado ecológico de las riberas en los tramos evaluados..... | 167 |
| Cuadro 61. Resultados del análisis de varianzas de los parámetros evaluados entre estaciones y épocas de muestreo..... | 174 |
| Cuadro 62. Promedios de los parámetros evaluados por época de muestreo | 174 |
| Cuadro 63. Probabilidades y coeficientes de correlación entre usos de la tierra y algunos de los parámetros evaluados | 183 |
| Cuadro 64. Matriz de correlaciones y de probabilidades para los parámetros físicos-químicos evaluados | 184 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Funciones generales de las franjas ribereñas. | 30 |
| Figura 2. Servicios ecosistémicos de las franjas ribereñas. | 31 |
| Figura 3. Influencia del ancho del canal sobre la sombra en el río. | 36 |
| Figura 4. Atributos que caracterizan la estructura de las riberas fluviales, en relación a las dimensiones del espacio ribereño que en la actualidad contienen vegetación asociada al río y características de dicha vegetación. | 57 |
| Figura 5. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas en relación al equilibrio de la vegetación ribereña con el actual régimen de caudales y usos del suelo, la estabilidad y heterogeneidad de las orillas y la conectividad lateral y vertical del cauce con sus riberas y llanuras de inundación. | 58 |
| Figura 6. Usos de la tierra y ubicación de la microcuenca del río Toila. | 61 |
| Figura 7. Metodología general para el desarrollo de la investigación. | 63 |
| Figura 8. Puntos de muestreo de vegetación y de suelos en áreas de bosque ribereño y adyacente. | 66 |
| Figura 9. Parcela de muestreo de vegetación para bosques adyacentes a franjas ribereñas. | 67 |
| Figura 10. Parcela de muestreo de vegetación para bosques de franjas ribereñas. | 67 |
| Figura 11. Variación del coeficiente de pendiente (CP) en función de los grados. | 73 |
| Figura 12. Puntos de muestreo y usos de la tierra en la microcuenca del río Toila. | 79 |
| Figura 13. Artículos de la Constitución relacionados con las franjas ribereñas en Guatemala. | 93 |
| Figura 14. Síntesis de la Legislación existente relacionada con la protección y manejo de los recursos en ecosistemas ribereños. | 98 |
| Figura 15. Políticas relacionadas con franjas ribereñas. | 100 |
| Figura 16. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi' con respecto a las funciones de las franjas ribereñas. | 122 |
| Figura 17. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi' con respecto a los productos que extraen de las franjas ribereñas. | 124 |
| Figura 18. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi con respecto a los suelos de las franjas ribereñas. | 125 |
| Figura 19. Áreas de franja ribereñas utilizadas para cultivo de maíz. | 128 |
| Figura 20. Grupos de suelos conformados mediante análisis de conglomerados entre los sitios de muestreo y los parámetros físico-químicos evaluados. | 130 |
| Figura 21. Análisis de componentes principales de los sitios de muestreo con respecto a los parámetros físicos-químicos evaluados. | 133 |
| Figura 22. Índices de valor de importancia (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques ribereños. | 136 |
| Figura 23. Índices de valor de importancia ecológica (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques adyacentes. | 137 |
| Figura 24. Densidades de las diez especies con mayor peso ecológico (IVI) para bosques ribereños y adyacentes. | 138 |

| | |
|---|-----|
| Figura 25. Curvas de acumulación de especies para bosques ribereños y adyacentes | 142 |
| Figura 26. Individuos por hectárea por clases diamétricas para bosques ribereños y adyacentes | 144 |
| Figura 27. Tendencias de las densidades (individuos/ha) en función de clases diamétricas para bosques ribereños y adyacentes..... | 144 |
| Figura 28. Área basal (m ² /ha) por clases diamétricas para los bosques ribereños y adyacentes | 145 |
| Figura 29. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas (microcuenca Toila)..... | 158 |
| Figura 30. Resultado del análisis de conglomerado de los tramos evaluados con base al índice RQI..... | 162 |
| Figura 31. Valores RQI para cada uno de los tramos evaluados..... | 164 |
| Figura 32. Tendencias de los atributos 1, 2 y 3 en los tramos evaluados..... | 165 |
| Figura 33. Tendencias de los atributos 4, 5, 6 y 7 en los tramos evaluados..... | 166 |
| Figura 34. Ubicación de tramos para la observación de atributos del índice RQI y usos de la tierra adyacentes a la ribera . | 168 |
| Figura 35. Proporciones de los estados ecológicos de los tramos evaluados | 172 |
| Figura 36. Comportamiento de nitratos, nitritos, fósforo total y demanda química de oxígeno en las épocas de muestreo..... | 175 |
| Figura 37. Comportamiento del oxígeno, salinidad, temperatura y pH en las épocas de muestreo | 177 |
| Figura 38. Fluctuación de las concentraciones de nitratos en las estaciones de muestreo | 179 |
| Figura 39. Fluctuaciones de la salinidad y temperatura en las estaciones de muestreo | 181 |

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

| | |
|-----------|--|
| AMASURLI | Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal, El Río Dulce y su Cuenca |
| AMPI | Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Peten Itza |
| AMSA | Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán |
| AMSCLAE | Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su Entorno |
| CALAS | Centro de Acción Legal-Ambiental y Social de Guatemala |
| COGUANOR | Comité Guatemalteco de Normas |
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua |
| CONAMA | Comisión Nacional del Medio Ambiente |
| CONAP | Consejo Nacional de Áreas Protegidas |
| CONRED | Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres |
| FAO | Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| INFOM | Instituto de Fomento Municipal |
| INGUAT | Instituto Guatemalteco de Turismo |
| INAB | Instituto Nacional de Bosques |
| INDE | Instituto Nacional de Electrificación |
| INSIVUMEH | Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología |
| MAGA | Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación |
| MARN | Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales |
| MEM | Ministerio de Energía y Minas |
| MSPYAS | Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social |
| OCRET | Oficina de Control de Áreas de Reserva Territoriales del Estado de Guatemala |

| | |
|----------|--|
| PARPA | Programa de Apoyo a la Reconversión Productiva Agroalimentaria |
| PINFOR | Programa de Incentivos Forestales |
| PMIRH | Programa de Manejo Integrado de Recursos Hídricos |
| RAMSAR | Convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Habitat de Aves Acuáticas |
| SEGEPLAN | Secretaría General de Planificación Económica |
| SIGAP | Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas |
| UICN | Unión Mundial para la Naturaleza |
| UNIPESCA | Unidad de Manejo de la Pesca y Acuicultura |
| WWF | World Wildlife Fund |

1 INTRODUCCIÓN

La existencia de una amplia variedad de ecosistemas en el país, constituye la base de una oferta natural en materia de bienes y servicios. Esta riqueza en materia de recursos naturales, combinada con sus características socioculturales, define que tenga varias oportunidades de desarrollo para el bienestar de su población. No obstante, para el uso de estos bienes y servicios, no siempre se han considerado los criterios de sostenibilidad. Esto ha dado origen a una serie de problemas a nivel del sistema biofísico nacional, dentro del cual se enmarca el sistema hidrográfico nacional (MAGA y FAO 2006).

Dentro de este sistema hidrográfico se encuentra la cuenca del río Polochic, que tiene una extensión aproximada de 2,000 km² y una población cercana a los 400,000 habitantes, la mayoría perteneciente a la cultura Q'eqchi'. Geográficamente se encuentra al noreste de Guatemala y tiene una gran influencia en el Sistema Arrecifal Mesoamericano, que ha sido declarado una prioridad de conservación para los gobiernos y otros actores claves de la región. Los suelos de la región se encuentran fuertemente degradados debido a las prácticas agrícolas inadecuadas (agricultura de ladera) y a la constante deforestación que se produce a consecuencia de las migraciones internas de grupos de familias que buscan nuevas áreas para agricultura. Además está siendo afectada por la ganadería intensiva, la erosión del suelo y el incremento en el uso de agroquímicos. En consecuencia la cuenca lleva una alta carga de nutrientes y sedimentos hacia el humedal, Bocas del Polochic, lugar que, tiene un impacto benéfico sobre la calidad del agua, protegiendo la integridad ecológica del mismo, ya que en este punto el agua es filtrada y parcialmente purificada antes de ingresar al Lago de Izabal (Aquino 2006; MARN 2006).

Dentro del marco institucional, existe un grupo de actores gubernamentales realizando acciones que afectan directa o indirectamente a las cuencas hidrográficas, tales como; AMASURLI, AMSA, AMSCLAE, CONAP, CONRED, INAB, INDE, MAGA, MARN, Municipalidades y universidades, entre otras (Aragón de Rendon et ál. 2002), así como organismos internacionales como por ejemplo: Fundación Solar, FAO, *World Wildlife Fund* (WWF), UICN, CARE, entre otras, que realizan acciones en cuencas consideradas como prioritarias para Guatemala, como lo es la cuenca del río Polochic.

La microcuenca del río Toila, es tributaria de la microcuenca del río Sajmijá, que a su vez forma parte de la subcuenca del río Matanzas, cuenca del río Polochic dentro de los límites del

municipio de La Tinta, departamento de Alta Verapaz. Esta microcuenca presenta condiciones de sobreuso de la tierra con base a las prácticas de agricultura en zonas de ladera, que por sus características topográficas, idealmente deberían dedicarse al manejo y la protección forestal; además se han eliminado áreas de bosques y matorrales que en otros tiempos conformaban la vegetación natural de los ecosistemas ribereños, principalmente para fines de agricultura.

Las franjas ribereñas representa a los ecosistemas de mayor valor ecológico y paisajístico y hoy día presentan un nivel de degradación considerable, habiendo desaparecido de las grandes arterias fluviales en sus tramos medios y bajos debido principalmente a la invasión de la agricultura, urbanizaciones, vías de comunicación, o por estar sometidas a uso incontrolado para la extracción de arenas, pastoreo, entre otros (González y García 1998).

Varios autores (Lovett y Price 1999; Eichner 2002; Granados et ál. 2006; Lovett y Price 2001 y Garrent 2005), coinciden que una franja ribereña desempeña una serie de funciones, tales como: servir como zona de amortiguamiento al río contra el lavado de sedimentos y nutrientes provenientes de la agricultura, filtración de contaminantes, nutrientes y sedimentos, reducción de la erosión y escorrentía hacia los cuerpos de agua, estabilización de las orillas, suministro de alimentos y nutrientes, entre otras. Esto es resultado de su amplio rango de hábitat y tipos de alimentos, su proximidad al agua, su microclima y su capacidad para proporcionar refugio.

Dentro de este contexto y siendo la microcuenca del río Toila parte prioritaria de la cuenca del río Polochic, existe mucho interés de parte de la WWF, CARE, Defensores de la Naturaleza, la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLY) y otras agencias de cooperación técnica, de realizar estudios relacionados con restauración ecológica de los ríos, recursos hídricos y manejo de recursos naturales en general, esto con el propósito de buscar soluciones para los problemas y necesidades relacionados con la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos en la cuenca del río Polochic.

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 *Objetivo general*

Contribuir al estudio de los ecosistemas ribereños de la microcuenca del río Toila y su relación con los usos de la tierra adyacentes, específicamente con los componentes vegetación, suelo, agua, calidad ecológica de las riberas, marco legal e institucional y toma de decisiones de los propietarios para su uso y manejo.

1.1.2 *Objetivos específicos y preguntas de investigación*

a. Analizar el marco legal e institucional sobre franja ribereña en Guatemala

- ¿Cómo influye la legislación Guatemalteca en el manejo y protección de las franjas ribereñas?
- ¿A qué institución de gobierno le corresponde por ley, el manejo, protección y gestión de las franjas ribereñas?
- ¿Existe cumplimiento de la ley en materia de franjas ribereñas en Guatemala?
- ¿Cuáles son los factores que fortalecen o debilitan la aplicación del marco legal existente?
- ¿Cuál es la visión de instituciones y organizaciones que trabajan a nivel de recursos naturales en el país, respecto a las franjas ribereñas?

b. Comparar las características edáficas y vegetales en bosques de franja ribereña y aledaños

- ¿Existen diferencias en estructura y composición entre bosques ribereños y aledaños?
- ¿Existen diferencias entre las características edáficas y vegetales entre áreas de bosque adyacente y áreas de bosques ribereños?
- ¿Cuáles son las características, similitudes y diferencias entre suelos de bosques ribereños con relación a suelos de bosques adyacentes?

c. Evaluar la calidad ecológica de las riberas, su capacidad para reducir la erosión y el efecto de usos de la tierra adyacentes sobre la calidad del agua

- ¿Cuál es la capacidad potencial y contribución de las franjas ribereñas en la reducción de la erosión y contaminación originada en áreas adyacentes?
- Existe diferencia entre el método de observación directa de la pendiente y el uso de SIG para el cálculo de la capacidad potencial de la ribera para disminuir la erosión y la contaminación

- ¿Cuál es el estado ecológico de las riberas en la microcuenca del río Toila?
 - ¿Existe diferencia en la reducción de la erosión y contaminación entre franjas ribereñas con protección vegetal y sin protección?
 - ¿Cuál es la relación entre los usos de la tierra y la calidad de agua en la microcuenca del río Toila?
 - ¿Cuál es el estado general de la calidad de agua, de acuerdo con los muestreos realizados?
- d. Conocer la percepción de las comunidades Q'eqchi sobre la toma de decisiones para el desarrollo de actividades en franjas ribereñas**
- ¿Cuáles son los beneficios económicos, sociales, culturales y ambientales que brindan las franjas ribereñas a los productores?
 - ¿Cuál es la percepción de los propietarios respecto a la toma de decisiones sobre el manejo de las franjas ribereñas?

1.1.3 Hipótesis del estudio

- No existe diferencia en las características físicos-químicas entre suelos de franjas ribereñas y suelos de áreas adyacentes.
- No existe diferencia en la estructura y composición de los bosques en la franja ribereña del río Toila con respecto a los bosques aledaños.
- Los tipos de uso de la tierra no influyen sobre la calidad de agua en la microcuenca del río Toila.
- La época de muestreo no influye en los parámetros de calidad de agua en la microcuenca del río Toila.
- No existe diferencia entre la determinación de la capacidad de la franja ribereña para disminuir la erosión y la contaminación utilizando el método de observación visual de la pendiente y mediante la utilización de SIG.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Problemas y desafíos de las cuencas hidrográficas en Guatemala

Históricamente, la mayoría de programas y proyectos que han intentado mejorar el uso de la tierra en Guatemala (y otros lugares en Centro América) se han enfocado en mejorar el bienestar de los campesinos mediante la promoción de mejores prácticas agrícolas y forestales dirigiéndolos hacia el desarrollo rural para beneficio de la gente de escasos recursos. El manejo adecuado del ambiente y de las cuencas hidrográficas, así como el impacto río abajo han sido secundarios creyendo que se dan automáticamente, al mejorar la calidad de vida de los campesinos (Tschinkel 2001).

De acuerdo con MAGA y FAO (2006); A nivel del sistema hidrográfico nacional, los problemas se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Socioeconómicos:** pérdida de cobertura arbórea (deforestación), deterioro de tierras, pérdida del vínculo hidrológico-forestal, marginalización de poblaciones especialmente en ambientes rurales y ocupantes de laderas y montañas, pérdida de productividad de los ecosistemas naturales e intervenidos, vulnerabilidad ante riesgos naturales, vulnerabilidad alimentaria.
- **Político-institucionales:** insuficientes políticas, programas y proyectos participativos en materia de uso, conservación y manejo de recursos naturales renovables, reducida participación comunitaria (urbana y rural) en procesos de gestión socioambiental, reducida capacidad de generación de información básica orientada al manejo de recursos naturales (en cuencas hidrográficas), gestión de riesgo.
- **Ambientales:** erosión genética, pérdida de resiliencia de ecosistemas naturales, pérdida de biodiversidad, contaminación de cursos de agua, contaminación atmosférica, erosión de suelos.

Dentro de este contexto, se hace necesario que cualquier intervención político-institucional de medidas directas e indirectas asociadas al manejo de cuencas y gestión de riesgo tome en cuenta los siguientes aspectos:

- **En lo social:** que las medidas directas e indirectas asociadas al manejo de cuencas y gestión de riesgo tengan niveles apropiados de aceptación y participación de distintos grupos de interés, dentro de los espacios biogeográficos seleccionados (cuencas,

microcuencas). Es necesario propiciar una adecuada educación y extensión socioambiental y una adopción generalizada de prácticas productivas compatibles con la conservación y uso sostenible de los ecosistemas y sus recursos asociados.

- **En lo institucional:** fortalecimiento de la capacidad de los gobiernos locales, las comunidades usuarias y distintos grupos de interés por conocer y administrar sus recursos naturales en función de bases sostenibles y de normas aceptables y aplicables por la mayoría. Adicionalmente, mejorar las capacidades para implementar arreglos institucionales necesarios para coleccionar, almacenar y analizar sistemáticamente información relacionada con la administración y manejo de recursos a nivel de cuenca hidrográfica para fines productivos y de gestión de riesgo.
- **En lo tecnológico:** que las intervenciones de restauración o rehabilitación relacionados con el manejo de ecosistemas naturales y recursos asociados, permitan el uso sostenible de estos ecosistemas y recursos asociados.
- **En lo económico-financiero:** que las medidas de manejo de cuencas hidrográficas emprendidas, permitan la generación de ingresos y rendimientos económico-financieros, ya sea por los bienes que se producen o por el lado de los servicios ambientales generados (externalidades positivas). Es necesario evidenciar la participación en la economía nacional, de las actividades económicas que dependen del uso sostenible de la base de recursos naturales y de la generación y mantenimiento de los servicios ambientales.
- **En lo ambiental:** que las acciones de manejo de cuencas, garanticen la conservación (estabilidad y resiliencia) de los ecosistemas y de los recursos naturales asociados a los mismos

El manejo de cuencas en el caso de Guatemala es reconocido en el ámbito de la normativa (leyes, reglamentos) y políticas públicas, desde la Constitución Política, leyes constitucionales como el Código de Salud y leyes sectoriales, tales como: Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente, Ley Forestal y la Ley de Áreas Protegidas. Hay diversidad de políticas sectoriales y transectoriales que orientan a realizar manejo de cuencas. No obstante, el marco político, legal e institucional ha sido insuficiente para garantizar un apropiado manejo del sistema hidrográfico nacional (MAGA y FAO 2006).

2.2 Cuenca hidrográfica y manejo de cuencas

2.2.1 La cuenca hidrográfica

Es un territorio delimitado por la propia naturaleza, esencialmente por los límites de zonas de escorrentía de las aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce. La cuenca hidrográfica, sus recursos naturales y sus habitantes tienen cualidades físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, que le confieren características propias y especiales. Físicamente, la cuenca hidrográfica representa a un área natural de captación y concentración de agua superficial y subterránea y por lo tanto, tiene una connotación esencialmente volumétrica e hidrológica. Al mismo tiempo, la cuenca hidrográfica y sobre todo el agua recolectada en la misma, representa una fuente de vida para la humanidad, sin embargo, también puede ser una fuente de peligro, cuando toman lugar los fenómenos naturales extremos asociados al agua o cuando es afectada por la contaminación (Dourojeanni, 2001)

Por otro lado, algunos otros autores definen a la cuenca hidrográfica de la siguiente manera:

Así, en la cuenca hidrográfica existe un ordenamiento natural el cual, si ha desaparecido o está alterado, es conveniente adecuarlo o regenerarlo tratando siempre que este ordenamiento responda a las necesidades y requerimientos de la sociedad humana sin afectar la armonía de la naturaleza y tomando como base al agua como elemento vital y ordenador por excelencia (Fundación Moises Bertoni, 2003). Sin embargo, las cuencas hidrográficas por estar limitadas por barreras físicas e hidrológicas, en lugar de administrativas o políticas, hacen que se dificulte su gestión integrada (Martínez y Dimas 2007).

2.2.2 Manejo de cuencas hidrográficas

De acuerdo con Jiménez (2007) el manejo de cuencas hidrográficas *“es el conjunto de acciones que se realizan para utilizar, manejar, rehabilitar, proteger y conservar los recursos naturales en las cuencas hidrográficas de acuerdo a los enfoques sistémico, socioambiental, integral y del agua como recurso integrador de la cuenca. Promueve y busca la sostenibilidad ecológica, social y económica de los recursos naturales y el ambiente en el contexto de la intervención humana, sus necesidades y responsabilidades y del riesgo y la ocurrencia de desastres, principalmente de origen hidrometeorológico”*.

Las acciones que se aplican en el manejo de cuencas hidrográficas son complementarias y están orientadas a aprovechar los recursos naturales (usarlos, transformarlos, consumirlos) para propiciar el crecimiento económico, y otro grupo de acciones orientadas a manejarlos (conservarlos, recuperarlos, protegerlos), con el fin de tratar de asegurar una sustentabilidad del ambiente. Utiliza un enfoque holístico, destacando la interconectividad de los recursos naturales entre los usuarios aguas arriba y aguas abajo, empleando el concepto de ecosistema, los principios de la ciencia ecológica y los lineamientos del desarrollo sostenible. Además, facilita el monitoreo y evaluación del efecto de las inversiones en conservación de vertientes para protección del agua y privilegia la protección del valor estratégico del recurso agua (Kerr 2007; MAGA y FAO 2006; y FAO s.f.).

El manejo de cuencas promueve además el uso adecuado de las tierras, lo que a su vez influye positivamente en el abastecimiento de servicios ambientales, tales como:

- La reducción de la erosión, que da como resultado:
 - La disminución del azolvamiento de los cauces de los ríos
 - La reducción de los costos de tratamiento del agua para consumo humano, industrial o agropecuario.
 - La disminución de los costos de producción de energía hidroeléctrica (al incrementarse la vida útil de las turbinas y reducirse la sedimentación en los embalses)
- La mejoría de la calidad del agua al hacer un uso racional de los agroquímicos en la agricultura.
- La protección de la biodiversidad al mantener sanos los ecosistemas acuáticos y al sostener un flujo constante de agua.
- Se promueve la regulación de caudales, con lo que en la estación lluviosa se reducen las inundaciones y se mantienen los caudales durante la estación seca (Martínez y Dimas 2007).

2.3 Las franjas ribereñas

Los beneficios que prestan las franjas ribereñas se han conocido por más de un centenar de años y sin embargo, su mantenimiento sigue siendo una de las más difíciles cuestiones de resolver por las actuales presiones de uso de la tierra existentes (*Vermont Agency of Natural Resources* 2005). Esto ha permitido el realce de su importancia como áreas

que prestan una amplia gama de servicios ecosistémicos, económicos y sociales, los cuales han sido estudiados desde varias perspectivas. Algunos autores como Coles et ál. (2004), EEP (2004), *Environmental Protection Agency* (2005), Garrent (2005), Meyer et ál. (2005), Chaney et ál. (1991), Poulin et ál. (2000), Bigley y Deisenhofer (2006), Bellows (2003), Lovett y Price (1999), Raupach et ál (2000) han enfatizado en los servicios que prestan estas áreas y como las actividades agrícolas, ganaderas, silviculturales y agroforestales están influyendo sobre la calidad de las aguas superficiales y en el estado de las franjas ribereñas, tomando en cuenta medidas de gestión, directrices, criterios para la toma de decisiones y estrategias para la conservación y restauración de las franjas ribereñas.

Asimismo otros autores como Ehrlich et ál (2005), Lovett y Price (1999), Robert et ál. (2005), Fisher y Fischenich (2000), Lovett y Price (2001), Eichner (2002), Arcos (2005), Granados et ál. (2006), han desarrollado revisiones e investigaciones relacionadas con las dimensiones de anchura de las franjas ribereñas, tomando como base los objetivos de protección, conservación y restauración que se requieren para estas áreas.

Finalmente autores como Abernethy y Rutherford (1999) y Raupach et ál (2000) han realizado investigaciones para proporcionar asistencia en la planificación y en la ejecución de obras de restablecimiento de la vegetación ribereña, específicamente diseñados para retardar las tasas de erosión en las orillas.

2.3.1 Definición de las franjas ribereñas

De acuerdo con Fisher et ál. (2000), Garrent (2005), Amitha (2003), *Environmental Protection Agency* (2005) y Lovett y Price (1999), las franjas ribereñas pueden ser consideradas como zonas transicionales entre hábitats de sistemas fluviales y terrestres. Aunque no siempre bien definidos, estas zonas pueden ser descritas como largas franjas lineales de vegetación adyacentes a riachuelos, ríos, lagos, embalses, y otros sistemas acuáticos, incluyendo sus banales y los pantanos que se encuentran en las llanuras de inundación. Dichas franjas pueden estar constituidas por combinaciones de árboles, arbustos, gramíneas, dicotiledóneas y estructuras de bioingeniería adyacentes o dentro de un río, diseñadas para mitigar el impacto del uso de la tierra sobre el río o riachuelo.

2.3.2 Servicios ecosistémicos generados a través de las franjas ribereñas

Los hábitats ribereños son altamente dinámicos, son una zona de encuentro o ecotono de los flujos del río y las tierras de la orilla del río adyacentes con influencia antropogénica (Amith 2003). Muchos de los nutrientes son considerados como contaminantes cuando entran en altas concentraciones al río. El nitrógeno y el fósforo usados en los fertilizantes, pueden contribuir a la contaminación del río, si estos fluyen directamente hacia el mismo. Las plantas de las franjas ribereñas pueden absorber los remanentes de los fertilizantes y usar estos nutrientes para su crecimiento. Este crecimiento de los árboles en las franjas ribereñas, permite que se dé el almacenamiento de nutrientes en las hojas y en la madera, los cuales son removidos del sitio a través del aprovechamiento de los árboles. Además, las franjas ribereñas también sirven como áreas de captación de dióxido de carbono y contribuyen a la reducción de los gases de efecto de invernadero (Emmingham et ál. 2005).

Las franjas ribereñas son zonas de amortiguamiento contiguas al río que desempeñan funciones como: filtrado de sedimentos, nutrientes, contaminantes y reducción de la escorrentía hacia los cuerpos de agua. Asimismo presentan un amplio rango de hábitat, proporcionan alimentos y su proximidad al agua permite que se desarrollen microclimas que proporcionan refugios y que dan lugar a una alta diversidad de plantas y animales tanto acuáticos como terrestres. Además reducen la erosión, estabilizan las orillas, influyen en la temperatura del agua, proporcionan alimentos y nutrientes para los organismos acuáticos, suministran alimentos para los seres humanos y generan ingresos agrícolas a través de productos cosechados a partir de las franjas ribereñas (Lovett y Price 1999, Eichner 2002, Granados et ál. 2006, Ballard et ál. 2004, Garrent 2005 y Lovett y Price 2001), (Figura 1 y 2).

La más alta densidad de las aves jamás registradas en Norteamérica se encontró en la vegetación ribereña de Arizona, dicha densidad alcanzó los 1324 pares de aves por 40 ha de área ribereña, esta densidad se encuentra entre las más altas en el mundo, incluyendo los bosques tropicales. El bosque ribereño puede actuar como agente transformador cuando los procesos químicos y biológicos cambian la composición de los nutrientes. En el caso de suelos bien oxigenados, las bacterias y los hongos del bosque convierten el nitrógeno disuelto en varios gases, regresándolos a la atmósfera (Granados et ál. 2006).

Emmingham et ál. (2005), indican que algunos estudios muestran que la descomposición de la madera o restos de árboles a través de organismos, también mejoran las

funciones de destoxificación en los suelos de franjas ribereñas. Las toxinas en algunos herbicidas tal como el 2,4-D se acumulan en los árboles de la franja ribereña. Los suelos de las franjas ribereñas ayudan a que se realicen los procesos de desnitrificación. Por lo tanto, las franjas ribereñas pueden ayudar a remover los herbicidas y eliminar el exceso de nitrógeno utilizado en el manejo de los cultivos agrícolas (Figura 2).

Garrent (2005), menciona que una franja ribereña puede estar constituida por tres zonas de manejo:

- Zona 1: una zona estrecha y cercana a la orilla del río que a menudo incluye una mezcla de árboles nativos, arbustos, dicotiledóneas que se adaptan a las llanuras de inundación hidrológica. La principal función de esta zona es estabilizar las orillas del río y proporcionar desechos de maderas para hábitats acuáticos.
- Zona 2: es un área adyacente a la zona 1, pero mucho más amplia, en esta área existen árboles de rápido crecimiento y arbustos que pueden tolerar inundaciones periódicas. Su principal función es la calidad del agua, absorbiendo y almacenando los nutrientes.
- Zona 3: son zonas adyacentes a campos de cultivo o tierras con pastos que proporcionan una alta infiltración, filtración de sedimentos, absorción de nutrientes y puede ayudar a dispersar la concentración de la escorrentía. Los pastos nativos y arbustos como flora silvestre, son normalmente preferidos por sus múltiples beneficios y adaptabilidad.

2.3.3 Funciones de la vegetación en los ecosistemas ribereños

Los árboles, arbustos y otros tipos de vegetación protegen contra la erosión producida por la escorrentía, especialmente durante las inundaciones. La vegetación ribereña hace que los procesos de escorrentía se den de una forma lenta, sirviendo de trampa para los limos o arenas suspendidas en el agua inundada, de esta manera ayudan a filtrar el agua y forman los suelos del banco del río, permitiendo así el rebrote de más vegetación ribereña (Emmingham et ál. 2005).

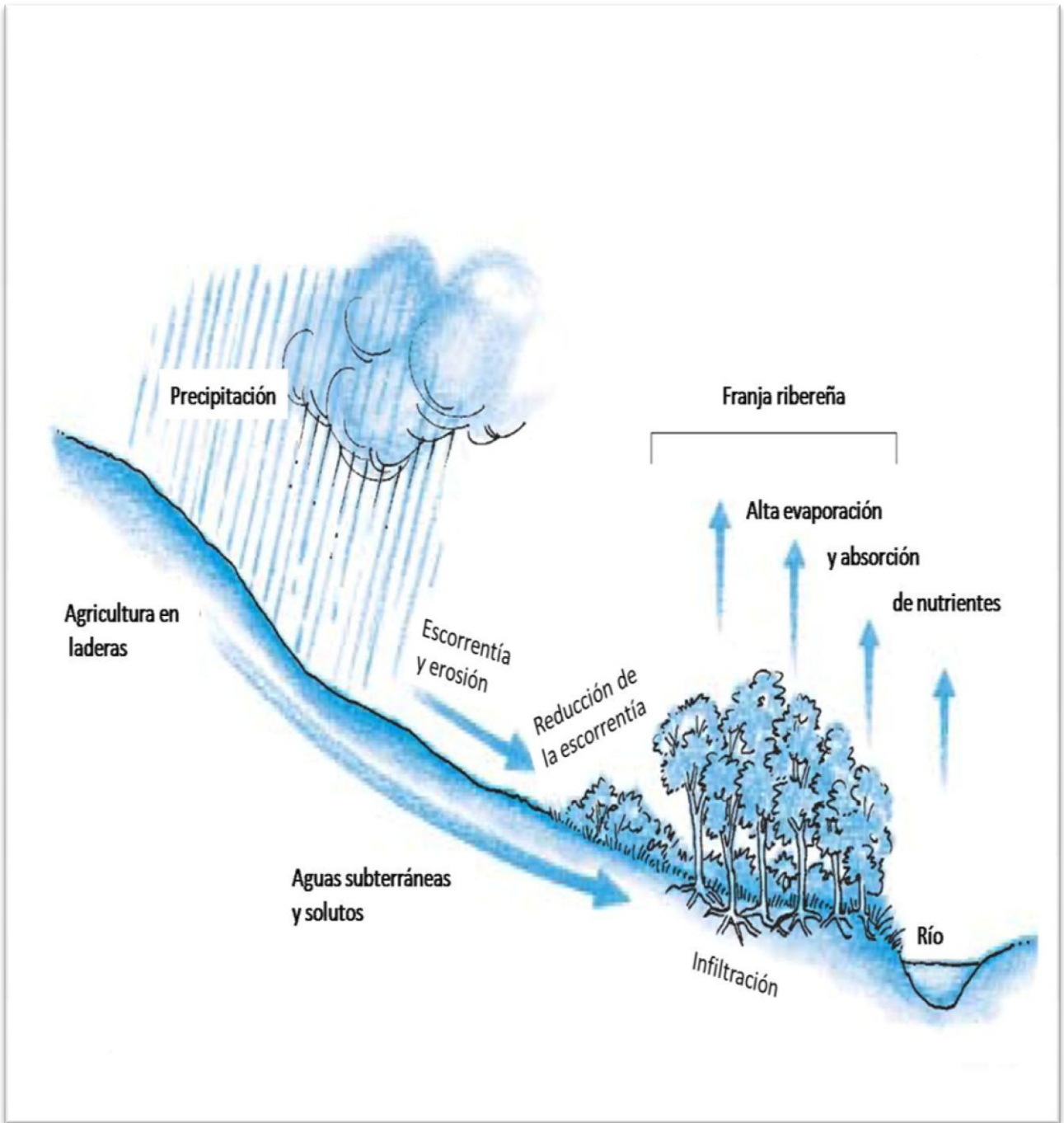


Figura 1. Funciones generales de las franjas ribereñas.

Fuente: Adaptado de Lovett y Price (1999)

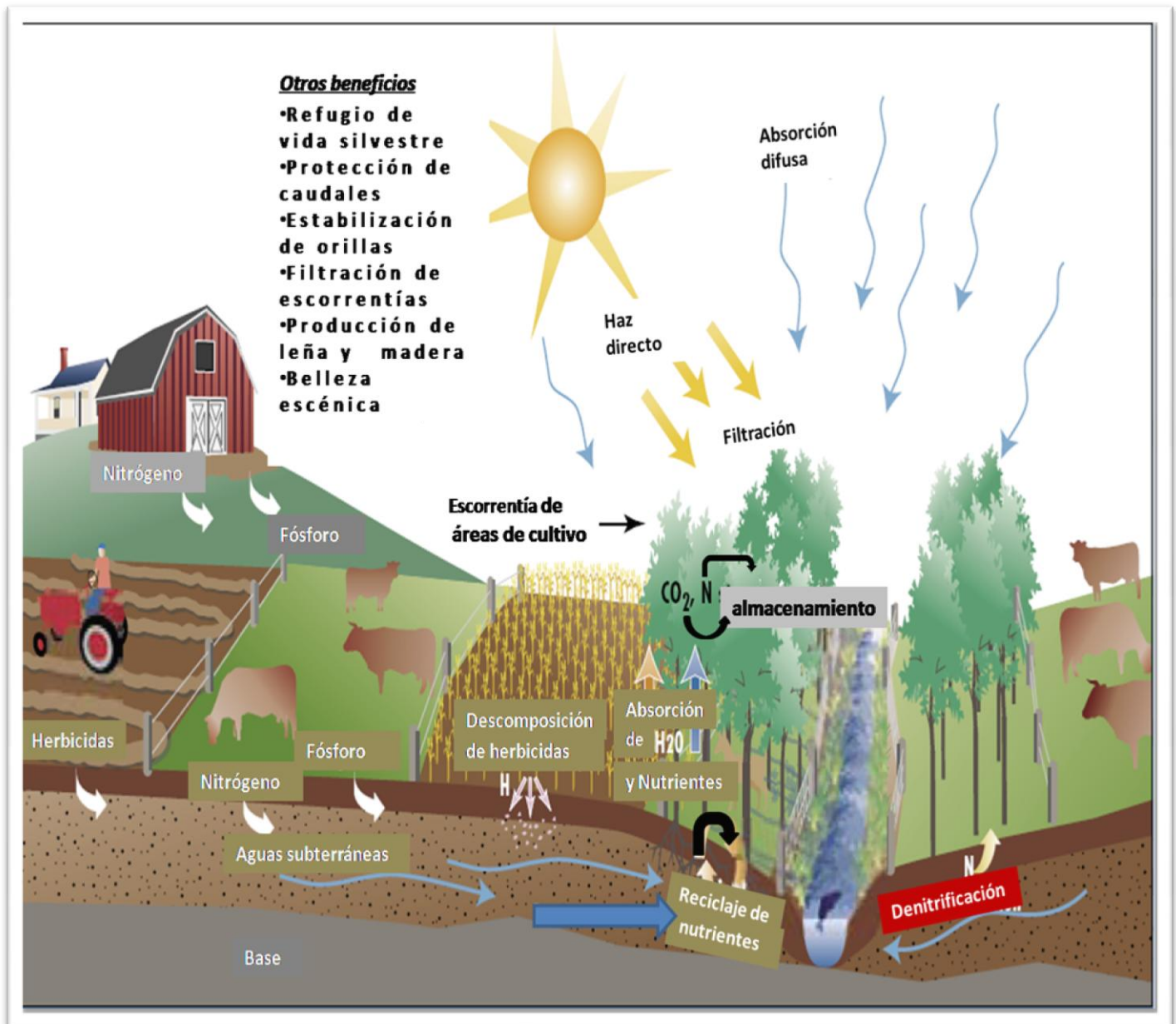


Figura 2. Servicios ecosistémicos de las franjas ribereñas.

Fuente: Adaptado de Emmingham et al (2005).

Muchas plantas nativas se desarrollan solo o principalmente en estas áreas ribereñas, y son muy importantes para muchos animales en parte o todo su ciclo de vida. Dichas plantas nativas pueden proporcionar un refugio para plantas nativas y animales en tiempos de estrés, como por ejemplo, sequías o fuego y también funciona como corredores de vida silvestre en paisajes muy despejados o aclarados (Lovett y Price 2001).

Granados et ál. (2006); Emmingham et ál. (2005) y Lovett y Price (1999); afirman que la vegetación de las franjas ribereñas regulan principalmente la producción a través de la sombra y proporcionan energía y nutrientes esenciales para los organismos que viven en el río. Además los árboles de las franjas ribereñas, los troncos y los restos de árboles presentes en el río o llevados por las inundaciones, proporcionan importantes estructuras para hábitats acuáticos.

En un estudio para determinar el efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia, pudo constatar que las quebradas con corredores ribereños presentaron menor turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y coliformes, mayor diversidad de sustratos y porcentaje de piscinas que las quebradas sin protección. La abundancia relativa de macroinvertebrados de los órdenes Trichoptera y Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera combinados fue mayor en las quebradas protegidas, mostrando que el ambiente de estas es más adecuado para estos taxones, considerados sensibles a la perturbación. De acuerdo con este estudio puede constatar que los corredores ribereños demostraron su utilidad en la reducción del impacto negativo del pastoreo en microcuencas pequeñas de la cuenca del río La Vieja, al disminuir el deterioro de la calidad del agua y proveer un hábitat físico más favorable para la fauna acuática (Chará et ál. 2007).

2.3.4 Efectos de la degradación de franjas ribereñas

De acuerdo con Lovett y Price (1999), las franjas ribereñas son una zona particularmente dinámica dentro del paisaje, esta puede cambiar notablemente incluso bajo condiciones naturales. El fuego, inusualmente severas heladas, ciclones e inundaciones mayores, pueden tener enormes impactos sobre las franjas ribereñas y resultar con ello cambios en la posición y forma del canal y en la vegetación circundante. Sin embargo, la principal degradación de estas áreas suele darse principalmente por la remoción de la vegetación, que produce los siguientes impactos:

- Aumenta la entrada de luz hacia el río, aumentando también la temperatura del agua, lo que favorece el crecimiento de las algas y mala hierba.
- Bajo condiciones naturales, los árboles caen al río, creando así hábitats para organismos acuáticos. Al remover estos escombros, se alteran los ecosistemas acuáticos.

- Los cultivos agrícolas aumentan la deposición de sedimentos y nutrientes hacia el río, sofocando el hábitat acuático, mientras aumentan los nutrientes se estimula el crecimiento de la mala hierba y las algas. Estos nutrientes también afecta la vida marina más allá de la desembocadura del río.
- Desestabiliza los bancos del río, resultando un aumento en el ancho del canal y depresiones como resultado de la erosión. Esta erosión de los canales a menudo carga más sedimento hacia el río, como resultado de las actividades humanas en las tierras aledañas.
- La remoción de la vegetación en las franjas ribereñas y de los escombros presentes en el río, puede hacer que el agua viaje a tasas mucho más rápidas, lo que puede contribuir a aumentar la erosión y las inundaciones en tierras bajas.
- La remoción de la vegetación ribereña a lo largo del río puede provocar una salinización de los mantos freáticos, salinización de las tierras y salinización del curso de agua.
- Sin embargo, la remoción de la vegetación ribereña, no es la única actividad que puede dañar a las franjas ribereñas. Otras actividades como por ejemplo, la alteración de los regímenes de caudales (a través de los embalses, las presas y el bombeo de agua) pueden severamente afectar las poblaciones acuáticas y la capacidad del río para llevar caudales.
- La arena, la grava removida y la rectificación del canal puede provocar una incisión en el mismo, lo que a su vez puede influir en la altura del banco y dar lugar a un aumento en las tasas de erosión.
- El incontrolado acceso hacia las franjas ribereñas por parte de actividades de pastoreo pueden conducir a un sobrepastoreo, pisoteo, destrucción de la estructura del suelo y contaminación del agua con nutrientes ricos en orina y heces fecales.
- Alteración por regímenes de fuego e invasión por parte de malas hierbas o plantas exóticas pueden degradar la franja ribereña.

2.3.5 Las franjas ribereñas y la temperatura del agua

La energía en forma de luz proveniente del sol aumenta la temperatura del cuerpo de agua, generando una fuerte energía dentro de la misma. Por lo tanto, los árboles que bloquean directamente la luz solar, proporcionan el mayor beneficio, ya que la sombra de los árboles

cortan la convectividad del calor y lo transfieren hacia el cuerpo de agua (Emmingham et ál. 2005).

De acuerdo con Lovett y Price (1999) las franjas ribereñas son muy efectivas en la moderación de la temperatura del agua en el río. La temperatura puede influir en la estructura y dinámica de las comunidades acuáticas, tanto animales como vegetales. Algunas de estas alteraciones pueden ser:

- El crecimiento y desarrollo de más organismos acuáticos (como por ejemplo; algas, invertebrados, peces, reptiles y anfibios) son en parte dependientes de la temperatura.
- La eclosión de huevos, el desarrollo larval y otros componentes de los ciclos de vida de los animales, son a menudo disparados por la temperatura.
- Algunas plantas acuáticas y animales tienen requerimientos específicos de temperatura para su sobrevivencia.
- La concentración de oxígeno disuelto disminuye en función del aumento de temperatura, limitando la vida de las plantas y animales.
- El aumento de temperatura, incrementa la actividad bacteriana, lo que produce un aumento en las tasas de descomposición de materia orgánica y aumento en los niveles de consumo de oxígeno.
- La temperatura puede verse afectada directamente por el crecimiento y desarrollo de las plantas y animales acuáticos.

2.3.6 Las franjas ribereñas y su relación con la luz solar

La entrada de luz a través de las franjas ribereñas es de vital importancia para que se lleven a cabo los procesos de fotosíntesis (Lovett y Price 1999). La distribución y producción de plantas acuáticas en los sistemas hídricos pueden ser afectadas por varios factores, pero el más importante es la variabilidad de la luz. La efectividad de la vegetación ribereña para proporcionar sombra a un riachuelo, depende de factores tales como; la altura del dosel, densidad del follaje, el ancho del canal, la orientación topográfica del valle, la latitud y la estación del año (Lovett y Price 1999 y Hill 1996).

Algunas investigaciones muestran que más del 95% de la radiación solar puede ser bloqueada por una densa copa de árboles presentes en franja ribereña. Las algas de los ríos y macrophytas pueden verse significativamente limitadas por la presencia de un denso dosel

dominante en la franja ribereña. Así el efecto de sombreado de la vegetación ribereña a través del movimiento del río, disminuye conforme el canal se ensancha y en función de la dirección y difusión de la luz hacia la superficie del agua, reduciendo diariamente las estaciones extremas de la temperatura del agua (Figura 3).

2.3.7 Los bosques ribereños y su relación con los sedimentos y nutrientes

La aportación de sedimentos y nutrientes provienen de la erosión de tierras aledañas, de los bancos del río y de la erosión originada en áreas de fuerte pendiente. Esto se incrementa como resultado de las prácticas de cambios de uso de la tierra, particularmente por la remoción de la vegetación nativa. Este aumento de sedimentos y nutrientes como el fósforo y el nitrógeno en el río, puede conducir a la pérdida de hábitats, sofocando la vida en el río y cambiando la composición de las comunidades de flora y fauna acuática (Lovett y Price 1999).

De acuerdo con Granados et ál. (2006) y Lovett y Price (1999) los sedimentos y nutrientes son transportados vía escorrentía hacia los ríos, y las franjas ribereñas frenan la eutrofización y la contaminación de los ríos causadas por los abonos y pesticidas traídos de tierras agrícolas. Por lo tanto, las franjas ribereñas protegen de la influencia de sedimentos y nutrientes, a través de los mecanismos de protección que surgen, ya que, generalmente, las franjas ribereñas tienen un menor gradiente de pendiente que reduce la velocidad de la escorrentía, limitando su habilidad para acarrear sedimentos erosionados pendientes arriba. De esta manera, la densa vegetación presente en la franja ribereña, reducen la velocidad de la escorrentía, promueven su infiltración dentro del suelo, causan la deposición de los sedimentos y absorben los nutrientes disueltos. De esta manera, los bosques ribereños contribuyen a la mejora de la calidad del agua.

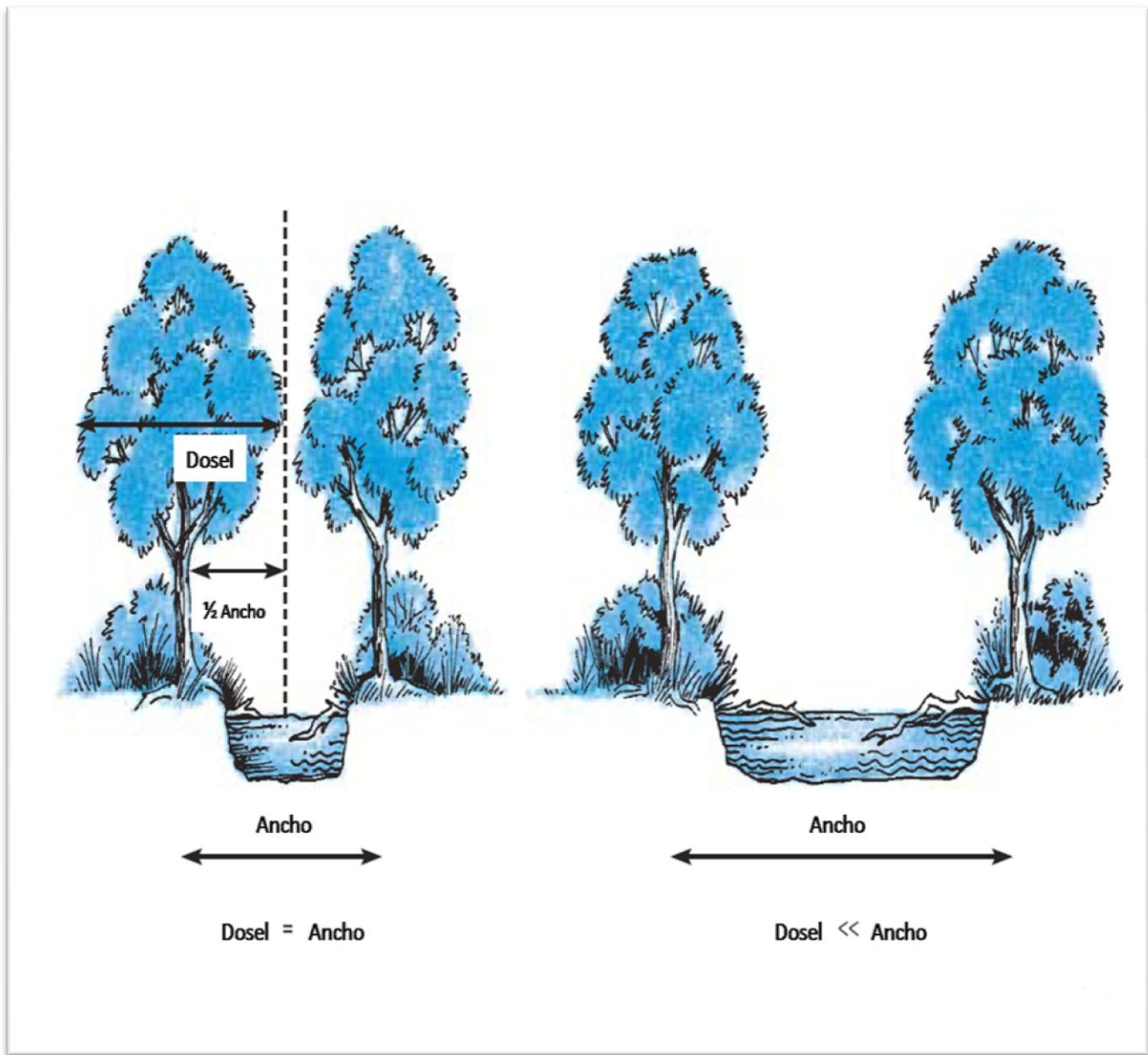


Figura 3. Influencia del ancho del canal sobre la sombra en el río.

Fuente: Adaptada de Lovett y Price (1999).

2.3.8 Los suelos de las franjas ribereñas

Está claramente demostrado que en las franjas ribereñas existe deposición de partículas arrastradas como producto de la erosión de áreas adyacente, haciendo de estas áreas excepcionalmente fértiles y productivas, constituyéndose así, en áreas atractivas para los agricultores, influyendo por estas mismas cualidades en la composición y estructura de los diferentes tipos de bosque. De esta manera, las franjas ribereñas que yacen en las planicies de inundación, generalmente, demuestran ser ricas en nutrientes. Esto debido a que siempre que

una corriente de agua escapa de sus bancos, deja un depósito de sedimentos tras de sí y, con el tiempo, se crea un rico suelo aluvial (Louman et ál. 2001, Granados et ál. 2006 y Lovett y Price 2001).

Además de ser suelos productivos, los suelos ribereños son una parte vulnerable de los paisajes, por estar expuestos a daños generados por los cultivos, pastos, plantas invasoras, contaminación por productos químicos y fenómenos naturales como las inundaciones y el fuego (Lovett y Price 2001).

2.3.9 Anchos de las franjas ribereñas

Los corredores y franjas ribereñas se están convirtiendo cada vez más en una importante opción para mejorar la calidad de agua y conservar la vida silvestre. Hay una sólida evidencia que al existir franjas ribereñas de suficiente ancho protegen y mejoran la calidad del agua por la intercepción de contaminantes, tales como herbicidas y pesticidas; nutrientes de fertilizantes; y sedimentos originados por erosión de los suelos (Fisher y Fischenich 2000).

Eichner (2002) afirma que las funciones de las franjas ribereñas son inestimables y que por lo tanto, es importante mantener entre 100-300 m de ancho, dependiendo de las condiciones y de las funciones deseadas de una localización específica. Asimismo Robert et ál. (2005), afirma que el ancho mínimo aceptable para el buen funcionamiento de las franjas ribereñas es de 30 m, no obstante, cuando se trata de lograr una mayor oferta de beneficios significativos para la vida silvestre y la biodiversidad es necesario que el ancho sea entre 100-300 m. De acuerdo con Granados et ál. (2006), una banda de vegetación de ribera de 16 m de ancho basta para retener el 50% del nitrógeno y el 95% del fósforo provenientes de áreas de agricultura.

Otros autores como Mcnaught et ál. (2003), recomiendan que la determinación del ancho de las franjas ribereñas debe realizarse en función de la pendiente, el grado de sensibilidad de erosión del suelo y de los objetivos que se persiguen. Por ejemplo, si se tiene un área con 60% de pendiente, con baja sensibilidad a la erosión y cuyo objetivo sea la disminución de la sedimentación, este autor sugiere un ancho de 55 m.

Es importante recordar que no hay una ley o naturaleza que defina el ancho de una franja ribereña, o de un área de amortiguamiento dentro de una franja ribereña, es decir, el ancho se determina en función de las decisiones de gestión o manejo (Lovett y Price 1999).

Fisher y Fischenich (2000) realizaron una revisión bibliográfica de varios estudios conducidos por diferentes autores, quienes recomiendan diferentes anchos de la franja ribereña para la protección de la calidad de agua. Dichos anchos están determinados por tipo de vegetación existente en dichas franjas (Cuadro 1).

2.4 Caracterización de la vegetación ribereña

La vegetación de las riberas está constituida en general por numerosas especies pioneras, de crecimiento rápido y fácil reproducción. Dicha vegetación aparece en diferentes agrupaciones vegetales bordeando los ríos y arroyos, dispuestas en bosques de galería (González y García 1998). Granados et ál. (2006), se refieren a la vegetación ribereña como aquella que se encuentra inmediatamente adyacente a los arroyos o a lo largo de los bordes de los lagos y charcos, con características diferentes respecto a la vegetación circundante. La composición florística, la estructura y la disposición de la vegetación de las riberas está sometida de manera natural a los factores hidrológicos de estas últimas, ligados a un nivel freático elevado (humedad edáfica permanente), un régimen de caudales permanente o temporal, con oscilaciones del nivel de las aguas y periódicas inundaciones, procesos erosivos y de sedimentación, entre otros, que causan la muerte de individuos y algunas veces la destrucción física de los mismos. Sin menospreciar la influencia de factores más generales del clima, relieve y características del suelo (Tanago y García 1998 y Treviño et ál. 2001).

La vegetación ribereña típicamente consta de árboles deciduos de los géneros *Populus*, *Quercus salix* y *Alnus*, por ejemplo, ahuehuetes, encinos, mezquites. El marcado contraste entre la vegetación ribereña y la vegetación de áreas adyacentes, produce una diversidad estructural y las características del borde realzan su utilidad para la fauna silvestre. La diversidad de la vegetación también tiene un componente vertical bien marcado; desde la superficie del agua hasta la parte superior del dosel, se encuentran diversas capas distintivas de vegetación. Esto es especialmente cierto a lo largo de los escurrimientos más grandes, donde, por su amplitud, se crea un rompimiento en el dosel forestal que permite la entrada de luz y su incidencia sobre el terreno (Granados et ál. 2006).

Cuadro 1. Recomendaciones de anchos de franjas ribereñas con diferentes tipos de vegetación

| <i>Autor</i> | <i>Ancho</i> | <i>Tipo de vegetación ribereña</i> | <i>Beneficio producido</i> |
|---|--------------|---|---|
| Woodard and Rock (1995) | >15 m | Bosques maderables | La efectividad de las franjas ribereñas naturales es altamente variable, pero en muchos casos, un ancho de 15 m fue efectiva para reducir concentraciones de fósforo provenientes de hogares aledaños. |
| Young et al. (1980) | >25 m | Áreas cubiertas con vegetación | Un ancho de 25 m de franja ribereña puede reducir los sedimentos en suspensión hasta en un 92%. |
| Horner and Mar (1982) | >61 m | Vegetación ribereña de tipo herbácea | Elimina un 80% de los sedimentos en suspensión durante una tormenta. |
| Lynch, Corbett, and Mussalem (1985) | >30 m | No especifica tipo de vegetación. | Una área de amortiguamiento ribereña de 30 m entre el sistema fluvial y áreas adyacentes, remueve en promedio entre un 75 al 80% de los sedimentos suspendidos, reduciendo el paso de nutrientes hacia el cauce y manteniendo las temperaturas del agua dentro de sus niveles aceptables. |
| Ghaffarzadeh, Robinson, and Cruse (1992) Madison et al. (1992) | >9m | Vegetación ribereña de tipo herbácea | Elimina hasta un 85% de sedimentos con pendientes entre 7 y 12%. |
| Ghaffarzadeh, Robinson, and Cruse (1992) Madison et al. (1992) | > 5 m | Vegetación ribereña de tipo herbácea | Atrapa aproximadamente un 90% de Nitratos y fosfatos. |
| Dillaha et al. (1989) | >9 m | Áreas cubiertas con vegetación (bosque) | Elimina en promedio un 84% de los sólidos en suspensión, 79% de fosfatos y 73% de nitrógeno. |
| Lowrance et al. (1992) | >7 m | No especifica tipo de vegetación | Concentración de nitratos casi completamente reducida, debido a la denitrificación microbiana. |
| Nichols et al. (1998) | >18 m | Vegetación ribereña de tipo herbácea | Elimina en un 98% las concentraciones de estradiol (hormona responsable de desarrollo de las mujeres) en la escorrentía de aguas superficiales. |
| Doyle et al. (1977) | >4m | Bosque y vegetación herbácea | Elimina el nitrógeno, fósforo, potasio y bacterias fecales originadas por la escorrentía. |
| Shisler, Jordan, and Wargo (1987) | >19m | Vegetación ribereña maderable (bosque) | Elimina aproximadamente un 80% de excesos de fósforo y un 89% de excesos de nitrógeno. |

Fuente: Fisher y Fischenich (2000).

2.5 Métodos de la medición al nivel de especies

De acuerdo con Moreno (2001), en cada unidad geográfica y en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades y para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, es necesaria la separación de los componentes alfa, beta y gamma. La **diversidad alfa** es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la **diversidad beta** es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la **diversidad gamma** es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta.

Esta forma de analizar la biodiversidad resulta muy conveniente en el contexto actual ante la acelerada transformación de los ecosistemas naturales, ya que un simple listado de especies para una región dada no es suficiente. Para monitorear el efecto de los cambios en el ambiente es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y poder diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local (Moreno 2001).

La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa) y para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, se han dividido en dos grandes grupos: 1) Métodos basados en la cuantificación del **número de especies** presentes (riqueza específica) y 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del **valor de importancia de cada especie** (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse según se basen en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno 2001).

Así, para evaluar la diversidad en el interior de cada comunidad o tipo de hábitat (diversidad alfa), se pueden seleccionar los métodos que evalúan solamente el número de especies, o los métodos que enfatizan la estructura de la comunidad, considerando simultáneamente su número de especies y la importancia relativa de cada una de las especies. Estos métodos basados en la estructura de la comunidad pueden resaltar la dominancia de unas

cuantas especies (como en el caso del índice de Simpson) o bien el grado de equidad entre las distintas especies (como el índice de Shannon-Weaver) (Moreno 2001).

Peet (1974), citado por Moreno (2001), clasificó estos índices de abundancia en **índices de equidad**: aquellos que toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e **índices de heterogeneidad**: aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. Sin embargo, cualquiera de estos índices enfatiza ya sea el grado de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo que para fines prácticos resulta mejor clasificarlos en índices de dominancia e índices de equidad. Algunos de los índices más reconocidos sobre diversidad se basan principalmente en el concepto de equidad, entre los cuales pueden mencionarse:

- Índice de Shannon-Weaver
- Equidad de Pielou
- Índice de Brillouin
- Equidad de Brillouin
- Índice de equidad de Bulla
- Índice de equidad de Hill
- Índice de equidad de Alatalo
- Índice de equidad de Molinari

De acuerdo con Moreno (2001), cuando se trata de determinar la diversidad con base en la abundancia proporcional de las especies; el índice de Shannon y el de equidad de Pielou son los índices más utilizados para medir la equidad y su relación con la riqueza de especies

2.5.1 Índices de Diversidad de Shannon (H')

Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' = representa al valor del índice de Shannon

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i)

\ln = logaritmo natural

2.5.2 Medición de la estructura del bosque

Para conocer la estructura es necesario conocer que el bosque tiene dos componentes, uno vertical y otro horizontal (Louman et ál. 2001). La estructura vertical del bosque se relaciona con la distribución de biomasa en el plano vertical, es decir, se refiere a la distribución de organismos a lo alto de su perfil, permitiendo esta diferencia de microambientes que las especies se ubiquen en los diferentes niveles en función de satisfacer de mejor manera sus requerimientos de energía, siendo esta una de las variable básicas a tomar en cuenta, a nivel local, la posición social de la copa, refiriéndose esta al acceso a luz que tenga un individuo (Louman et ál. 2001).

La estructura horizontal depende de las características del suelo y del clima, las características y estrategias de las especies y los efectos de los disturbios sobre la dinámica del bosque. La respuesta a estos factores se ve reflejado en la distribución del número de individuos por clase diamétrica, por lo tanto, las variables relacionadas son diámetro a la altura del pecho (dap) y su frecuencia. Se han definido dos estructuras principales: las coetáneas, donde la mayoría de individuos están en la misma clase de tamaño y la discetánea, en la cual los individuos están distribuidos en varias clases de tamaño, y se representa mediante una distribución tipo “J” invertida (Louman et ál. 2001).

2.6 Actividades agrícolas y ganaderas y su efecto en la calidad de agua

Siendo las riberas uno de los ecosistemas de mayor valor ecológico y paisajístico, hoy día presentan un nivel de degradación considerable, habiendo desaparecido de las grandes arterias fluviales en sus tramos medios y bajos, debido principalmente a la invasión de la agricultura, urbanizaciones, vías de infraestructura; o por estar sometidas a uso incontrolado para la extracción de áridos, pastoreo, entre otros. Las canalizaciones, dragados y

rectificaciones de los cauces también han ocasionado la destrucción del bosque ribereño, considerando a la vegetación un impedimento u obstáculo para el paso de las aguas (Tanago y García 1998).

Se ha demostrado que las actividades humanas en las cuencas influyen sobre los ecosistemas de las quebradas o riachuelos que las drenan. La perturbación antrópica del paisaje sobre las cuencas hidrográficas mediante la agricultura, la deforestación y el pastoreo rompe las relaciones estructurales y funcionales entre los elementos del paisaje y la estabilidad del ambiente acuático. Las principales influencias en la modificación del paisaje son el incremento de la descarga de sedimentos y nutrientes a las quebradas y la pérdida de la capacidad reguladora de las microcuencas (Chará et ál. 2007). Los principales contaminantes que llegan a los mares son: aguas residuales de origen urbano, metales pesados, herbicidas, pesticidas, desechos y productos industriales, sustancias radioactivas, petróleo y sus derivados (Rossegrant et ál. 2002).

En un estudio llevado a cabo en ocho quebradas de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica, se determinó que la principal razón para la variación de la calidad del agua fue el cambio de uso de la tierra en las fincas ganaderas, siendo los potreros, establos y asentamiento humanos los que más contribuyen a la contaminación. Se determinó que el bosque ribereño presentó beneficios para el ecosistema acuático, donde se evidenció una mayor diversidad y riqueza de macroinvertebrados bentónicos. Así también, tuvo efecto positivo en la disminución de sedimentos y nutrientes que ingresan a la quebrada (Auquilla 2005).

De acuerdo con Chará et ál. (2007), el pastoreo del ganado ejerce un gran impacto sobre los ambientes acuáticos, ya que compacta el suelo, reduce la infiltración e incrementa la escorrentía, lo cual disminuye la regulación hídrica en las cuencas, además, las heces y la orina depositadas en el área de captación y dentro de las quebradas pueden incrementar los niveles de fósforo y nitrógeno en el agua. Además, el ganado afecta la vegetación y el suelo en el área ribereña con destrucción de las orillas y cambio en la morfología del cauce, lo que afecta la calidad fisicoquímica del agua y los hábitats de insectos acuáticos y peces. Adicionalmente, para quebradas pequeñas, la destrucción de la vegetación ribereña reduce la entrada de hojarasca al ambiente acuático, que es la principal fuente de energía de estos ecosistemas.

El nitrógeno aplicado en exceso para la producción agrícola de cultivos frecuentemente entra en las aguas subterráneas a niveles que sobrepasan los estándares para que sea

considerada como agua potable. Númerosos estudios de aguas subterráneas de escorrentía agrícola reportan que los nitratos transportados a través de las zonas ribereñas son efectivamente agotados, a menudo a cortas distancias. El principal sumidero biológico de nitratos para el subsuelo eliminado en las zonas ribereñas naturales cerca del riachuelo es desnitrificado (Duff et ál. 2007).

2.7 Parámetros físico-químicos de calidad del agua

Los parámetros físicos-químicos y microbiológicos son utilizados como indicadores para determinar la calidad del agua en dependencia de su uso, así como para establecer si ha tenido contribución antropogénica (Sardiñas et ál. 2006). La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. La ventaja de los métodos físico-químicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa, ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso (Samboni et ál. 2007)

2.7.1 Demanda química de oxígeno (DQO)

Este parámetro es ampliamente usado como una medida de la susceptibilidad a oxidarse de materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los efluentes provenientes de plantas residuales e industriales. La prueba para la DQO, no es específica, es decir, no distingue entre materiales oxidables o materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Chapman 1996).

Las concentraciones de DQO observadas en aguas superficiales varían desde los 20 mg/l O₂ o menos en aguas no contaminadas y hasta los 200 mg/l de O₂ en aguas recibiendo afluentes. Las aguas residuales provenientes de la industria pueden tener valores de DQO entre los 100 mg/l de O₂ hasta 60,000 mg/l de O₂ (Chapman 1996).

De acuerdo con MINAE (2003), las concentraciones de DQO deben ser igual o mayor al DBO₅, pues están relacionados directamente. La desventaja de esta medida es que el DQO

no diferencia materia orgánica e inorgánica y el tiempo requerido para la oxidación, puesto que es una reacción que se obtiene en 3 horas. El valor recomendado para aguas superficiales de consumo humano normalmente es <20 mg/l (Cuadro 2).

Cuadro 2. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda química del oxígeno (DQO)

| DQO | Criterio | Descripción |
|---|-------------------------|--|
| Menor o igual a 10 mg/l | Excelente | No contaminada |
| Mayor a 10 mg/l y menor o igual a 20 mg/l | Buena calidad | Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable |
| Mayor de 20 mg/l y menor o igual a 40 mg/l | Aceptable | Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. |
| Mayor de 40 mg/l y menor o igual a 200 mg/l | Contaminada | Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. |
| Mayor de 200 mg/l | Fuertemente contaminada | Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. |

Fuente: (Abarca sf).

2.7.2 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en el agua es uno de los indicadores más importantes de calidad del agua que refleja, en general, la salud de los sistemas acuáticos. Se han establecido criterios alrededor del valor de 5,0 mg/l de O₂ como concentración mínima promedio necesarias para mantener la vida acuática (Calvo y Mora 2006). Los niveles de oxígeno disuelto en el agua varían entre 0 - 18 partes por millón (ppm), aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 a 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de porcentaje de saturación (Auquilla 2005).

El oxígeno es esencial para todas las formas de vida acuática, incluidos los organismos responsables de los procesos de auto-depuración en cuerpos de agua naturales. Su relación con el DBO₅ es fuente para analizar problemas de eutrofización, como consecuencia de una carga excesiva de materia orgánica (Basterrechea 1997) y (Chapman 1996). El contenido de oxígeno en aguas naturales varía con la temperatura, salinidad, turbulencia, la actividad fotosintética de las algas y plantas y la presión atmosférica. La solubilidad de oxígeno

disminuye cuando la temperatura y la salinidad aumentan. Para el caso de aguas frescas el oxígeno disuelto a nivel de mar varía desde los 15 mg/l a 0 °C hasta 8 mg/l a 25 0 °C (Chapman 1996).

Las concentraciones en cuerpos de agua no contaminados son usualmente menores a 10 mg/l. El oxígeno disuelto también puede expresarse en términos de porcentaje de saturación, y los niveles menores 80% de saturación en el agua potable suelen ser detectados por los consumidores como consecuencia del mal olor y sabor (Chapman 1996).

Las variaciones en el oxígeno disuelto pueden ocurrir estacionalmente, o en períodos de cada 24 horas, en relación a la temperatura y la actividad biológica (ejemplo, fotosíntesis y respiración). Las altas descargas de materia orgánica y nutrientes pueden permitir la disminución en la concentración del oxígeno disuelto. Esto se da como resultado del aumento de la actividad microbiana ocurrida durante la degradación de la materia orgánica.

La determinación de las concentraciones de oxígeno disuelto es una parte fundamental de una evaluación de la calidad del agua, ya que el oxígeno está involucrado o influye en casi todos los procesos químicos y biológicos (Chapman 1996). Las concentraciones inferiores a 5 mg/l pueden adversamente afectar la funcionalidad y supervivencia de comunidades biológicas e inferiores a 2 mg/l pueden permitir la muerte de muchos peces. La medida del oxígeno disuelto puede ser usada para indicar el grado de contaminación por materia orgánica, la destrucción de sustancias orgánicas y el nivel de depuración del agua. Su determinación es también usada para medir la demanda bioquímica de oxígeno (Abarca sf y Chapman 1996).

2.7.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable (MINAE 2007, Chapman 1996 y Abarca sf). El método está sujeto a diversos factores como la demanda de oxígeno resultante de la respiración de algas en la muestra y la posible oxidación del amoníaco. La presencia de sustancias tóxicas en una muestra puede afectar la actividad microbiana que conduce a una reducción de la media de la DBO (Chapman 1996).

La DBO representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la

contaminación de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disueltos serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir (Abarca sf). Por lo tanto, la cantidad de oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la DBO, ya que si aumenta la producción de oxígeno disminuirá la DBO por la acción de las bacterias aeróbicas que degradaran sin ningún problema la materia orgánica y biodegradable (Tetzaguic 2002).

La DBO debe ser medida a los cinco días y a 20 °C, cuando la descarga de materia orgánica es alta y se observa una DBO mayor de 10 mg/l, a corto plazo la demanda superará la producción de oxígeno, generándose un déficit que conduce a la anaerobiosis de los sedimentos, que liberan amoníaco, fosfatos y metales produciendo malos olores (Basterrechea, 1997).

Para determinar el DBO se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para medir la cantidad de oxígeno consumido después de la incubación de una muestra en la oscuridad, a una temperatura definida, que usualmente es 20 °C, para un período específico de tiempo, usualmente cinco días. Esto da lugar a la expresión comúnmente utilizada (DBO_5). El consumo de oxígeno se determina de la diferencia entre las concentraciones de oxígeno disuelto en la muestra antes de y después del período de incubación. Si la concentración de material orgánico en las muestras es muy elevada, las muestras pueden requerir la dilución con agua destilada antes de la incubación, de modo que el oxígeno no está totalmente agotado (Basterrechea, 1997) (Cuadro 3).

La solubilidad de oxígeno en el agua disminuye conforme la temperatura aumenta. Por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto en aguas frescas a nivel del mar con temperatura de 15 °C es 10.1 mg/l, pero en aguas con temperatura de 25 °C el oxígeno disuelto disminuye a 8.3 mg/l. El aumento en la temperatura del agua permite que se dé una reducción en la concentración de oxígeno disuelto, porque conforme la temperatura aumenta, aumentan también las tasas metabólicas de los organismos. Esto demuestra que la temperatura del agua es un determinante clave de la calidad de agua y de las condiciones de los hábitats acuáticos (Lovett y Price 2001).

Cuadro 3. Escala de clasificación de la calidad del agua, con base en la demanda bioquímica del oxígeno (DBO5)

| DBO | Criterio | Descripción |
|---|-------------------------|--|
| Menor o igual a 3 mg/l | Excelente | No contaminada. |
| Mayor a 3 mg/l y menor o igual a 6 mg/l | Buena calidad | Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable. |
| Mayor de 6 mg/l y menor o igual a 30 mg/l | Aceptable | Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente. |
| Mayor de 30 mg/l y menor o igual a 120 mg/l | Contaminada | Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal. |
| Mayor de 120 mg/l | Fuertemente contaminada | Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales. |

Fuente: Abarca (sf).

2.7.4 pH, acidez y alcalinidad

De acuerdo con Chapman (1996), y Abarca (sf), el pH es una importante variable en la evaluación de la calidad de agua, influyendo en los procesos biológicos y químicos dentro de un cuerpo de agua y todos los procesos asociados con el suministro y tratamiento. Cuando se miden los efectos de la descarga de un afluente, estos pueden usarse para ayudar a determinar la extensa nube del afluente en el cuerpo de agua. El pH es una medida del balance de acidez de una solución y es definida como el negativo del logaritmo de base 10 de la concentración de iones hidrógeno. La escala de pH va de 0 a 14 (ejemplo muy ácido o muy alcalino), representando un pH=7, una condición neutral. A una temperatura dada, el pH (o la actividad del ión hidrógeno) indica la intensidad de las características ácidas o básicas de una solución y es controlada por los compuestos químicos disueltos y los procesos bioquímicos en la solución, Un intervalo de pH de 6.0 a 9.0 parece brindar protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo. El impacto medio ambiental más significativo del pH comprende efectos sinérgicos

En aguas contaminadas, el pH es principalmente controlado por el balance entre dióxido de carbono, carbonato e iones bicarbonato, así como otros compuestos naturales como los ácidos húmicos y fúlvicos. Los cambios en el pH pueden indicar la presencia de determinados residuos, sobre todo cuando se miden y registran, junto con la conductividad de un cuerpo de agua. Otras variaciones en el pH pueden ser causadas por la fotosíntesis y la respiración de los ciclos de algas en las aguas eutróficas. El pH de la mayoría de cuerpos de agua naturales se encuentra entre 6 y 8.5, aunque valores más bajos pueden encontrarse en aguas diluidas con altos contenidos orgánicos y valores más altos en aguas eutrofizadas y lagos con alta presencia de sales (Chapman 1996). De acuerdo Auquilla (2005) la mayoría de los organismos acuáticos se desarrollan en un pH de 5.6 a 8.5, rango que también es el requerido para el agua de consumo humano.

La acidez del agua es controlada por los ácidos minerales fuertes, ácidos débiles, como carbónicos, húmicos y fúlvicos, y sales de metales (por ejemplo, hierro, aluminio), así como de ácidos fuertes. La acidez es determinada por titulación con una base sólida, hasta pH 4 (acidez libre) o el pH a 8.3 (acidez total). La alcalinidad del agua está controlada por las concentraciones de carbonato, hidróxido y bicarbonato, pero pueden incluir las contribuciones de borato, fosfatos, silicatos y otros compuestos básicos. Las aguas de baja alcalinidad (<24 ml/l como CaCO₃) tienen una baja capacidad amortiguadora y puede, por tanto, ser susceptibles a alteraciones en el pH, por ejemplo, susceptibilidad a la atmósfera y la deposición ácida (Chapman 1996). La dureza de las aguas puede clasificarse de acuerdo a como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación del agua en función de su dureza

| Clasificación Dureza | mg CaCO₃/l |
|-----------------------------|------------------------------|
| Blandas | 0--100 |
| Moderadamente duras | 101--200 |
| Duras | 200—300 |
| Muy duras | > 300 |

Fuente: Auquilla 2005.

2.7.5 Residuos, sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales disueltos (STD)

El término “residuo” aplica a las sustancias restantes después de la evaporación de una muestra de agua y su posterior secado en un horno a una temperatura dada. Es aproximadamente equivalente al contenido total disuelto y materia en suspensión en el agua, ya que la mitad del bicarbonato (el anión dominante en la mayoría de las aguas) es transformado en CO₂ durante este proceso.

El término "sólidos" se utiliza ampliamente para la mayoría de los compuestos que están presentes en aguas naturales y permanecen en un estado sólido después de la evaporación (algunos compuestos orgánicos se mantendrán en estado líquido después de que el agua se haya evaporado). Los sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos disueltos totales (TDS) corresponden a los residuos no-filtrables y filtrables, respectivamente.

Los sólidos totales disueltos son las sustancias que no pasan a través de un filtro de 0,45 micra pero que quedarán como residuo cuando el agua se evapora. La magnitud de TDS es la suma de los cationes, aniones y sílice disueltos en el agua. Existe una relación estrecha entre la cantidad de TDS y la conductividad eléctrica (la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica). Mientras mayor sea el valor de la conductividad eléctrica (medida con un conductímetro), mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua (Chapman 1996). La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades, pero la unidad más común es $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro Siemens/centímetro). De tal manera que se equiparan 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad con 1 mg/l de sales disueltas totales. La segunda unidad más comúnmente usada es milimhos por centímetro (mhs/cm o mhos/cm), donde 1 mhs/cm es igual a 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura del agua afectará a la conductividad eléctrica, de tal forma que su valor aumenta de 2 a 3% por cada grado Celsius de incremento (Abarca sf).

2.7.6 Nitratos y nitritos

El ion nitrato (NO₃⁻) es la forma más común de combinación de fuentes de nitrógenos en cuerpos de aguas naturales. Este puede ser bioquímicamente reducido a nitrito (NO₂⁻) por procesos de denitrificación, usualmente bajo condiciones anaeróbicas. El ión nitrito es rápidamente oxidado a nitrato. Las fuentes naturales de nitratos en las aguas superficiales incluyen las rocas ígneas, drenajes y restos de animales y plantas. El nitrato es un nutriente esencial para las plantas acuáticas y sus fluctuaciones estacionales pueden ser por el

crecimiento y putrefacción de las mismas plantas. Las concentraciones naturales que raramente exceden de 0.1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$, puede ser aumentada por la presencia de aguas residuales municipales e industriales, incluyendo los lixiviados de los sitios de eliminación de desechos y rellenos sanitarios (Chapman 1996).

Cuando hay influencia de actividades humanas, la superficie del agua puede tener concentraciones de nitratos superiores a los 5 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$, pero a menudo los valores son menores que 1 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. Las concentraciones superiores de 5 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ usualmente indican contaminación por desechos humanos o animales o por escorrentía de fertilizantes hacia los cuerpos de agua. En casos de extrema contaminación, las concentraciones pueden alcanzar 200 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un límite máximo para NO_3 en aguas para consumo humano de 50 mg/l (o 11.3 mg/l como $\text{NO}_3\text{-N}$) y las aguas con altas concentraciones pueden representar un significativo riesgo para la salud. En lagos las concentraciones de nitratos superiores a 0.2 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ tienden a estimular el crecimiento de algas e indica un estado posible de eutroficación. Asimismo las concentraciones máximas permisibles en el agua pueden variar dependiendo del tipo de uso y del país, por ejemplo tal es el caso de EEUU donde los valores permisibles para la vida acuática varían de 0.01 a 0.03 mg/l, 0.06 mg/l para el caso de Canadá y 0.08 mg/l para Rusia (Chapman 1996).

2.7.7 Conductividad

La conductividad o conducta específica, es una media de la habilidad del agua para conducir la corriente eléctrica. Esta es sensitiva a las variaciones en los sólidos disueltos principalmente sales minerales. El grado en que estos se disocian en iones, la cantidad de carga eléctrica en cada ión, la movilidad del ión y la temperatura de la solución, influyen sobre la conductividad. La conductividad es expresada en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y para un determinado cuerpo de agua está relacionado con la concentración de sólidos totales disueltos e iones mayores. Los sólidos totales disueltos en mg/l pueden ser obtenidos por la multiplicación de la conductividad por un factor que comúnmente está entre 0.55 y 0.75. Este factor debe ser determinado para cada cuerpo de agua, pero aproximadamente se mantiene constante siempre que las proporciones iónicas del cuerpo de agua se mantengan constantes. La multiplicación del factor es cercana a 0.67 para aguas en que el cloruro de sodio es dominante y para aguas con altos contenidos de sulfatos. La conductividad para la mayoría de

cuerpos de agua fresca varía de 10 a 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero puede exceder de 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, especialmente en aguas contaminadas o las que reciben grandes cantidades de escorrentía.

2.7.8 Fósforo

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivos y existe en los cuerpos de agua tanto como partículas disueltas, como en las especies. En general, es el nutriente limitante para el crecimiento de algas y por lo tanto, controla la productividad primaria de un cuerpo de agua. Las concentraciones de este elemento aumentan en función de las actividades humanas que se practican en tierras adyacentes. El fósforo es la principal causa de eutrofización. En las aguas naturales y en las aguas residuales, el fósforo se produce principalmente como disuelto ortofosfatos y polifosfatos, vinculado orgánicamente y los fosfatos.

Se recomienda que las concentraciones de fosfato se expresen como el fósforo, es decir, $\text{mg}/\text{l PO}_4\text{-P}$ (y no como $\text{mg}/\text{l PO}_4\text{-3}$). Fuentes naturales de fósforo se dan principalmente por el desgaste del fósforo proveniente de las rocas y la descomposición de la materia orgánica. Los residuos domésticos, las aguas (en particular los que contienen los detergentes), efluentes industriales y fertilizantes contribuyen a la elevación de los niveles de las aguas superficiales. El fósforo también puede ser movilizado por las bacterias y puesto en libertad en la columna de agua. El fósforo se encuentra en altas concentraciones en las aguas dulces, ya que es activado hasta por las plantas y por otros organismos. Como resultado de ello pueden darse considerables fluctuaciones estacionales en las concentraciones en aguas superficiales.

En la mayoría de las aguas superficiales naturales, el fósforo oscila entre 0,005 a 0,020 $\text{mg l}^{-1} \text{PO}_4\text{-P}$. Concentraciones tan bajas como 0,001 $\text{mg l}^{-1} \text{PO}_4\text{-P}$ se puede encontrar en algunas aguas naturales y tan alto como 200 $\text{mg l}^{-1} \text{P-PO}_4$ en algunos cuerpos de aguas saldas que se encuentran cerrados (Chapman 1996).

2.7.9 Temperatura

Las masas de agua están sometidas a variaciones de temperatura junto con las fluctuaciones climáticas normales. Estas variaciones se producen estacionalmente y en algunos cuerpos de agua, a lo largo de períodos de 24 horas. La temperatura de las aguas superficiales se ve influida por la latitud, altitud, estación, hora del día, la circulación de aire,

cubertura de nubes, las corrientes y la profundidad de la masa de agua. A su vez, la temperatura afecta los procesos físicos, químicos y biológicos en los cuerpos de agua y por lo tanto, la concentración de muchas variables. Conforme la temperatura del agua aumenta, la tasa de reacciones químicas generalmente aumenta junto con la evaporación y la volatilización de sustancias del agua. El aumento de temperatura también disminuye la solubilidad de gases en el agua, tales como O₂, CO₂, N₂, CH₄ y otros.

La tasa metabólica de los organismos acuáticos también está relacionada con la temperatura, y en aguas cálidas, las tasas de aumento de la respiración conducen al aumento de consumo de oxígeno y el aumento de la descomposición de la materia orgánica. Asimismo, las tasas de aumento (esto es más notable para las bacterias y fitoplancton que doblan sus poblaciones en períodos de tiempo muy cortos) que conducen a un aumento de la turbidez del agua, el crecimiento de macrófitos y la proliferación de algas, cuando las condiciones de nutrientes son adecuados.

La temperatura de las aguas superficiales se encuentra por lo general entre los 0 °C a 30 °C aunque en aguas calidas la temperatura puede llegar a 40 °C o más si se trata de aguas de influencia volcánica. Temperaturas más altas (> 40 °C) normalmente sólo se producen volcánicas en las aguas y los manantiales de agua caliente Anormalmente altas temperaturas en la superficie del agua pueden surgir de vertidos de agua térmica, por lo general de las centrales eléctricas, fundiciones de metales, aguas residuales y plantas de tratamiento.

La temperatura del agua influye en la tasa de los procesos fisiológicos de los organismos, tales como la respiración microbiana que es la responsable de gran parte de la auto-purificación que se produce en las masas de agua. A mayor temperatura, mayor aumento en las tasas de crecimiento de la biota y por lo tanto, se originan problemas para los organismos sensibles debido a la mayor demanda de oxígeno (disminución de la saturación de oxígeno) y aumento del nivel de toxicidad de las sustancias nocivas.

2.7.10 Calcio

El calcio está presente en todas las aguas como Ca²⁺ y se produce muchas veces por la disolución de rocas ricas en minerales de calcio, en particular, los carbonatos y sulfatos, especialmente en piedra caliza y yeso. Las sales de calcio, junto con las de magnesio, son las responsables de la dureza del agua. La industria, así como el agua y el tratamiento de aguas residuales, contribuyen al aumento de la concentración de calcio en las aguas superficiales.

Los compuestos de calcio son estables en el agua cuando el dióxido de carbono está presente, pero las concentraciones de calcio puede disminuir cuando se precipita el carbonato de calcio debido al aumento del agua, la temperatura, la actividad fotosintética o la pérdida de dióxido de carbono debido a los aumentos en presión. El calcio es un elemento esencial para todos los organismos, ya que forma parte de la estructura en muchos invertebrados y vertebrados.

Las concentraciones de calcio en las aguas naturales son normalmente <15 mg/l y para las aguas asociadas con rocas ricas en carbonato, las concentraciones pueden estar entre 30-100 mg/l.

2.8 Indicadores microbiológicos

El riesgo más común para la salud humana asociada con el agua es la presencia de enfermedades a causa de microorganismos. Muchos de estos microorganismos son originarios de agua contaminada con excrementos humanos. Las heces humanas puede contener una variedad de agentes patógenos intestinales que causan enfermedades que van desde leve gastroenteritis, hasta las más graves y posiblemente fatales, disenterías, cólera y la fiebre tifoidea. Dependiendo de la prevalencia de algunas otras enfermedades en una comunidad, los virus y parásitos también pueden estar presentes. Las aguas frescas también contienen microorganismos que incluyen bacterias, hongos, protozoos y algas, algunos de los cuales se sabe que producen toxinas y transmiten, o causan, algunas enfermedades (Chapman 1996).

Las bacterias patógenas intestinales están distribuidas a lo largo de todo el mundo, las más comunes son *Salmonella*, *Shigella*, enterotoxigenic *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Vibrio* and *Yersinia*. Otros patógenos encontrados ocasionalmente incluyen *Mycobacterium*, *Pasteurella*, *Leptospira* y *Legionella* y los enterovirus (poliovirus, echo virus y Coxsackie virus). Adenovirus, reovirus, rotavirus y los hepatitis virus pueden ocurrir también en cuerpos de agua, todos los virus son altamente infecciosos (Chapman 1996).

Las aguas residuales y la escorrentía proveniente de la agricultura y de las zonas urbanas son ampliamente descargadas a cuerpos de aguas, particularmente hacia los ríos. Los patógenos asociados con estas descargas subsecuentemente se distribuyen hacia los cuerpos de agua representando un riesgo para los usuarios aguas abajo. Las aguas residuales típicas de los drenajes municipales pueden contener de 10 a 100 millones de bacterias coliformes por 100 ml

de agua, y de 1 a 50 millones de *Escherichia coli* o estreptococo por 100 ml. Los diferentes niveles de tratamientos de aguas residuales pueden reducir esto por un factor de 10 a 100 y las concentraciones son reducidas aun más después de la dilución de las aguas receptoras (Chapman 1996).

La cantidad de bacterias de origen fecal en ríos y lagos alrededor del mundo que sufren pequeños impactos humanos varían desde menos de 1 hasta 3,000 organismos por 100 ml. Sin embargo, los cuerpos de agua en áreas de alta densidad poblacional pueden contener valores superiores a los 10 millones de organismos por 100 ml de agua. Las aguas subterráneas naturales no debería contener bacterias fecales, a menos que estén contaminadas, mientras que en aguas superficiales, incluso en áreas de montaña remotas, pueden contener valores superiores a los 100 organismos por 100 ml. Para evitar las infecciones humanas, la Organización Mundial de la Salud, recomienda concentraciones para consumo de agua potable de cero organismos por cada 100 ml de agua (Chapman 1996).

2.9 Restauración de ríos y riberas

La restauración de ríos y riberas se refiere a la recuperación de las condiciones fluviales previas a su deterioro, en cuanto a su estructura y funcionamiento (González 1998). La estructura atiende a la composición de elementos físicos y especies presentes en el río, y a su diversidad y disposición en el espacio, equivalente a lo que podríamos reconocer en una fotografía “estática” del sistema fluvial. La función se refiere al conjunto de interrelaciones existentes entre los elementos y especies que definen la estructura, como mecanismos de funcionamiento que han permitido su aparición, formación, su desarrollo o persistencia, haciendo que dicha estructura se mantenga en equilibrio dinámico y evolucione, siendo equivalente en este caso al movimiento y papel desempeñado por cada uno de los componentes del sistema fluvial (González y García 1998).

Para la integración de un plan de restauración es necesario el estudio del estado ecológico actual de los corredores ribereños, así como la identificación del contexto cultural y social en el cual se ha dado la degradación de los mismos y los factores sociales que pueden tener un rol importante en la planificación (Ortiz (2005).

2.10 Índice RQI (*Riparian Quality Index*) para la valoración de las riberas fluviales

La aplicación de este índice RQI permite conocer el estado de conservación de las riberas fluviales y reflejar dicho estado en cartografías de calidad, a partir de las cuales se puede fácilmente localizar los tramos mejor conservados, y relacionar el estado de cada tramo con las presiones e impactos existentes, a escala de cuenca vertiente, tramo de río o hábitat fluvial. La utilización del índice también facilita el diagnóstico de los principales problemas de las riberas, mediante el reconocimiento explícito de los distintos efectos producidos en su estructura o funcionamiento, contribuyendo de forma significativa al diseño de estrategias para su restauración y conservación (González et ál. 2006).

La vegetación es considerada en el RQI un elemento dinámico de la estructura de las riberas, cuya “salud” debe estimarse no solo a partir de su composición y estructura actual, sino considerando también otros factores que determinan su persistencia en el tiempo, como son las dimensiones del espacio ribereño, la tasa de regeneración natural ligada al régimen de caudales y conectividad transversal del cauce con su ribera, o la conectividad vertical del suelo ribereño con el medio hiporreico, que puede condicionar los niveles de humedad edáfica requeridos por las especies presentes (Gonzales et ál. 2006). Dicho estado ecológico es analizado a través de una serie de atributos, cuya valoración se lleva a cabo en relación a unas determinadas condiciones de referencia, que son variables según la tipología del tramo fluvial correspondiente. Estos atributos son:

➤ **La estructura de las riberas**

Queda caracterizada por la continuidad longitudinal de la vegetación, las dimensiones laterales (anchura) del espacio fluvial conteniendo vegetación ribereña natural y la composición y estructura de las comunidades vegetales ribereñas. Estos atributos definen básicamente la morfología de las riberas y quedan reflejados en una visión estática o fotografía del río. A su vez, dichos atributos definen las dimensiones espaciales donde tienen lugar las funciones ribereñas, e indican las posibilidades de llevar a cabo la restauración fluvial a corto plazo.

➤ **El funcionamiento de los sistemas ribereños**

Queda reflejado a través de la tasa de regeneración natural de las especies leñosas ribereñas, la condición de las orillas, la conectividad lateral del cauce con sus riberas y la permeabilidad de los suelos ribereños. Estos atributos indican el

comportamiento en el tiempo de las riberas, y su evaluación requiere una visión dinámica, reflejada en un vídeo del río. Dichos atributos están más relacionados con las posibilidades de lograr la restauración fluvial a más largo plazo, representando elementos claves para garantizar la sostenibilidad de los procesos fluviales y la biodiversidad de los sistemas ribereños.

Los atributos mencionados representan en su conjunto un esquema para evaluar el estado ecológico de las riberas fluviales, y sirven como criterios para evaluar las propuestas de estrategias de restauración y conservación de los ecosistemas fluviales (Gonzalez et ál. 2006) (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Atributos que caracterizan la estructura de las riberas fluviales, en relación a las dimensiones del espacio ribereño que en la actualidad contienen vegetación asociada al río y características de dicha vegetación.

Fuente: González et ál. (2006).



Figura 5. Atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas en relación al equilibrio de la vegetación ribereña con el actual régimen de caudales y usos del suelo, la estabilidad y heterogeneidad de las orillas y la conectividad lateral y vertical del cauce con sus riberas y llanuras de inundación.

Fuente: González et ál. (2006).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización y descripción del área de estudio

La microcuenca del río Toila es tributaria de la microcuenca del río Sajmijá, subcuenca del río Matanzas, cuenca del río Polochic, en jurisdicción del municipio de Santa Catarina “La Tinta”, departamento de Alta Verapaz. Aproximadamente el 54% del área se encuentra dentro de área protegida y un 46% en zonas de amortiguamiento y usos múltiples. El acceso se realiza por la carretera nacional 7W; y por la ruta CA-14. Para el caso de la ruta CA-14 el acceso se hace por el municipio de Purulá, Baja Verapaz a través de una carretera de terracería que va del lugar mencionado hasta la comunidad de Santo Domingo III (aproximadamente 5 horas de camino). Esta ruta es transitable únicamente en la época seca y para el caso del período lluvioso, el acceso se hace desde el municipio de Santa Catarina la Tinta, cuyo recorrido a pie demora aproximadamente 6 horas. Las coordenadas geográficas de localización se presentan en el Cuadro 5, ver además Figura 6.

Cuadro 5. Coordenadas geográficas de la microcuenca del río Toila

| Longitud | Latitud |
|-----------------|----------------|
| 89°52'48" W | 15°16'48" N |
| 89°49'48" W | 15°16'48" N |
| 89°52'48" W | 15°09'36" N |
| 89°49'48" W | 15°09'36" N |

La microcuenca tiene tres zonas de vida: Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), Bosque Muy Húmedo Subtropical Frío y Bosque Pluvial Montano Bajo Subtropical. La precipitación media anual de acuerdo con las estaciones meteorológicas Monte Blanco, Cabañas y el Porvenir es de 2,958 mm. Las temperaturas promedio varían desde 14 °C en la parte alta; 20 °C en la parte media y 25 °C en la parte baja (MAGA 2001).

Fisiográficamente corresponde a tierras altas sedimentarias y tierras altas cristalinas, con presencia de rocas. Aproximadamente el 35% del área tiene pendientes mayores al 70%. La altitud varía de 160 a 2940 msnm (MAGA 2001).

Los suelos pertenecen a la serie Civijá, Telemán y Chacalté con relieves ondulados a fuertemente inclinados, inclinados y karst. Los suelos se caracterizan por tener en su mayoría pH entre 5.18 a 7.10 y textura franco limosa y arcillosa. Geológicamente corresponde a:

- a. **Grupo Santa Rosa:** incluye las formaciones Santa Rosa, Sacapulas, Tactic y Macal y está formada por las lutitas, areniscas, conglomerados y filitas.
- b. **Formación Chochal:** Constituida principalmente por carbonatos.
- c. **Rocas plutónicas sin dividir:** incluye granitos y dioritas de edad pre-pérmico, cretácico y terciario (MAGA 2001c).

El drenaje en la parte alta es de tipo subdendrítico, subparalelo a subangular y subparalelo en la parte media y baja. El uso de la tierra predominante es el bosque natural con 1,838.48 hectáreas (Cuadro 6 y Figura 6)

Cuadro 6. Usos de la tierra en la microcuenca del río Toila

| Uso de la tierra | Área (ha) |
|------------------------|-------------|
| Áreas en descanso | 877 |
| Áreas urbanas | 59 |
| Bosque en recuperación | 317 |
| Bosque natural | 2121 |
| Café con sombra | 376 |
| Cardamomo con sombra | 224 |
| Cultivo limpio | 373 |
| Total | 4347 |

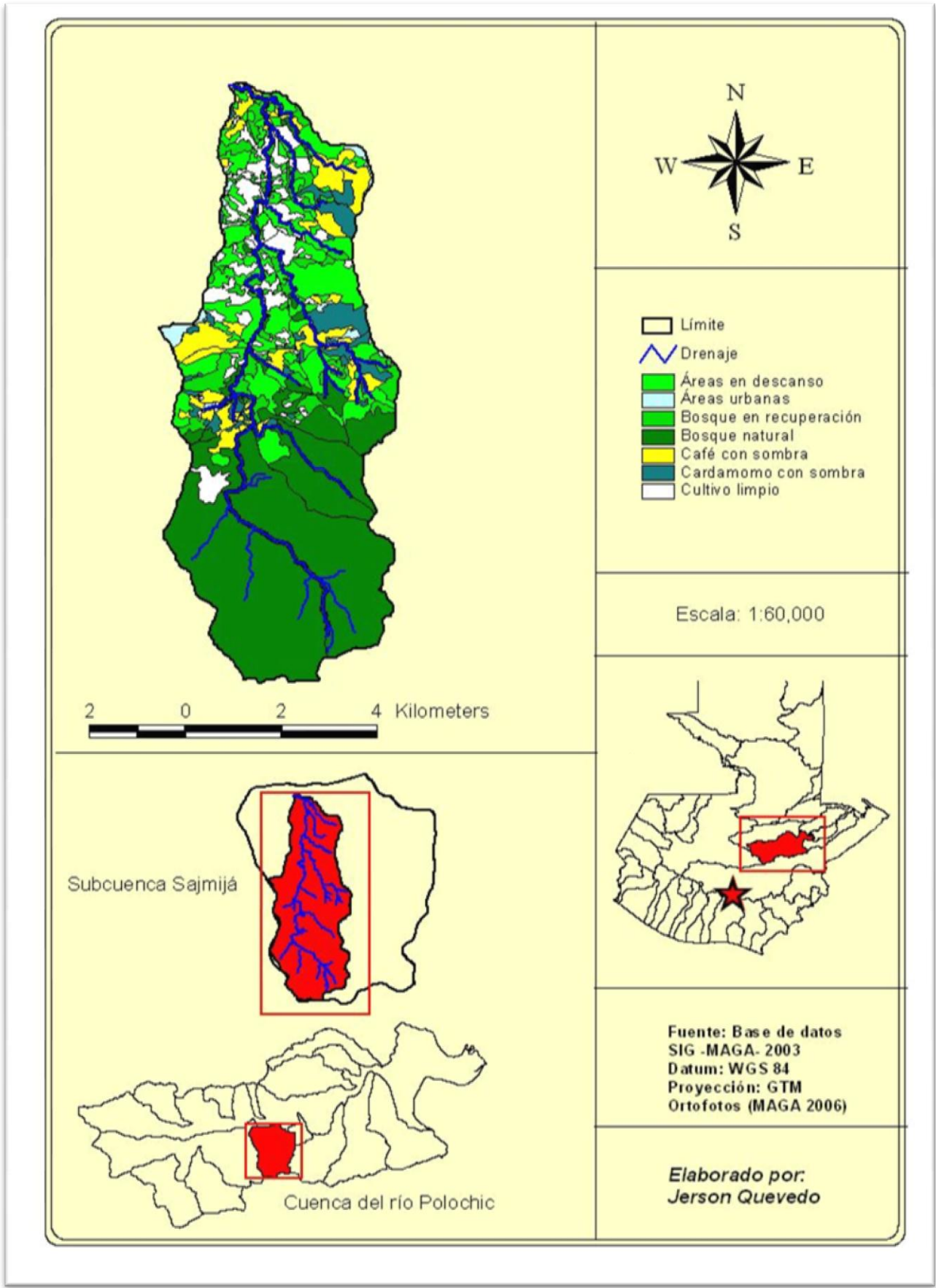


Figura 6. Usos de la tierra y ubicación de la microcuenca del río Toila.

En la microcuenca del río Toila se encuentran 9 comunidades; Sajmija I, San Antonio II, San Antonio I, Santo Domingo I, Santo Domingo II, Santo Domingo III, San Francisco I, San Francisco II y San Francisco Seyau. Los habitantes hablan el idioma Q'eqchi' y su economía se fundamenta en la agricultura, específicamente en la producción de maíz, café y cardamomo. Durante el período de cosecha de café y cardamomo se dinamiza la economía de la región y se da por un período aproximado de seis meses (MAGA 2001c).

3.2 Metodología general

Para el desarrollo de la presente investigación la metodología se dividió en tres etapas (Figura 7) y fue posible gracias al apoyo de la WWF, CARE Internacional, municipalidad de Santa Catarina “La Tinta” y los alcaldes auxiliares de las comunidades presentes en el área de estudio.

3.3 Metodologías por objetivos

Para el desarrollo de la presente investigación, inicialmente se coordinó con personeros de CARE Internacional y WWF para la selección del área de estudio. Posteriormente, con el objeto de obtener la aprobación y apoyo de las comunidades Q'eqchi' y de las autoridades municipales con presencia en el área, se procedió a la realización de tres reuniones para informar sobre los objetivos y alcances de la investigación. Dos de estas reuniones se realizaron en la comunidad de San Antonio I y una última en el salón de reuniones de la municipalidad de Santa Catarina “La Tinta”. Finalmente se logró la aprobación de la mayoría de las comunidades a excepción de la comunidad de San Francisco I. Para la realización de estas reuniones fue necesario el apoyo de un intérprete debido a la lengua que se habla en estas comunidades, el idioma Q'eqchi'.

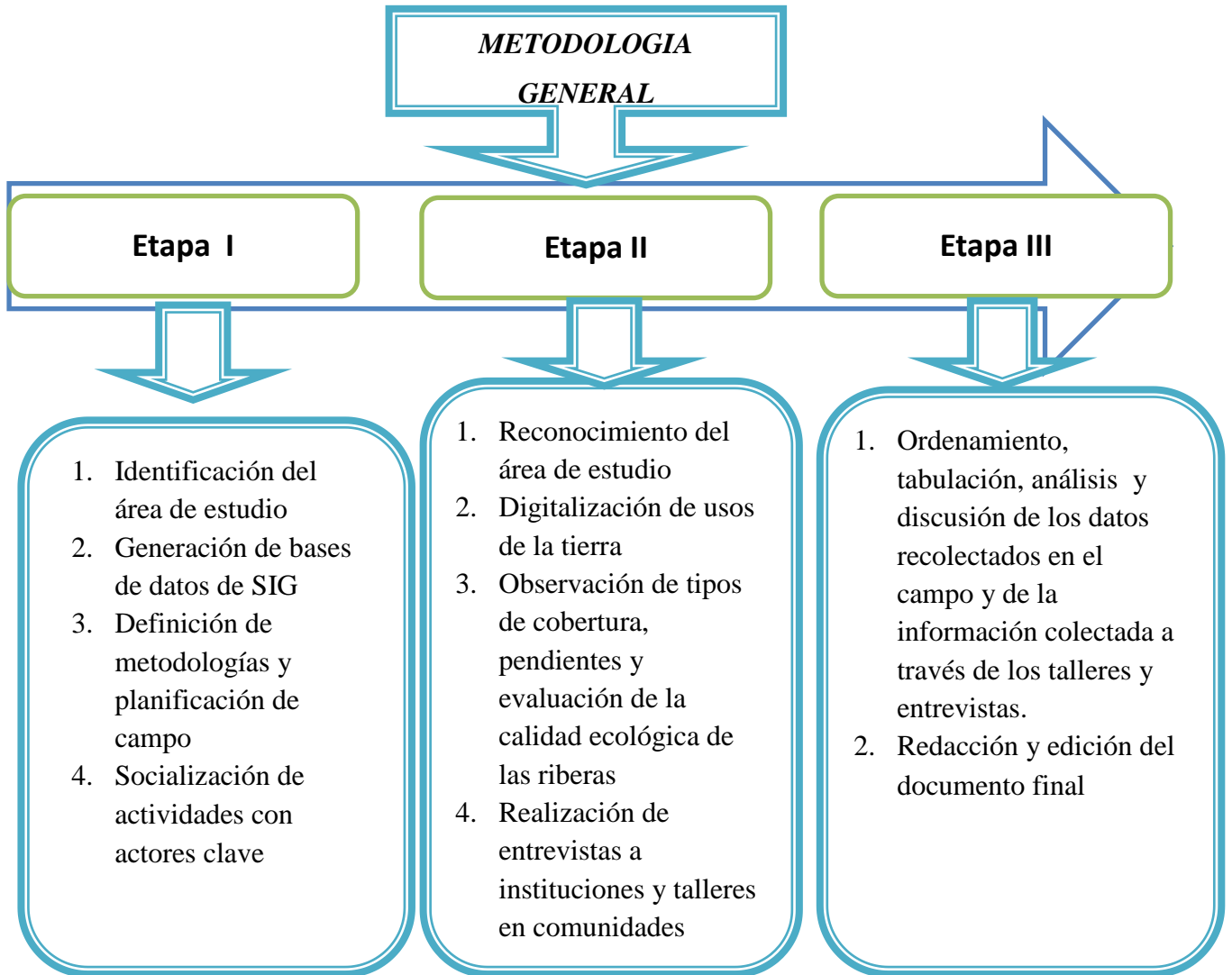


Figura 7. Metodología general para el desarrollo de la investigación.

Para el logro de los objetivos planteados en esta investigación, se realizó una planificación de actividades de campo en función de los sitios y tipos de muestreo, es decir, se ordenaron todas las actividades a desarrollar en los distintos sitios, de tal manera que permitió al mismo tiempo, realizar varios tipos de muestreo de diferentes objetivos, esto con el fin de lograr una eficiencia en el aprovechamiento del tiempo y de los recursos.

3.3.1 Análisis del marco legal e institucional sobre franjas ribereñas en Guatemala

Con el propósito de identificar las políticas, leyes, reglamentos o normativos que tratan sobre franjas ribereñas en Guatemala, se realizó una revisión y análisis del marco legal e institucional existente, así mismo se hizo un inventario de las instituciones, organizaciones, y ONG que trabajan o que tienen que ver directa o indirectamente con la conservación, manejo o restauración de las franjas ribereñas, para conocer su visión respecto a las franjas ribereñas. Para lo cual se realizaron 16 entrevistas dirigidas a directores y encargados, con el objetivo de conocer cuáles son las actividades que actualmente están realizando y que afectan directa o indirectamente a las franjas ribereñas, las responsabilidades, los compromisos legales, sus fortalezas, debilidades, lecciones aprendidas, entre otras (Anexo 1).

De acuerdo con Geilfus (1998), la técnica de “entrevista semiestructurada” busca evitar algunos de los efectos negativos de los cuestionarios cerrados, falta de diálogo, y falta de adecuación a las personas. En cambio, el diálogo, busca un intercambio de conocimientos, experiencias e inquietudes entre las personas.

Para el análisis de la información inicialmente se elaboró una base de datos para ordenar y analizar los datos recolectados a través de las entrevistas. Con base a dicha información se procedió a la realización de tablas de frecuencias, las cuales fueron utilizadas para la interpretación de los resultados.

3.3.2 Comparar las características edáficas y vegetales en bosques de franjas ribereñas y aledaños

3.3.2.1 Composición y estructura del bosque en la franja ribereña y en áreas adyacentes

Para la determinación de la composición y estructura del bosque en la franja ribereña y en bosques de áreas adyacentes se procedió de la siguiente manera:

a. **Fotointerpretación:** con la ayuda de ArcView 3.3, ArcGis 9.2 y con base a las ortofotos (MAGA 2006d), se realizó una digitalización de las áreas de bosque presentes en el área de estudio. Dichas áreas fueron corroboradas en campo, de tal manera que no hubieran intervenciones o que a pesar de haber sido aprovechados, no presentaran cambios notorios en su composición florística y estructural.

b. **Unidades de muestreo**: luego de identificadas las áreas de bosque en las franjas ribereñas y en áreas adyacentes y debido a las fuertes pendientes existentes en la parte alta de la microcuenca bajo estudio, se procedió a delimitar las áreas de bosque factibles de acceso. Posterior a esto; se seleccionaron al azar 24 puntos de muestreo (12 en bosques ribereños y 12 en bosques adyacente). Esto con el objeto de tener al menos 1 hectárea de intensidad por tipo de bosque, además, para tener suficientes grados de libertad y disminuir el error de muestreo. Dichas parcelas fueron localizadas en campo con la ayuda de un GPS Etrex vista y mapas del lugar (Figura 8).

c. **Tipo de muestreo y forma de las parcelas**: la definición del tipo de parcela a utilizar, se realizó tomando como base un estudio realizado por Sánchez et ál. (2005) en Matiguás, Nicaragua. Se utilizaron dos tipos de parcelas para el muestreo: una parcela para **bosques adyacentes** y otra para **bosques en franjas ribereñas**. Para el caso de bosques adyacentes se utilizaron parcelas de 0,1 ha (20 m x 50 m) donde se identificaron y midieron árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm de dap. Para el caso de bosques en franjas ribereñas se utilizaron parcelas de 100 x 10 (0.1 ha) y se realizó el mismo procedimiento de identificación y medición de los árboles con diámetros mayores o iguales a 10 cm de dap y también se establecieron tres subparcelas de 5 x 10 m (0.005 ha), para medir los árboles menores o iguales a 10 cm de dap y arbustos (Figura 9y 12).

Las parcelas levantadas se demarcaron utilizando cintas métricas y pita de nylon. Para la determinación del nombre común o vulgar de las especies, se solicitó el apoyo de un parataxónomo o baquiano del área de estudio.

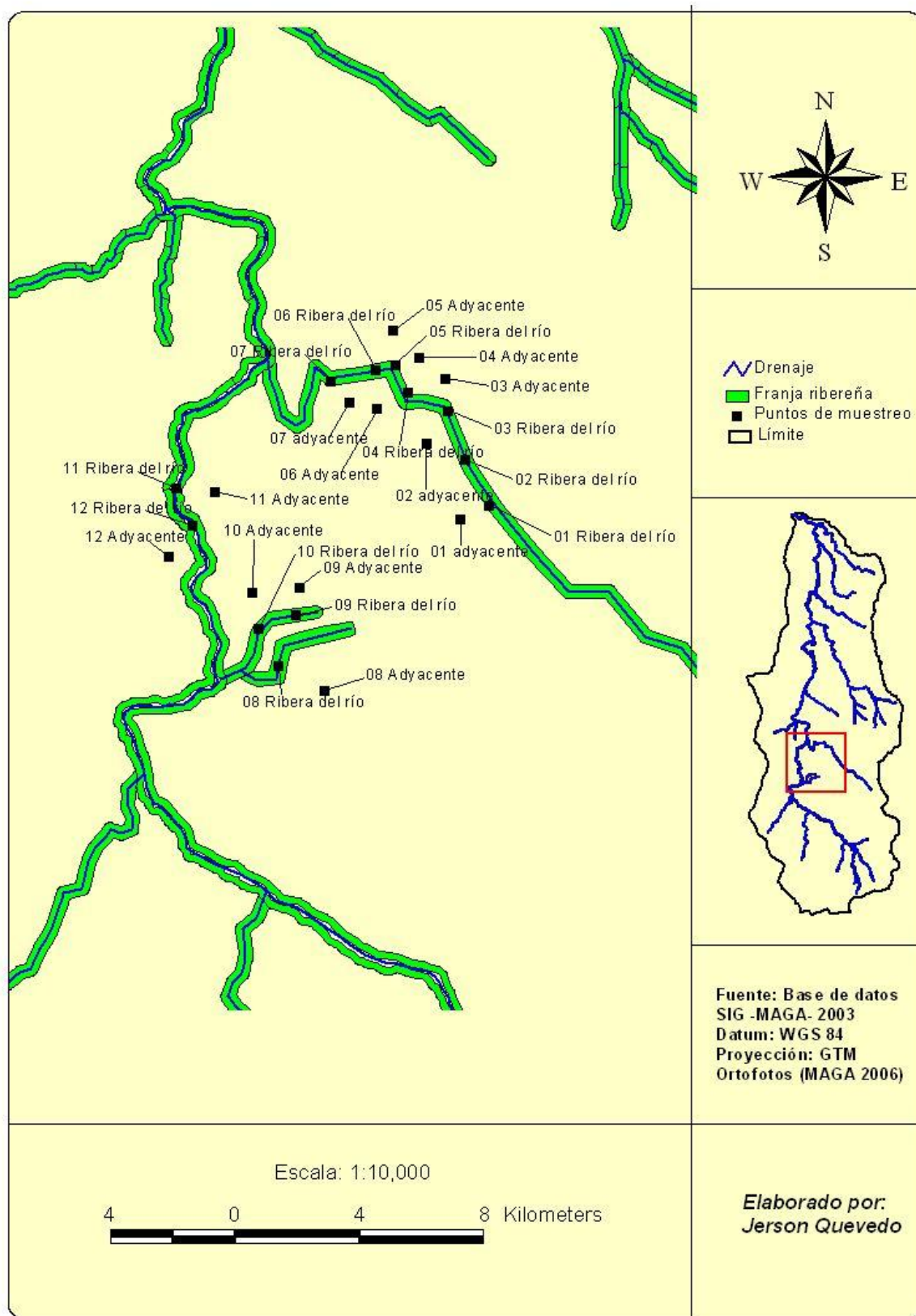


Figura 8. Puntos de muestreo de vegetación y de suelos en áreas de bosque ribereño y adyacente.

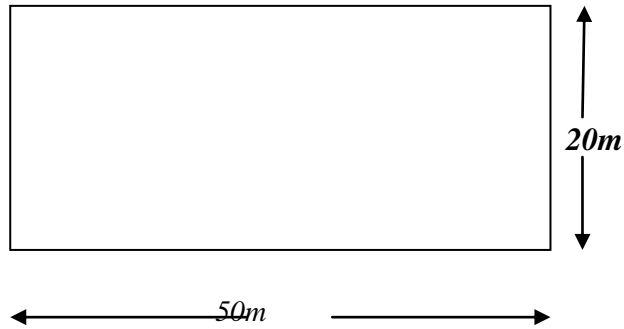


Figura 9. Parcela de muestreo de vegetación para bosques adyacentes a franjas ribereñas

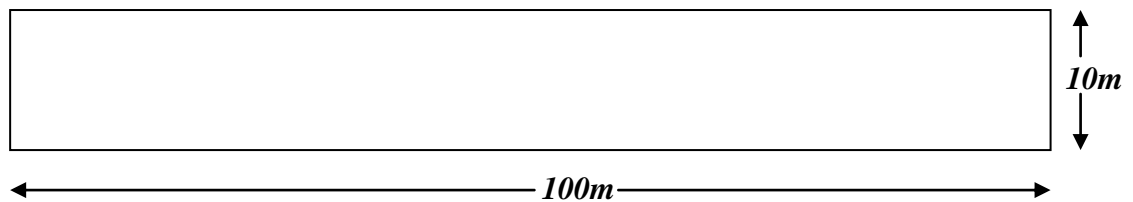


Figura 10. Parcela de muestreo de vegetación para bosques de franjas ribereñas.

Dentro de los análisis de la composición, se calculó el índice de Shannon (H') y de Simpson, así como el análisis de especies de importancia ecológica y de especies indicadoras (prueba de Montecarlo). Para determinar si existen diferencias estadísticas entre la estructura y la diversidad de los tipos de bosques ribereños y adyacentes, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) con diseño completamente aleatorizado. El modelo matemático fue:

$$H_{ij} = \mu + TB_i + e_{ij},$$

Donde:

H_{ij} = es el índice de Shannon y Simpson en el i -ésimo tipo de bosque

μ = media general

TB_j = efecto de i -ésimo tipo de bosque y

e_{ij} = error experimental (variable aleatoria normal independiente distribuida con esperanza 0 y σ^2).

Además se realizaron comparaciones entre los tipos de bosques con la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher. También se realizaron curvas de acumulación de especies para comparar el número de especies acumuladas en cada uno de los bosques.

Por último se realizó un análisis de varianza (ANAVA) con diseño completamente aleatorizado, para determinar si existen diferencias entre la estructura para ambos tipos de bosque. El modelo matemático fue:

$$E_{ij} = \mu + TB_i + e_{ij},$$

Donde:

E_{ij} = es la estructura en el i -ésimo tipo de bosque

μ = media general

TB_j = efecto de i -ésimo tipo de bosque y

e_{ij} = error experimental (variable aleatoria normal independiente distribuida con esperanza 0 y σ^2).

3.3.2.2 Definición de metodología para muestreo de suelos, en bosques ribereños y bosques adyacentes

Para este objetivo se tomó como base las mismas parcelas del muestreo de vegetación, por lo tanto, se tomaron 24 muestras de suelo, 12 en franja ribereña y 12 en áreas adyacentes, mismas que fueron tomadas al azar a lo largo de los sitios de muestreo. Estas muestras fueron tomadas de 0-15 cm y fueron depositadas en recipientes limpios para poder ser mezclados para obtener una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg. Dichas muestras fueron depositadas, selladas e identificadas en bolsas plásticas para que pudieran ser enviadas al laboratorio de suelos de la FAUSAC, para su respectivo análisis. En dicho análisis se evaluó el pH, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, arcilla, limo, arena y clase textural.

El muestreo se hizo al azar porque permite toda combinación posible de unidades de muestras a seleccionarse y el número de combinaciones posibles está sólo limitado por el tamaño de la muestra. El medio más común para minimizar la desviación en la selección de sitios de muestreo es asignarle un número a cada unidad de población y extraer unidades de muestras de una tabla de dígitos al azar (Ministerio de Energía y Minas 2000).

A cada uno de los resultados obtenidos del análisis de laboratorio se le aplicó ANAVA, esto con el objeto de determinar si existe diferencia entre los suelos de bosques ribereños y suelos de bosques adyacentes. El modelo corresponde a un diseño completamente

aleatorizado. Para determinar diferencias entre medias a *posteriori*, se utilizó la prueba de LSD Fisher. Todo el análisis se realizó a través del programa estadístico Infostat.

Debido a que se contó con un matriz de datos con los resultados del análisis de laboratorio (datos multivariados) para cada muestra, se realizó un análisis de componentes principales para visualizar las relaciones entre las variables de características del suelo y los tipos de bosque, mediante la confección de gráficos “biplot”. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$S_{ij} = \mu + TS_i + e_{ij},$$

Donde:

S_{ij} = es el valor del parámetro medido en el j-ésimo tipo de bosque

μ = media general

TS_i = efecto del i-ésimo tipo de suelo y

e_{ij} = error experimental (variable aleatoria normal independiente distribuida con esperanza 0 y σ^2).

3.3.3 Evaluar la calidad ecológica de las riberas, su capacidad para reducir la erosión y su efecto sobre la calidad del agua

Determinación de la capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y contaminación originadas en áreas adyacentes

Esta metodología se realizó tomando como base la experiencia de la Universidad Nacional de Costa Rica, Buzolich et ál. (2000).

Parámetros considerados

a. Cobertura de las riberas

Se refiere a los elementos que cubren la superficie de un área. Para esta investigación, estos elementos se refieren a los árboles, pastos, charrales, cultivos y urbanización, los cuales tienen efectos diferentes sobre el sistema fluvial. Para fines de este estudio se incluye además como categoría el “suelo desnudo”, que identifica a las áreas sin ningún tipo de cobertura. Cada tipo de cobertura se subdividió en otras categorías de acuerdo con su tipo o naturaleza y

posteriormente se estimó los porcentajes relativos de cobertura por cada elemento, según se indica a continuación.

- I. **Formaciones arbóreas:** Se realizó una distinción entre los diferentes tipos de formaciones de árboles: bosques natural o semi-natural, bosques en recuperación y árboles aislados. Estos se identificaron con base a los siguientes criterios:
 - **Bosque:** es una formación vegetal natural o semi-natural compuesta por un estrato arborescente denso e irregular con varias especies.
 - **Bosque en recuperación:** es una formación vegetal con señales visibles de intervención a nivel de bosque y sotobosque.
 - **Árboles aislados:** son todos aquellos que han crecido en forma natural o han sido sembrados, que no forman conjuntos y que no están incluidos en las otras categorías.
- II. **Áreas en descanso (charrales):** el charral es una formación vegetal compuesta principalmente de herbáceas y arbustos. Puede ser temporal en el caso de una regeneración después del abandono de un cultivo o una perturbación (fuego, corte) o permanente en lugares que no permiten el crecimiento de árboles (por ejemplo, en zonas muy rocosas o debido a la existencia de una capa suelo muy delgada).
- III. **Pastos:** esta categoría incluye las áreas cubiertas por diferentes especies de gramíneas utilizadas como cobertura ornamental (césped en jardines y centros recreativos) y para alimentación de ganado.
- IV. **Cultivos:** un cultivo es cualquier plantación artificial (excepto de árboles) cultivada de manera uniforme y sistemática.
- V. **Urbanización:** se distinguen cuatro tipos de construcción: las casas de habitación, los edificios de empresas, las construcciones dentro de fincas y las carreteras.

b. **Pendiente de las riberas**

La pendiente se determinó en grados de forma visual y se tomó un valor promedio del transecto donde se realizaron las observaciones.

Estimación de la capacidad de las riberas del río para reducir la erosión

Se tomaron en cuenta tres factores: el tipo de cobertura, el área cubierta por la misma y la pendiente.

Tipo de cobertura

Como puede observarse en el Cuadro 1 cada tipo de cobertura tiene un efecto diferente en la retención de sedimentos, nitratos y fosfatos. Es por ello que se asignó un coeficiente entre 0 y 10 a cada tipo de cobertura, que representa su capacidad relativa para resistir a la erosión, así se asignó un valor de 10 al **bosque natural**, considerando que estas zonas son las que poseen mayor resistencia a la erosión; un coeficiente 8 a las **bosques naturales en recuperación**, que a causa de el disturbio ocasionado, son menos capaces de detener el arrastre de suelo en comparación con los bosques naturales; **las áreas en descanso o charrales** tendrán un coeficiente de 7 porque son áreas con abundante vegetación herbácea y arbustiva, es decir, estructuras vegetales eficientes para impedir la erosión; en algunas ocasiones estas áreas permanecen como tales por un período de hasta 4 años, luego del cual son utilizadas para cultivar maíz, chile y frijol.

El café y cardamomo con sombra tiene un efecto similar en la retención de la erosión y la contaminación, ya que constan de una vegetación más o menos densa y una uniformidad similar en la distribución del cultivo bajo la sombra. Estos cultivos generan una capa de materia orgánica en el suelo, que unido a la vegetación utilizada como sombra, aportan para disminuir la erosión y la contaminación de los ríos. Por lo tanto, se asignó a este tipo de cobertura un valor de 6. Y por último, **el cultivo limpio**, que para el caso del área de estudio suelen ser: maíz, frijol y chile, razón por la cual se asignó un valor de 4 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Capacidad de cada tipo de cobertura para resistir la erosión

| Cobertura | Coeficiente asignado |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Bosque natural | 10 |
| Bosque natural en recuperación | 8 |
| Áreas en descanso (charrales densos) | 7 |
| Café y cardamomo con sombra | 6 |
| Cultivo limpio | 4 |
| Urbanización | 1 |

Fuente: Adaptado de Buzolich et ál. (2000).

Tomando en cuenta lo anterior, se consideró que la **capacidad de la cobertura** para reducir la erosión (CC) es el producto de la multiplicación del **coeficiente de cobertura** por el **área ocupada** (en porcentaje).

$$CC = \sum_{i=1}^n (\text{Coeficiente } Co_i * A_i)$$

donde,

CC: capacidad de la cobertura para reducir la erosión.

Coeficiente Co_i : coeficiente para cada tipo de cobertura, asignado según la escala de 1 a 10.

A_i : área ocupada por cada tipo determinado de cobertura, expresada en porcentaje de espacio ocupado por esta cobertura.

n: número de tipos de cobertura presentes.

Función de la pendiente

Para tomar en cuenta la influencia de la pendiente se creó el **coeficiente de pendiente (CP)**. De acuerdo con (Sánchez y Álvarez 1991 citado por UNA 2000), la erosión aumenta de una manera exponencial en función de la pendiente y es por ello que el coeficiente tiene que estar relacionado directamente con este parámetro. El coeficiente varía entre 0 y 1 y está dado por la siguiente ecuación:

$$CP = -0,0003x^2 + 1$$

donde,

CP = coeficiente de pendiente

x = pendiente en grados

De esta manera, una pendiente de 10° tiene un coeficiente de 0.97 y una pendiente de 55° tiene un coeficiente de 0,093. Un CP igual a 0, resultará para ángulos mayores o iguales a 58° y no tendrá capacidad para reducir la erosión. Mientras tanto, un CP de 1, que se alcanza

para terrenos planos donde la pendiente “x” es cero, tiene la máxima capacidad para la reducción de la erosión. Otros valores pueden obtenerse usando la ecuación o directamente de la Figura 11. De esta manera la capacidad de las riberas para reducir la erosión (CR) estará dada por la ecuación:

$$CR = CC * CP$$

El valor mínimo que toma la CR es cero, que se alcanza cuando el CP es cero (pendiente > 58°) o si la CC es cero (por ejemplo, si toda el área está pavimentada). El máximo valor de CR es 10, por ejemplo, en el caso de que el área esté ocupada por bosque (coeficiente Co = 10), sobre todo en terreno plano (CP = 1).

Por último, con el objeto de definir categorías con base a los valores de CR, se desarrollo una tabla para clasificar estos valores en muy bueno, bueno, moderado, malo y muy malo (Cuadro 8)

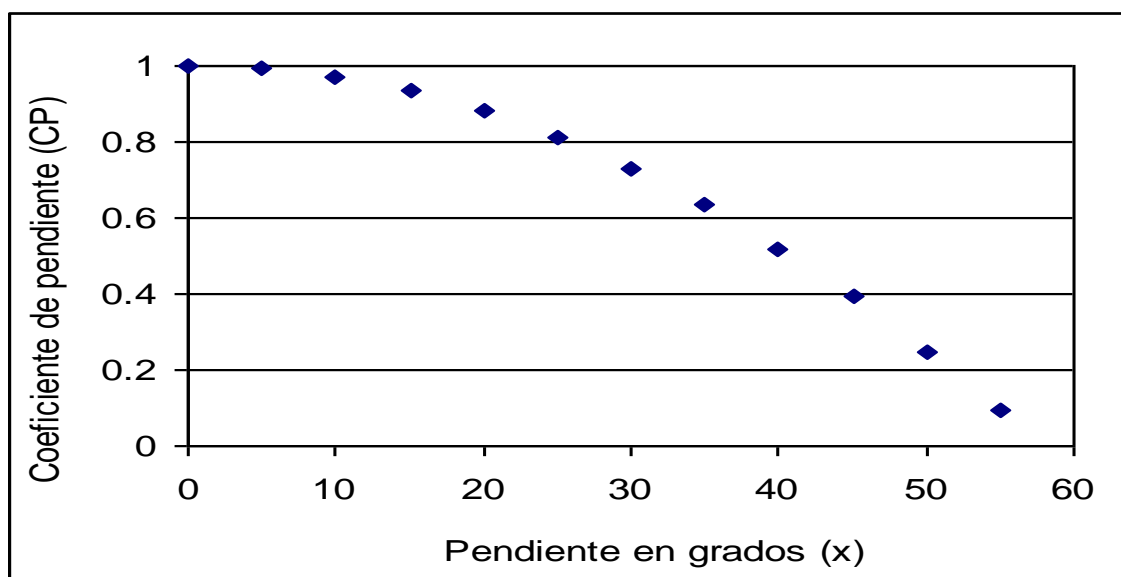


Figura 11. Variación del coeficiente de pendiente (CP) en función de los grados.

Fuente: Buzolich et ál. (2000)

Cuadro 8. Categorías de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación con base a los valores de CR.

| Valor de CR | Categoría |
|-------------|-----------|
| 1-2 | Muy malo |
| 2-4 | Malo |
| 4-6 | Moderado |
| 6-8 | Bueno |
| 8-10 | Muy bueno |

Diseño y análisis de los datos

Con la ayuda de ArcView 3.3, ArcGis 9.2 y con base a las ortofotos (MAGA 2006d), se realizó un mapa de pendientes (clasificado a cada 5 grados) y una digitalización de los diferentes tipos de cobertura existentes en las franjas ribereñas de la microcuenca del río Toila (escala 1:3,000), las cuales fueron corroboradas en campo para clasificarlas de acuerdo con lo que se establece en el Cuadro 7. Posteriormente se procedió a la determinación del valor de CR, el cual se calculó de dos formas: a) utilizando los datos promedio de pendiente en grados observada en cada sitio y b) utilizando SIG, mediante la intersección de los atributos de los polígonos de usos de la tierra y con base a los atributos del mapa de pendientes de las franjas ribereñas del área de estudio. El valor del índice CR se calculó para cada lado de la franja ribereña del cauce principal y para cada una de las quebradas de la microcuenca bajo estudio.

a) Determinación de Índice CR utilizando los datos promedio de pendiente en grados observada en cada sitio

Para este caso, el número de observaciones fue variable para cada tipo de cobertura, ya que se dependió mucho del acceso, del tiempo y del número de áreas para cada tipo de cobertura. Estas observaciones o puntos de muestreo fueron distribuidas aleatoriamente en los distintos tipos de cobertura identificados. Cada observación se realizó en una franja de 30 m de ancho x 50 m de largo. En el Cuadro 9 se presenta el número de observaciones por cada tipo de cobertura existente.

b) Determinación del Índice CR utilizando los atributos de los polígonos de usos de la tierra y con base en el mapa de pendientes

Con la ayuda de ArcView 3.3 se realizó una intersección entre el mapa de usos de la tierra, con el mapa de pendientes clasificado, generándose un mapa con polígonos en función de la cobertura y de la pendiente. Con base a esta información se realizó el cálculo del valor de CR. Esto se realizó con el objeto de comparar el valor de CR entre los dos métodos.

El ancho de la franja ribereña

Se seleccionó de acuerdo con las recomendaciones que presentan los diferentes autores consultados por Fisher y Fischenich (2000) para protección y calidad de agua, mismos que se describen en el Cuadro 1, cuyo rango varía para distintos tipos de vegetación de 5 a 30 m, a excepción de Horner y Mar (1982 citado por Fisher y Fischenich 2000) que recomienda un ancho de 61 m para coberturas con vegetación herbácea, el cual no aplica para el área de estudio. Por principio precautorio y debido a las condiciones topográficas existentes en el área de estudio se decidió tomar el ancho máximo (30 m).

Para la determinación del valor del índice (CR), los datos fueron ingresados a una matriz de Excel donde se realizó lo siguiente:

- Determinación del área de cada polígono de cada uso de la tierra existente en la franja ribereña del área de estudio, el cual se utilizó para calcular el índice de área de cada polígono por cada tipo de cobertura.
- Se determinó la pendiente promedio de los puntos observados por cada tipo de cobertura en cada uso de la tierra, este valor promedio se utilizó para la determinación del valor del índice (CR) por tipo de cobertura.
- El valor del índice CR para toda el área de estudio se determinó calculando el promedio del valor CR obtenido para cada tipo de cobertura.

Cuadro 9. Número de observaciones realizadas por tipo de cobertura en la franja ribereña de la microcuenca del río Toila

| Tipos de cobertura | Número de observaciones |
|---------------------------|--------------------------------|
| Áreas en descanso | 9 |
| Bosque en recuperación | 14 |
| Bosque natural | 9 |
| Café con sombra | 7 |
| café sin sombra | 3 |
| Cardamomo con sombra | 4 |
| Cardamomo sin sombra | 1 |
| Cultivo limpio | 10 |
| Total | 57 |

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de “t” para observaciones apareadas, para probar la hipótesis de igualdad de medias para los parámetros del Índice CR obtenidos mediante el método de observación visual de la pendiente (grados) y con base al método de SIG (utilizando los atributos de los polígonos de usos de la tierra y con base al mapa de pendientes).

Relación entre los tipos de uso de la tierra y la calidad del agua en la microcuenca del río Toila.

Épocas y selección de puntos de muestreo

Se realizaron 3 muestreos de agua; uno en época seca (mes de abril), otro a inicios de la época lluviosa (junio) y un último en la época lluviosa (Julio). Para el caso del segundo muestreo (a inicios de la época lluviosa) este se hizo después de transcurridas 3 lluvias (aproximadamente 20 mm de precipitación), esto con el objeto de asegurarse de que el suelo estuviera lo suficientemente húmedo, como para que se dé un escurrimiento.

Se identificaron 21 puntos de muestreo, lo cuales fueron priorizados en función del acceso, tipo de quebrada (intermitente o permanente) y de la diversidad de usos de la tierra existentes en el área de estudio. Estos puntos de muestreo fueron ubicados en el punto de aforo de las quebradas seleccionadas, en el cauce principal antes de la unión de las dichas quebradas y después de la unión de estas quebradas (Cuadro 10).

Protocolo de campo para la toma de muestras de agua

Las muestras fueron recogidas siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio de AMASURLY del MARN con sede en el municipio de Río Dulce, Puerto Barrios, Izabal y fueron medidos con un equipo marca hatch que se obtuvo de las autoridades del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Esta medición consistió en ingresar la punta de prueba de los medidores durante un minuto para la estabilización de las lecturas. El fin de obtener información acertada de la variación de oxígeno disuelto (mg/l), temperatura, pH y conductividad del agua. Seguidamente, en botellas plásticas estériles de un litro, se tomaron las muestras de agua para el análisis en el laboratorio. Todos los envases fueron identificados con los datos del sitio de muestreo y fecha, luego se colocaron en una hielera con temperatura promedio de 10 °C para poder ser trasladadas al laboratorio de AMASURLY, en el municipio de Río Dulce, Izabal. Los parámetros evaluados fueron:

- ✓ Nitratos (mg/l)
- ✓ Nitritos (mg/l)
- ✓ Fosforo total (mg/l)
- ✓ Demanda química de oxígeno (mg/l)
- ✓ Calcio (mg/l)
- ✓ pH
- ✓ Sólidos sedimentables (mg/l)
- ✓ Coliformes totales (presencia/ausencia)
- ✓ *E. Coli* (presencia/ausencia)

Digitalización de usos de la tierra

Con base a las ortofotos (MAGA 2006d), mapas del lugar y con base a los puntos de muestreo de agua, se realizó una digitalización a escala 1:3,000 de los usos de la tierra influyentes en cada punto de muestreo, los cuales fueron corroborados en campo y utilizados para determinar estadísticamente su relación con los parámetros de calidad de agua (Figura 12).

Cuadro 10. Ubicación de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Toila

| Número de estación de muestreo | Descripción |
|--------------------------------|---|
| 1 | Punto de aforo del Cauce principal |
| 2 | Después de unión de quebrada 3 de San Antonio I |
| 3 | Punto de aforo de quebrada 3 de San Antonio I |
| 4 | Antes de unión de quebrada 3 de San Antonio I |
| 5 | Después de unión de quebrada 2 de San Antonio I con el cauce principal |
| 6 | Punto de aforo de quebrada 2 de San Antonio I |
| 7 | Antes de unión de quebrada 2 de San Antonio I |
| 8 | Después de unión de quebrada 1 de San Antonio I |
| 9 | Punto de aforo de quebrada 1 de San Antonio I |
| 10 | Antes de unión de quebrada 1 de San Antonio I |
| 11 | Después de unión de quebrada de San Francisco I con el cauce principal |
| 12 | Punto de aforo de quebrada de San Francisco I |
| 13 | Antes de unión con quebrada de San Francisco I |
| 14 | Después de unión de quebrada 1 y 2 de San Francisco II |
| 15 | Punto de aforo de quebrada de 2 de San Francisco II |
| 16 | Después de unión de quebrada 1 (secadora) de San Francisco II |
| 17 | Punto de aforo de quebrada 1 (secadora) de San Francisco II |
| 18 | Cauce principal antes de unión de quebrada 1 (secadora) de San Francisco II |
| 19 | Después de unión de quebrada de Montaña en San Francisco II |
| 20 | Punto de aforo de quebrada de Montaña en San Francisco II |
| 21 | Antes de unión de quebrada de Montaña en San Francisco II |

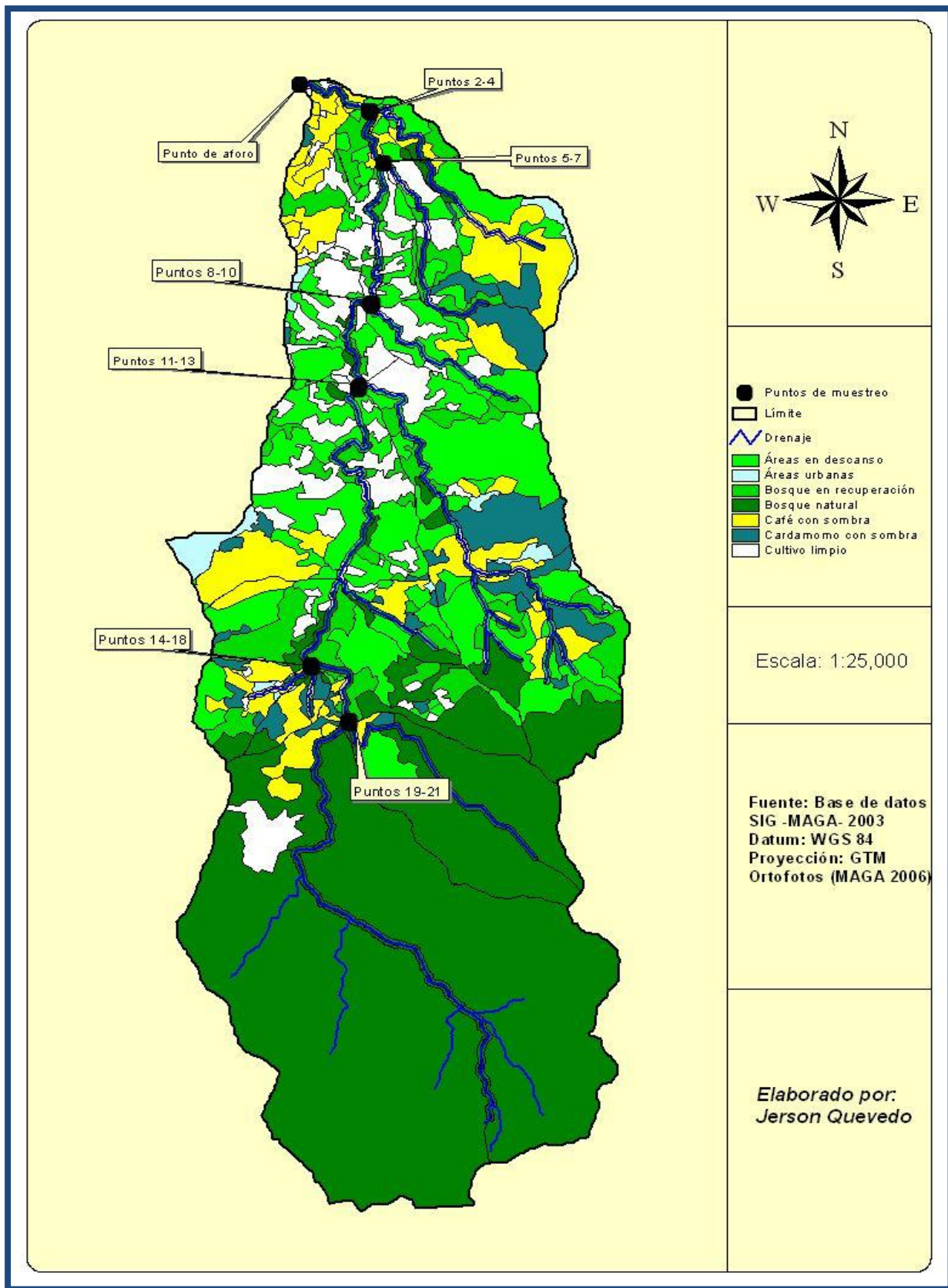


Figura 12. Puntos de muestreo y usos de la tierra en la microcuenca del río Toila.

Análisis estadístico

Análisis de varianzas (ANAVA)

Se realizó un análisis de varianzas (ANAVA) para los parámetros evaluados en función de la época y la estación, para lo cual fue necesario inicialmente transformar los valores de los parámetros a rangos, ya que esta función asigna a los datos originales la posición que cada uno ocupa en la serie ordenada en forma ascendente. Los modelos estadísticos utilizados fueron los siguientes:

Época:

$$P_{ij} = \mu + TE_i + e_{ij},$$

Donde:

P_{ij} = es el parámetro evaluado en la i-ésima época

μ = media general

TE_j = efecto de i-ésima época

e_{ij} = error experimental (variable aleatoria normal independiente distribuida con esperanza 0 y σ^2).

Estación:

$$P_{ij} = \mu + TEM_i + e_{ij},$$

Donde:

P_{ij} = es el parámetro evaluado en la i-ésima estación de muestreo

μ = media general

TEM_j = efecto de i-ésima estación de muestreo

e_{ij} = error experimental (variable aleatoria normal independiente distribuida con esperanza 0 y σ^2).

Además se realizaron comparaciones para las épocas y para las estaciones o puntos de muestreo con la prueba de comparación múltiple de LSD Fisher.

Análisis de correlaciones

Se realizó un análisis de correlaciones por el método de Pearson entre los valores de los parámetros obtenidos por época, con los porcentajes de usos de la tierra existentes en la microcuenca bajo estudio.

Evaluación de la calidad ecológica de las riberas a través del índice RQI

La evaluación de este Índice se aplicó en las áreas ribereñas con mayor influencia de actividades antrópicas, las cuales fueron identificadas mediante la fotointerpretación de las ortofotos (MAGA 2006). Teniendo identificados todos los polígonos más degradados de la microcuenca, se seleccionaron al azar 22 de los polígonos más degradados presentes en la ribera de corrientes secundaria y de la corriente primaria.

Aplicación del RQI

El índice RQI se aplicó a escala de tramo o segmento fluvial, con una longitud de río en la que se mantengan unas condiciones homogéneas de los atributos considerados. González et ál. (2006) recomiendan que la selección de dichos tramos tengan una longitud entre 100 y 500 m, motivo por el cual se decidió trabajar con tramos de 200 m de longitud. Una vez acotado el tramo en longitud, fue necesario identificar el tipo de valle (tipo de paisaje) presente en los sitios de observación, para valorar las dimensiones en anchura actuales del espacio ribereño, en relación a las que se consideran óptimas o de referencia.

Cada atributo ribereño se valoró de forma independiente, de acuerdo con los Cuadros de valoración del índice adjuntos (Cuadros 11 al 18). Los atributos relativos a la estructura de la ribera se valoraron en cada margen por separado, ya que las condiciones pueden ser muy diferentes entre las márgenes (ej. anchura del espacio ribereño con vegetación), con diferentes causas de degradación y alternativas para su mejora. Los atributos relativos al funcionamiento dinámico de las riberas se valoraron de forma conjunta en ambas márgenes, considerando que las funciones ribereñas quedan aseguradas con tal de que tengan lugar al menos en una de las dos márgenes (ej. regeneración natural), y que de forma natural a menudo se producen de forma alternativa en una y otra orilla según el trazado y dinámica del cauce. La valoración del estado de las riberas se obtuvieron sumando las valoraciones asignadas a cada atributo. Dicha valoración oscila entre 120 puntos, correspondiente al mejor estado de conservación, y 10 puntos, relativo al estado más degradado. La asignación en clases de calidad de la ribera se establece de acuerdo con lo indicado en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Valores del Índice RQI y alternativas de gestión recomendadas en cada caso

| Valor del RQI | Estado de la ribera | Condición ecológica | Estrategias de gestión |
|---------------|---------------------|--|--|
| 120-100 | Muy bueno | Los atributos de las riberas no presentan amenazas en su funcionamiento, encontrándose en un estado de elevada naturalidad (máximo 3 atributos con una puntuación inferior al óptimo, correspondiente al estado “bueno”) | Gran interés de conservación para mantener el estado actual y prevenir la alteración de las funciones ribereñas |
| 99-80 | Bueno | Al menos dos o tres atributos de las riberas están amenazados en su funcionamiento (máximo 3 atributos con una puntuación inferior, correspondiente al estado “regular”) | Interés de protección para prevenir la alteración y mejorar la integridad de las funciones riparias |
| 79-60 | Regular | Al menos dos o tres atributos de las riberas están degradados en su funcionamiento y el resto tiene amenazas de degradación (máximo 3 atributos con una puntuación inferior, correspondiente al estado “malo”). | Necesidad de restauración para asegurar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas |
| 59-40 | Pobre | Más de tres atributos de las riberas están seriamente alterados en su funcionamiento y el resto también se encuentra degradado | Necesidad de rehabilitación y restauración para recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas |
| 39-10 | Muy pobre | Más de tres atributos de las riberas están muy degradados en su funcionamiento y el resto está también degradado | Necesidad de rehabilitación y restauración para reintroducir la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas o mejorar su situación actual respecto a su estado de máximo potencial |

Fuente: González et ál (2006)

Cuadro 12. Matriz para la evaluación de la continuidad longitudinal de la vegetación ribereña (atributo

1)

| Estado Óptimo (*) | | | Estado Bueno | | | Estado Regular | | | Estado Malo | | |
|--|----|----|--|---|---|--|---|---|---|---|---|
| Más del 75 % de la longitud del espacio ribereño contiene vegetación arbórea o arbustiva asociada al río, formando un corredor denso | | | La vegetación arbórea y arbustiva asociada al río aparece distribuida en bosquetes que cubren entre el 50 y el 75 % de la longitud del espacio ribereño, o cubre más del 75 % de la longitud del espacio ribereño, formando un corredor aclarado | | | La vegetación arbórea y arbustiva asociada al río está reducida a pequeños bosquetes que suponen un recubrimiento entre el 25 y el 50 % de la longitud del río | | | La vegetación arbórea y arbustiva se refiere a pies aislados o pequeñas agrupaciones de 1 a 3 individuos, en una ribera muy aclarada con menos del 25 % de cobertura de vegetación leñosa; o no existe, permaneciendo solo las comunidades de herbáceas | | |
| 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Realizar la ponderación de cada margen por separado. En cada estado, elegir una ponderación más alta cuando los espacios con vegetación continua sean de mayor longitud, y menor cuando la orla de vegetación esté más fragmentada. (*) Considerar Estado Óptimo los casos en que no exista cobertura de vegetación arbórea o arbustiva asociada al río y la ribera esté cubierta por asociaciones no leñosas que se consideren en estado natural o muy poco intervenidas. | | | | | | | | | | | |

Fuente: González et ál. (2006)

Cuadro 13. Matriz para evaluación de las dimensiones de anchura del espacio ribereño con vegetación natural asociada al río (vegetación leñosa y helofitos) (atributo 2)

| Estado | Óptimo | | | Bueno | | | Regular | | | Malo | | |
|--|---|----|----|--|---|---|---|---|---|--|---|---|
| Valle I: | > 5 m, o una hilera con vegetación densa (cobertura superior al 75 %) asociada al río(*) | | | Al menos una hilera con vegetación abierta (cobertura entre el 75 y el 50 %), asociada al río | | | Al menos una hilera con vegetación dispersa (cobertura inferior al 50 %) asociada al río | | | Sin hilera de vegetación asociada al río | | |
| Valle II (**) | >15 m con vegetación asociada al río y cobertura superior al 50 %; o una dimensión inferior y vegetación asociada al río conectando con formaciones de vegetación climatófila poco intervenidas | | | 5-15 m con vegetación asociada al río con una cobertura superior al 50 %, o >10 m con vegetación asociada al río con una cobertura inferior al 50 % | | | 5-15 m con vegetación asociada al río con una cobertura inferior al 50 % | | | < 5 m con vegetación asociada al río | | |
| Valle III, IV | > 50 m, o una dimensión igual o mayor que 2 veces la anchura del cauce activo en ríos pequeños (anchura inferior a 10 m), con vegetación asociada al río densa (cobertura > 50 %) (***) | | | 25-50 m, o una dimensión entre 1 y 2 veces la anchura del cauce activo en ríos pequeños (anchura inferior a 10 m), con vegetación asociada al río; o la opción anterior de mayores dimensiones, con vegetación aclarada (cobertura inferior al 50 %) | | | 10-25 m, o una dimensión entre 1 y 0,5 veces la anchura del cauce activo en ríos más pequeños (anchura inferior a 10 m), con vegetación asociada al río | | | < 10 m en ríos grandes, o < 5 m en ríos pequeños (anchura inferior a 10 m), con vegetación asociada al río | | |
| | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <p>Realizar la ponderación de cada margen por separado. Dentro de cada estado, elegir los valores más altos cuanto mayor sea el grado de cobertura vegetal existente. (*) Considerar Estado Óptimo los casos en que no exista cobertura de vegetación arbórea o arbustiva asociada al río y la ribera esté cubierta por la vegetación climatófila de las riberas en estado natural o muy poco intervenida. (**) Considerar en este apartado los valles en U de origen glaciar (Tipo I-B) y los tramos de hoces y gargantas. (Tipo I-C). En ríos trenzados o temporales con cauces múltiples, conteniendo islas con vegetación, estimar las dimensiones del espacio ripario contabilizando sólo el espacio sin agua entre los diferentes cauces, o asignar a cada margen la mitad de la dimensión total del sistema fluvial. (***) En ríos muy grandes, considerar el estado óptimo cuando la anchura del espacio con vegetación asociada al río sea igual o superior a la anchura del cauce.</p> | | | | | | | | | | | | |

Fuente: González et ál. (2006)

Cuadro 14. Matriz utilizada para la evaluación de la composición y estructura de la vegetación ribereña (en la orilla) (atributo 3)

| | Estado Óptimo | | | Estado Bueno | | | Estado Regular | | | Estado Malo | | |
|----------------------|--|----|----|--|---|---|--|---|---|--|---|---|
| | Bosques de galería cerrados o sotos arbustivos muy densos > 2,5 m de altura, sin especies alóctonas, con sotobosque formado por varias especies de arbustos o dominado por herbáceas nemorales, con escasas zarzas (< 30%). O vegetación climatofila en estado natural o muy poco intervenida. | | | Bosques de galería o sotos arbustivos ± densos y > 2'5 m de altura, con abundancia de zarzas (> 30%), presencia moderada de especies alóctonas (pocos individuos aislados), y/o dominancia de herbáceas nitrófilas o con estratos subarbóreos pobres (estrato herbáceo en pequeñas manchas, con arbustos ocasionales). O vegetación climatofila levemente modificada por actuaciones antrópicas. | | | Formaciones arbóreas o arbustivas abiertas o < 2'5 m, con abundancia de zarzas (> 30%) y/o de especies introducidas (números individuos de una o varias especies) y/o dominancia de herbáceas nitrófilas. O vegetación climatofila bastante modificada por actuaciones antrópicas. | | | Vegetación herbácea dominante o zarzales, a lo sumo con algunos árboles y/o arbustos dispersos. Alineaciones de chopos plantados o de árboles introducidos, cañaverales alóctonos. | | |
| Valle I | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Valles II, III y IV* | 8 | | 7 | 6 | | 5 | 4 | | 3 | 2 | | 1 |

Fuente: González et ál. (2006)

Cuadro 15. Matriz para la evaluación de la composición y estructura de la vegetación ribereña (Tras la orilla) (atributo 3.1)

| | Estado Óptimo | Estado Bueno | Estado Regular | Estado Malo |
|-----------------------|--|---|---|---|
| Valles II, III, IV(*) | Bosque natural denso que orla más del 75% de la longitud de la galería | Bosque ± denso o matorrales altos, que van más del 30% de la longitud de la galería | Árboles o arbustos frecuentes pero dispersos o en pequeños grupos | Vegetación herbácea dominante o con algunos árboles o arbustos dispersos o en pequeños grupos |
| | 4 | 3 | 2 | 1 |

Fuente: González et ál. (2006)

Para el caso de los Cuadros 14 y 15 la ponderación de cada margen se realiza por separado. La valoración se iniciará de acuerdo con la vegetación “en la orilla” y se completará en función de la vegetación que se encuentra “tras la orilla”. Se considerará vegetación “de orilla” la situada en la zona más próxima a los límites del cauce activo, que depende directamente de la humedad conferida por los caudales circulantes, ocupando generalmente una franja entre 5 y 15 m de anchura, según el tipo de valle. Se considerará vegetación “tras la orilla” la situada por detrás de esta banda descrita, situada en la llanura de inundación y potencialmente en contacto con la vegetación climatófila de las laderas adyacentes.

Cuadro 16. Matriz para la evaluación de la regeneración natural (atributo 4) de la vegetación ribereña (estrato arbóreo y arbustivo)

| Estado Óptimo | | | Estado Bueno | | | Estado Regular | | | Estado Malo | | |
|--|--|--|--|--|--|---|--|--|---|--|--|
| Existen ejemplares de jóvenes, adultos y maduros de las principales especies arbóreas y arbustivas, y los espacios abiertos, bancos de gravas y arenas de las orillas están colonizados por plántulas de edades inferiores a 2 años.* | | | Existen ejemplares de diferentes edades (jóvenes, adultos y maduros) de las principales especies leñosas, y en los espacios abiertos se observan ejemplares más jóvenes, al menos de los arbustos. Regeneración natural levemente amenazada por el pastoreo, actividades agrícolas o forestales, regulación de caudales o incisión ligera del canal fluvial. | | | Se observan bosquetes de pies adultos y maduros, con escasa representación de los más jóvenes y ausencia de renuevos. Regeneración natural moderadamente afectada por el pastoreo, prácticas agrícolas o forestales, incendios periódicos, actividades recreativas, etc., o por regulación de caudales o incisión moderada del canal fluvial. | | | Solo se observan pies maduros o adultos, con muy escasa o nula presencia de los elementos jóvenes. Regeneración natural severamente afectada por el pastoreo, prácticas agrícolas o forestales, quemas periódicas, compactación del suelo, o por incisión severa, o por obras de canalización. Abundancia de pies arbóreos secos. | | |
| | | | | | | | | | | | |
| <p>Ponderar más en función de la abundancia de los pies más jóvenes Valorar la regeneración natural en función de la disponibilidad de espacios abiertos para llevarse a cabo y la intensidad de la regeneración en los mismos. Cuando no exista vegetación leñosa, estimar la dificultad de regeneración en relación a la intensidad de la causa que la impide, puesta de manifiesto en el grado de alteración de la morfología, substrato o nivel de humedad de los suelos. * Incluir en esta opción las formaciones naturales densas y cerradas en las que puede no observarse indicios de regeneración natural por falta de espacios abiertos para ello, siempre que no existan restricciones a dicha regeneración por causas antrópicas (ej. pérdida de dinámica fluvial por regulación de caudales).</p> | | | | | | | | | | | |

Fuente: González et ál (2006)

Cuadro 17. Matriz utilizada para la evaluación de las condiciones de las orillas (atributo 5)

| Estado Óptimo | | | Estado Bueno | | | Estado Regular | | | Estado Malo | | |
|--|----|----|--|---|---|--|---|---|---|---|---|
| <p>Más del 50 % del contorno de la lámina de agua en “bankfull” está en contacto con vegetación leñosa, macrofitas o elementos rocosos, y más del 50 % del suelo sin esta vegetación tiene cobertura herbácea, y las orillas no presentan síntomas de inestabilidad inducida por actividades humanas. Línea de orillas irregular y sinuosa, sin síntomas de alteración en ambas márgenes.</p> | | | <p>Más del 50 % del contorno de la lámina de agua en “bankfull” está en contacto con vegetación leñosa, macrofitas o elementos rocosos, y menos del 50 del suelo sin esta vegetación tiene cobertura herbácea alternando con suelo desnudo, o las orillas presentan síntomas de inestabilidad leve inducida por actividades humanas. Línea de orillas irregular y sinuosa, sin alteraciones al menos en una de las márgenes.</p> | | | <p>Menos del 50 % del contorno de la lámina de agua en “bankfull” está en contacto con vegetación leñosa, macrofitas o elementos rocosos y más del 50 % del suelo restante tiene vegetación herbácea, alternando con suelo desnudo, o las orillas presentan síntomas de inestabilidad leve a moderada, causada por actividades humanas. Orillas rectificadas, muy poco sinuosas, consecuencia de obras de canalización sin estructuras rígidas (dragados, escolleras de poca altura, revestimientos vegetales, etc.)</p> | | | <p>Menos del 50 % del contorno de la lámina de agua en “bankfull” está en contacto con vegetación leñosa, macrofitas o elementos rocosos y menos del 50 % del suelo restante tiene vegetación herbácea, o las orillas presentan síntomas de erosión moderada a severa originada por actividades humanas. Orillas rectificadas, más o menos rectas, consecuencia de obras de canalización con estructuras rígidas.</p> | | |
| 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| <p>Considerar nivel de “bankfull” el que alcanzan las avenidas ordinarias, a partir del cual generalmente se observa un cambio de pendiente en el talud de las orillas y se observa el desarrollo de una vegetación ribereña leñosa, asentada sobre suelos no permanentemente saturados. Ponderar el nivel de erosión de origen antrópico en función de la frecuencia e intensidad de los síntomas de inestabilidad de las orillas (acumulación de sedimentos en la base de las orillas, presencia de grietas, desmoronamientos, descalzamiento de raíces, etc.), y del porcentaje de suelo desnudo en contacto con la lámina de agua, sin ningún tipo de cobertura vegetal. Considerar estado natural cuando estos síntomas correspondan a la dinámica natural del cauce.</p> | | | | | | | | | | | |

Fuente: González et ál. (2006)

Cuadro 18. Matriz para la evaluación de la conectividad de la ribera con el cauce (atributo 6) y permeabilidad y grado de alteración del relieve y suelo ribereño (atributo 7)

| Estado Óptimo | | | Estado Bueno | | | Estado Regular | | | Estado Malo | | |
|--|--|--|---|--|--|---|--|--|---|--|--|
| Orillas de muy baja altura respecto al nivel del lecho del cauce. Las riberas se inundan con una periodicidad elevada (avenidas ordinarias que desbordan al menos una vez cada 2-5 años) sobre un perfil de orilla llano o en condiciones naturales. No existe ninguna restricción al desbordamiento de las aguas. | | | Orillas algo sobreelevadas respecto al nivel del lecho. Las riberas se inundan con una periodicidad menor, entre 5 y 10 años, existiendo una cierta restricción al desbordamiento debida a la regulación de los caudales, a pequeñas elevaciones artificiales de la cota de las orillas sin presencia de motas, o a una incisión del cauce incipiente. | | | Orillas bastante sobreelevadas respecto a nivel del lecho. Las riberas se inundan con muy poca frecuencia, por avenidas con periodos de retorno entre 10 y 30 años, existiendo restricciones al desbordamiento por regulación de los caudales, dragados y/o motas, o por una incisión del cauce moderada. | | | Orillas muy sobreelevadas respecto al lecho del río. Las riberas solo se inundan por avenidas extraordinarias con un periodo de retorno superior a 30 años, y existen fuertes restricciones al desbordamiento por infraestructuras de canalización intensa o por incisión del cauce severa. | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Este atributo debe evaluarse atendiendo a la evidencia de los desbordamientos, y/o la presencia de barreras físicas o procesos que disminuyen su frecuencia. Estimar la frecuencia de inundación por las características de los sedimentos y de la vegetación más próxima a la línea de orilla correspondiente al cauce activo o de avenidas ordinarias. Ponderar en función de la altura de las orillas sobre el lecho del cauce, relacionada con la facilidad para el desbordamiento, y de la proximidad respecto a las orillas del cauce de las motas o infraestructuras de canalización, que supongan barreras físicas al desbordamiento. | | | | | | | | | | | |
| El suelo de las riberas no presenta síntomas de compactación ni sellado (impermeabilización), y se mantienen unas buenas condiciones de infiltración y permeabilidad en su perfil. Ausencia de excavaciones y rellenos. Relieve de las riberas en estado natural. | | | En las riberas se observan pequeños senderos o espacios compactados por estancia o paso de ganado, vehículos, actividades recreativas, etc. poco intensos, sin actuaciones de sellado, y no existen síntomas de erosión superficial o encharcamientos. Suelos de las riberas laboreados para cultivos agrícolas o forestales. Excavaciones y rellenos ausentes o muy poco intensas. El relieve de las riberas presenta un grado de alteración ligero. | | | Las riberas presentan caminos o espacios continuos muy compactados o sellados que ocupan más del 20 % de su superficie, que dificultan la infiltración y regeneración de la vegetación natural. O bien, el perfil del suelo ha sido alterado moderadamente en su composición granulométrica o se han introducido materiales alóctonos (escombros, residuos sólidos, etc.). O el relieve de las riberas presenta un grado de alteración moderado por extracciones o acopio de áridos, o por depósito de tierras procedentes de la llanura de inundación (motas de gravas). | | | Los suelos de las riberas están compactados o sellados en más del 20 % de su superficie, comprometiendo severamente la infiltración de las aguas. O el perfil del suelo ha sido alterado severamente en su composición granulométrica, o son abundantes los materiales alóctonos o el depósito de tierras ajenas a la llanura de inundación. O bien las extracciones de áridos o los movimientos de tierras han modificado severamente el relieve natural de la ribera. | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Ponderar más en función de la abundancia de los pies más jóvenes En este apartado se valora conjuntamente la calidad de los materiales de los suelos riparios en relación al mantenimiento de su capacidad de infiltración y permeabilidad, y el grado de alteración del relieve. Seleccionar el estado que corresponda a cada tramo según la presencia de una o varias de las posibilidades descritas, y ponderar en cada caso en función de la extensión e intensidad de los impactos existentes en una o en ambos márgenes del cauce. Elegir valores más bajos cuanto mayor sea la altura de los acopios o excavaciones, o se interrumpa en mayor medida el drenaje transversal del valle hacia el centro del cauce, y el vertical como drenaje en profundidad. | | | | | | | | | | | |

Fuente: González et ál (2006)

Tipos de valles

De acuerdo con González et ál. (2006), para la aplicación de este índice se consideran seis tipos de valle (paisajes), atendiendo a la inclinación dominante de las laderas vertientes, su distancia respecto al cauce y las dimensiones del espacio con influencia fluvial, reconocidas a través del gradiente de humedad de los suelos ribereños, la granulometría del sustrato, su relieve, etc. De esta forma, y tomando en cuenta la clasificación de valles establecida por Rosgen (1996) citado por González et ál. (2006) y adaptado de trabajos anteriores por este mismo autor, se definen para este índice los siguientes tipos de valles o paisajes:

a. VALLE TIPO I. Situado en tramos altos, de cabecera o de montaña, donde a su vez pueden diferenciarse los siguientes subtipos:

I. 1-A

- Valle estrecho, en V, de origen fluvial, con inclinación de las laderas vertientes igual o superior a 45°. Corresponde a tramos altos de montaña, con pendiente longitudinal elevada, generalmente en cauces de pequeño tamaño. La sinuosidad del río puede ser elevada, ligada a la sinuosidad del valle, que también es elevada como consecuencia del relieve, o puede ser muy pequeña, en tramos rectos de garganta.
- Materiales del lecho del río procedentes de las laderas próximas, con escasa redistribución fluvial, formando cascadas, escalones o rápidos continuos y orillas generalmente estables, a menudo con controles rocosos y cubiertas con vegetación.

II. 1-B

- Valle relativamente amplio, en U, de origen glaciar, con inclinación de las laderas vertientes igual o superior a 45°. Corresponde a tramos altos de montaña, con pendiente longitudinal intermedia o baja, generalmente en cauces pequeños o de tamaño medio. La sinuosidad del río puede ser elevada, ligada a los procesos fluviales que tienen lugar actuando sobre materiales sueltos de origen glaciar.
- Materiales del lecho del río procedentes de morrenas glaciares o de sedimentos aluviales más recientes, generalmente de pequeño diámetro, y orillas generalmente inestables, sin vegetación, o con una distribución de árboles y arbustos muy irregular.

III. 1-C

- Valle relativamente estrecho y confinado, en forma de U, formando cañones o cortados rocosos con fuerte inclinación y altura. Corresponde a tramos altos de montaña, con pendiente longitudinal elevada o intermedia, generalmente en cauces pequeños o de tamaño medio. La sinuosidad del río puede ser elevada, ligada a la sinuosidad del valle, que también es elevada como consecuencia del relieve, o puede ser muy pequeña, en tramos rectos.
- Materiales del lecho del río mixtos, procedentes de las laderas más próximas (coluviales), y de tramos de aguas arriba, con alguna redistribución fluvial, formando rápidos continuos secuencia de rápidos y remansos y orillas generalmente estables, a menudo con controles rocosos y cubiertas con vegetación.

b. VALLE TIPO II

- Valle relativamente abierto, con inclinación de las laderas vertientes inferior a 45°, a menudo surcadas por una red de afluentes relativamente desarrollada. Frecuente en los tramos altos y medios de los cauces que discurren por terrenos de sierras y montañas bajas, o en tramos medios de ríos montañosos, donde todavía queda sin configurar la llanura de inundación del cauce principal. La anchura del valle es mayor que en el caso anterior y la sinuosidad del río puede estar ligada al relieve o de forma incipiente a los procesos fluviales.
- Materiales del lecho del río de origen mixto (coluvial y aluvial), en función de la estabilidad de las orillas, con evidencia de redistribución fluvial y formación de rápidos y remansos.

c. VALLE TIPO III

- Valle muy abierto y de considerable anchura, con llanura de inundación bien definida y confinada por terrazas fluviales. Se localiza con mayor frecuencia en los tramos medios y bajos de los ríos de mayor tamaño, donde los cauces ya no se ven afectados directamente por la hidrología de las laderas vertientes, al existir un espacio central con dimensiones suficientes para la redistribución de los sedimentos y la creación de meandros ligados a los procesos fluviales de erosión y sedimentación.

- Materiales del lecho de los ríos transportados y redistribuidos por la corriente y sinuosidad ligada a procesos fluviales.

d. VALLE TIPO IV

Valle en relieve plano. Cauce poco encajado en el valle y llanura de inundación no confinada, discurriendo sobre antiguos depósitos sedimentarios de origen fluvial o lacustre, sobre los que a menudo se forman humedales, turberas o “tablas” por desbordamiento frecuente de los cauces y elevación de los niveles freáticos.

En los siguientes Cuadros 11-18 se incluyen las matrices que permitieron realizar la valoración del estado de cada atributo y la valoración global de la calidad de las riberas a través del índice RQI.

3.3.4 Conocer la percepción de las comunidades Q’eqchi sobre la toma de decisiones para el desarrollo de actividades en las franjas ribereñas de la microcuenca del río Toila

Para el desarrollo de esta actividad, inicialmente se coordinó con el señor alcalde municipal de Santa Catarina “La Tinta” para la realización de convocatorias en las comunidades con presencia en el área de estudio. Para este caso, por lo lejanas que se encuentran las distintas comunidades y por la falta de acceso, se decidió realizar dos talleres participativos, uno en la comunidad de San Antonio I (desarrollado el martes 03 de junio) y otro en la comunidad de Santo Domingo III (desarrollado el jueves 05 de junio), esto debido a que estas comunidades están ubicadas en puntos céntricos para el resto de comunidades. Para el logro de este objetivo fue necesario contar con el apoyo de un indígena q’echi’ como intérprete y como facilitador del proceso. Con estos talleres se logró involucrar de manera participativa a representantes de las comunidades de San Antonio I, San Francisco I, II y III, San Francisco Seyau y Santo Domingo III. Este taller de consulta participativa tuvo como objetivo obtener información relevante y en forma rápida de parte de los actores locales. La temática central considerada fue la percepción de los beneficios que brinda la vegetación ribereña a los pobladores y los conflictos que se puedan estar dando con estos ecosistemas.

En dichos talleres se contó con la participación de 45 representantes de seis comunidades presentes en el área de estudio. Durante el taller se aplicó la herramienta participativa de lluvia de ideas, enfocadas a la consulta.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Analizar el marco legal e institucional sobre franjas ribereñas en Guatemala

En Guatemala no existe una política específica para el manejo de cuencas hidrográficas, ni mucho menos para el manejo de las franjas ribereñas, pero sí se conceptualizan algunos aspectos dentro de la Constitución Política de la República, leyes, y códigos, así como los reglamentos y los convenios internacionales.

4.1.1 Aspectos conceptualizados en la Constitución Política de la República

El artículo 128 hace énfasis en que el aprovechamiento de las aguas, lagos y ríos para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, estableciendo además que se deben **reforestar las riberas** y **cauces** para garantizar su permanencia.

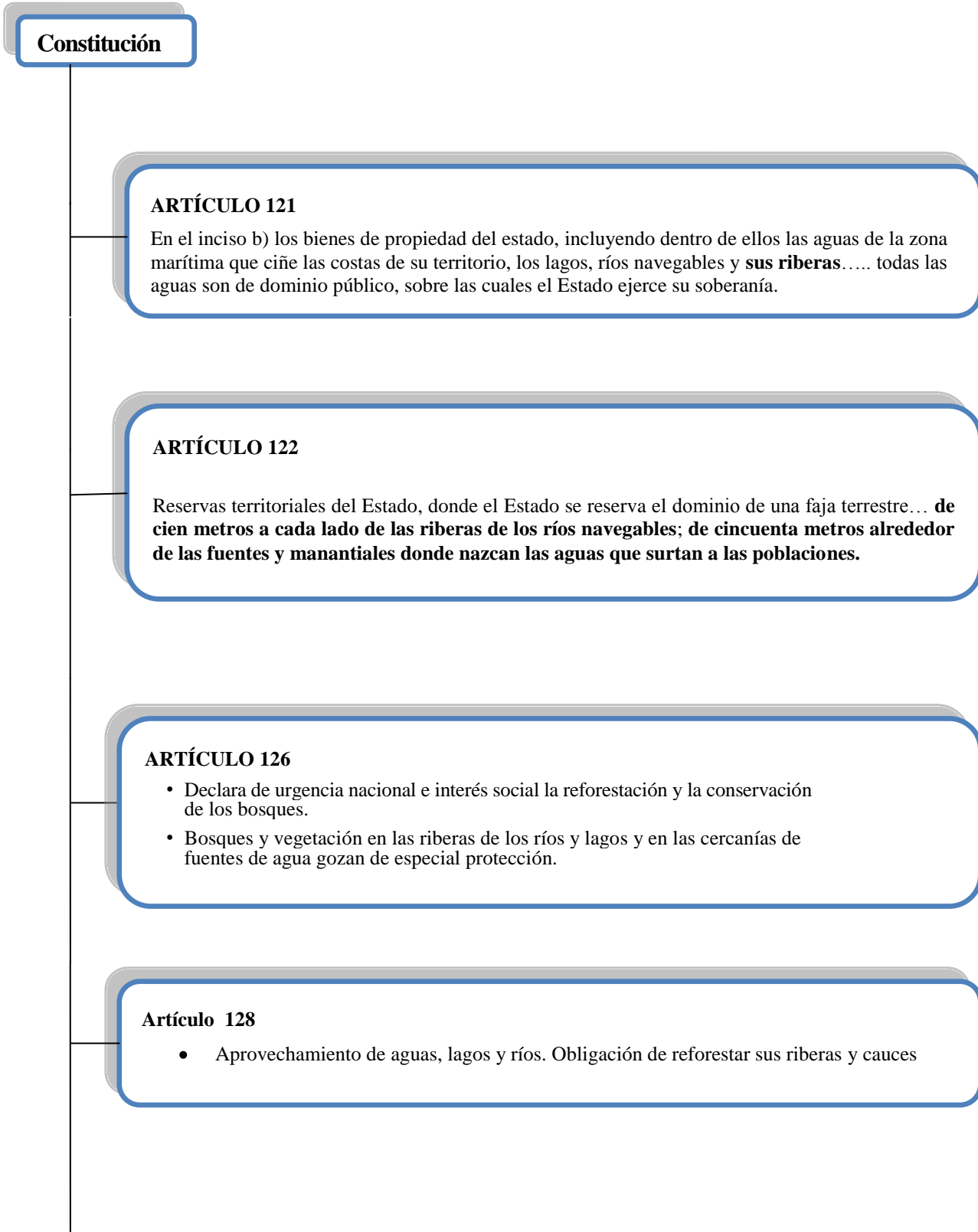
El artículo 121 en el inciso b establece que los bienes de propiedad del estado, incluyendo dentro de ellos las aguas de la zona marítima que ciñe las costas de su territorio, los lagos, ríos navegables y **sus riberas**, los ríos, vertientes y arroyos... ratifica que todas las aguas son de dominio público, sobre las cuales el Estado ejerce su soberanía.

Artículo 122 hace alusión a las Reservas territoriales del Estado, donde el Estado se reserva el dominio de una faja terrestre de tres kilómetros a lo largo de los océanos, contados a partir de la línea superior de las mareas; de doscientos metros alrededor de las orillas de los lagos; **de cien metros a cada lado de las riberas de los ríos navegables; de cincuenta metros alrededor de las fuentes y manantiales donde nazcan las aguas que surtan a las poblaciones.**

Y por último el artículo 126 declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques, haciendo alusión a la protección especial que gozarán los **bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas.**

De acuerdo con esto; puede observarse que la Constitución Política de la República de Guatemala otorga especial atención a las riberas de los ríos, lagos y cercanías de las fuentes de agua.

En la Figura 13 se presenta una síntesis de los artículos discutidos y otros que de una u otra manera tiene relación con las franjas ribereñas.



Art. 46

• **Convenios Internacionales**

• **Convenio de Diversidad Biológica**

Los Estados respetarán, preservarán y mantendrán los conocimientos, Innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad (Art. 8 J).

• **Convenio RAMSAR**

- ✓ Humedales de importancia mundial

• **Convenio 169OIT**

- ✓ Los Estados respetarán, preservarán y mantendrán los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades indígenas y locales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y utilización sostenible de la biodiversidad.
- ✓ Proteger de manera especial los derechos de los pueblos a los recursos naturales existentes en sus tierras. Estos derechos comprenden el derecho a participar en la utilización, administración y conservación de dichos recursos (Art. 15. 1).

• **Convención de Dublín**

- ✓ Agua es un recurso finito
- ✓ Agua tiene valor económico
- ✓ Aporte de mujeres en gestión del agua
- ✓ Gestión integrada de recursos hídricos

Figura 13. Artículos de la Constitución relacionados con las franjas ribereñas en Guatemala

Fuente: Adaptado de MAGA y FAO (2006) y De Noack, y Bocaletti (2007)

4.1.2 Legislación relevante relacionada con las franjas ribereñas en Guatemala

Antes de resaltar la legislación que se considera relevante en esta temática, es necesario realizar un recorrido por todas aquellas normas, que desde el orden constitucional, ordinario, reglamentario o municipal, incluyen aspectos importantes para establecer las reglas jurídicas bajo las cuales debe aprovecharse el agua y el aprovechamiento de los recursos naturales presentes en las franjas ribereñas.

Dentro de la legislación ordinaria es necesario remitirse inicialmente a lo descrito en el Código Civil vigente, ya que este instrumento es el que incluye normas sustantivas generales relativas al agua. Pero el Código también incorpora disposiciones transitorias, que actualizan la vigencia de disposiciones promulgadas en 1932 en lo que respecta al dominio de las aguas y a los derechos reales que pueden imponerse sobre ellas. Ello debido a que la disposición mencionada rige con una condicionante: su vigencia está sujeta a la promulgación de una ley de aguas que regule específicamente el recurso. Por tanto, mientras no se emita tal normativa los capítulos relacionados quedan vigentes y con ello se incorpora y reconoce los derechos privados sobre ciertos usos de las aguas.

Con estos elementos se vislumbra un conflicto de aplicación de leyes en el tiempo y en este caso, deberá ser la Corte de Constitucionalidad la que defina lo procedente (De Noack, y Bocaletti 2007).

Código Civil de 1932

El Código Civil de 1932 en su **capítulo V** hace alusión a las **zonas marítimas, terrestres, álveos o cauces, riberas y márgenes**. Dentro de este contexto el **artículo 419** afirma que es del dominio de la nación la zona marítima-terrestre o de las costas de la República en la extensión establecida por leyes administrativas. Esta zona marítima-terrestre se extiende también por las **márgenes de los ríos**, hasta el sitio donde se hagan sensibles las mareas. También son del dominio de la Nación **las márgenes de los lagos y ríos navegables** en la extensión fijada por leyes administrativas. Las propiedades de esta clase, que en la actualidad sean de dominio privado, son expropiables conforme a la ley.

En el **artículo 427** define **a las riberas** como las fajas laterales de los álveos de los ríos, comprendidas entre el nivel de las bajas aguas y el que éstas alcancen en sus mayores avenidas ordinarias; y por márgenes las zonas naturales que lindan con las riberas.

Y por último, el **artículo 428** que hace referencia a **las riberas de los ríos navegables**, que aun cuando sean de dominio privado, están sujetas en toda su extensión a la servidumbre de uso público en lo que se refiere a la flotación, la pesca y el salvamento. También están sujetas a dicha servidumbre, **las márgenes de una zona de tres metros**. Sin embargo, cuando **los accidentes del terreno y otras legítimas causas lo exigiesen, se ensanchará o estrechará la zona de este servicio, conciliando en lo posible todos los intereses.**

Código Civil, Decreto Ley 106

El Código Civil Decreto Ley 106 en el artículo 580 da a conocer que pertenecen a los propietarios los álveo o cauces naturales de las corrientes discontinuas formadas por aguas pluviales y los álveos de los ríos y arroyos en la parte que atraviesan sus heredades, **pero no podrá ejecutar labores ni construir obras que puedan hacer variar el curso natural de las mismas en perjuicio de otro, o cuya destrucción por la fuerza de las avenidas, pueda causar daño a predios, fábricas o establecimientos, fuentes, caminos o poblaciones.** Los álveos de las charcas, lagunas o lagos que colindan con sus propiedades le pertenecerán en proporción a su colindancia, siempre que no sean de propiedad de persona determinada.

El Decreto 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

f) Promover el uso integral y el **manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas;**

i) **Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales;**

Decreto 4-89 Ley de Áreas Protegidas

En el **artículo 7** se menciona que son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, **de las fuentes**

y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible.

EL artículo 9 hace alusión a las reservas territoriales y fincas inscritas propiedad de la Nación, que reúnan características adecuadas para ello, deberán dedicarse preferiblemente a objetivos de conservación bajo manejo. La Oficina de Control de Reservas de la Nación - OCREN- dará prioridad a la administración conservacionista **de los litorales lacustres y marinos y riberas de ríos.**

Decreto Número 90- 97 Código de Salud

El artículo 84 **prohíbe terminantemente la tala de árboles, en las riberas de ríos, riachuelos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas.** La transgresión a dicha disposición será sancionada de acuerdo a lo que establezca el presente Código.

Decreto 126-97 Ley Reguladora de las Áreas de Reservas Territoriales del Estado de Guatemala

El ámbito de aplicación de la presente ley se extiende a todas las áreas territoriales establecidas en el artículo 122 de la Constitución Política de la República de Guatemala.

Esta Ley en el **artículo 1** define como ámbito de aplicación las áreas contenidas en la faja terrestre de tres kilómetros a lo largo de los océanos, contadas a partir de la línea superior de las mareas; de doscientos metros alrededor de las orillas de los lagos; **de cien metros a cada lado de las riberas de los ríos navegables; de cincuenta metros alrededor de las fuentes y manantiales donde las aguas surtan a las poblaciones.**

Esta misma ley en el **artículo 8** prohíbe dar en arrendamiento la franja de veinte metros (20 m) a partir de las aguas de los lagos y la de diez metros (10 m) contados a las adyacentes a los ríos navegables; y las áreas que circundan las fuentes y manantiales que surten a las poblaciones. Hacia estas áreas no podrán verterse aguas que contengan desechos o que en alguna medida propicie contaminaciones, y en ellas no se podrá edificar ningún tipo de construcción, salvo aquellas necesarias para su conservación. Estas son declaradas de uso público.

Decreto 101-96. Ley Forestal

La Ley Forestal en el artículo **47** prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas cubiertas de bosque, en especial las que estén ubicadas en zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozarán de protección especial. En consecuencia, estas áreas sólo serán sujetas a manejo forestal sostenible (Figura 14).

En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación.

La junta directiva del INAB a través de la **Resolución JD.01.01.2007** aprueba el Reglamento del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR). Este reglamento, dentro de sus objetivos, en el inciso d) hace alusión a incentivar el mantenimiento de bosques naturales para la generación de servicios ambientales.

Legislación

Código Civil 1932

- ✓ Hace alusión a zonas marítimas, terrestres, álveos o cauces, riberas y márgenes de ríos como áreas de dominio de la nación en la extensión fijada por las leyes administrativas.
- ✓ Prohibición para actividades que puedan afectar el curso natural de los cauces.
- ✓ Presenta definiciones sobre riberas, álveos y márgenes de los ríos.
- ✓ Y por último hace referencia a las riberas de los ríos navegables, que aun cuando sean de dominio privado, están sujetas en toda su extensión a la servidumbre de uso público... e incluye también las márgenes de una zona de tres metros. Sin embargo, cuando los accidentes del terreno y otras legítimas causas lo exigiesen, se ensanchará o estrechará la zona de este servicio, conciliando en lo posible todos los intereses.

Decreto Ley 106. Código Civil

Prohíbe a los propietarios de álveo o cauces naturales la ejecución de **labores y construcción de obras que puedan hacer variar el curso natural de las mismas en perjuicio de otro...**

Decreto 68-86. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

- ✓ Promueve el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.
- ✓ Vela por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales.
- ✓ Promueve el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada

Decreto 4-89. Ley de Áreas Protegidas

- ✓ Crea el Subsistema de Conservación de los Bosques Pluviales
- ✓ Incorpora genéricamente las aguas como parte de procesos ecológicos esenciales y sistemas naturales vitales

Código de Salud

Se prohíbe terminantemente la tala de árboles, en las riberas de ríos, riachuelos, lagos, lagunas y fuentes de agua, hasta 25 metros de sus riberas

Decreto 126-97 Ley reguladora de las áreas de reservas territoriales del estado de Guatemala

- ✓ Define como ámbito de aplicación las áreas contenida en la faja terrestre... **de cien metros a cada lado de las riberas de los ríos navegables; de cincuenta metros alrededor de las fuentes y manantiales donde las aguas surtan a las poblaciones.**
- ✓ Prohíbe dar en arrendamiento la franja de veinte metros (20 m) a partir de las aguas de los lagos y la de diez metros (10 m) contados a las adyacentes a los ríos navegables; y las áreas que circundan las fuentes y manantiales que surten a las poblaciones

Decreto 101-96. Ley Forestal

- ✓ Prohíbe eliminar el bosque en las partes altas de las cuencas hidrográficas en especial las que estén ubicadas en zonas de recarga hídrica que abastecen fuentes de agua, las que gozarán de protección especial.
- ✓ En el caso de áreas deforestadas en zonas importantes de recarga hídrica, en tierras estatales, municipales o privadas, deberán establecerse programas especiales de regeneración y rehabilitación.

Figura 14. Síntesis de la Legislación existente relacionada con la protección y manejo de los recursos en ecosistemas ribereños

El **Acuerdo Gubernativo Número 179-2001** de fecha 16 de mayo de 2001, en su artículo 2 declara de alto riesgo las cuencas hidrográficas del Río Villalobos, Lago de Amatitlán y Río Michatoya. Este mismo acuerdo en el artículo 4 manda a las entidades públicas competentes la regulación de las siguientes actividades: El desfogue de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas; el aporte de desechos sólidos de actividades humanas, como sedimentos y basuras en los cuerpos de aguas; el desvío y modificación de cauces hídricos por extracciones y actividad humana en general y la explotación de materiales de construcción, tanto en ríos como en bancos de préstamos y canteras.

Existen otras leyes para áreas específicas que se relacionan con los ecosistemas ribereños, como por ejemplo las Leyes y Reglamentos de las Autoridades de Cuencas, que tienen como parte de sus objetivos; planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para la prevención, promoción, recuperación y rehabilitación de los ecosistemas de las cuencas para los cuales fueron creadas. Además existen los reglamentos, leyes específicas y acuerdos gubernativos de áreas protegidas que en función de sus categorías de manejo, norman ciertas actividades dentro de los ecosistemas ribereños.

De esta manera se constata que existen varias leyes que se refieren al mantenimiento, protección y gestión de las franjas ribereñas en Guatemala. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos estas no se cumplen, existiendo poca capacidad del Estado a través de sus instituciones para velar por el cumplimiento de dicho marco legal. De hecho, las franjas ribereñas han sido intervenidas, aprovechadas y eliminadas sin ningún proceso de planificación, lo cual se evidencia por el desarrollo en las mismas, de actividades agroindustriales, mineras, de infraestructura (puentes, calles, urbanizaciones), entre otras. Esto también sugiere el poco conocimiento sobre la importancia de estos ecosistemas, la poca aplicabilidad de la ley y debilidad en el Estado de promover medidas de planificación y ordenamiento territorial para la gestión de estas áreas.

En el Cuadro 19 se presentan las atribuciones de las instituciones relacionadas con la conservación y manejo de recursos naturales presentes en los ecosistemas ribereños, se mencionan otras leyes, reglamentos, acuerdos gubernativos y ordenanzas, que también se relacionan con la temática mencionada.

4.1.3 Políticas influyentes sobre las franjas ribereñas en Guatemala

En Guatemala no existe una política específica para el manejo de cuencas hidrográficas y mucho menos para las franjas ribereñas de los ríos, pero si se conceptualiza dentro de las políticas relacionadas con aspectos sociales y recursos naturales (Figura 15).

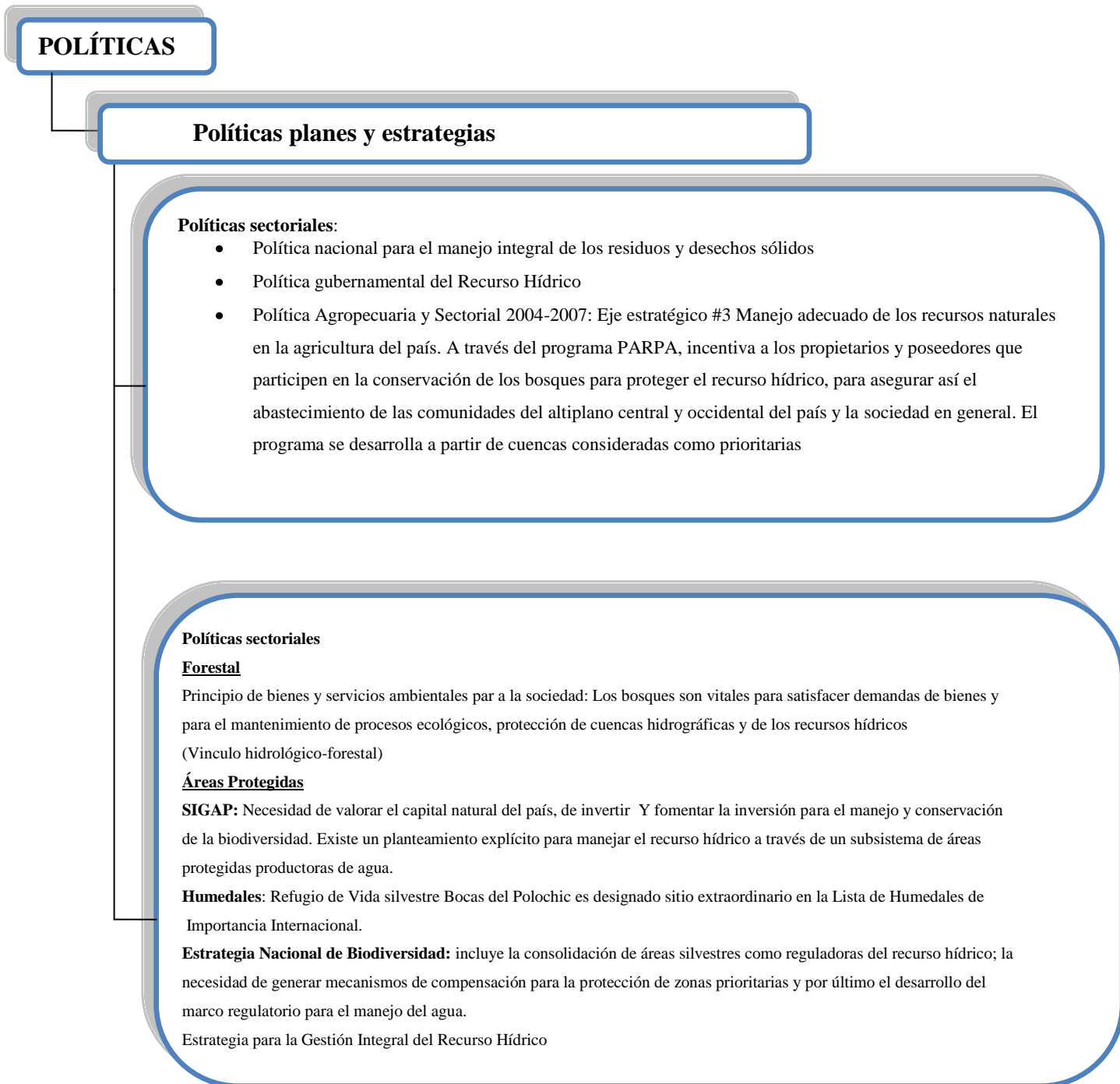


Figura 15. Políticas relacionadas con franjas ribereñas

Fuente: MAGA y FAO (2006) y De Noack, y Bocaletti (2007)

4.1.4 Marco institucional relacionado con franjas ribereñas

De acuerdo con la legislación vigente el ente rector en materia de franjas ribereñas es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Sin embargo, existen gran cantidad de instituciones que de manera indirecta tiene relación con la gestión de estas áreas. A continuación, se presentan los elementos legales que respaldan al MARN como ente rector en materia de franjas ribereñas.

Con base en el marco legal anteriormente consignado y ante la carencia de una entidad específica para abordar la temática hídrica y de cuencas hidrográficas del país, existe claridad acerca de la responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en la materia. Esto puede ser confirmado en el **Punto Resolutivo del Congreso de la República** No. 8-2007 el cual insta al Organismo Ejecutivo para que por intermedio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales dicte e implemente la política hídrica nacional, la cual debe ser ampliamente difundida y socializada a todo nivel a través de una campaña de educación hídrica, con el propósito que la sociedad guatemalteca en su conjunto la adopte como parte de su quehacer diario. Esta política debe hacer énfasis en la protección y conservación de las zonas de recarga hídrica y en el uso racional del agua, en la protección de las fuentes de agua y en el desarrollo de una cultura hídrica nacional.

Además insta al Organismo Ejecutivo para que ponga en operaciones y formalice la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como un órgano de coordinación interinstitucional del sector público, bajo la rectoría del Ministerio Ambiente y Recursos Naturales.

Así mismo cuenta la **Opinión de la Procuraduría General de la Nación** la cual mediante oficio 391-2007/JMDF-URHHC-nml, de fecha 02 de julio de 2007, el Ministro de Ambiente y Recursos Naturales requirió opinión de la Procuraduría General de Nación, sobre quien es el ente rector en materia de agua y recursos hídricos y quien es el ente gubernamental que debe elaborar la política hídrica nacional.

El 06 de noviembre de 2007, la Sección de Consultoría, de la Procuraduría General de la Nación, emitió el dictamen 4086-07, donde opinó que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales es el ente rector en materia de recursos hídricos, por lo que de conformidad con la ley le corresponde (Colindres 2008).

La Ley del Organismo Ejecutivo se constituye en el instrumento legal que acoge las iniciativas de manejo de recursos hídricos y de los ecosistemas que generan servicios ambientales. El artículo 29, inciso “a”, se adjudica al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la responsabilidad de “Formular participativamente la política de conservación protección y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales y ejecutarla en conjunto con las otras autoridades con competencia legal en la materia correspondiente, respetando el marco normativo nacional e internacional vigente en el país”. Con respecto a los recursos hídricos, los incisos “h” y “j” se refieren respectivamente a “Formular la política para el manejo del recursos hídrico en lo que corresponda a contaminación, calidad y para renovación de dicho recurso y “Elaborar las políticas relativas al manejo de cuencas hidrográficas, zonas costeras, océanos y recursos marinos” (MARN 2004).

A continuación en el Cuadro 19 se presentan las atribuciones legales de las entidades gubernamentales que tienen relación con el tema de franjas ribereñas.

Cuadro 19. Atribuciones legales de entidades gubernamentales que tienen relación con las franjas ribereñas

| Entidad | Atribución | Fundamento legal |
|--|---|---|
| Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) | Rector en la calidad, uso y aprovechamiento del recurso hídrico, disposición de aguas servidas para normas, cambio climático y reforestación para conservación, investigación y política hídrica. | Decreto No. 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; Decreto No. 114-97, Ley del Organismo Ejecutivo; Decreto No. 90-2000, Ley de Creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; y Acuerdo Gubernativo No. 186-2001 Reglamento Interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales |
| Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPYAS) | Rector en lo referente al acceso y cobertura universal de los servicios de agua potable para la población, prohíbe la tala de árboles en las cercanías de los cuerpos de agua (25 m) | Decreto No. 114-97, Ley del Organismo Ejecutivo; Decreto No. 90-97, Código de Salud; |

| | | |
|--|---|---|
| <p>Ministerio de Agricultura Ganadería Producción y Alimentación</p> | <p>Le corresponde atender los asuntos concernientes al régimen jurídico que rige la producción agrícola, pecuaria, hidrobiológica, el manejo sustentable de los recursos naturales renovables, la mejora de las condiciones alimenticias de la población, la sanidad agropecuaria y el desarrollo productivo nacional</p> | <p>Decreto 114-97, Ley del Organismo Ejecutivo; Acuerdo Gubernativo No. 278-98 Reglamento Interno Decreto 80-2002 del Congreso de la República, Ley General de Pesca y Acuicultura</p> |
| <p>Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP)</p> | <p>Con el objeto de conservar y proteger los bosques pluviales para ayudar a asegurar el suministro de agua a toda la comunidad guatemalteca, el CONAP, determinará su mejor uso, buscará su protección y dará prioridad al establecimiento de áreas protegidas públicas y privadas que contengan dichos bosques. Para el efecto deberá gestionar la elaboración de un inventario forestal.</p> | <p>Decreto No. 4-89 y sus Reformas, Ley de Áreas Protegidas Acuerdo Gubernativo No. 759-90, Reglamento de la Ley de Áreas Protegidas</p> |
| <p>Consejo Nacional del Agua (CONAGUA)</p> | <p>Promoción y ordenamiento del sector de agua y saneamiento</p> | |
| <p>Instituto Nacional de Bosques (INAB)</p> | <p>La promoción y el fomento del desarrollo forestal del país, mediante el manejo sostenible de los bosques, la reforestación, la industria y la artesanía forestal, preservando los recursos del bosque y buscando la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas. Prohíbe la tala de árboles en las partes altas de cuencas hidrográficas para la protección de fuentes de agua. Prohibición de autorizar licencias para cambio de uso de la tierra en ecosistemas</p> | <p>Decreto No. 101-96, Ley Forestal Acuerdo de Gerencia No. 4.23-97, Reglamento de la Ley Forestal Artículo 47, Ley Forestal Artículo 10 Reglamento para el Aprovechamiento del Mangle</p> |

| | | |
|---|--|---|
| | <p>manglares.</p> <p>Concesiones para el manejo forestal y reforestación de áreas de manglar</p> | <p>Artículo 09 Reglamento para el Aprovechamiento del Mangle</p> |
| <p>Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA)</p> | <p>Tiene el fin específico de planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado que sean necesarias para recuperar el ecosistema del Lago de Amatitlán y todas sus cuencas tributarias</p> | <p>Decreto No. 64-96 del Congreso de la República Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán</p> <p>Acuerdo Gubernativo No. 186-99 Reglamento de Funcionamiento de la Autoridad para el manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán</p> <p>Ordenanza 01-2002 Gobernación del Departamento de Guatemala</p> |
| <p>Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE)</p> | <p>La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno, AMS-CLAE, actuará, dependiendo directamente de la Vicepresidencia de la República. Todas las dependencias del sector público y privado que efectúen actividades que puedan afectar el ecosistema del Lago de Atitlán y su entorno están obligadas a acatar las resoluciones, ordenanzas, disposiciones sanitarias, o resoluciones que dicte la Autoridad, así también los propietarios de los inmuebles ubicados en las riberas del lago y en su cuenca por cualquier título que ocupen, con el fin de la mejor calidad del agua, de la tierra, de los recursos renovables y no renovables propios del lago y de las zonas de recarga de acuíferos y áreas boscosas.</p> | <p>Decreto No. 133-96 Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCLAE)</p> |
| <p>Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal, El Río Dulce y</p> | <p>Planificar, coordinar y ejecutar todas las medidas y acciones del sector público y privado necesarias para conservar, preservar, resguardar y</p> | <p>Decreto No. 11 -98 Ley de Creación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal, El Río Dulce y su Cuenca (AMASURLI)</p> |

| | | |
|--|--|---|
| su Cuenca (AMASURLI) | desarrollar el ecosistema de dicha cuenta hidrográfica. | |
| Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Peten Itzá (AMPI) | Planificar, programar, coordinar y ejecutar todas las acciones del sector público o privado, nacional o extranjero, necesarias para conservar, preservar, resguardar y desarrollar sosteniblemente dicha cuenca | Acuerdo Gubernativo No. 697-2003 para la creación de la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Lago Peten Itzá. (AMPI) |
| Autoridad Protectora de la Sub Cuenca y Cauce del Río Pensativo | Coordinar y ejecutar las medidas y acciones necesarias del sector público y privado para manejar, proteger y conservar los recursos naturales existentes dentro de la subcuenca y cauce del río Pensativo. | Decreto No. 43-98 Ley que crea la Autoridad Protectora de la Subcuenca y Cauce del Río Pensativo. |
| Municipalidades | Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada, alcantarillado, alumbrado público, mercados, rastros, administración de cementerios, autorización y control de los cementerios privados, recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos, limpieza y ornato. | Código Municipal Decreto Número 12-2002 |
| Oficina de Control de Áreas de Reserva Territoriales del Estado de Guatemala, OCRET | OCRET está facultado legalmente para otorgar contratos de arrendamiento en las áreas de reserva de la nación | Ley de Reservas Territoriales del Estado de Guatemala |
| Ministerio de Energía y Minas (MINAE) | Autorizaciones para la obtención de licencias de operación temporal o definitiva para plantas o centrales de generación hidroeléctrica y geotérmica, incluida la aprobación para el uso de bienes de | Ley General de Electricidad, Decreto 93-96 del Congreso de la República |

| | | |
|-------------------------------|---|---|
| | dominio público (en la extensión necesaria para la ejecución de obras), consecuencia directa del otorgamiento de la autorización que el Ministerio de Energía y Minas conceda al titular | |
| | Aprobación de medidas de prevención al ambiente, incluyendo la no contaminación del aire, ríos, lagos, mares y aguas subterráneas en el desarrollo de operaciones petroleras | Artículo 41 Ley de Hidrocarburos |
| Ministerio de Energía y Minas | Autorización para el uso de recursos hidráulicos que sea necesario utilizar en la generación de electricidad, siempre que la potencia de la central exceda de 5 megavatios. Sin embargo, cualquiera que sea la potencia, si la obra va a requerir de la construcción de obras de embalse que pudieran afectar el régimen hidrológico de uno o varios ríos, el interesado deberá también atender los requisitos y lineamientos que establezca la Comisión Nacional de Electricidad en la construcción y operación de las instalaciones de la planta. | Ley General de Electricidad, Decreto 93-96 del Congreso de la República |

Fuente: De Noack, y Bocaletti (2007)

De acuerdo con lo descrito anteriormente, puede evidenciarse la existencia de una amplia variedad de instituciones de gobierno con responsabilidades directas e indirectas en el manejo, conservación y restauración de las franjas ribereñas en Guatemala. Sin embargo, ninguna de ellas se encuentra trabajando directamente en estas áreas. Algunas han realizado esfuerzos para mejorar las condiciones de los recursos naturales a nivel de cuencas hidrográficas, pero aún así, no le han dado la importancia necesaria a estos ecosistemas ribereños. Por lo tanto, es necesario que el MARN a través de las instituciones de gobierno trabaje coordinadamente para la unificación de esfuerzos y que lleven a cabo actividades de gestión y manejo de las franjas ribereñas en Guatemala.

4.1.5 Visión de diferentes instituciones y organizaciones sobre las franjas ribereñas

A continuación se presentan los Cuadros resumen de los resultados de las 16 entrevistas realizadas con instituciones de gobierno, ONG, organizaciones Internacionales, entre otras (Anexo 2), que trabajan en manejo de recursos naturales y que su accionar en los mismos afectan directa o indirectamente a las franjas ribereñas. Es importante mencionar que ninguno de estos entes entrevistados, realiza actividades directamente en franjas ribereñas, ya que sus actividades las enfocan desde el punto de vista de la cuenca o a nivel de áreas protegidas.

Con respecto a la pregunta 1 relacionada con las funciones de las franjas ribereñas, la mayoría de las respuestas (30%) coinciden en que estas áreas sirven como refugios de vida silvestre y como corredores biológicos. Así mismo, el 15% de las respuestas coinciden en que estas áreas son útiles para la reducción de la vulnerabilidad a desastres naturales. Por último, otro 15% afirman que estas áreas disminuyen la erosión y la contaminación proveniente de áreas adyacentes. Estas funciones de las franjas ribereñas coinciden con lo descrito por algunos autores (Lovett y Price 1999, Eichner 2002, Granados et ál. 2006, Ballard et ál. 2004, Garrent 2005, Lovett y Price 2001), lo que sugiere que los entrevistados tienen los conocimientos básicos sobre las funciones de las franjas ribereñas. Sin embargo, es necesario desarrollar investigación, para fortalecer aún más los conocimientos sobre esta temática a nivel de instituciones, ya que en la medida que se conozcan todos los servicios ecosistémicos, sociales y económicos que se generan en estas áreas, se podrán plantear proyectos que vayan encaminados a mejorar las condiciones de las franjas ribereñas, proyectos de pago y/o compensación por servicios ecosistémicos y proyectos de manejo y conservación de recursos naturales a nivel de estas áreas.

Cuadro 20. Respuestas de entrevistas sobre las funciones de las franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--|-------------------|-----------------------|
| Refugios de vida silvestre y corredores biológicos | 12 | 30.00 |
| Reducción de la vulnerabilidad a desastres | 6 | 15.00 |
| Disminuyen la erosión y la contaminación | 6 | 15.00 |
| Estabilización de canales y orillas del río | 5 | 12.50 |
| Protección del cuerpo de agua | 5 | 12.50 |
| Filtración y retención de sedimentos | 4 | 10.00 |
| Límite entre el área terrestre y acuática | 2 | 5.00 |
| Total | 40 | 100.00 |

Con respecto a la pregunta 2, la mayoría de las respuestas (23%) de los entrevistados coinciden en que la actividad que más han desarrollado es investigación relacionada con el monitoreo de los cambios de cobertura de estas áreas y a nivel de cuenca hidrográfica. Así mismo, el 17% de las respuestas afirman que otra actividad que han realizado es el muestreo de agua en puntos determinados de cuencas prioritarias. En el Cuadro 21 se presentan los datos de otras actividades que realizan estas instituciones y que están relacionadas directa e indirectamente con los recursos naturales de las franjas ribereñas.

Cuadro 21. Respuestas de entrevistas sobre las funciones y actividades que realizan las instituciones a nivel de recursos naturales en franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| Investigación en cambios de uso de la tierra | 8 | 22.86 |
| Calidad de agua | 6 | 17.14 |
| Programa de apoyo a la agricultura y para el manejo forestal | 5 | 14.29 |
| Proyectos e investigación a nivel de zonas de recarga hídrica | 5 | 14.29 |
| Programas de pago por servicios ecosistémicos | 4 | 11.43 |
| Incidencia Política | 4 | 11.43 |
| Proyectos marino costeros | 3 | 8.57 |
| Total | 35 | 100 |

Los datos anteriores evidencian que las instituciones empiezan a darle alguna importancia a estas áreas, aunque los esfuerzos se están dando de manera aislada. Por lo tanto, para mejorar las condiciones de estas áreas, las instituciones deberán de incluir dentro de sus planes operativos proyectos estratégicos que vayan enfocados a mejorar las condiciones de las

frangas ribereñas y que se establezcan lineamientos para que exista un orden de actuación a nivel de dichas áreas.

En la pregunta 3, el 36% de las respuestas concuerdan en que uno de los principales mecanismos que las instituciones utilizan es la coordinación interinstitucional. Así mismo el 23% de las respuestas se enfocó en los convenios de cooperación con organismos internacionales y locales. Es necesario aclarar que algunas de estas instituciones no son ejecutoras de proyectos, si no que utilizan a otras instituciones u organizaciones locales, para la ejecución de dichos proyectos (16%) (Cuadro 22).

La coordinación es un mecanismo fundamental para que las instituciones pueden hacer un uso eficiente de los recursos humanos, logísticos y económicos, lo que se manifiesta finalmente en el logro de propósitos conjuntos, en una acción integral y generalmente de mayor impacto. Las franjas ribereñas requieren de un enfoque multi e interdisciplinario, dado su complejidad biofísica y su multifuncionalidad; para un buen acercamiento a este enfoque es necesaria esa coordinación, que si bien no es baja, requiere reforzarse y ampliarse a organizaciones, proyectos, programas y otros actores locales y nacionales claves para mejorar la gobernanza a nivel de franjas ribereñas en Guatemala.

Cuadro 22. Respuestas de entrevistas relacionadas con los mecanismos que utilizan las instituciones para la implementación de actividades en franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--|-------------------|-----------------------|
| Coordinación multi - institucional | 16 | 36.36 |
| Convenios de cooperación con organismos internacionales y locales | 10 | 22.73 |
| Alianzas con socios y actores | 7 | 15.91 |
| Realización de actividades y proyectos tomando en cuenta las necesidades y soluciones propuestas por las comunidades | 7 | 15.91 |
| Aplicación de metodologías participativas y diagnósticos rurales | 3 | 6.82 |
| Incentivo a comunidades | 1 | 2.27 |
| Total | 44 | 100.00 |

Con respecto a las respuestas obtenidas de la pregunta 4, la mayor fortaleza para las instituciones es contar con personal calificado (30% de las respuestas) para la implementación de actividades en sus áreas de trabajo. Asimismo, la mayoría de estas instituciones tiene limitaciones de tipo presupuestario (33% de las respuestas) para la realización plena de sus actividades. El 57% de las respuestas (23.53% para cada oportunidad) apuntan a que las mayores oportunidades existentes son: a) Que el agua cada día cobra mayor importancia y que

los gobiernos y otros donantes están interesados en trabajar con este tema y b) Que cada día existe mayor credibilidad de los donantes hacia las instituciones para la realización de proyectos (Cuadros 23, 24 y 25).

Cuadro 23. Fortalezas de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas

| Fortalezas | | |
|---|-------------------|-----------------------|
| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
| Personal calificado | 6 | 30 |
| Estabilidad institucional | 4 | 20 |
| Trabajo con personas locales | 3 | 15 |
| Personal técnico local | 3 | 15 |
| No dependencia de procesos políticos | 2 | 10 |
| Buena relación con actores locales | 1 | 5 |
| Buena capacidad de convocatoria para incidir en temas de gobernabilidad | 1 | 5 |
| Total | 20 | 100 |

Cuadro 24. Limitaciones de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas

| Limitaciones | | |
|---|-------------------|-----------------------|
| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
| Falta de presupuesto | 8 | 33.33 |
| Falta de aplicabilidad de la ley | 4 | 16.67 |
| Falta de cooperación de actores | 4 | 16.67 |
| Mala gobernabilidad en áreas protegidas | 4 | 16.67 |
| Rotación de personal | 3 | 12.50 |
| Burocracia para obtención de fondos para ejecución de proyectos | 1 | 4.17 |
| Total | 24 | 100.00 |

Cuadro 25. Oportunidades de las instituciones con relación a las actividades que realizan dentro de franjas ribereñas

| Oportunidades | | |
|---|-------------------|-----------------------|
| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
| El agua cobra más importancia y da lugar nuevas oportunidades en investigación y proyectos | 4 | 23.53 |
| Credibilidad institucional | 4 | 23.53 |
| Nueva visión en temas de cuencas hidrográficas | 3 | 17.65 |
| Existe buena voluntad del gobierno en trabajar en temas relacionados con el agua | 3 | 17.65 |
| El cambio climático está dando lugar a la realización de nuevos proyectos enfocados a manejo de cuencas | 2 | 11.76 |
| La importancia del tema ambiental | 1 | 5.88 |
| Total | 17 | 100.00 |

Los resultados precedentes evidencian que las instituciones cuentan con fortalezas y oportunidades para trabajar en temas ambientales, como lo es el manejo, protección y restauración de las franjas ribereñas. Sin embargo, la existencia de limitaciones económicas, la falta de un marco legal adecuado y la poca aplicabilidad de la ley, limitan las actuaciones a nivel de estas áreas.

De acuerdo con el Cuadro 26, puede notarse que la mayoría de las respuestas de los entrevistados (37%) coinciden en que el monitoreo lo realizan a través de los indicadores de impacto descritos en los planes operativos anuales. Asimismo un 26% de las respuestas coinciden en que los mecanismos de monitoreo están basados en investigaciones dirigidas a temas biofísicos de la cuenca, tales como: monitoreo de la cobertura, estados de la biodiversidad, calidad de agua, entre otros. Por último, es importante resaltar que algunas de las instituciones tienen departamentos específicos, comités técnicos y auditorías que se encargan de realizar los monitoreos correspondientes.

Así, las instituciones a través de sus programas de monitoreo evalúan el éxito o fracaso de sus proyectos, lo cual es clave para generar conocimiento y lecciones aprendidas. Este conocimiento y lecciones aprendidas pueden constituirse, a su vez, en elementos clave para el éxito de los proyectos relacionados con las franjas ribereñas.

Cuadro 26. Respuestas de entrevistas relacionadas con los mecanismos de monitoreo para actividades implementadas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|------------|----------------|
| Monitoreo de la ejecución de los planes operativos a través de indicadores de impacto | 7 | 36.84 |
| Monitoreo de proyectos en campo a través de investigaciones dirigidas al análisis de coberturas, estados de la biodiversidad, calidad de gua, entre otros | 5 | 26.32 |
| Revisión a través de un departamento, comités técnicos y Auditorias | 5 | 26.32 |
| Monitoreo a partir de línea base | 2 | 10.53 |
| Total | 19 | 100.00 |

Con respecto a las lecciones aprendidas en la implementación de actividades a nivel de recursos naturales, la mayoría de las respuestas (35%) coincidían en que las mayores lecciones aprendidas se basan en las alianzas con actores clave, lo que a su vez causa grandes impactos en temas ambientales y a nivel de gobernabilidad. Otra de las principales lecciones aprendidas es que la implementación de procesos con los socios y comunidades locales causa mayor impacto, porque se logra empoderamiento y arraigo hacia las actividades ambientales (25% de las respuestas) (Cuadro 27).

Con esto se evidencia que la mejor opción para lograr el éxito de los proyectos a nivel de recursos naturales es la implementación conjunta de actividades con socios y actores clave. Por lo tanto, a través de esta fortaleza puede posibilitarse el éxito de los futuros proyectos enfocados a mejorar las condiciones de las franjas ribereñas.

Respecto a las instituciones que están trabajando con manejo de recursos naturales a nivel de franjas ribereñas, el 33% de las respuestas coinciden en que las instituciones que probablemente están trabajando en esta temática son las Autoridades de Cuencas del MARN, el CONAP y Defensores de la Naturaleza. Asimismo un 27% de las respuestas coinciden en que probablemente el INAB, MAGA y FUNDAECO estén trabajando en este tema (Cuadro 28).

El 56% de los entrevistados afirma que el rol del gobierno en el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales a nivel de franjas ribereñas no ha sido adecuado. Los esfuerzos que se han realizado; han sido aislados, sin impacto, más reactivos que preventivos y que existe desconocimiento de este tema por parte del gobierno (50% de las respuestas) (Cuadro 29).

De acuerdo con los entrevistados, el 37.50% de las respuestas coinciden en que los principales roles que el gobierno debiera ejecutar es la creación de un ente rector de cuencas hidrográficas y que por medio de este, se reforme y se cumpla la normativa legal relacionada con esta temática. Otro de los roles que debería jugar el gobierno es la de ordenarse e integrarse con las demás instituciones y actores, y crear algún tipo de incentivo para la protección de las franjas ribereñas (42% de las respuestas) (Cuadro 30).

Cuadro 27. Respuestas relacionadas con las lecciones aprendidas en el implementación de actividades a nivel de recursos naturales en franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| La complementariedad a través de alianzas con comunidades locales e instituciones claves, pueden causar grandes impactos en temas ambientales y de gobernabilidad | 7 | 35.00 |
| Implementación de procesos con los socios y comunidades locales con base a sus capacidades locales logran empoderamiento y arraigo | 5 | 25.00 |
| La temporalidad de los proyectos hace que no haya funcionalidad y continuidad. | 3 | 15.00 |
| Hay una debilidad en el sistema público, técnico y jurídico con respecto a los recursos naturales | 2 | 10.00 |
| El monitoreo de la calidad del agua es clave para conocer los estados de vida silvestre alrededor de cuerpos de agua | 1 | 5.00 |
| Es urgente la necesidad de parar el deterioro de los recursos naturales y legislar, es más fácil detener, que restaurar | 1 | 5.00 |
| Los proyectos compartidos con otras Instituciones les hace difícil su actuar, porque generalmente cuesta mucho coordinarse y a veces existe mucha irresponsabilidad | 1 | 5.00 |
| Total | 20 | 100.00 |

Cuadro 28. Respuestas relacionadas con las instituciones que trabajan en temas de manejo de recursos naturales a nivel de franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| MARN | 9 | 11.69 |
| CONAP | 8 | 10.39 |
| Defensores de la Naturaleza | 8 | 10.39 |
| INAB | 7 | 9.09 |
| MAGA | 7 | 9.09 |
| FUNDAECO | 7 | 9.09 |
| Autoridades de cuencas | 5 | 6.49 |
| WWF | 3 | 3.90 |
| OCRET | 3 | 3.90 |
| UICN | 2 | 2.60 |
| Asociación de Reservas Naturales Privadas | 2 | 2.60 |
| FUNDARY | 2 | 2.60 |
| Conservación Internacional (TNC) | 2 | 2.60 |
| Agroindustrias | 2 | 2.60 |
| Asorema | 1 | 1.30 |
| Proyecto JADE | 1 | 1.30 |
| CECON | 1 | 1.30 |
| MANCUERNA | 1 | 1.30 |
| Fundación Solar | 1 | 1.30 |
| CADISNA | 1 | 1.30 |
| PROGAL | 1 | 1.30 |
| CODEDE | 1 | 1.30 |
| Elvetas | 1 | 1.30 |
| PARPA | 1 | 1.30 |
| Total | 77 | 100.00 |

Cuadro 29. Respuestas relacionadas con el rol del gobierno en el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales a nivel de franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| Esfuerzos aislados, sin impacto y más reactivos que preventivos | 6 | 30 |
| Desconocimiento del tema | 4 | 20 |
| El gobierno no está cumpliendo con su mandato legal | 3 | 15 |
| No existen estrategias para abordar este tema | 3 | 15 |
| EL PINFOR y las áreas protegidas han ayudado a preservar estas áreas. | 3 | 15 |
| El MAGA a través de la unidad de cuencas y a través de PARPA ha realizado algunos esfuerzos que han ayudado indirectamente a esas áreas | 1 | 5 |
| Total | 20 | 100 |

Cuadro 30. Respuestas relacionadas con el rol que debería jugar el gobierno a través de sus instituciones en el manejo de recursos naturales a nivel de franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| Debería haber un ente rector de cuencas y que por medio de este se cumpla y reforme la normativa legal para que se trabaje en este tema | 9 | 37.50 |
| Ordenarse e integrarse con las demás instituciones y actores para enfrentar estos temas | 5 | 20.83 |
| Creación de algún tipo de incentivo para la protección de estas áreas | 5 | 20.83 |
| Crear entidades fuertes o realizar una reestructuración real y funcional, con fortaleza técnica, con amplio presupuesto y apoyo político. | 2 | 8.33 |
| Realizar análisis costo-beneficio de los impactos negativos que se están causando, para permitir que la sociedad comprenda la temática. | 1 | 4.17 |
| Debe definir áreas de importancia a nivel de cuencas prioritarias y establecer proyectos de restauración en estas áreas. | 1 | 4.17 |
| Debe de empezar ordenando el territorio | 1 | 4.17 |
| Total | 24 | 100.00 |

Con respecto a los obstáculos que impiden que se desarrollen actividades de manejo y conservación en franjas ribereñas, el 39% de las respuestas de los entrevistados se enfocan en que existe falta de información biológica, económica y social relacionada con esta temática. Además la falta de un marco político, legal e institucional, para el manejo y conservación de estas áreas (23% de las respuestas) (Cuadro 31). Por lo tanto, es necesario gestionar proyectos de investigación, proyectos de conservación, restauración y manejo a nivel de recursos naturales en franjas ribereñas.

Cuadro 31. Respuestas relacionadas con los obstáculos que impiden la realización de las actividades de manejo y conservación de las franjas ribereñas

| <i>Respuestas</i> | <i>Frecuencia</i> | <i>Porcentaje (%)</i> |
|--|-------------------|-----------------------|
| Falta de información biológica, económica y social | 12 | 38.71 |
| Falta de un marco legal político legal e institucional adecuado para el manejo y conservación de las franjas ribereñas | 7 | 22.58 |
| Falta programas de prevención y falta de incentivos reales | 3 | 9.68 |
| Falta de presupuestos para inversión en proyectos de conservación y restauración de estas áreas | 2 | 6.45 |
| No hay visión unificada y compartida , no existe integración de esfuerzos con los recursos que ya existen | 2 | 6.45 |
| La conflictividad agraria existente (ríos sirviendo de límites) y la falta de voluntad de propietarios privadas | 2 | 6.45 |
| La impunidad ambiental y la no existencia de una ley de aguas | 1 | 3.23 |
| La no participación de la empresa privada | 1 | 3.23 |
| Falta de capacidad de gestión y falta de negociaciones a nivel ambiental | 1 | 3.23 |
| Total | 31 | 100.00 |

Con respecto a la pregunta 11, sobre cómo se están manejando las franjas ribereñas en Guatemala, el 43% de las respuestas de los entrevistados opina que estas áreas no se están manejando y existe una tendencia hacia la destrucción; otro 14% de los entrevistados afirma que existe un manejo pero muy débil y sin ningún tipo de planificación. Otras consideraciones sobre este tema se presentan en el Cuadro 32. Con esto se evidencia que es necesario realizar acciones de incidencia, educación, investigación y coordinación de acciones a nivel de franjas ribereñas para mejorar sus condiciones y evitar su destrucción.

De acuerdo con los entrevistados, la mayoría de las respuestas hacen alusión a que las principales actividades que están deteriorando los ecosistemas de las franjas ribereñas son la agricultura, la ganadería y los contaminantes provenientes de la industria (Cuadro 33). Por lo tanto, cualquier investigación o proyecto a implementar relacionado con las franjas ribereñas deberá tomar en cuenta a los actores que influyen en estas actividades, con lo cual podrá mejorarse la participación y conciencia de dichos actores hacia las franjas ribereñas.

Con respecto a las leyes, políticas y normativas relacionadas con el manejo y protección de las franjas ribereñas, la gran mayoría de las respuestas coinciden en que las leyes que más se relacionan con esta temática son: la Ley de Reservas Territoriales del Estado

(21%), Ley Forestal (19%), Ley de Áreas Protegidas (12%), La Constitución Política de la República (12%) y el Código de Salud (10%) (Cuadro 34). Estos resultados indican que efectivamente los entrevistados tienen alguna idea sobre algunas de las leyes que se relacionan con las franjas ribereñas en Guatemala, sin embargo, no conocen a detalle, los que las mismas establecen sobre franjas ribereñas.

Cuadro 32. Respuestas relacionadas con las consideraciones de cómo se están manejando las franjas ribereñas en Guatemala

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--|-------------------|-----------------------|
| No se están manejando, es decir hay una tendencia hacia la destrucción | 9 | 42.86 |
| Existe un manejo muy débil | 3 | 14.29 |
| Se hacen algunos esfuerzos a nivel de cuenca pero muchas veces este tema lo dejan aislado, por la misma falta de conocimiento | 2 | 9.52 |
| Existen muchas áreas ribereñas que están siendo conservadas, por la misma cultura de las personas | 2 | 9.52 |
| En Áreas protegidas si ha habido esfuerzos para conservar estas áreas | 2 | 9.52 |
| Hay trabajos en franjas ribereñas con algunas cuencas, pero estos han sido esfuerzos de infraestructura en respuesta a desastres naturales y sin planificación | 1 | 4.76 |
| Solo existe manejo en algunas áreas bajo incentivo del INAB | 1 | 4.76 |
| En áreas bajo sistemas agroforestales si se han mantenido y manejado muchas de estas áreas (café con sombra) | 1 | 4.76 |
| Total | 21 | 100.00 |

Cuadro 33. Respuestas relacionadas con las principales actividades que están deteriorando los ecosistemas ribereños de los ríos en Guatemala

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| Agricultura | 15 | 33.33 |
| Ganadería | 7 | 15.56 |
| Contaminantes provenientes de las Industrias | 6 | 13.33 |
| Urbanizaciones | 4 | 8.89 |
| Dragados de ríos y desarrollo de infraestructura (Muros de contención y presas de piqueo) | 4 | 8.89 |
| Deforestaciones para consumo de leña y maderas | 3 | 6.67 |
| Vías de acceso | 2 | 4.44 |
| Extracción de agua para ganadería | 1 | 2.22 |
| Extracciones de arena (actividades mineras) | 1 | 2.22 |
| Establecimiento de plantaciones forestales exóticas | 1 | 2.22 |
| Desvío de caudales | 1 | 2.22 |
| Total | 45 | 100.00 |

Cuadro 34. Respuestas relacionadas con las Leyes, Políticas y Normativas relacionadas con el manejo y protección de las franjas ribereñas de los ríos en Guatemala

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| Ley de Reservas Territoriales del Estado | 9 | 21.43 |
| Ley Forestal | 8 | 19.05 |
| Ley de Áreas Protegidas | 5 | 11.90 |
| La Constitución Política de la República | 5 | 11.90 |
| Código de Salud | 4 | 9.52 |
| Código Municipal | 2 | 4.76 |
| Política Forestal | 2 | 4.76 |
| Ley de Autoridades de Cuencas | 2 | 4.76 |
| Reglamento de Mangle | 1 | 2.38 |
| Código Civil | 1 | 2.38 |
| Política del SIGAP | 1 | 2.38 |
| Ley de Protección y Mejoramiento del Ambiente | 1 | 2.38 |
| No conoce ninguna | 1 | 2.38 |
| Total | 42 | 100.00 |

Con respecto a la aplicabilidad del marco legal existente, el 56% de los entrevistados opina que no se aplica, asimismo un 31% de los entrevistados afirma que la ley se aplica muy parcialmente (Cuadro 35).

Con esto se demuestra que el tema ambiental no es una prioridad para el gobierno de Guatemala, existe muy poco seguimiento a las denuncias ambientales y las instituciones de gobierno encargadas de este tema cuentan con bajos presupuestos para su funcionamiento. Sin embargo, el gobierno a través del Ministerio Público ya han abierto fiscalías de delitos contra el ambiente, para atender casos relacionados con ilícitos ambientales y mejorar así la aplicabilidad de la ley.

De acuerdo con los entrevistados el 56% de las respuestas coinciden en que no conocen ningún proyecto o actividad específica para estas áreas. Sin embargo, el otro 44% de las respuestas afirman que si existen algunas actividades que indirectamente están apoyando en la conservación y manejo de estas áreas (Cuadro 36). De hecho, muchas de las actividades que realizan las instituciones, se enmarcan dentro de los planes de manejo de cuencas y planes maestros de áreas protegidas, las cuales influyen de manera indirecta en la conservación y manejo de las franjas ribereñas.

Cuadro 35. Respuestas de los entrevistados con relación a la aplicación del marco legal existente sobre franjas ribereñas en Guatemala.

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| No se aplica | 9 | 56.25 |
| Se aplica muy parcialmente | 5 | 31.25 |
| Si se aplica pero su eficiencia es casi nula | 1 | 6.25 |
| En algunas áreas bajo manejo forestal si se aplica la ley, debido a que existe monitoreo por parte del INAB a través de la Ley Forestal | 1 | 6.25 |
| Total | 16 | 100 |

Cuadro 36. Respuestas relacionadas con los proyectos y actividades que se están desarrollando a nivel de franjas ribereñas en Guatemala.

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---|-------------------|-----------------------|
| No conoce ningún proyecto o actividad | 9 | 56.25 |
| Defensores de la Naturaleza desarrolla algunos proyectos de investigación relacionados con calidad de agua, como por ejemplo el Fondo del Agua | 2 | 12.5 |
| La aplicación del normativo de mangle en estos ecosistemas a través del INAB y Reforestación en las riberas del Motagua a través del CODEDE | 1 | 6.25 |
| El Ministerio de comunicaciones realiza algunas actividades de dragados y desarrollo de infraestructura dentro de estas áreas, pero sin planificación | 1 | 6.25 |
| Únicamente las medidas que adopta Defensores de la Naturaleza en el Monte Espinoso, Zacapa | 1 | 6.25 |
| El MAGA a través del proyecto PARPA esta trabajando algo sobre servicios ecosistémicos en algunas cuencas prioritarias | 1 | 6.25 |
| El INAB trabaja a nivel de zonas de recarga hídrica que algunas veces favorecen a las franjas ribereñas | 1 | 6.25 |
| Total | 16 | 100 |

Con respecto a la existencia de una estrategia o programa de educación ambiental relacionado con franjas ribereñas, el 100% de los entrevistados afirma que no conocen ninguna estrategia o programa relacionado con esta temática, sin embargo, si conocen la existencia de programas de educación ambiental a nivel de cuencas y a nivel del ambiente en general. Por lo tanto, es necesario que en este caso el MARN trabaje coordinadamente con el

MINIEDUC (Ministerio de Educación) para que este tema también sea considerado en los programas curriculares a nivel primario y secundario.

Finalmente, con relación a la compensación hacia los propietarios, el 61% de las respuestas concuerdan, en que efectivamente los propietarios podrían dedicar estas áreas para conservación y restauración siempre y cuando se plantee un buen esquema, exista apoyo financiero y gubernamental, así como la articulación correspondiente hacia las cuencas prioritarias (Cuadro 37).

Cuadro 37. Respuestas relacionadas con la funcionalidad de un esquema de compensación de servicios ecosistémicos en franjas ribereñas

| Respuestas | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--|-------------------|-----------------------|
| Sí: siempre y cuando se plantee un buen esquema, se articule en función de cuencas prioritarias, que se parta de experiencias piloto y que exista el apoyo financiero y del gobierno necesario para su funcionamiento | 11 | 61.11 |
| Sí: es un tema complejo porque está ligado a todos los procesos, educación, ambiente, institucional. Habría que analizar todo el marco para ver su posible funcionalidad, como por ejemplo; que sea un incentivo directo o incentivos fiscales | 2 | 11.11 |
| Sí: principalmente en cuencas altas y demostrando a la gente el beneficio en términos económicos ambientales. | 2 | 11.11 |
| Sería ideal tener un incentivo específico como por ejemplo PINFOR específico para estas áreas, que en los existentes se pagara más para estas áreas en particular | 2 | 11.11 |
| Sí: porque el consumidor se mueve a través de las señales del mercado, por lo que si se le compensa económicamente por su intervención en dichas zonas sería viable | 1 | 5.56 |
| Total | 18 | 100.00 |

A pesar de la amplia gama de leyes, políticas, normativos y reglamentos existentes que se relacionan con franjas ribereñas en Guatemala, existe poco conocimiento en materia legal respecto a estas áreas. Esto se vislumbra al relacionar lo descrito en el marco político, legal e institucional con lo puntualizado en las respuestas descritas en el Cuadro 34, donde la mayoría de las respuestas se concentraron en la mención de la Ley Forestal, Ley de Áreas Protegidas, La Constitución Política de la República y el Código de Salud. Esta situación de

desconocimiento, está dando lugar a que no exista cumplimiento del marco legal, lo cual se confirma con las respuestas descritas en el Cuadro 35, donde el 56% de los entrevistados afirma que no existe cumplimiento del marco legal.

De acuerdo con el marco legal, político e institucional consignado, queda determinado que el marco legal y los distintos instrumentos generados por las instituciones, influyen de manera positiva en el manejo y conservación de los recursos naturales, mejorando también la aplicabilidad del marco legal.

Cuando se trata de procesos legales relacionados con los aprovechamientos de recursos naturales en franjas ribereñas, se vislumbra todo un conflicto de aplicación de estas leyes, normativos y reglamentos, en los cuales deberá ser la Corte de Constitucionalidad quien defina lo procedente. Asimismo, la falta de una ley de cuencas hidrográficas, de institucionalidad y de una ley de aguas, permite que el desorden se extienda aún más, generando con esto ingobernabilidad a nivel de aprovechamiento y manejo de los recursos naturales existentes en las franjas ribereñas.

4.2 Conocer la percepción de las comunidades Q'eqchi con relación a la importancia de las franjas ribereñas y sobre la toma de decisiones para el desarrollo de actividades

Los resultados sobre este tema provienen de la realización de dos talleres realizados en la comunidad de San Antonio I y Santo Domingo III, en los cuales participaron 45 representantes de seis comunidades asentadas en la microcuenca del río Toila (San Francisco I, II y III, San Francisco Seyau, San Antonio I y Santo Domingo III) (Figuras 21 y 22).

4.2.1 Percepción de las comunidades q'echi' sobre la importancia de las franjas ribereñas

De acuerdo con la Figura 16 puede observarse que para las comunidades **q'echi'** estas áreas proporcionan servicios ambientales muy importantes, tales como: protección de los cuerpos de agua, evitan los derrumbes y la erosión de las orillas, son fuente de alimento en épocas de escases, protegen para que no se desborden los ríos, funcionan como filtros contra la erosión y la contaminación y por último sirven de refugios y protección de la fauna silvestre.

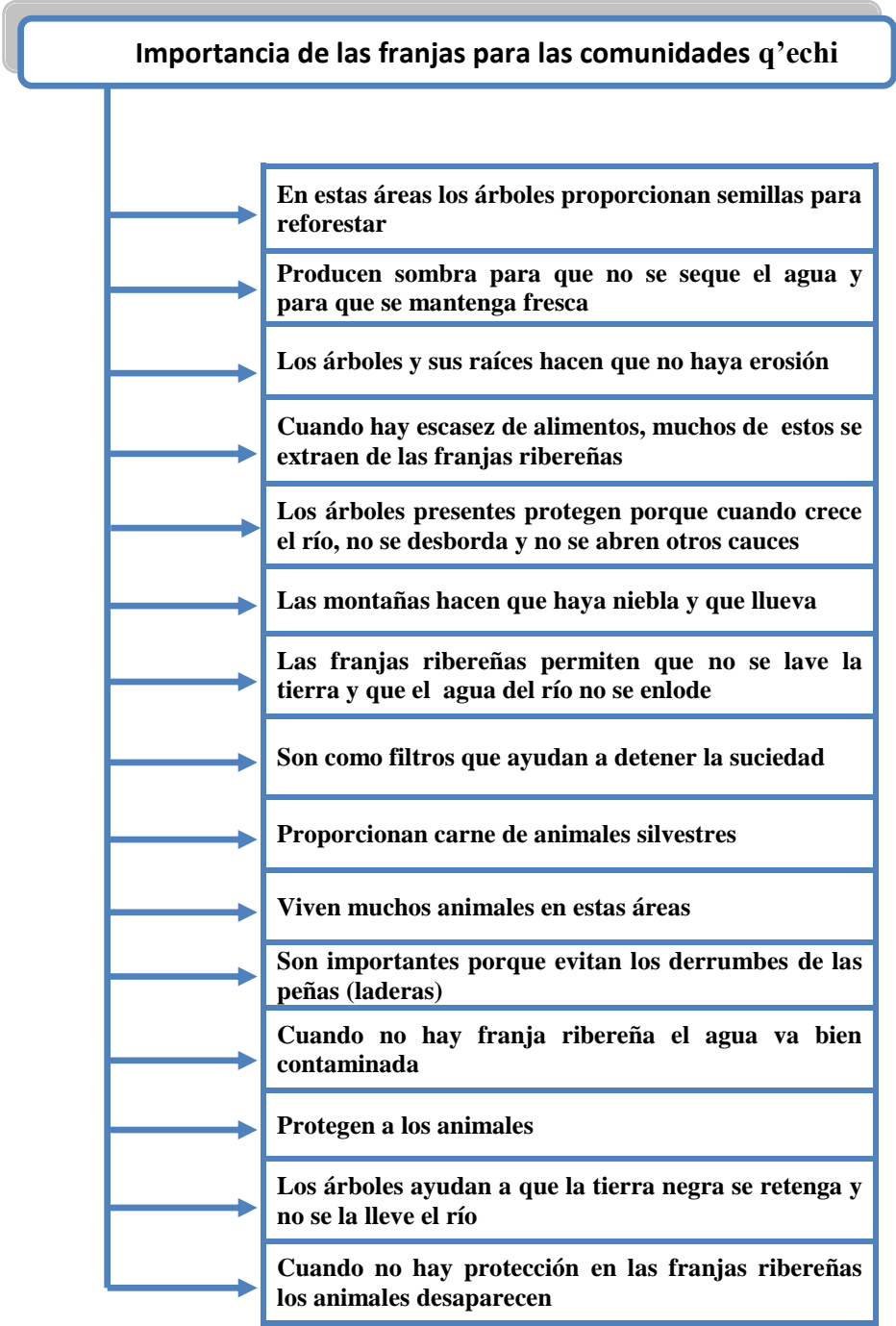


Figura 16. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi' con respecto a las funciones de las franjas ribereñas

Además de los servicios ambientales, estas áreas proporcionan a las comunidades servicios económicos y sociales tales como los productos forestales maderables y no maderables.

De acuerdo con esto, se puede constatar que las comunidades tienen los conocimientos básicos sobre las funciones de las franjas ribereñas y los servicios generados a través de estos ecosistemas. Esta coincide con lo descrito por algunos autores, tales como: Lovett y Price (1999), Eichner (2002), Granados et ál. (2006), Ballard et ál. (2004), Garrent (2005) y Lovett y Price (2001). Por último, es importante resaltar la importancia que estas comunidades dan a estas áreas al servir de protección para los cuerpos de agua.

4.2.2 Percepción de las comunidades q'echi' acerca de los productos que se extraen de las franjas ribereñas

Con base a la Figura 17 puede confirmarse que las franjas ribereñas efectivamente desempeñan una función social y económica para las comunidades, al proporcionarles una serie de productos que les sirve como complemento de la dieta alimenticia, así como materiales para la elaboración de casas de habitación. Es importante hacer notar que la madera que se aprovecha de estas áreas, es utilizada únicamente para la construcción de sus viviendas y no para fines comerciales. Lo mismo ocurre para el resto de productos, que son utilizados exclusivamente para alimentación y para la elaboración de adornos en fiestas comunales. Esta situación se ve favorecida por la misma cultura de las comunidades y por formar parte del área protegida Sierra de las Minas.

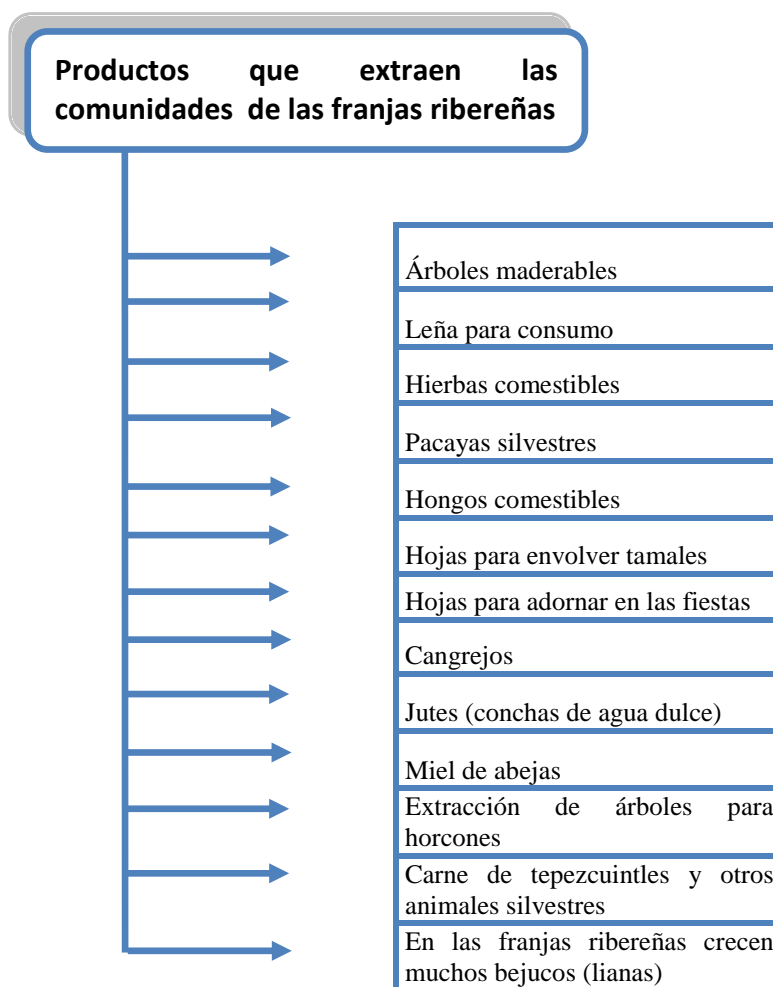


Figura 17. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi' con respecto a los productos que extraen de las franjas ribereñas

4.2.3 Percepción de las comunidades q'echi', respecto a los suelos de las franjas ribereñas

En la Figura 18 puede observarse que de acuerdo a las comunidades, los suelos de estas áreas son muy húmedos y con abundante materia orgánica, es decir que se trata de suelos fértiles. Es por esta razón que las comunidades tienen ciertas preferencias para el establecimiento de algunos cultivos, tales como el café, el cardamomo y el banano, de los cuales obtienen mayores rendimientos en estas áreas, lo que coincide con los mencionado por algunos autores como Louman et ál. (2001), Granados et ál. (2006), Lovett y Price (2001). Sin embargo, para algunos productores estos suelos son pedregosos y arenosos; esta percepción se da de acuerdo a la ubicación de la comunidad en la microcuenca, ya que en algunas áreas,

principalmente en las franjas ribereñas del cauce principal de la parte media y alta, los suelos tienden a ser pedregosos, con poca profundidad, alta pendiente y en algunas áreas con presencia de arenas gruesas, lo cual tiene que ver con los procesos naturales de deposición de partículas del río.

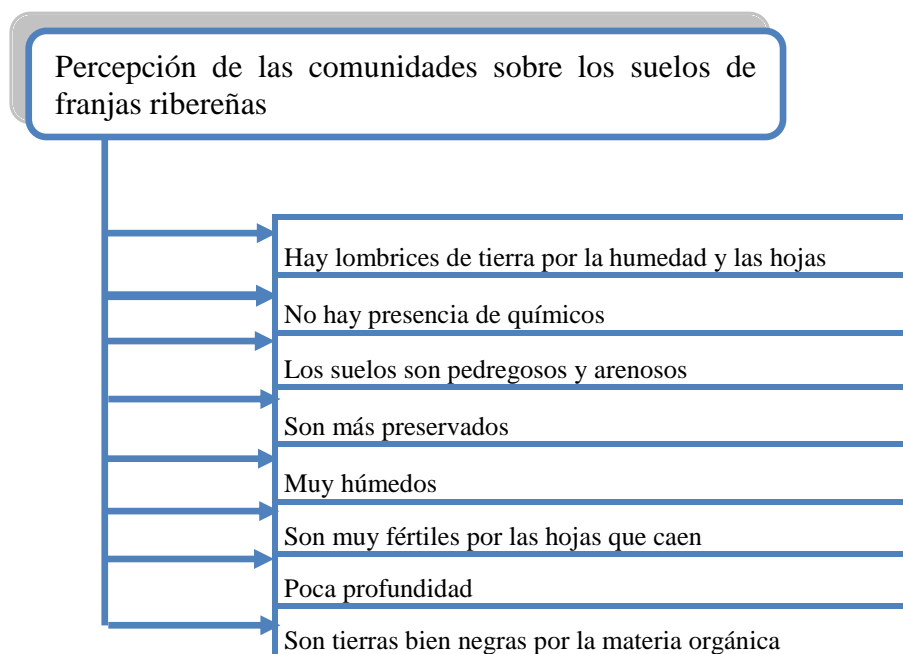


Figura 18. Elementos resaltados sobre la percepción de las comunidades q'echi con respecto a las suelos de las franjas ribereñas

4.2.4 Percepción de las comunidades q'echi' respecto al efecto de las franjas ribereñas sobre los cultivos

Las comunidades cultivan en estas áreas maíz, frijol, café, cardamomo, chile, cacao y banano. Sin embargo, de acuerdo con lo descrito en el Cuadro 38, para las comunidades, las franjas ribereñas producen efectos negativos y positivos sobre los cultivos y este efecto depende del tipo de cultivo. Para el caso del café, el cardamomo y el banano, estas áreas producen efectos positivos porque se trata de áreas fértiles y húmedas que ayudan a que haya mayor rendimiento en estos cultivos. Esto concuerda con lo descrito por algunos autores, tales como: Louman et ál. (2001), Granados et ál. (2006) y Lovett y Price (2001).

Por el contrario, para cultivos como el maíz, el frijol y el chile es perjudicial la presencia de las franjas ribereñas, ya que de acuerdo con las comunidades, estos cultivos se

ven afectados por la presencia de conejos, ardillas, mapaches, taltuzas, tacuacines, tepezcuintles y cotuzas que se esconden en estas áreas, lo cual concuerda con lo descrito por Arcos (2005), sobre la percepción comunitaria en la microcuenca del río Sesesmiles en Copán Honduras. Así mismo consideran que estos cultivos son afectados por algunas plagas como la gallina ciega, el barrenador y el picudo del cardamomo.

Cuadro 38. Elementos resaltados de las comunidades q'ech'i, respecto a los efectos de las franjas ribereñas sobre los cultivos

| <i>Efectos negativos</i> | <i>Efectos positivos</i> |
|--|--|
| La gallina ciega y el barrenador afectan en estas áreas | La humedad ayuda a que haya mayor producción en algunos cultivos |
| Los mapaches afectan el cultivo del maíz | |
| Los tacuacines se comen los bananos | |
| Cuando hay elotes, afectan los tepezcuintles y la cotuza | |
| Las ardillas se comen la milpa y los conejos comen frijol | Es más húmedo, mayor crecimiento y mayor rendimiento |
| Las taltuzas se comen la milpa | |
| La sombra afecta el cultivo porque entra el picudo del cardamomo | |
| Los animales que afectan los cultivos se esconden en estas áreas | |

4.2.5 Percepción de las comunidades q'echi', respecto a la fauna en las franjas ribereñas

De acuerdo con el Cuadro 39 las comunidades reportan que el grupo de animales que más se observan son los mamíferos pequeños, seguido por los reptiles y aves. Muchas de las personas en los talleres afirmaron que las franjas ribereñas son peligrosas porque hay muchos animales peligrosos en estas áreas, tales como la serpiente barba amarilla (*Bothrops asper*) y mano de piedra (*Atropoides nummifer*), que de acuerdo a su percepción están asociadas a la vegetación ribereña y son peligrosas para sus familias.

Estos datos refuerzan el conocimiento existente sobre la relación entre la presencia de la fauna silvestre y las franjas ribereñas, constituyéndose estas últimas en importantes zonas de refugio y corredores de vida silvestre, como lo indican varios autores (Lovett y Price 1999, Eichner 2002, Granados et ál. 2006, Ballard et ál. 2004, Garrent 2005, Lovett y Price 2001).

Cuadro 39. Animales presentes en las franjas ribereñas, de acuerdo con la percepción de las comunidades q'echi'

| Animales silvestres presentes en estas áreas | |
|---|--|
| Mamíferos | Reptiles |
| Cabrero (<i>Mazama americana</i>) | Barba amarilla (<i>Bothrops asper</i>) |
| Ardillas (<i>Sciurus sp.</i>) | Mano Piedra (<i>Atropoides nummifer</i>) |
| Armadillos (<i>Dasyopus novemcinctus</i>) | Cantiles (<i>Bothrops sp.</i>) |
| Coche de monte (<i>Dicotyles tajacu</i>) | Mazacuatas (<i>Boa constrictor</i>) |
| Cotuzas (<i>Dasyprocta punctata</i>) | Lagartijas |
| Mapache (<i>Procyon lotor</i>) | Aves |
| Micoleón (<i>Potos flavus</i>) | Perica (<i>Aratinga sp.</i>) |
| Pizotes (<i>Nasua narica</i>) | Tucán (<i>Ramphastus sulfuratus</i>) |
| Tepezcuintle (<i>Agouti paca</i>) | |
| Zorrillos | |
| Gato de monte | |
| Tacuazines | |
| Conejos (<i>Sylvilagus sp</i>) | |
| Cotuzas | |

4.2.6 Percepción de las comunidades q'echi' respecto al ancho óptimo de las franjas ribereñas

Con el objeto de conocer la percepción sobre el ancho óptimo de las franjas ribereñas para la protección del río, las comunidades manifestaron que en áreas de pendiente fuerte, se deberían dejar 60 m y 30 m para áreas de pendiente más bajas en donde si es posible cultivar. Para este caso las comunidades señalan que el factor determinante del ancho óptimo es la pendiente, es decir, que a mayor pendiente, mayor ancho de la franja ribereña, mencionando además que estas áreas no debieran usarse para cultivos, si no dejar el bosque natural existente y dejar que se recuperen las áreas degradadas para que ayuden a proteger el agua del río.

De acuerdo con esto se puede constatar que el conocimiento de las comunidades se relaciona con lo descrito por McNaught et ál. (2003) quien explica que para una franja ribereña cuyo propósito sea prevenir la sedimentación; el ancho de dicha franja aumenta conforme aumenta la pendiente y conforme al grado de erosión del suelo, es decir, a mayor pendiente y a mayor vulnerabilidad de erosión en el suelo, mayor debe ser el ancho de dicha franja para disminuir la sedimentación.

Aunque las comunidades perciben la importancia ambiental y socioeconómica que tienen las franjas ribereñas, puede observarse que existen conflictos para su protección, porque los productores necesitan extender cada vez más sus cultivos hacia los suelos de estas áreas. En la mayoría de los casos puede observarse que cuando la pendiente no es muy alta, las comunidades utilizan estas tierras como áreas de cultivo (Figura 19)



Figura 19. Áreas de franja ribereñas utilizadas para cultivo de maíz

4.3 Comparación de las características edáficas y vegetales en bosques de franja ribereña y aledaños

4.3.1 Comparación entre suelos de bosques ribereños y bosques adyacentes

Se tomaron 12 muestras de suelos en áreas de bosques ribereños y otras 12 en áreas de bosques adyacentes, para comparar la fertilidad de los mismos, así como determinar las diferencias y similitudes entre ellos, con respecto a su ubicación en la microcuenca (Figura 8).

Se realizó un análisis de conglomerado por el método de Ward, mediante el cual se obtuvieron 3 grupos claramente diferenciados (Figura 20), a los cuales se denominó como grupos: ribereño, intermedio y adyacente.

De acuerdo con esta agrupación puede observarse que efectivamente existen diferencias entre los suelos de áreas de bosques ribereños y los suelos de áreas de bosques

adyacentes a excepción del grupo intermedio que presentó similitudes con respecto a los parámetros físicos-químicos evaluados (Anexo 5). Este resultado está explicado con base a la posición geográfica entre las parcelas, encontrándose áreas transicionales entre áreas de bosques ribereños y adyacentes con base a las características de fertilidad de los suelos.

Teniendo en cuenta la conformación de los grupos mediante el análisis de conglomerados, se realizó la comparación entre los parámetros físicos-químicos de los suelos de áreas de bosque adyacentes con los bosques ribereños. Se encontraron diferencias en el Ca ($p = 0.0019$), Cu ($p = 0.0254$), Zn ($p < 0.0001$), Mn ($p = 0.0012$), pH ($p = 0.0227$), P ($p = 0.0049$) y Mg ($p = 0.0020$) (Cuadro 40). Asimismo no se encontraron diferencias para el Fe ($p = 0.5941$), el K ($p = 0.2340$), el porcentaje de arcilla ($p = 0.1447$), el porcentaje de limo ($p = 0.6022$) y el porcentaje de arena ($p = 0.795$).

De acuerdo a los valores encontrados para el Ca, Cu, Zn, Mn, pH, P y Mg se deduce que los suelos de las áreas de bosque ribereño **efectivamente poseen niveles más altos de fertilidad en comparación con los suelos de áreas de bosque adyacente**. Esto concuerda con lo descrito por autores como: Louman et ál. (2001), Granados et ál. (2006) y Lovett y Price (2001) quienes afirman que los suelos de áreas de bosque ribereño poseen niveles de fertilidad más altos que los suelos de bosques ribereños, lo cual se da debido a que en estas áreas se dan procesos de deposición de partículas arrastradas como producto de la erosión de áreas adyacente, haciendo de estas áreas sean excepcionalmente fértiles y productivas, constituyéndose así, en áreas atractivas para los agricultores, las cuales influyen en la composición y estructura de los diferentes tipos de bosque.

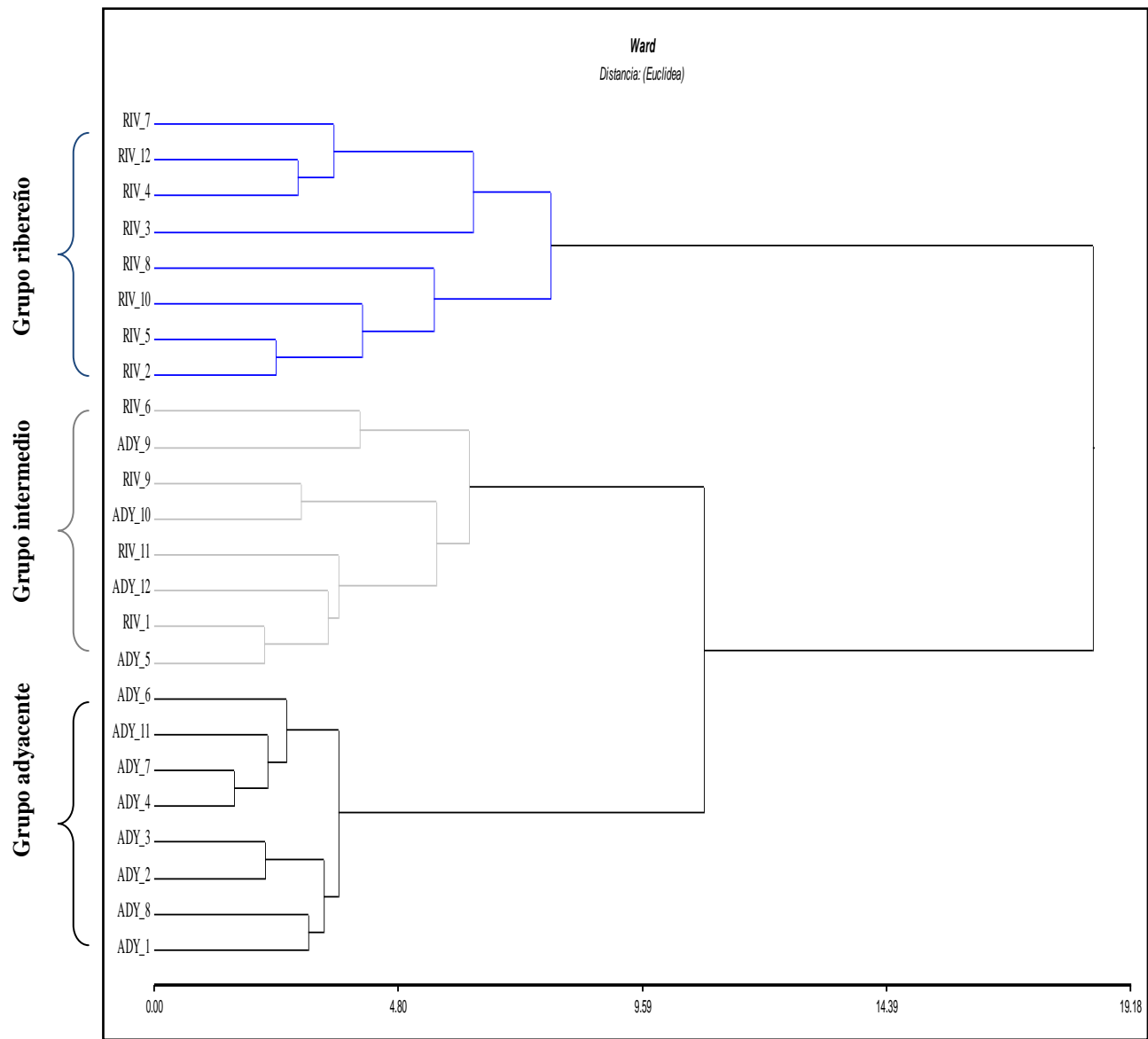


Figura 20. Grupos de suelos conformados mediante análisis de conglomerados entre los sitios de muestreo y los parámetros físico-químicos evaluados

Cuadro 40. Medias y análisis de varianzas entre los parámetros físicos-químicos de suelos de áreas de bosque ribereño con los suelos de áreas de bosques adyacentes

| Parámetro evaluado | Bosque ribereño | Bosque adyacente | p-valor |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| <u>Arcilla (%)</u> | 12.67 | 14.36 | 0.1447 |
| <u>Arena (%)</u> | 66.75 | 67.46 | 0.7975 |
| <u>Ca (Meq/100 gr)</u> | 1.9 | 0.78 | 0.0019 |
| <u>Cu (ppm)</u> | 0.48 | 0.23 | 0.0254 |
| <u>Fe (ppm)</u> | 15.13 | 18.71 | 0.5941 |
| <u>K (ppm)</u> | 67.5 | 54.5 | 0.234 |
| <u>Limo (%)</u> | 18.9 | 18.17 | 0.6022 |
| <u>Mg (Meq/100 gr)</u> | 0.55 | 0.28 | 0.002 |
| <u>Mn (ppm)</u> | 18.42 | 4.76 | 0.0012 |
| <u>P (ppm)</u> | 10.03 | 5.15 | 0.0049 |
| <u>pH</u> | 4.44 | 4 | 0.0227 |
| <u>Zn (ppm)</u> | 1.88 | 0.63 | <0.0001 |

Sin embargo la mayoría de los parámetros evaluados, a excepción del P y el Fe, se encuentran en niveles muy bajos (Anexo 6), lo cual puede explicarse por el tipo de relieve existente en los sitios de muestreo o por el tipo de valle que de acuerdo con lo descrito por González et ál. (2006), esta área corresponde a un valle Tipo 1-A, es decir un valle estrecho, en V, de origen fluvial, con inclinación de las laderas vertientes igual o superior a 45°, cauces generalmente pequeños, sinuosidad elevada y relacionada a la sinuosidad del valle, materiales del lecho del río procedente de las laderas, escasa redistribución fluvial, formación de cascadas, escalones o rápidos continuos, y orillas generalmente estables, a menudo con controles rocosos y cubiertas con vegetación.

Por último, se realizó un análisis de componentes principales para ver cómo se correlacionan los parámetros evaluados y cómo estos se relacionan con los puntos de muestreo. Con base a la Figura 21 y el Cuadro 41 puede observarse que existe una correlación positiva entre el pH y los parámetros Ca, Mg y Zn; entre el P y Cu; el K con el Ca y el Mg; el Ca con el Mg y el Zn; el Mg con el Zn y el Mn; el Zn con el Mn; la arcilla con el porcentaje de limo y arena; el porcentaje de limo con el porcentaje de arena y el Cu se correlaciona negativamente con el porcentaje de arcilla.

Cuadro 41. Matriz de correlaciones y de probabilidades para los parámetros físicos-químicos evaluados.

| | pH | P (ppm) | K (ppm) | Ca (Meq/100 gr) | Mg (Meq/100 gr) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Arcilla (%) | Limo (%) | Arena (%) |
|-----------------|----------|----------|----------|-----------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|-------------|----------|-----------|
| pH | 1 | 0.2093 | 0.0559 | <0.0001 | 0.0052 | 0.305 | 0.0197 | 0.3147 | 0.1187 | 0.6205 | 0.4739 | 0.706 |
| P (ppm) | 0.27 | 1 | 0.1442 | 0.1308 | 0.1796 | 0.0384 | 0.0678 | 0.5698 | 0.3531 | 0.0897 | 0.3822 | 0.7237 |
| K (ppm) | 0.4 | 0.31 | 1 | 0.0015 | 0.0006 | 0.7869 | 0.2226 | 0.518 | 0.2281 | 0.1902 | 0.416 | 0.6051 |
| Ca (Meq/100 gr) | 0.74 | 0.32 | 0.61 | 1 | <0.0001 | 0.3844 | 0.0008 | 0.8148 | 0.0616 | 0.0884 | 0.5888 | 0.507 |
| Mg (Meq/100 gr) | 0.55 | 0.28 | 0.65 | 0.77 | 1 | 0.2438 | 0.0089 | 0.7432 | 0.0004 | 0.0889 | 0.6363 | 0.3388 |
| Cu (ppm) | 0.22 | 0.42 | 0.06 | 0.19 | 0.25 | 1 | 0.4045 | 0.8578 | 0.1651 | 0.0155 | 0.9543 | 0.12 |
| Zn (ppm) | 0.47 | 0.38 | 0.26 | 0.64 | 0.52 | 0.18 | 1 | 0.701 | 0.0003 | 0.2805 | 0.995 | 0.4714 |
| Fe (ppm) | -0.21 | -0.12 | -0.14 | 0.05 | -0.07 | 0.04 | 0.08 | 1 | 0.6206 | 0.6598 | 0.136 | 0.3821 |
| Mn (ppm) | 0.33 | 0.2 | 0.26 | 0.39 | 0.66 | 0.29 | 0.68 | -0.11 | 1 | 0.2558 | 0.3149 | 0.7985 |
| Arcilla (%) | -0.11 | -0.35 | -0.28 | -0.36 | -0.35 | -0.49 | -0.23 | -0.09 | -0.24 | 1 | 0.0446 | 0.001 |
| Limo (%) | 0.15 | -0.19 | -0.17 | -0.12 | -0.1 | 0.01 | 1.30E-03 | -0.31 | 0.21 | 0.41 | 1 | 0.0002 |
| Arena (%) | -0.08 | -0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.2 | 0.33 | -0.15 | 0.19 | -0.06 | -0.63 | -0.68 | 1 |

Valores arriba de la diagonal principal indican los valores de probabilidad con una significancia del 0.05
 Valores debajo de la diagonal indican los valores de R de las correlaciones

Por último es importante notar que los valores altos de pH, Mn, Zn, Ca, K, P, Mg y Cu se encuentran más asociados a los suelos de áreas de bosque ribereño, mientras que los suelos de áreas de bosque adyacente se encuentran más asociados con el porcentaje de arena, con el Fe y con el porcentaje de arcilla.

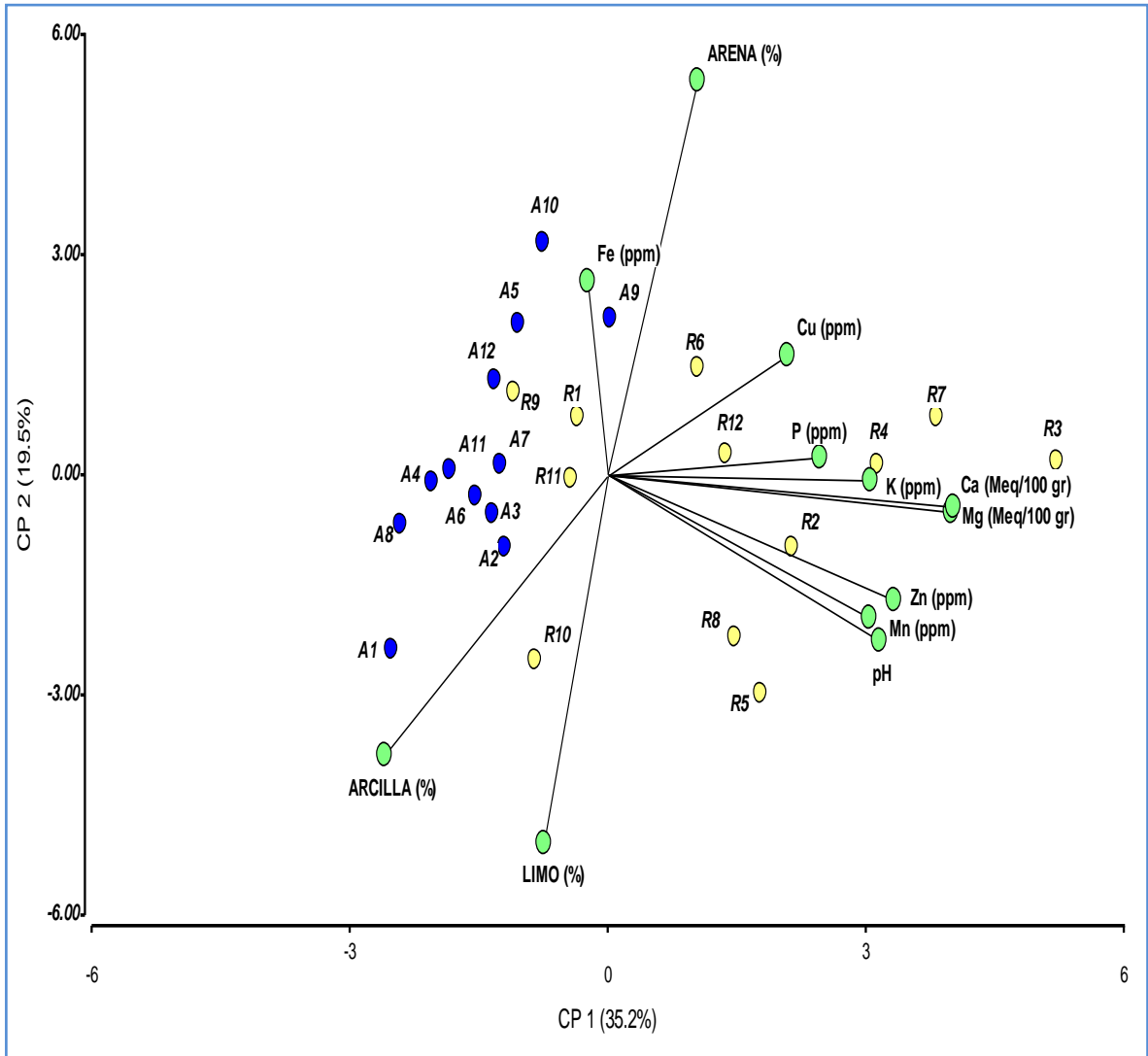


Figura 21. Análisis de componentes principales de los sitios de muestreo con respecto a los parámetros físicos-químicos evaluados

4.3.2 Comparación entre las características vegetales de bosque de franja ribereña y bosques adyacentes

La comparación de las características vegetales entre los bosques ribereños y adyacentes en la microcuenca del río Toila se realizó entre los límites de la zona de usos múltiples y zona núcleo del Área Protegida Sierra de las Minas, correspondiente a la parte alta de dicha microcuenca. Estos bosques presentan muy pocas intervenciones humanas y para el caso de las parcelas de muestreo localizadas en zona de usos múltiples se tomó en cuenta el efecto de borde (60 m).

En estas áreas predomina el bosque natural latifoliado con alturas que varían entre los 950 a 1,350 msnm. El tipo de relieve predominante se relaciona con el tipo de valle 1-A descrito por González et ál. (2006), es decir un tipo de valle estrecho, con cauces generalmente pequeños, sinuosidad elevada y relacionada a la sinuosidad del valle, materiales del lecho del río procedente de las laderas, escasa redistribución fluvial, formación de cascadas, escalones o rápidos continuos y orillas generalmente estables, a menudo con controles rocosos y cubiertas con vegetación.

4.3.2.1 Clasificación y caracterización de los tipos de bosque

Análisis de especies que diferencian a los tipos de bosque

a) Índice de valor de importancia ecológica

Se determinó el índice de valor de importancia ecológica IVI para las especies encontradas en los bosques adyacentes y bosques ribereños. De acuerdo con Lamprecht (1990) este es calculado para cada especie, a partir de la suma de abundancia relativa + frecuencia relativa + dominancia relativa. Con este índice es posible comparar el peso ecológico de cada especie dentro de tipo de bosque correspondiente. En el Cuadro 42 y Figura 22 puede constatar que las cinco especies con mayor peso de importancia ecológica (IVI) para el caso de los bosques ribereños son el kantulté (12%), el guarumo (*Cecropia peltata L.*)(8%), el raxché (7%), el xoot (5%) y el Encino (*Quercus spp*) (4.4%).

Cuadro 42. Índices de valor de importancia (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques ribereños

| Especie | Tipo de bosque | IVI | IVI (%) |
|--|----------------|-------|---------|
| Kantulté | Ribereño | 35.06 | 11.69 |
| Guarumo (<i>Cecropia peltata</i> L.) | Ribereño | 24.96 | 8.32 |
| Raxché | Ribereño | 19.82 | 6.61 |
| Xoot | Ribereño | 15.81 | 5.27 |
| Encino (<i>Quercus spp</i>) | Ribereño | 13.20 | 4.4 |
| Cacao de montaña | Ribereño | 12.85 | 4.28 |
| Cuje de café | Ribereño | 12.15 | 4.05 |
| Quic ché | Ribereño | 11.69 | 3.9 |
| Quich | Ribereño | 11.54 | 3.85 |
| Cuje de montaña | Ribereño | 10.85 | 3.62 |
| Kantulté | Adyacente | 37.49 | 12.5 |
| Chakalté | Adyacente | 22.88 | 7.63 |
| Quic ché | Adyacente | 22.17 | 7.39 |
| Wachíl (<i>Dialium guianense</i>) | Adyacente | 11.25 | 3.75 |
| San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>) | Adyacente | 10.27 | 3.42 |
| Köh (<i>Liquidambar styraciflua</i>) | Adyacente | 8.62 | 2.87 |
| Sajché (<i>Cybistax donnell-smithii</i>) | Adyacente | 8.33 | 2.78 |
| Guarumo (<i>Cecropia peltata</i> L.) | Adyacente | 6.41 | 2.14 |
| Sakiché | Adyacente | 6.35 | 2.12 |
| Desconocida (1) | Adyacente | 6.34 | 2.11 |

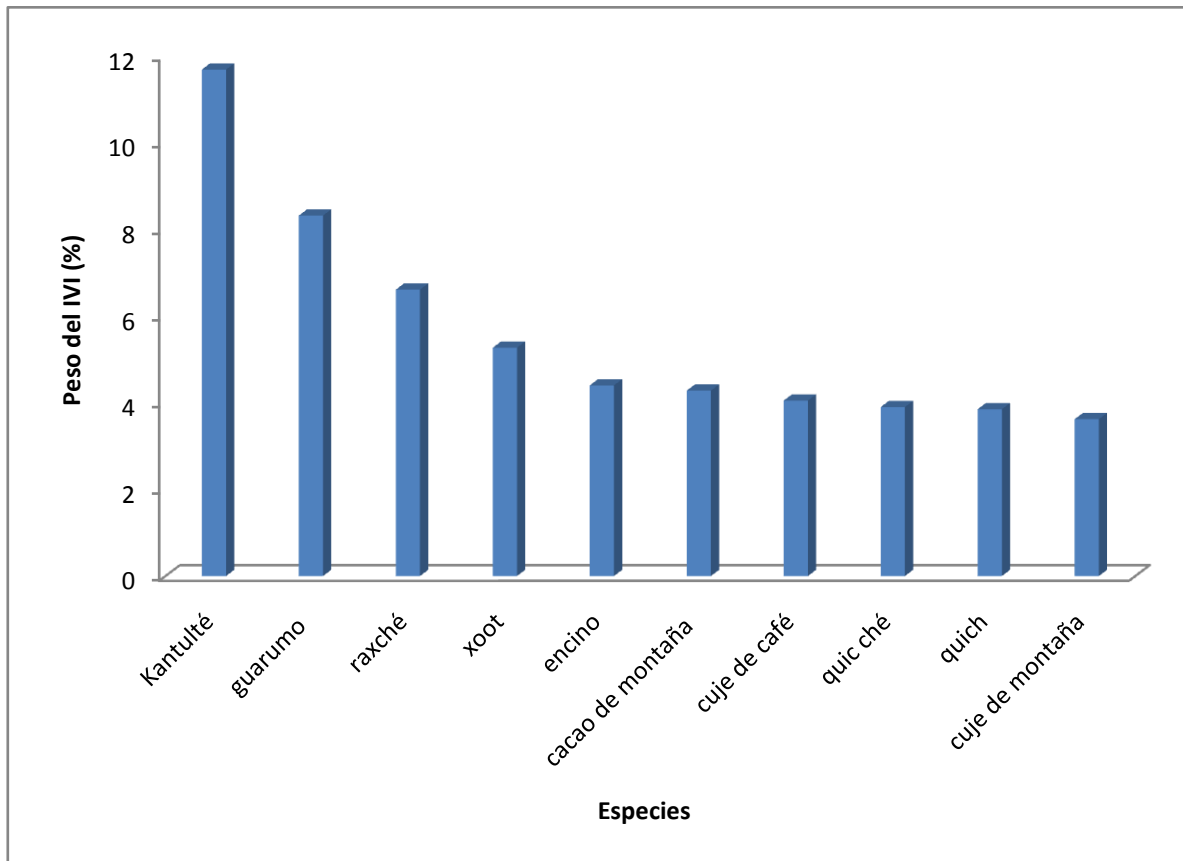


Figura 22. Índices de valor de importancia (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques ribereños

Para los bosques adyacentes, el kantulté fue nuevamente la especie con mayor peso de importancia ecológica (13%) para los bosques adyacentes (Cuadro 42 y Figura 23). Esta especie se encuentra asociada con el chakalté (8%), el Quicché (7%), el wachíl (*Dialium guianense*) (4%) y el San Juan (*Vochysia guatemalensis*) (3%).

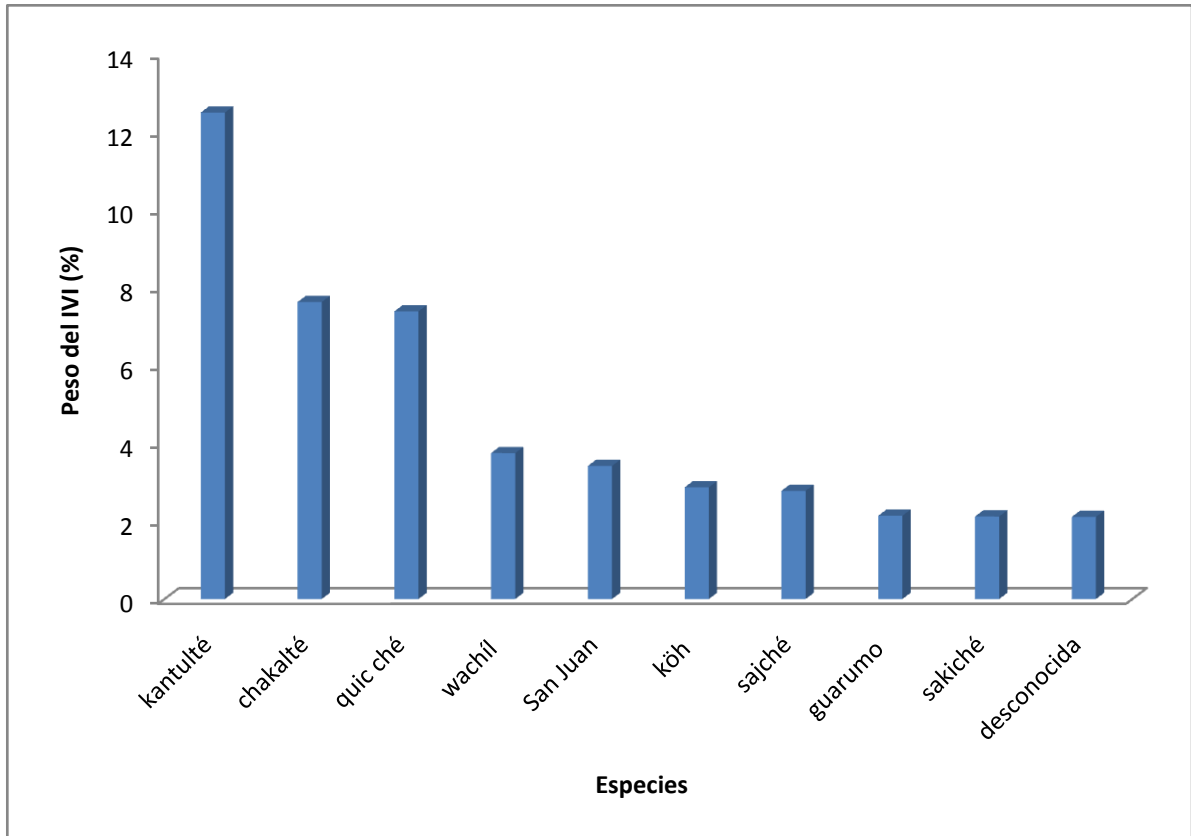


Figura 23. Índices de valor de importancia ecológica (IVI) de las 10 especies con mayor peso presentes en los bosques adyacentes

El kantulté es la especie con mayor peso ecológico (IVI) para los dos tipos de bosque (Cuadro 42, Figura 22 y 26), sin embargo, a pesar de que posee un mayor peso (13%) para los bosque adyacentes, esta especie es más abundante en las áreas ribereñas (810 individuos/ha) en comparación con los bosque adyacentes (720 individuos/ha).

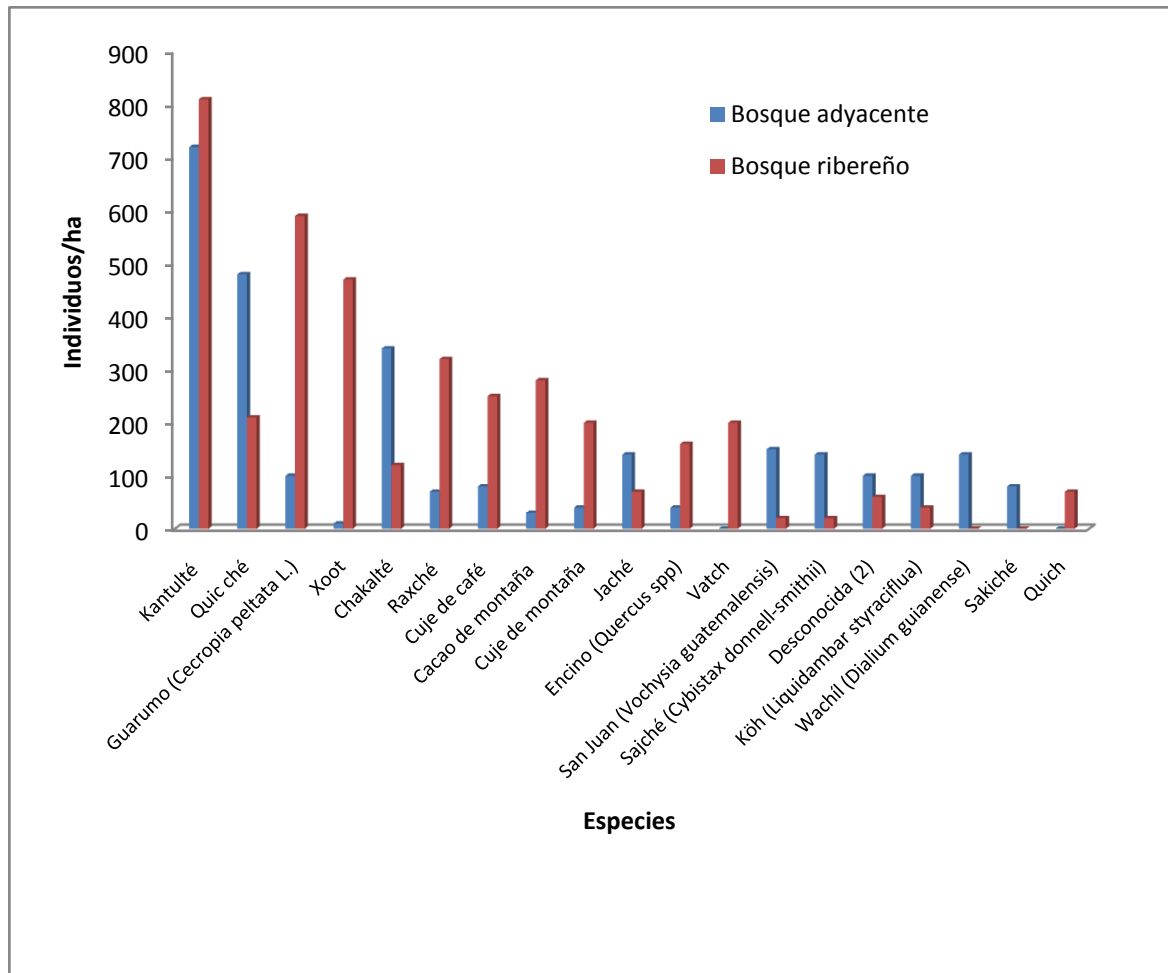


Figura 24. Densidades de las diez especies con mayor peso ecológico (IVI) para bosques ribereños y adyacentes

En la Figura 24 puede constatar que a excepción del kantulté, todas las especies de alto valor ecológico para el bosque ribereño muestran una diferencia marcada respecto a su densidad en comparación con las áreas de bosque adyacente, lo cual se explica por las condiciones microclimáticas del sitio y por la fertilidad existente en estas áreas.

b) Análisis de especies indicadoras

El análisis de especies indicadoras se realizó con base al dendrograma generado a partir de los datos de IVIs para ambos tipos de bosque. De acuerdo con la prueba de Monte Carlo se encontraron ocho especies con valor indicador estadísticamente significativo ($p < 0.05$) para el bosque ribereño y seis para el bosque adyacente. En el Cuadro 43 se presentan los resultados de la prueba Monte Carlo para el valor indicador máximo observado para cada especie entre los bosques ribereños (2) y adyacentes (1), que resultaron del análisis de conglomerados realizado con datos de vegetación de 24 parcelas de 0.10 ha en la microcuenca

del río Toila para árboles > 10 cm dap. Sólo se incluyeron las especies con un valor de $p < 0.05$

Cuadro 43. Resultados de la prueba de Montecarlo para el valor indicador máximo para cada especie en bosques ribereños y adyacentes

| Especie | Grupo | Valor indicador observado | Media | Desviación estándar | $p < 0.05$ |
|--|-------|---------------------------|-------|---------------------|------------|
| Cacao de montaña | 2 | 74.9 | 37 | 7.98 | 0.001 |
| Cheer | 1 | 40.4 | 23.6 | 7.89 | 0.03 |
| Cuje de montaña | 2 | 69.5 | 33.1 | 8.25 | 0.002 |
| Chakalté | 1 | 63.5 | 34.8 | 8.24 | 0.005 |
| Sakiché | 1 | 38.5 | 19.7 | 7.68 | 0.045 |
| Suj | 2 | 45.5 | 19.3 | 7.2 | 0.012 |
| Guarumo (<i>Cecropia peltata</i> L.) | 2 | 74 | 40.6 | 9 | 0.004 |
| Köh (<i>Liquidambar styraciflua</i>) | 1 | 68.5 | 34.8 | 8.17 | 0.004 |
| Raxché | 2 | 73.2 | 38.6 | 7.8 | 0.001 |
| San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>) | 1 | 69.2 | 28.8 | 8.32 | 0.003 |
| Tzimpté | 2 | 36.4 | 16.4 | 7.15 | 0.04 |
| Vatch | 2 | 54.5 | 21.5 | 7.68 | 0.008 |
| Wachíl (<i>Dialium guianense</i>) | 1 | 38.5 | 19.3 | 7.32 | 0.04 |
| Xoot | 2 | 69.8 | 28.4 | 8.17 | 0.001 |

Al comparar las especies indicadoras determinadas mediante la prueba de Montecarlo con las cinco especies de mayor índice de importancia ecológica (IVI), se constató que aunque las especies kantulté y el *Quercus spp* son especies de alto valor de importancia ecológica para el bosque ribereño, no forman parte de su grupo de especies indicadoras. Para el caso del bosque adyacente, se constató que las especies kantulté y el quic ché presentan también altos valores de importancia ecológica, sin embargo, de acuerdo con la prueba de Montecarlo estas no forman parte de las especies indicadoras para estos tipos de bosque.

Caracterización general de los tipos de bosque

Para el bosque ribereño las tres principales especies con mayor valor de importancia ecológica son el kantulté, el guarumo (*Cecropia peltata* L.) y el raxché, las cuales se encuentran asociadas entre sí. Para el caso de los bosques adyacentes las tres especies con mayor valor de importancia ecológica son el kantulté, chakalté y el quicché.

Las áreas de bosque ribereño bajo estudio se caracterizan por tener mayores concentraciones de humedad, menos luminosidad, pendientes generalmente superiores a los 30° y mayor fertilidad entre otras, en comparación con las áreas de bosque adyacente. Este escenario ha permitido que especies como las anteriormente mencionadas tengan ciertas preferencias para su desarrollo, crecimiento y reproducción. En la Figura 24 puede constatar que algunas especies como por ejemplo, el xoot, el vatch y el quich se encuentran altamente asociados a los bosques ribereños. Asimismo especies como el sakiché, el wachíl (*Dialium guianense*) y el San Juan (*Vochysia guatemalensis*) se encuentran fuertemente asociados a los bosque adyacentes, los cuales se caracterizan por poseer suelos profundos franco arenosos, relieves ondulados y topografías que pueden variar desde los 10° hasta los 40° en algunas áreas.

4.3.2.2 Estructura, diversidad y riqueza de especies

Diversidad y riqueza de especies

De acuerdo con Magurran (1988) el índice de Shannon expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra y mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Este índice adquiere un valor de cero cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S (número total de especies), cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. El índice de Simpson manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes.

El índice de diversidad de Shannon y Simpson mostró un comportamiento similar con respecto a la diversidad, en las 12 parcelas levantadas para ambos tipos de bosque (Cuadro 44)

Cuadro 44. Índices de Shannon y de Simpson para áreas de bosques ribereños y adyacentes

| <i>Parcela</i> | <i>Tipo de bosque</i> | <i>Shannon (H')</i> | <i>Simpson (λ)</i> |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | Adyacente | 2.8 | 0.057 |
| 2 | | 2.83 | 0.0610 |
| 3 | | 2.68 | 0.0616 |
| 4 | | 2.6 | 0.0635 |
| 5 | | 2.4 | 0.0766 |
| 6 | | 2.59 | 0.0434 |
| 7 | | 2.7 | 0.0423 |
| 8 | | 1.89 | 0.2681 |
| 9 | | 2.75 | 0.0492 |
| 10 | | 2.69 | 0.0427 |
| 11 | | 2.85 | 0.0295 |
| 12 | | 2.43 | 0.0990 |
| Promedio | | 2.60 | 0.07 |
| 1 | Ribereño | 2.5 | 0.0689 |
| 2 | | 2.87 | 0.0320 |
| 3 | | 2.47 | 0.0848 |
| 4 | | 2.26 | 0.1216 |
| 5 | | 2.43 | 0.0874 |
| 6 | | 2.13 | 0.1347 |
| 7 | | 2.96 | 0.0510 |
| 8 | | 1.85 | 0.2762 |
| 9 | | 2.91 | 0.0246 |
| 10 | | 2.33 | 0.1199 |
| 11 | | 2.81 | 0.0322 |
| 12 | | 2.44 | 0.0871 |
| Promedio | | 2.50 | 0.09 |

No se encontraron diferencias significativas entre la diversidad de bosques ribereños y adyacentes con base al índice de Shannon ($p = 0.1380$), y Simpson ($p = 0.1146$) lo cual se da debido a que el número de especies encontradas en ambos tipos de bosques es similar (64 especies en bosque ribereño y 74 en bosques adyacentes). De acuerdo con esto, existe una diversidad levemente mayor en los bosques adyacentes ($H' = 2.60$) ($\lambda = 0.07$) de las especies kantulté, chakalté y quicché, en comparación con los bosque ribereños ($H' = 2.50$) ($\lambda = 0.09$) de las especies kantulté, guarumo (*Cecropia peltata* L.) y raxché. Estas diferencias pueden atribuirse a algunas de las características del paisaje de los bosques ribereños, en donde existen estratos rocosos y altas pendientes, que en muchos de los casos limitan el crecimiento y desarrollo de algunas especies, ocasionando con esto una disminución en su diversidad.

Se encontraron diferencias significativas de la diversidad entre las parcelas de muestreo, es decir dentro de cada tipo de bosque, con base al índice de Shannon ($p = 0.0025$) y

Simpson (0.002), lo cual puede constatarse al observar la Figura 25, donde a medida que se aumenta con el tamaño de la muestra, surgen nuevas especies, lo cual se demuestra a partir de la segunda parcela de muestreo para los dos tipos de bosques. Asimismo se evidencia que en las dos comunidades florísticas el número de especies se sigue acumulando y no llegan a estabilizarse, por lo que para estudios específicos de composición de bosques se requerirá un mayor tamaño de muestra.

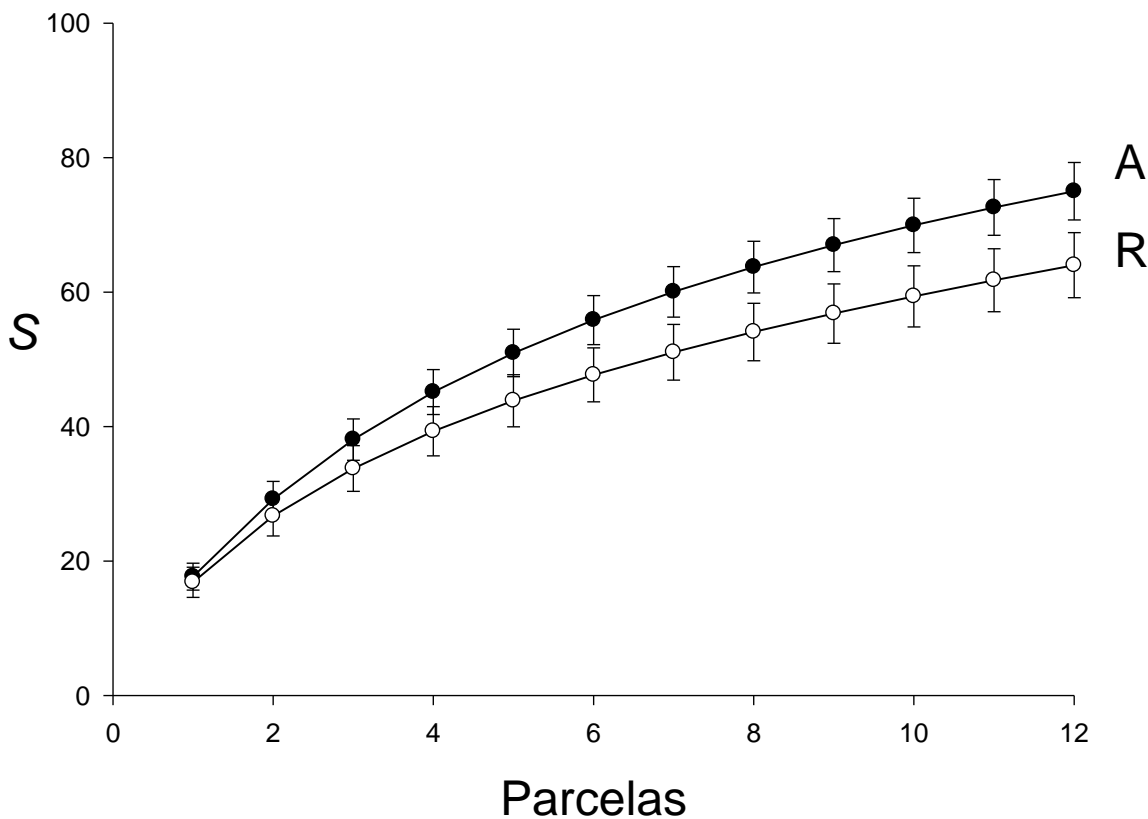


Figura 25. Curvas de acumulación de especies para bosques ribereños y adyacentes

Estructura

De acuerdo con Lamprecht (1990) la estructura o dominancia (grado de cobertura de las especies) como expresión del espacio ocupado por ellas, se define como la suma de las proyecciones horizontales de los árboles sobre el suelo. La suma de las proyecciones de las copas de todos los individuos de una especie determina su dominancia, por ejemplo en m². A causa de la estructura vertical compleja de los bosques tropicales, la determinación de las

proyecciones de las copas resulta en extremo complicado, trabajoso y en algunos casos imposible de realizar. Por ello, generalmente estas no son evaluadas, sino se emplean las áreas basales, calculadas como sustituto de los verdaderos valores de dominancia. Este proceder es justificable, ya que las investigaciones al respecto han demostrado que, por regla general, existe una correlación lineal relativamente alta entre el diámetro de la copa y el del fuste.

El análisis de la estructura se realizó con base a una categorización de las medidas de DAP, las cuales quedaron de la siguiente manera:

- Categoría 1: 10 a 19 cm
- Categoría 2: 20 a 29 cm
- Categoría 3: 30 a 39 cm
- Categoría 4: 40 a 49 cm
- Categoría 5: 50 a 59 cm
- Categoría 6: >60 cm

Con base a la categorización de los diámetros se procedió a la determinación del número de individuos/ha para cada tipo categoría y para cada tipo de bosque. En la Figura 25 puede constatarse que existe un comportamiento similar entre las densidades de los individuos para las distintas clases diamétricas en los dos tipos de bosque muestreados, lo cual refleja la homogeneidad estructural existente entre ellos (Lamprecht 1990). Este comportamiento se explica por el hecho de que ambos tipos de bosque son naturales y muy poco intervenidos y por encontrarse en zona de usos múltiples y zona núcleo del Área Protegida Sierra de las Minas.

De acuerdo con la Figura 26 se observa que el mayor número de individuos/ha para ambos tipos de bosque se encuentran dentro de la clase diamétrica 10-19 cm, seguido por la clase diamétrica 20-29 cm y así sucesivamente. Puede observarse que a medida que el diámetro aumenta el número de individuos disminuye, a excepción de la última categoría (>60 cm) en la cual se da un leve aumento en el número de individuos/ha. Este comportamiento indica nuevamente la existencia de una estructural homogénea o parecida (Lamprecht 1990). En la Figura 27 puede observarse que la densidad de las especies en función de las clases diamétricas en el bosque muestra una tendencia parecida a la “J” invertida, principalmente para el bosque ribereño. Este comportamiento indica el buen estado de ambos tipos de bosque, el cual se relaciona con lo descrito por Lamprecht (1990) relativo a las curvas “J” invertidas encontradas para bosques naturales húmedos siempre verdes y bosques deciduos húmedos.

En el cuadro 45, puede observarse que la mayor densidad en individuos/ha se da para el bosque ribereño, lo cual se explica por las condiciones microclimáticas existentes en estos tipos de bosque y por la alta fertilidad del suelo.

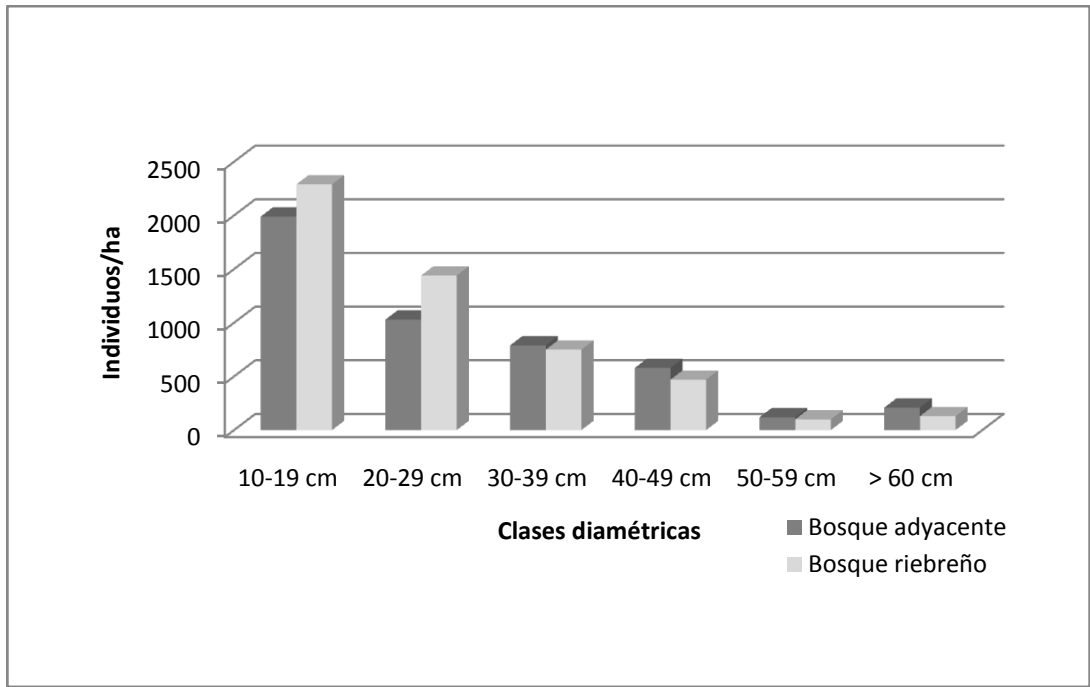


Figura 26. Individuos por hectárea por clases diamétricas para bosques ribereños y adyacentes

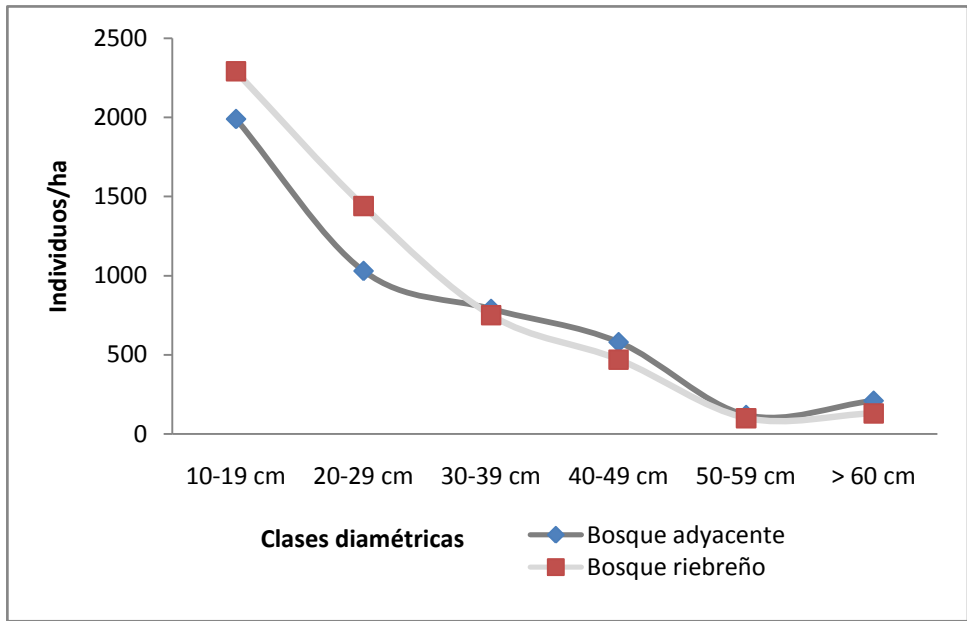


Figura 27. Tendencias de las densidades (individuos/ha) en función de clases diamétricas para bosques ribereños y adyacentes

Cuadro 45. Densidades de los individuos muestreados para ambos tipos de bosque

| Tipo de bosque | Individuos /ha (10-19 cm) | Individuos /ha (20-29 cm) | Individuos /ha (30-39 cm) | Individuos /ha (40-49 cm) | Individuos /ha (50-59 cm) | Individuos /ha (> 60 cm) | TOTAL (Individuos/ha) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Adyacente | 166 | 86 | 66 | 48 | 10 | 18 | 393 |
| Ribereño | 191 | 120 | 63 | 39 | 8 | 11 | 432 |

La mayor área basal se presentó para la clase diamétrica (>60 cm), 131.57 m²/ha para el caso de los bosques adyacentes, 101.17 m²/ha para el bosque ribereño. Asimismo en la Figura 28 puede constatarse que el área basal disminuye grandemente para la clase diamétrica 50-59 cm, la cual aumenta nuevamente para la clase diamétrica (40-49 cm) y sigue disminuyendo conforme las clases diamétricas disminuyen. Este comportamiento del área basal se comporta de la misma manera para ambos tipos de bosque y nuevamente muestra el buen estado de los bosques bajo estudio en la microcuenca del río Toila.

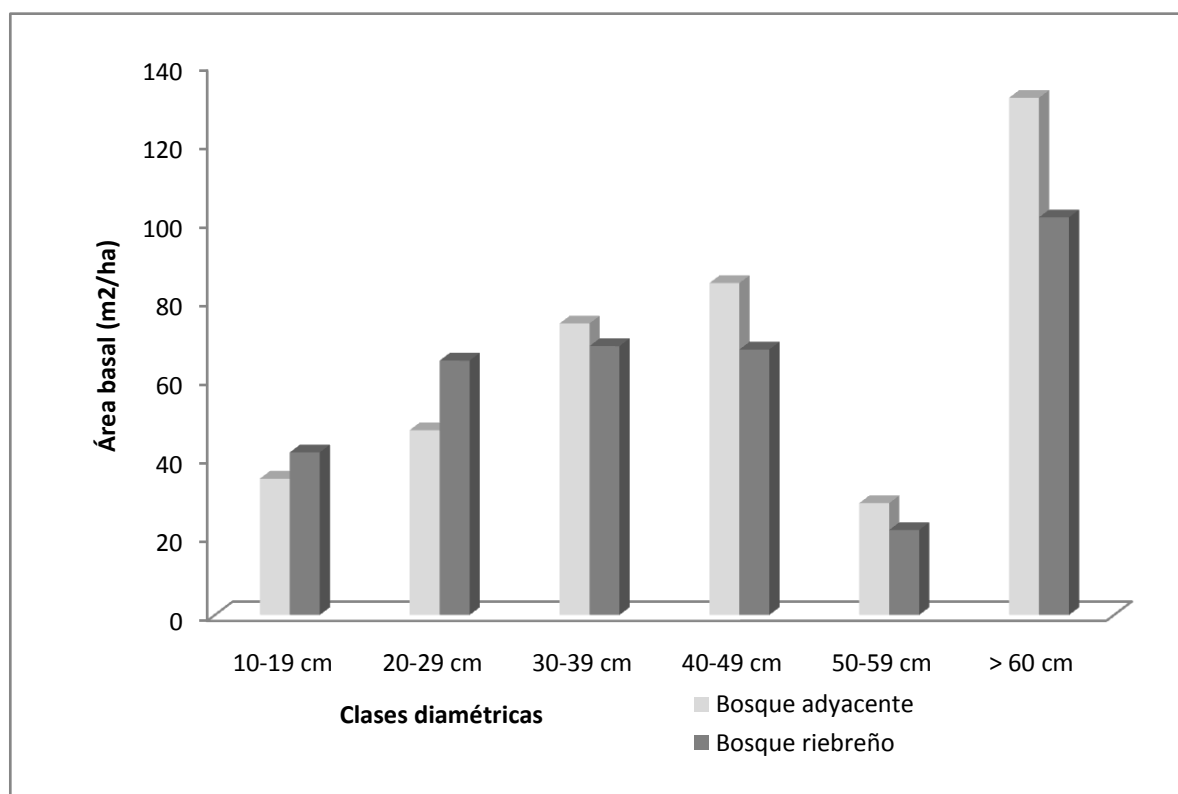


Figura 28. Área basal (m²/ha) por clases diamétricas para los bosques ribereños y adyacentes

Finalmente se realizó un análisis de varianzas ANAVA para comparar la estructura de los bosques ribereños y adyacentes en función de las clases diamétricas. De acuerdo con el Cuadro 46 no existen diferencias significativas entre las clases diamétricas para los tipos de bosque analizados.

Cuadro 46. ANAVA para la estructura de los bosques ribereños y adyacentes

| Categoría diamétrica | (p < 0.05) | Tipo de bosque | Media |
|----------------------|------------|----------------|--------|
| > 60 | 0.1887 | BR | 10.71a |
| | | BA | 14.29a |
| 50-59 | 0.7103 | BR | 12.00a |
| | | BA | 13.00a |
| 40-49 | 0.9324 | BR | 12.38a |
| | | BA | 12.63a |
| 30-39 | 0.6692 | BR | 13.13a |
| | | BA | 11.88a |
| 20-29 | 0.0863 | BR | 14.96a |
| | | BA | 10.04a |
| 10-19 | 0.2435 | BR | 14.21a |
| | | BA | 10.79a |

BR = Bosque ribereño BA = Bosque adyacente.

Letras iguales significan que no hay diferencia significativa entre las clases diamétricas analizadas.

Variables transformadas a rangos

4.4 Evaluación de la calidad ecológica de las riberas, su capacidad para reducir la erosión y el efecto de usos de la tierra adyacentes sobre la calidad del agua

4.4.1 Determinación de la capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y contaminación originadas en áreas adyacentes

El índice CR se determinó de dos formas: a) utilizando los datos promedio de pendiente (en grados) observada en cada sitio y b) utilizando SIG, mediante la intersección de los atributos de los polígonos de usos de la tierra, con los atributos del mapa de pendientes de las franjas ribereñas del área de estudio. Este índice se calculó para cada lado de la franja ribereña del cauce principal y para todas las quebradas de la microcuenca bajo estudio, donde se realizaron observaciones.

a) Capacidad de la franja ribereña para disminuir la erosión mediante los datos promedio de pendiente

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas en la quebrada 3, proveniente de la comunidad de San Antonio I

De acuerdo con el Cuadro 47 puede observarse que la pendiente promedio en las franjas ribereñas de esta quebrada varía desde 6° en áreas de cultivo limpio hasta los 36° en áreas de bosque natural, dando como resultado una pendiente promedio general de 18°. Los tipos de cobertura predominante son el bosque natural (45%) y el café con sombra (29%); estos dos presentaron los mayores porcentajes de aportación para el índice CR (46.51% y 27.51% respectivamente). Estos resultados sugieren que a pesar de la existencia de fuertes pendientes (36°) en las áreas de bosque natural, este tipo de cobertura es la que más está influyendo en la disminución de la erosión y contaminación en esta quebrada.

El valor final del índice CR para esta quebrada dio un valor de **5.90**, mostrando que existe una **moderada capacidad** de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación (Cuadro 8). Esto se explica debido a que esta quebrada se encuentra en la parte baja de la microcuenca, donde la pendiente y el acceso influyen para que estas áreas sean utilizadas para usos diferentes al bosque natural.

Cuadro 47. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 3, proveniente de la comunidad de San Antonio I

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Áreas en descanso | 1.64 | 8.52 | 8 | 0.58 | 9.90 |
| Bosque en recuperación | 1.89 | 9.79 | 26 | 0.63 | 10.61 |
| Bosque natural | 8.60 | 44.63 | 36 | 2.74 | 46.51 |
| Café con sombra | 5.57 | 28.92 | 15 | 1.62 | 27.51 |
| Cultivo limpio | 1.57 | 8.15 | 6 | 0.32 | 5.47 |
| Total | 19.27 | 100.00 | | 5.90 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 18 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas en la quebrada 2, proveniente de la comunidad de San Antonio I

Las franjas ribereñas de la quebrada 2, al igual que en el caso anterior, se caracterizan por tener la mayor parte de su superficie cubierta de bosque natural (54%), observándose además un aumento en las áreas de cultivo limpio (16%). La pendiente promedio es de 22° y varía desde los 5° en áreas de cultivo limpio, hasta los 34° en áreas de bosque natural. Los tipos de cobertura que más aportaron al valor de CR fueron el bosque natural (60%) y las áreas en descanso (15%). El valor final de CR para las franjas ribereñas de esta quebrada fue muy similar a la quebrada anterior (**5.89**), a pesar de que en esta última existe una topografía y proporciones de usos de la tierra diferentes. Sin embargo, se constata nuevamente que la presencia del bosque natural, es el tipo de cobertura que más está influyendo en la disminución de la erosión y contaminación proveniente de las áreas adyacentes.

Esta quebrada se encuentra en la parte baja de la microcuenca y está influenciada por las actividades agrícolas que practican las comunidades, donde la pendiente, el acceso y la fertilidad, ayudan a que exista mayor preferencia hacia dichas áreas. Para este caso, puede observarse que en las áreas de mayor pendiente, existe mayor presencia de bosque natural, siendo además, áreas de poca preferencia para los agricultores por tratarse de suelos rocosos.

La capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación en esta quebrada es **moderada** y por lo tanto es necesario realizar gestiones que vayan encaminadas a mejorar la cobertura de las franjas ribereñas para estas áreas.

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas en la quebrada 1, proveniente de la comunidad de San Antonio I

Esta quebrada se caracteriza por tener pocas áreas de franja ribereña cubiertas con bosque natural (3%), predominando las áreas en descanso (57.86%) y las áreas de bosque en recuperación (28.81%), demostrándose así que las áreas ribereñas de esta quebrada son más utilizadas para las prácticas agrícolas, en comparación con las quebradas 2 y 3, anteriormente analizadas (Cuadro 48). Esto puede explicarse por los tipos de pendiente encontradas a lo largo de las franjas ribereñas, ya que como se dijo anteriormente, en la medida en que la pendiente disminuye, aumenta la preferencia por parte de los productores para el desarrollo de cultivos agrícolas.

De acuerdo con el Cuadro 49, puede notarse que el tipo de cobertura que más está aportando al valor final de CR (5.84) es efectivamente, las áreas en descanso (60%) seguido por el bosque en recuperación con el 31.04%. Por lo tanto, el valor final de **CR (5.84)** muestra que la capacidad de la franja ribereña para disminuir la erosión y la contaminación es **moderada**.

Para este caso, la presencia áreas en descanso (áreas de rotación de cultivos, las rotaciones pueden variar entre los 2, 3 y 4 años, según sea el caso) y la pendiente (21°) permitieron obtener este valor de CR para las franjas ribereñas.

Cuadro 48 Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 2 proveniente de la comunidad de San Antonio I

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Áreas en descanso | 2.34 | 14.83 | 21 | 0.90 | 15.23 |
| Bosque en recuperación | 1.50 | 9.50 | 32 | 0.53 | 8.92 |
| Bosque natural | 8.48 | 53.79 | 34 | 3.51 | 59.65 |
| Café con sombra | 0.91 | 5.78 | 17 | 0.32 | 5.35 |
| Cultivo limpio | 2.54 | 16.10 | 5 | 0.64 | 10.85 |
| Total | 15.76 | 100.00 | | 5.89 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 21.8 | | |

Cuadro 49. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada 1 proveniente de la comunidad de San Antonio I

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Áreas en descanso | 7.72 | 57.86 | 21 | 3.53 | 60.37 |
| Bosque en recuperación | 3.84 | 28.81 | 27 | 1.81 | 31.04 |
| Bosque natural | 0.40 | 3.01 | 39 | 0.16 | 2.80 |
| Cultivo limpio | 1.38 | 10.33 | 25 | 0.34 | 5.79 |
| Total | 13.34 | 100.00 | | 5.84 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 28 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas en la quebrada proveniente de la comunidad de San Francisco I, San Francisco III y San Francisco Seyau

De acuerdo con el Cuadro 50 puede observarse que, nuevamente, las áreas en descanso son el tipo de coberturas más representativo en las franjas ribereñas de esta quebrada (35%); asimismo, el bosque natural, que representa un 27% del área total de estas franjas. Además, se observa un aumento en el rango de pendientes que varía de 24° en áreas de bosque de recuperación a 39° en áreas de bosque natural.

Por último, puede notarse que la cobertura que más está aportando al valor final del índice CR son **las áreas en descanso** con el 36.53% y el **bosque natural** con 26.91%. El valor obtenido del índice CR dio como resultado un valor de 5.54, que al igual que para los casos anteriores, es considerado como **moderado**. Esto se explica por el aumento en el grado de pendiente, ya que a pesar de que existe una buena cobertura, el valor de CR fue afectado negativamente por los altos valores de este factor, el cual está relacionada con la ubicación (parte media) de esta quebrada en la microcuenca, que por razones topográficas, los agricultores se ven obligados a extender sus áreas de cultivo y realizar rotaciones más prolongadas de los cultivos anuales para reducir la erosión y degradación de los suelos.

Cuadro 50. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada proveniente de la comunidad de San Francisco I, San Francisco III y San Francisco Seyau

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Áreas en descanso | 17.87 | 35.38 | 25 | 2.02 | 36.53 |
| Bosque en recuperación | 8.59 | 17.01 | 24 | 1.13 | 20.47 |
| Bosque natural | 13.57 | 26.87 | 39 | 1.49 | 26.91 |
| Café con sombra | 6.02 | 11.92 | 26 | 0.57 | 10.20 |
| Cardamomo con sombra | 1.90 | 3.77 | 29 | 0.17 | 3.08 |
| Cultivo limpio | 2.55 | 5.06 | 28 | 0.16 | 2.81 |
| Total | 50.50 | 100.00 | | 5.54 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 28.5 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas de la quebrada proveniente de áreas de cultivo de San Francisco I y II

Los datos del Cuadro 50, evidencian que el tipo de cobertura que abarca la mayor parte de la superficie de las franjas ribereñas en esta corriente son nuevamente las áreas en descanso (57%). El rango de pendiente para esta quebrada varía de 17° en áreas de café con sombra hasta los 31° en las áreas en descanso. El tipo de cobertura que más aporta al valor del índice CR son las áreas en descanso (48%) y le sigue el bosque natural con 30%. Sin embargo, puede observarse que a pesar que el bosque natural solo representa un 37.17% de las áreas en descanso, esta cobertura aportó en un 30% del valor final del índice CR, lo cual se explica porque el bosque natural tiene un coeficiente de cobertura de 10 y la pendiente promedio es menor, en comparación con las áreas en descanso.

Para este caso puede observarse nuevamente que el aumento de las áreas en descanso está relacionada con el acceso, la topografía y los ciclos de rotación que las comunidades practican en dicha quebrada, razón por la cual el valor final de CR dio como resultado **5.87**, por lo tanto, la capacidad de las franjas para disminuir la erosión y la contaminación para esta quebrada **es moderada**.

Cuadro 51. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de la quebrada proveniente de áreas de cultivo de San Francisco I y II

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|--------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|--|
| Áreas en descanso | 4.60 | 57.02 | 31 | 2.82 | 48.03 |
| Bosque en recuperación | 1.00 | 12.34 | 26 | 0.78 | 13.27 |
| Bosque natural | 1.71 | 21.14 | 24 | 1.75 | 29.88 |
| Café con sombra | 0.77 | 9.50 | 17 | 0.52 | 8.82 |
| Total | 8.07 | 100.00 | | 5.87 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 24.5 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas de la Quebrada 2, proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II

Los tipos de coberturas predominantes en las franjas ribereñas para esta quebrada, son el café con sombra, el cual representa el 56.24% de la superficie de la franja ribereña,

siguiéndole el bosque natural con un 24.92%, también aumenta el rango de la pendiente, de 14° para áreas de cultivo limpio, hasta un 36° para las áreas de bosque natural.

En el Cuadro 51 también puede observarse que las coberturas que más aportan al valor del índice CR, son el café con sombra (53%) y el bosque natural (31%). El valor de CR para las franjas ribereñas de esta quebrada da un valor de **5**; por lo tanto, la capacidad para disminuir la erosión y la contaminación califica como **moderada**. Sin embargo, al comparar este valor con otros valores de este índice obtenidos para las franjas ribereñas de otras quebradas, puede notarse que este es inferior a todos los demás, lo cual se explica por el hecho de que el café con sombra tiene un coeficiente de cobertura moderado (6) para disminuir la erosión y la contaminación, esto unido a las altas pendientes existentes en estas áreas permiten que el valor del índice de CR vaya disminuyendo.

Cuadro 52. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de quebrada proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|----------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Bosque natural | 1.21 | 24.92 | 36 | 1.53 | 30.57 |
| Café con sombra | 2.72 | 56.24 | 27 | 2.66 | 53.10 |
| Cardamomo con sombra | 0.70 | 14.44 | 29 | 0.65 | 13.02 |
| Cultivo limpio | 0.21 | 4.41 | 14 | 0.17 | 3.30 |
| Total | 4.84 | 100.00 | | 5.01 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 26.5 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas de la Quebrada I, proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II

En el Cuadro 53 se evidencia que el café con sombra abarca la mayor parte de la superficie de las franjas ribereñas (57%) y el bosque natural representa el 43% restante. También se nota un aumento en el valor promedio de la pendiente (31°), que para este caso varía de 25° para áreas de café con sombra a 37° en áreas de bosque natural.

El valor del índice CR dio como resultado un valor de 5.30; y si este se compara, con el valor del índice CR de la otra quebrada que proviene de esta misma comunidad, puede observarse que hubo un pequeño aumento en el valor de este índice de 5 a 5.30, lo cual se explica por la mayor presencia de bosque natural en las franjas ribereñas de esta última

quebrada. Por último, es importante rescatar que el café con sombra aportó más en el valor final del índice CR representado con un peso del 52%. La capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación para esta quebrada califica como **moderada**.

Cuadro 53. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas de quebrada II proveniente de áreas de cultivo de San Francisco II

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|-------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Bosque natural | 1.45 | 43.35 | 37 | 2.55 | 48.18 |
| Café con sombra | 1.89 | 56.65 | 25 | 2.75 | 51.82 |
| Total | 3.34 | 100.00 | | 5.30 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 31 | | |

En general, para estas últimas dos quebradas se observa un aumento en las áreas de café y cardamomo, cuya presencia se encuentra asociada a la proximidad de los cascos urbanos de las comunidades, constituyéndose en cultivos que dinamizan la economía durante la época seca (noviembre a febrero). Así mismo, el incremento en el valor promedio de la pendiente, así como la presencia de suelos pedregosos en estas áreas con mayor pendiente, permite el aumento de áreas de bosque natural, los cuales están ayudando enormemente en la disminución de la erosión y de la contaminación en estas quebradas.

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para la franja ribereña izquierda del cauce principal de la microcuenca Toila

En la franja ribereña izquierda el tipo de cobertura más predominante es el bosque natural, el cual representa 33% de la superficie total de esta franja; le sigue el bosque en recuperación (24%) y las áreas en descanso (23%). La pendiente varía de 17° en áreas de cultivo limpio, hasta los 37° en algunas áreas cubiertas con bosque en recuperación. De acuerdo con el Cuadro 54 las coberturas que más están pesando en el valor del índice CR son el bosque natural (37%) y las áreas en descanso (27%). El valor del índice CR para esta franja ribereña dio un valor 5.70, que corresponde a la categoría **moderada**. Este valor del índice CR se explica por el tipo de cobertura predominante en esta franja (bosque natural, bosque en recuperación), sin embargo, las fuertes pendientes existentes en estas áreas, permiten que el valor del índice CR vaya disminuyendo y que califique como moderado.

Cuadro 54. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para la franja ribereña izquierda del cauce principal de la microcuenca Toila

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|------------------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Áreas en descanso | 7.90 | 22.93 | 12 | 1.54 | 27.04 |
| Bosque en recuperación | 8.13 | 23.60 | 37 | 1.12 | 19.66 |
| Bosque natural | 11.25 | 32.68 | 35 | 2.09 | 36.74 |
| Café con sombra | 3.55 | 10.32 | 17 | 0.56 | 9.87 |
| Cultivo limpio | 3.61 | 10.47 | 17 | 0.38 | 6.70 |
| Total | 34.43 | 100.00 | | 5.70 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 23.60 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para la franja ribereña derecha del cauce principal de la microcuenca Toila

Los datos del Cuadro 55 muestran que el bosque natural es el tipo de cobertura que más predomina en la franja ribereña derecha de esta microcuenca (47%); le sigue las áreas en descanso y el cultivo limpio con 22% y 16%, respectivamente. Al comparar la pendiente promedio de la franja izquierda con la derecha, puede observarse que existe una disminución en la pendiente promedio de 24° en la franja ribereña izquierda a 18° en la franja ribereña derecha. El rango de pendiente va desde los 9° hasta los 32°, motivo por el cual puede observarse un incremento en el valor del índice CR, que para esta franja dio un valor de 6.36. De acuerdo con el Cuadro 8, la capacidad de la franja ribereña izquierda para disminuir la erosión y la contaminación califica como **buena**. Asimismo es importante hacer notar que los tipos de cobertura que más pesaron en el valor de este índice fueron el bosque natural (51%) y las áreas en descanso (22%).

En esta franja se constata nuevamente que la pendiente es uno de los factores que favorece las actividades agrícolas en las franjas ribereñas. Para este caso, las áreas en descanso son las que predominan, siendo además un buen tipo de cobertura que favorece la disminución de la erosión y contaminación, lo cual se explica por la densa vegetación leñosa y herbácea que se produce en estas áreas.

Cuadro 55. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para la franja ribereña derecha del cauce principal de la microcuenca Toila

| Tipo de cobertura | Área en ha | % de área | Pendiente (°) | Capacidad de la ribera (CR) | % de aportación del tipo de cobertura |
|--------------------------|---------------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|--|
| Áreas en descanso | 5.75 | 22.49 | 19 | 1.40 | 21.92 |
| Bosque en recuperación | 3.39 | 13.26 | 9 | 1.04 | 16.30 |
| Bosque natural | 12.03 | 47.10 | 32 | 3.26 | 51.28 |
| Café con sombra | 0.38 | 1.48 | 17 | 0.08 | 1.27 |
| Cultivo limpio | 4.00 | 15.66 | 14 | 0.59 | 9.23 |
| Total | 25.54 | 100.00 | | 6.36 | 100.00 |
| | Pendiente promedio | | 18.2 | | |

Topografía, usos de la tierra y valores del índice CR para las franjas ribereñas de las quebradas de montaña en la parte alta de la microcuenca Toila

El 100% de las franjas ribereñas de estas quebradas de montaña están cubiertas de bosque natural, la pendiente promedio en los sitios de observación fue de aproximadamente 38° en las partes bajas de la corriente principal y de una de las quebradas, sin embargo, estos valores de pendiente aumentan notablemente conforme se avanza aguas arriba en dichas quebradas.

Por motivos de acceso, para la determinación del valor de CR se utilizó la pendiente promedio observada en los sitios donde fue posible hacer observaciones (38°); el valor del índice CR obtenido es de 5.67, lo que evidencia la importancia de la pendiente en la determinación del valor del índice CR, a pesar de que el área para estas coberturas es bastante alta (103 ha).

b) Capacidad de la franja ribereña para disminuir la erosión utilizando SIG

Mediante la intersección de los atributos de los polígonos de usos de la tierra y con base a los atributos del mapa de pendientes de las franjas ribereñas del área de estudio, se determinó el valor del índice CR para el cauce principal y para cada unas de las quebradas. Esto se realizó con el objeto de establecer las diferencias entre los valores del índice CR obtenidos mediante la estimación de la pendiente en campo, en comparación con los valores del índice obtenidos mediante la utilización de sistemas de información geográfica.

Mediante la prueba de “t” para observaciones apareadas, se constató que no hubo diferencia significativa entre los valores finales del índice CR obtenidos mediante la utilización de SIG y mediante el método de observaciones en campo ($p = 0.6439$). En el método de SIG se obtienen valores ligeramente más altos para el índice CR (5.75) en comparación con el método de observaciones en campo (5.67). Asimismo pudo constatarse a través de esta misma prueba de “t”, que sí hubo diferencia significativa entre los métodos, con relación a los valores de pendiente ($p = 0.0228$). De acuerdo con esto, el método de SIG sobreestima los valores de pendiente (31.65°) en comparación con el método de observación visual (26.78°). En el Cuadro 56 se presentan las comparaciones de los valores obtenidos del índice CR por los dos métodos. Se observa que hubo una mayor diferencia entre los valores promedios de las pendientes para cada quebrada evaluada y en consecuencia en el valor promedio final de las dos pendientes, determinadas por los métodos descritos (31.65° y 26.78°). Esta variación en la pendiente se dio debido a que a través de la utilización de SIG, se realizó una reclasificación de las pendientes (rangos de $0-5^\circ$), las cuales dan origen a una gama de polígonos conformados en función de esta clasificación. Por lo tanto, se da la conformación de muchos polígonos pequeños y con altos valores de pendiente que afectan (aumentan) el valor promedio de la pendiente. Sin embargo, cuando se calcula el valor del índice CR este no se ve afectado, porque depende del factor de área y por lo tanto, las áreas pequeñas no influyen de manera significativa en el valor final del índice.

Finalmente con el propósito de comparar los valores del índice CR en la parte baja, media y alta de la microcuenca, se procedió a promediar los valores del índice CR de las quebradas, las cuales se agruparon en función de su ubicación. En el Cuadro 57 se presentan estos valores promediados, en los cuales se puede constatar que existe un aumento en el promedio de la pendiente de 21° en la parte baja a 29° en la parte media y 38° en la parte alta. Sin embargo, a pesar de que existe este aumento en la pendiente, puede notarse que el valor del índice CR no disminuye significativamente, lo cual se explica por el aumento de coberturas que benefician la disminución de la erosión y de la contaminación en la parte media y alta, compensando el efecto de la pendiente (Figura 29 y Cuadro 57).

Cuadro 56 Valores del índice CR y pendientes promedio, determinados por SIG y mediante observación en el campo

| Descripción | Área (ha) | Valores obtenidos a través de SIG | | Valores obtenidos a través de la observación | |
|--|-----------|-----------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| | | Pendiente promedio (°) | Valor del Índice CR | Pendiente promedio (°) | Valor del Índice CR |
| Quebrada 3 de San Antonio I | 19.27 | 31.97 | 6.07 | 18.18 | 5.90 |
| Quebrada 2 de San Antonio I | 15.75 | 29.64 | 6.41 | 21.95 | 5.89 |
| Quebrada 1 de San Antonio I | 13.33 | 31.68 | 4.89 | 27.76 | 5.86 |
| Quebrada de San Francisco I | 50.50 | 29.28 | 5.91 | 28.26 | 5.54 |
| Quebrada de áreas de cultivo de San Francisco I y II | 8.04 | 25 | 6.11 | 24.75 | 5.87 |
| Quebrada II de San Francisco II | 4.83 | 32.64 | 4.66 | 26.36 | 5.01 |
| Quebrada I de San Francisco II | 3.34 | 36.55 | 5.57 | 31.14 | 5.30 |
| Cauce principal | 59.97 | 30.11 | 5.93 | 20.95 | 6.03 |
| Quebradas de montaña | 103.43 | 38 | 6.22 | 38 | 5.67 |
| Promedios generales | | 31.65 | 5.75 | 26.31 | 5.67 |

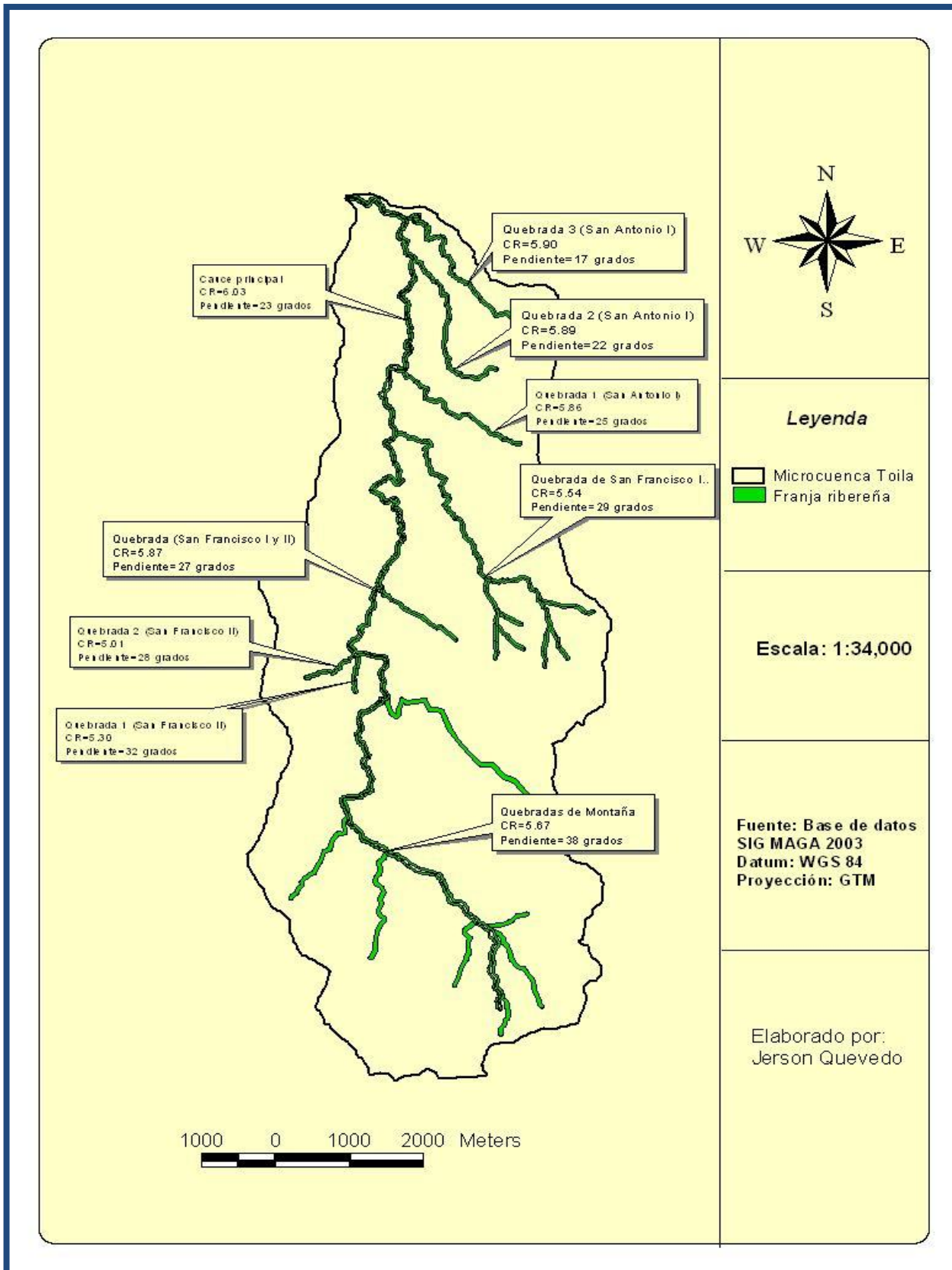


Figura 29. Pendiente, tipos de cobertura y valores de CR para las franjas ribereñas (microcuenca Toila)

Cuadro 57. Valores promedio del índice CR en la parte baja, media y alta en la microcuenca Toila

| Ubicación en la microcuenca | Descripción | Área (ha) | Promedio de pendiente (°) | Valor del Índice CR | Promedio del índice CR | Promedio de pendiente (°) |
|------------------------------|--|-----------|---------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Parte baja | Quebrada 3 de San Antonio I | 19.2740 | 18.18 | 5.90 | 5.88 | 22.46 |
| | Quebrada 2 de San Antonio I | 15.7550 | 21.95 | 5.89 | | |
| | Quebrada 1 de San Antonio I | 13.3360 | 27.76 | 5.86 | | |
| Parte media | Quebrada de San Francisco I | 50.5010 | 28.26 | 5.54 | 5.43 | 27.63 |
| | Quebrada de áreas de cultivo de San Francisco I y II | 8.0470 | 24.75 | 5.87 | | |
| | Quebrada II de San Francisco II | 4.8350 | 26.36 | 5.01 | | |
| | Quebrada I de San Francisco II | 3.3400 | 31.14 | 5.30 | | |
| Parte alta | Quebradas de montaña | 103.4310 | 38 | 5.67 | 5.67 | 38.00 |
| Parte baja-media-alta | Cauce principal | 59.9700 | 20.95 | 6.03 | 6.03 | 20.95 |

c) Análisis de sensibilidad para el índice CR con base a la pendiente, Tipo de cobertura y área

Con el propósito de observar el efecto de la pendiente, el tipo de cobertura y el factor de área en la determinación del valor del índice CR, se realizó un análisis de sensibilidad utilizando diferentes rangos de pendiente, para un área y tipo de cobertura determinado. Para este caso se realizó una simulación para una franja ribereña de 30 m de ancho por 83.5 m de

largo de cada lado, haciendo una área total de 1 ha. En el Cuadro 58 se observa que el factor de área es el mismo que el área de la franja considerada, lo cual se explica por el hecho de que el factor de área resulta del cociente del tramo o área de la cobertura evaluada entre el total de franja ribereña, que para este caso, se trata del mismo valor.

Cuadro 58. Análisis de sensibilidad para el Índice CR con base a la pendiente, el tipo de cobertura y el factor de área

| Tipo de cobertura | Área (ha) | Factor de área | Pendiente (°) | Coefficiente de cobertura | Capacidad de la cobertura | Coefficiente de pendiente | Capacidad de ribera (CR) |
|------------------------|-----------|----------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Áreas en descanso | 1 | 1 | 10 | 7 | 7 | 0.97 | 6.79 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 6.16 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 5.11 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 3.64 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 1.75 |
| Bosque en recuperación | 1 | 1 | 10 | 8 | 8 | 0.97 | 7.76 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 7.04 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 5.84 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 4.16 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 2 |
| Bosque natural | 1 | 1 | 10 | 10 | 10 | 0.97 | 9.7 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 8.8 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 7.3 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 5.2 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 2.5 |
| Café con sombra | 1 | 1 | 10 | 6 | 6 | 0.97 | 5.82 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 5.28 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 4.38 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 3.12 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 1.5 |
| Cardamomo con sombra | 1 | 1 | 10 | 6 | 6 | 0.97 | 5.82 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 5.28 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 4.38 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 3.12 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 1.5 |
| Cultivo limpio | 1 | 1 | 10 | 4 | 4 | 0.97 | 3.88 |
| | | | 20 | | | 0.88 | 3.52 |
| | | | 30 | | | 0.73 | 2.92 |
| | | | 40 | | | 0.52 | 2.08 |
| | | | 50 | | | 0.25 | 1 |

El coeficiente y el tipo de cobertura para este análisis también son iguales, debido a que la capacidad de la cobertura resulta del producto del coeficiente de cobertura por el factor de área. Con base a este análisis de sensibilidad queda demostrado que la pendiente, el tipo de cobertura y el coeficiente de área influyen de manera directa sobre el valor final del índice CR. Por ejemplo, los valores de CR para el caso del bosque natural (coeficiente de cobertura = 10) varían desde 2.5 para una pendiente de 50° hasta 9.7 para una pendiente de 10°.

4.4.1.1 Evaluación de la calidad ecológica de las riberas a través del índice RQI

Se determinó el valor del índice RQI en 22 tramos distribuidos aleatoriamente sobre el cauce principal y sobre las corrientes secundarias. De acuerdo con los resultados del análisis de conglomerados descrito en la Figura 30, fue posible distinguir dos grupos de tramos, según el discriminante canónico (RQI). Con base a este análisis y tomando como referencia lo descrito en los Cuadros 58 y 59 y la Figura 30 se discuten a continuación los resultados de los tramos evaluados.

Tramos 6, 11 y 12

Puede constatar que existen tres tramos (6, 11 y 12) que presentan los valores más bajos del índice RQI (Cuadro 58 y Figura 31). De acuerdo con el Cuadro 11, estos poseen más de tres atributos de las riberas seriamente alterados en su funcionamiento, lo cual se constata en las Figuras 32 y 33, donde se muestran los bajos valores que toman algunos de estos atributos, principalmente el atributo 1 (continuidad longitudinal de la vegetación ribereña), el atributo 2 (dimensiones de anchura de la vegetación ribereña asociada al río) y el atributo 4 (regeneración natural de la vegetación ribereña).

De acuerdo con el Cuadro 59 y usando como referencia el Cuadro 12¹, puede constatar que estos tramos (6, 11 y 12) presenta un estado de malo a regular de la vegetación arbórea y arbustiva y que por lo tanto, se está viendo afectada la continuidad longitudinal de la vegetación ribereña. Con relación al atributo 2, las dimensiones de anchura de la vegetación ribereña son regulares, dando origen a una vegetación natural asociada al río con cobertura menor al 50%. El atributo 4 mostró puntajes entre 3 y 4, para estos tramos, lo cual indica que

¹ Las ponderaciones que se presentan en este Cuadro se realizan por separado para la ribera izquierda y derecha

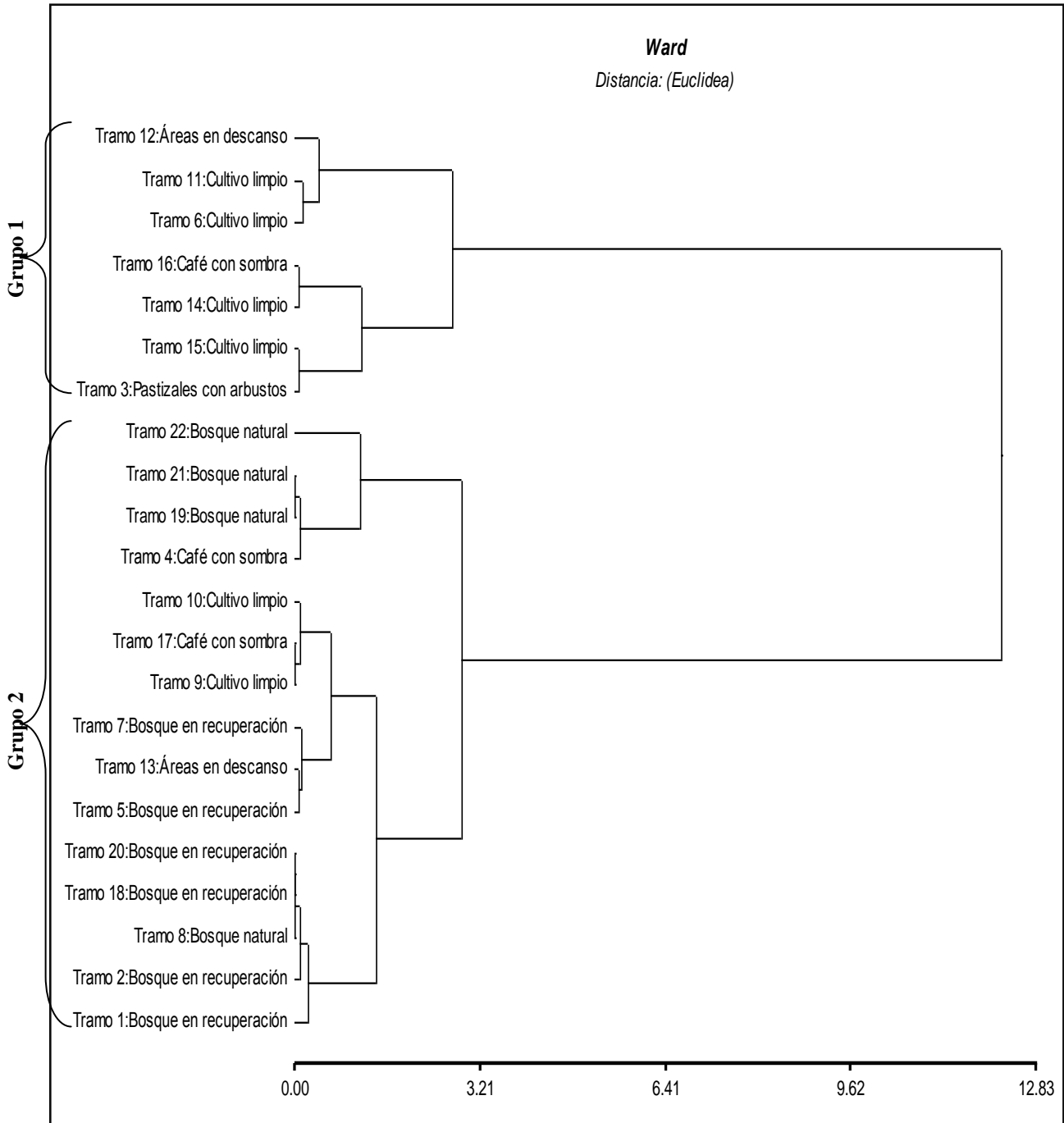


Figura 30. Resultado del análisis de conglomerado de los tramos evaluados con base al índice RQI

la regeneración de los mismos está siendo afectada por las prácticas agrícolas que desarrollan las comunidades q'echi' en estas áreas.

Puede constatar que el tipo de valle influye en algunos valores de los atributos que dependen de este para su ponderación, tal es el caso del comportamiento del atributo 3, el cual es similar para los tramos 11 y 12 que tienen un tipo de valle I y diferente para el tramo 6 con

valle tipo II. Esto se explica por el hecho de que el tipo de valle I es más exigente en la composición y estructura de la vegetación en la orilla y es independiente del tipo de vegetación tras (después) la orilla.

Cuadro 59. Valores del índice RQI con base a los atributos evaluados

| Tramo | Uso predominante | Atributo 1 | Atributo 2 | Atributo 3 | Atributo 3.1 | Atributo 4 | Atributo 5 | Atributo 6 | Atributo 7 | RQI |
|-------|-------------------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| 12 | Áreas en descanso | 13 | 9 | 9 | 0 | 4 | 6 | 9 | 7 | 57 |
| 13 | Áreas en descanso | 16 | 15 | 10 | 5 | 8 | 10 | 10 | 9 | 83 |
| 1 | Bosque en recuperación | 20 | 17 | 11 | 4 | 8 | 11 | 11 | 9 | 91 |
| 2 | Bosque en recuperación | 15 | 16 | 11 | 8 | 8 | 10 | 11 | 9 | 88 |
| 5 | Bosque en recuperación | 19 | 14 | 10 | 4 | 8 | 8 | 10 | 9 | 82 |
| 7 | Bosque en recuperación | 16 | 16 | 11 | 4 | 6 | 9 | 11 | 8 | 81 |
| 18 | Bosque en recuperación | 17 | 17 | 18 | 0 | 9 | 9 | 10 | 9 | 89 |
| 20 | Bosque en recuperación | 18 | 18 | 16 | 0 | 8 | 10 | 10 | 9 | 89 |
| 8 | Bosque natural | 16 | 18 | 11 | 4 | 9 | 10 | 11 | 10 | 89 |
| 19 | Bosque natural | 20 | 20 | 12 | 4 | 9 | 10 | 10 | 10 | 95 |
| 21 | Bosque natural | 20 | 18 | 13 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 95 |
| 22 | Bosque natural | 22 | 21 | 21 | 0 | 10 | 11 | 11 | 10 | 106 |
| 17 | Café con sombra | 17 | 16 | 16 | 0 | 9 | 9 | 10 | 9 | 86 |
| 4 | Café con sombra | 20 | 18 | 12 | 6 | 9 | 9 | 11 | 9 | 94 |
| 16 | Café con sombra | 12 | 15 | 12 | 0 | 6 | 9 | 10 | 9 | 73 |
| 6 | Cultivo limpio | 6 | 6 | 6 | 5 | 3 | 7 | 10 | 8 | 51 |
| 9 | Cultivo limpio | 15 | 17 | 11 | 6 | 9 | 9 | 10 | 9 | 86 |
| 10 | Cultivo limpio | 14 | 18 | 15 | 0 | 9 | 9 | 11 | 9 | 85 |
| 11 | Cultivo limpio | 9 | 9 | 9 | 0 | 4 | 6 | 9 | 7 | 53 |
| 14 | Cultivo limpio | 14 | 14 | 12 | 0 | 6 | 9 | 10 | 9 | 74 |
| 15 | Cultivo limpio | 8 | 10 | 12 | 0 | 6 | 9 | 10 | 9 | 64 |
| 3 | Pastizales con arbustos | 10 | 11 | 9 | 4 | 6 | 8 | 10 | 7 | 65 |

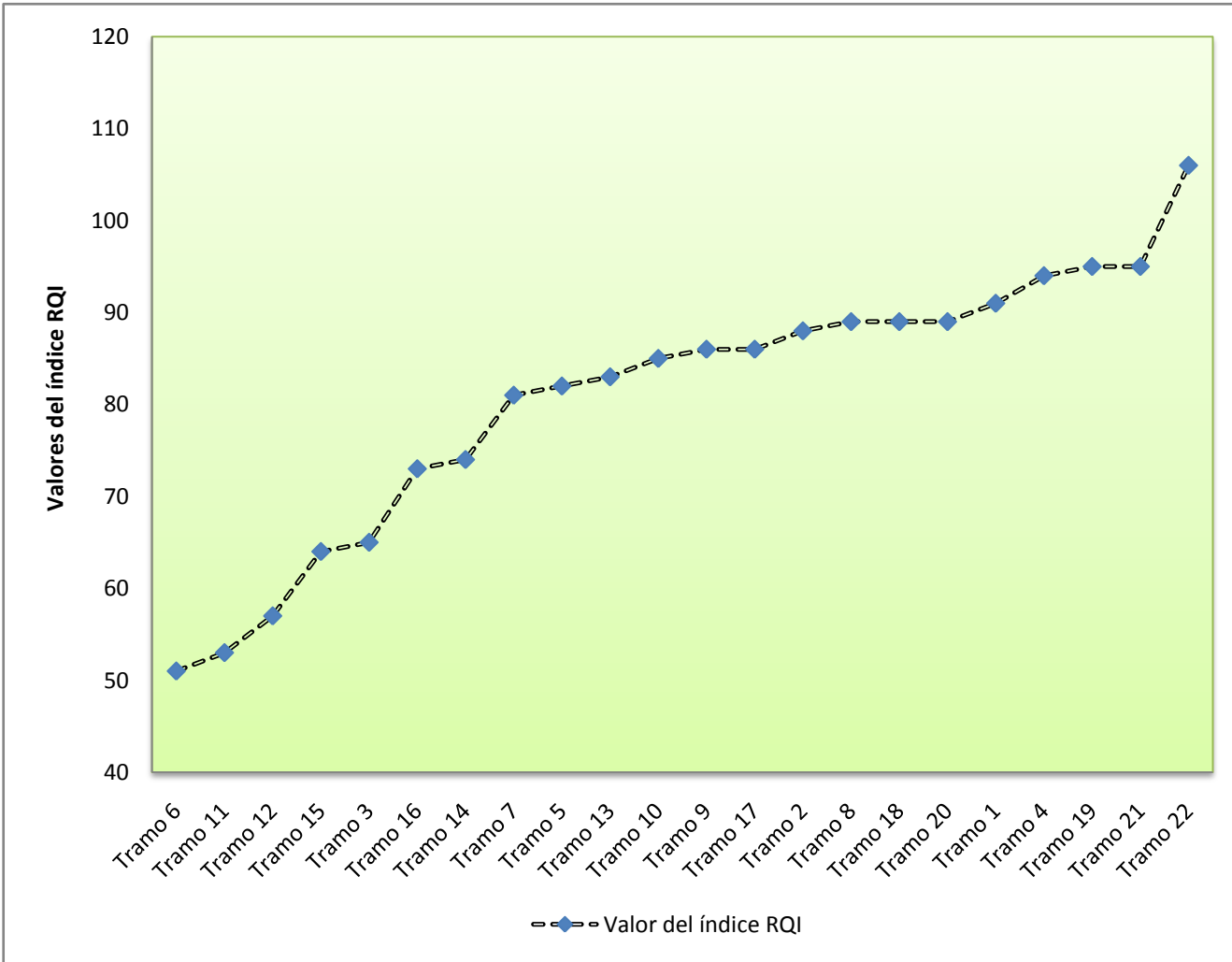


Figura 31. Valores RQI para cada uno de los tramos evaluados

Entre los atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, solo el atributo 4 presentó valores bajos y no así los atributos 5 (condiciones de las orillas), 6 (conectividad lateral de la ribera con el cauce) y 7 (Permeabilidad y grado de alteración del relieve y suelo ribereño), los cuales presentaron valores entre 7 y 10, lo cual es considerado como bueno, de acuerdo con lo descrito en los Cuadros 16, 17 y 18. Esto se explica por la ausencia de infraestructura, bordas, alteración de caudales y por la ausencia de áreas urbanas en estos tramos, los cuales alteran el funcionamiento hidrológico de las riberas.

De acuerdo con los valores obtenidos para el índice RQI (Tramo 6 RQI=51, Tramo 11 RQI=53 y Tramo 12 RQI=57) y tomando como base lo descrito en el Cuadro 11, **existe la necesidad de rehabilitar y restaurar para recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas en estos tramos**, cuyo deterioro está relacionado con el acceso, la

topografía y sobre todo con el uso de la tierra predominante, que según los Cuadros 59 y 60, corresponden a cultivo limpio y áreas en descanso (Figura 34).

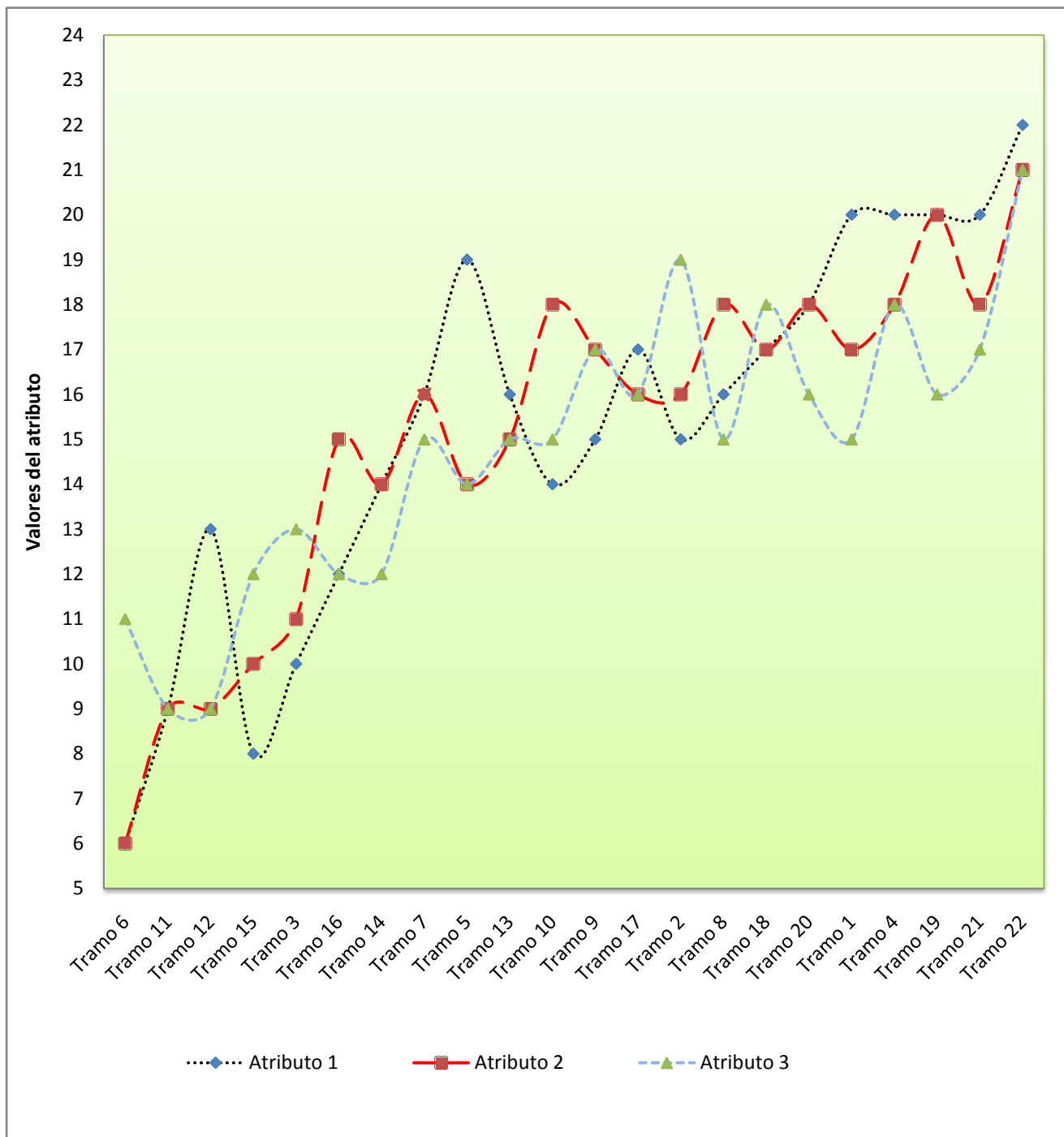


Figura 32. Tendencias de los atributos 1, 2 y 3 en los tramos evaluados

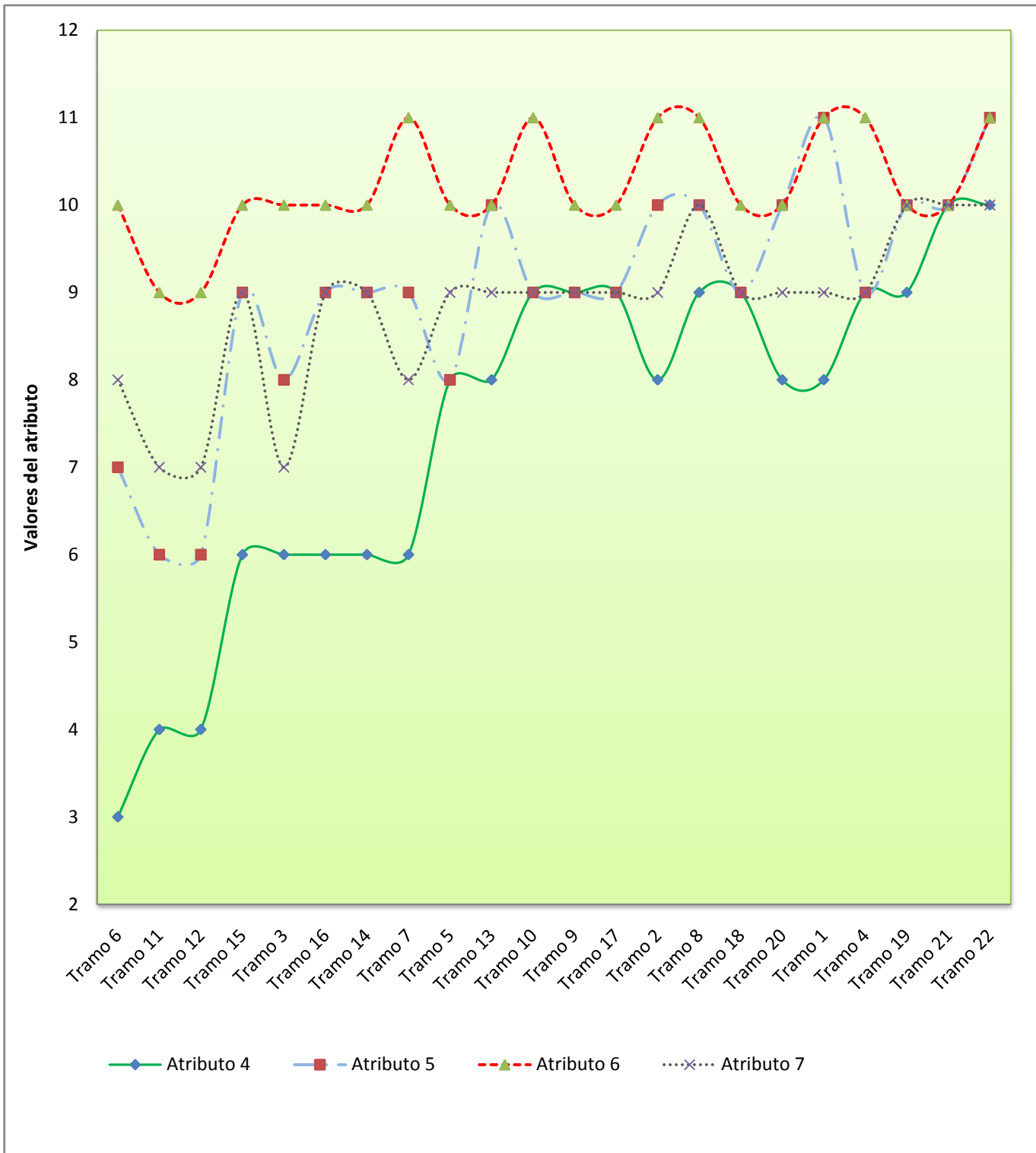


Figura 33. Tendencias de los atributos 4, 5, 6 y 7 en los tramos evaluados

Cuadro 60. Estado ecológico de las riberas en los tramos evaluados

| Tramo | Uso predominante | RQI | Estado | Frecuencia | Porcentaje |
|----------|-------------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| Tramo 6 | Cultivo limpio | 51 | Pobre | 3 | 13.64 |
| Tramo 11 | Cultivo limpio | 53 | | | |
| Tramo 12 | Áreas en descanso | 57 | | | |
| Tramo 15 | Cultivo limpio | 64 | Regular | 4 | 18.18 |
| Tramo 3 | Pastizales con arbustos | 65 | | | |
| Tramo 16 | Café con sombra | 73 | | | |
| Tramo 14 | Cultivo limpio | 74 | | | |
| Tramo 7 | Bosque en recuperación | 81 | Bueno | 14 | 63.64 |
| Tramo 5 | Bosque en recuperación | 82 | | | |
| Tramo 13 | Áreas en descanso | 83 | | | |
| Tramo 10 | Cultivo limpio | 85 | | | |
| Tramo 9 | Cultivo limpio | 86 | | | |
| Tramo 17 | Café con sombra | 86 | | | |
| Tramo 2 | Bosque en recuperación | 88 | | | |
| Tramo 8 | Bosque natural | 89 | | | |
| Tramo 18 | Bosque en recuperación | 89 | | | |
| Tramo 20 | Bosque en recuperación | 89 | | | |
| Tramo 1 | Bosque en recuperación | 91 | | | |
| Tramo 4 | Café con sombra | 94 | | | |
| Tramo 19 | Bosque natural | 95 | | | |
| Tramo 21 | Bosque natural | 95 | | | |
| Tramo 22 | Bosque natural | 106 | | | |
| | | | Total | 22 | 100 |

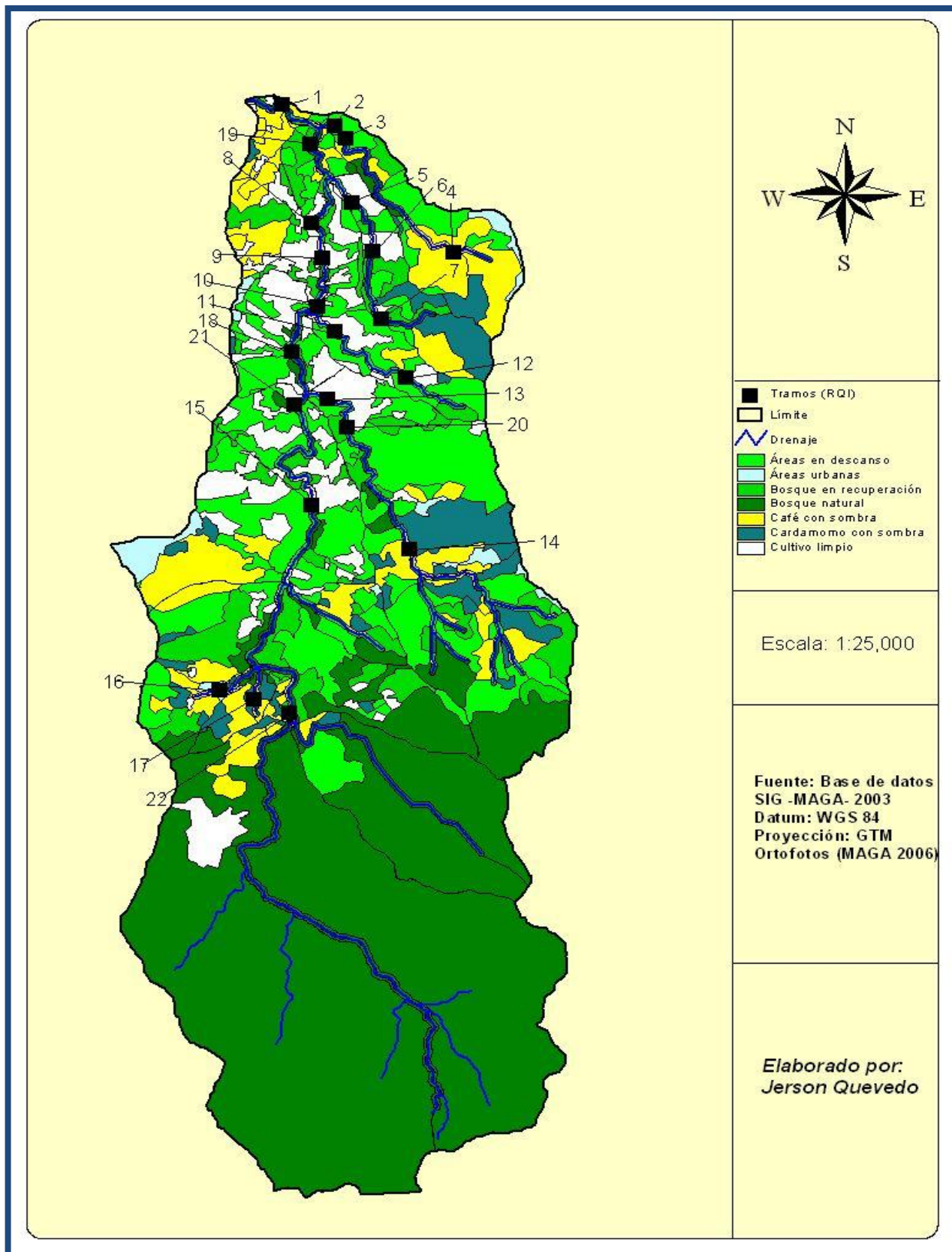


Figura 34. Ubicación de tramos para la observación de atributos del índice RQI y usos de la tierra adyacentes a la ribera

Tramos 15, 3, 16 y 14

Con base en la Figura 32 y 36, los tramos 15, 3, 16 y 14 presentan características similares respecto al valor del índice RQI, que de acuerdo con los Cuadros 11 y 60, estas riberas se encuentran en un estado regular, es decir, que al menos 2 ó 3 atributos de las riberas están amenazados en su funcionamiento y el resto tiene amenazas de degradación, lo cual se constata en las Figura 32, donde se muestra que los atributos 1 y 2 son los más afectados en estos tramos.

En el Cuadro 59 puede observarse que los valores para estos atributos (1 y 2) oscilan entre 8 y 14 para el caso del atributo 1 y entre 10 y 15 para el atributo 2 (incluye la suma de la ponderación realizada para cada lado de la ribera). Por lo tanto, con base a lo descrito en el Cuadro 12, puede constatar que la continuidad longitudinal de la vegetación ribereña natural y las dimensiones de anchura del espacio ribereño oscila entre regular y bueno, por consiguiente, estos dos atributos se están viendo afectados moderadamente, dando origen a una vegetación arbórea o arbustiva asociada al río que cubre entre 50 y 75% de la longitud del espacio ribereño. Y por último, es importante resaltar los valores del atributo 4, que para cada uno de los tramos dio un valor de 6, y por lo tanto, de acuerdo con el Cuadro 16, puede ser considerado como regular con tendencia hacia bueno, indicando que la regeneración en estos tramos, está moderadamente afectada por las prácticas agrícolas de las comunidades q'echi' en estas áreas.

Finalmente, al igual que los tramos 6, 11 y 12; de los atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico de las riberas, solo el atributo 4 presentó valores bajos y no así los atributos 5, 6 y 7 los cuales presentaron valores entre 7 y 10, lo cual es considerado como bueno, tomando como base lo descrito en los Cuadros 17 y 18.

De acuerdo con los valores obtenidos para el índice RQI (Tramo 15 RQI=64, Tramo 03 RQI=65, Tramo 16 RQI=73 y Tramo 14 RQI=74) y tomando como base lo descrito en el Cuadro 11, el estado de la calidad ecológica de las riberas para estos tramos es **regular**, y por lo tanto, **existe la necesidad de restauración para asegurar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas.**

Tramos 7, 5, 13, 10, 9, 17, 2, 8, 18, 20, 1, 4, 19 y 21

De acuerdo con el Cuadro 54, puede constatar que con base a los valores del índice RQI, estos tramos presentan un **estado bueno**, indicando que solamente dos o tres atributos de

las riberas están amenazados en su funcionamiento (Cuadro 11), lo cual se constata a través de las Figuras 32 y 33. Sin embargo, con el objeto de facilitar la interpretación del comportamiento de estos atributos en los tramos evaluados y tomando como base los resultados del análisis de conglomerados (Figura 30) se decidió clasificar estos tramos en dos grupos: grupo 1 (7, 5, 13, 10, 9, 17, 2, 8, 18 y 20) y grupo 2 (1, 4, 19 y 21).

✓ ***Atributos de los tramos del grupo 1***

Al observar los valores de los atributos 1, 2, 3 y 4 (Cuadro 59), puede constatar a través de los Cuadros 12-15, que existen buenas condiciones en la continuidad longitudinal, dimensiones de anchura, en la composición y estructura de la vegetación ribereña natural asociada al río. Sin embargo, aspectos como la ubicación, el acceso, las condiciones topográficas (tipo de valle) y la altitud permiten que en estas áreas se desarrollen actividades agrícolas, generándose amenazas hacia las riberas del cauce principal y en las riberas de las quebradas. Los atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico, a excepción del atributo 4, muestran que el funcionamiento hidrológico de las riberas en estos tramos presenta un estado de bueno a óptimo (Cuadros 16-18), lo cual se explica por la carencia de infraestructura, obras de desarrollo hidráulico, bordas, desvío de los cauces, etc. que alteran e impiden la interacción entre el cauce y las riberas.

✓ ***Atributos de los tramos del grupo 2***

A través del Cuadro 59 y en las Figuras 32 y 33 puede verificarse que los atributos 1-3 son los que presentan los valores más bajos, sin embargo, de acuerdo con los Cuadros 12-15 el atributo 1 se encuentra en estado óptimo para todos los tramos, y los atributos 2 y 3 se encuentran en estado bueno para los mismos tramos, por lo tanto, existe una tendencia de bueno a óptimo para estos tramos, teniendo como referencia la continuidad longitudinal, la anchura y la composición y estructura de la vegetación ribereñas asociada al río. La amenaza para este grupo disminuye en comparación con el grupo anterior, ya que los tramos de este grupo se ven favorecidos por el tipo de cobertura predominante en las riberas y en las áreas adyacentes. Con relación a los atributos que caracterizan el funcionamiento hidrológico, los atributos 4 y 7, muestran que el funcionamiento hidrológico de las riberas en estos tramos presenta un estado de bueno a óptimo y los atributos 5 y 6 se encuentran en estado óptimo, cuya explicación es similar al caso al grupo anterior, ya que la carencia de infraestructura,

obras de desarrollo hidráulico, bordas, desvío de los cauces, presencia de áreas urbanas, etc. están favoreciendo la interacción entre el cauce y las riberas.

Tramo 22

Con base a los Cuadros 59 y 60 y Figura 32 puede constatar que el valor más alto para el índice RQI se encontró en el tramo 22 (RQI=106), que de acuerdo con el Cuadro 60, el estado de la ribera para este tramo es considerado como “muy bueno”, es decir, que no presenta amenazas en su funcionamiento (Cuadro 11). Esta situación obedece a la ubicación, el tipo de valle (valle I) y la cobertura (bosque natural) predominante en este tramo, viéndose levemente afectado por algunos cultivos como el café y el cardamomo que se encuentran principalmente en las áreas adyacentes a la ribera izquierda.

Consideraciones finales del índice RQI en los tramos evaluados

De acuerdo con el Cuadro 60 y la Figura 35, la calidad ecológica de las franjas ribereñas en la microcuenca del río Toila (64% de los tramos evaluados) presentan buenas condiciones, por lo tanto, es necesario que exista interés en la protección, para prevenir la alteración y mejorar la integridad de las funciones de las franjas ribereñas. Asimismo, se puede notar que el 14% de los tramos tienen un estado pobre (tramo 6, 11 y 12), lo cual indica que es necesario recuperar la funcionalidad hidrológica y ecológica de las riberas a través de la rehabilitación y restauración.

Un 18% de los tramos evaluados se encuentran en estado regular, mostrando que existe la necesidad de restaurar y mejorar la integridad de las funciones de las franjas ribereñas. Por último, el tramo 22 que representa el 4% de los tramos evaluados presenta un estado muy bueno, por lo que una de las estrategias de gestión consiste en el interés de mantener el estado actual y prevenir la alteración de las funciones de las franjas ribereñas.

De acuerdo con Gonzalez y García (1998), las prioridades en las actuaciones de restauración tienen que ir enfocadas inicialmente a la prevención de futuros deterioros, luego a la conservación y protección y por último la restauración y rehabilitación. De acuerdo con esto, las estrategias de gestión para la restauración de las franjas ribereñas en la microcuenca del río Toila, deberán ir enfocadas a la conservación de los tramos en estado “muy bueno”; la

protección de los tramos en estado “bueno” y la restauración y rehabilitación de los tramos en estado regular y pobre.

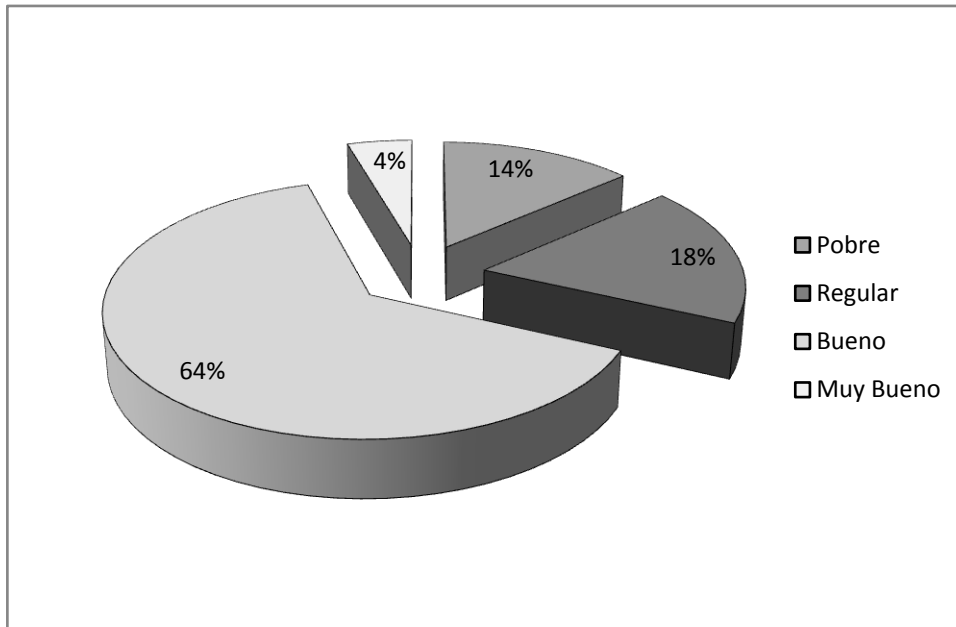


Figura 35. Proporciones de los estados ecológicos de los tramos evaluados

A través de la vegetación que se desarrolla en las áreas en descanso y en los bosques en recuperación, puede constatarse que en el área de estudio existe una buena capacidad de regeneración en estas áreas. Por lo tanto, algunas alternativas que se pudiesen aplicar para los tramos en estado regular y pobre, en función de los atributos con más alteraciones son las siguientes:

✓ **Incremento de la continuidad longitudinal y dimensiones de anchura**

Realizar una delimitación de al menos 30 m de franjas ribereñas continuas a lo largo de los cauces, mediante acuerdos con los agricultores y actores clave para recuperar las áreas ribereñas donde la vegetación pueda regenerarse por sí misma, de acuerdo a la dinámica hidromorfológica del tramo.

✓ **Mejorar la composición y estructura de la vegetación**

Lograr una coordinación interinstitucional para fomentar la legalización de tierras e incentivar el desarrollo de actividades forestales y de conservación (PINFOR de protección) para mejorar el control de las prácticas de cultivo limpio y agroforestales que se desarrollan en

algunas áreas de franja ribereña. De esta manera puede mejorarse la regeneración natural de las especies leñosas necesarias para la recuperación de la estructura de las riberas fluviales.

✓ **Promoción de la regeneración natural de la vegetación**

Mediante acuerdo con las comunidades y actores clave, establecer programas de monitoreo y control de actividades agrícolas que afecten a la regeneración natural de la vegetación ribereña.

4.4.1.2 Relación entre los usos de la tierra y la calidad de agua

Se realizaron análisis de varianzas (ANAVA) entre los parámetros de calidad de agua con las estaciones (puntos de muestreo) y con las épocas de muestreo. Asimismo se hicieron análisis de correlaciones entre los parámetros de calidad de agua con los porcentajes de uso de la tierra y entre los parámetros, los cuales se presentan a continuación.

Relación entre la calidad del agua con las estaciones y épocas de muestreo

Los resultados del análisis de varianza (ANAVA) muestran que hubo diferencia significativa para algunos parámetros con respecto a la estación de muestreo, como por ejemplo; nitratos ($p = 0.0119$), salinidad ($p < 0.0001$) y la temperatura ($p < 0.0001$). Asimismo, hubo diferencia significativa entre la mayoría de los parámetros evaluados y la época: nitratos ($p < 0.0001$), los nitritos ($p < 0.0001$), demanda química de oxígeno ($p = 0.0005$), el calcio ($p < 0.0001$), sólidos sedimentables ($p = 0.0210$), salinidad ($p < 0.0001$) y la temperatura ($p < 0.0001$). El Cuadro 61 resume los resultados del análisis de la varianza de los parámetros con respecto a la estación y la época.

Cuadro 61. Resultados del análisis de varianzas de los parámetros evaluados entre estaciones y épocas de muestreo

| Parámetro | Estación | Época |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| Nitratos (mg/l) | p = 0.0119 | p <0.0001 |
| Nitritos (mg/l) | p = 0.2352 | p <0.0001 |
| Fósforo total (mg/l) | p = 0.4085 | p = 0.1567 |
| Demanda química de oxígeno (mg/l) | p = 0.0527 | p = 0.0005 |
| Calcio (mg/l) | p = 0.0799 | p <0.0001 |
| pH | p = 0.5155 | p = 0.5590 |
| Sólidos sedimentables (mg/l) | p = 0.1567 | p = 0.0210 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | p = 0.1421 | p = 0.6959 |
| Salinidad (µs/cm) | p <0.0001 | p <0.0001 |
| Temperatura (°C) | p <0.0001 | p <0.0001 |

De acuerdo con el Cuadro 62 y la Figura 36, puede constatarse que la mayor concentración de **nitratos** se da para la época seca, donde la temperatura es más alta y tanto el caudal, como el nivel del río, disminuyen. La disminución de este parámetro concuerda con lo descrito por García (2003) quien encontró las mayores concentraciones para este parámetro durante el mes de abril, atribuyendo que este aumento se debe probablemente a la disminución del caudal por corresponder a la estación seca y por consiguiente, hubo una mayor concentración de los nitratos disueltos en el agua.

Cuadro 62. Promedios de los parámetros evaluados por época de muestreo

| Parámetros | Inicio de lluvia | Lluviosa | Seca |
|-----------------------------------|------------------|----------|----------|
| Nitratos (mg/l) | 0.002 a | 0.029 b | 0.247 c |
| Nitritos (mg/l) | 0.001 a | 0.342 b | 0.000 a |
| Fósforo total (mg/l) | 0.039 a | 0.000 a | 0.000 a |
| Demanda química de oxígeno (mg/l) | 44.222 a | 33.526 b | 56.875 c |
| Calcio (mg/l) | 0.000 a | 17.421 b | 9.500 c |
| pH | 7.688 a | 7.682 a | 7.611 a |
| Sólidos sedimentable (mg/l) | 0.006 a | 0.063 a | 0.000 b |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 2.913 a | 3.037 a | 2.811 a |
| Salinidad (µs/cm) | 20.944 a | 22.684 a | 34.688 b |
| Temperatura (°C) | 20.628 a | 20.653 a | 24.513 b |

Letras distintas indican diferencias entre medias ($p < 0.05$) obtenidas por medio de la prueba LSD de Fisher sobre las variables transformadas a rangos.

Asimismo en la época de mayo los valores disminuyeron probablemente por el incremento en el caudal, lo cual coincide con los resultados antes descritos.

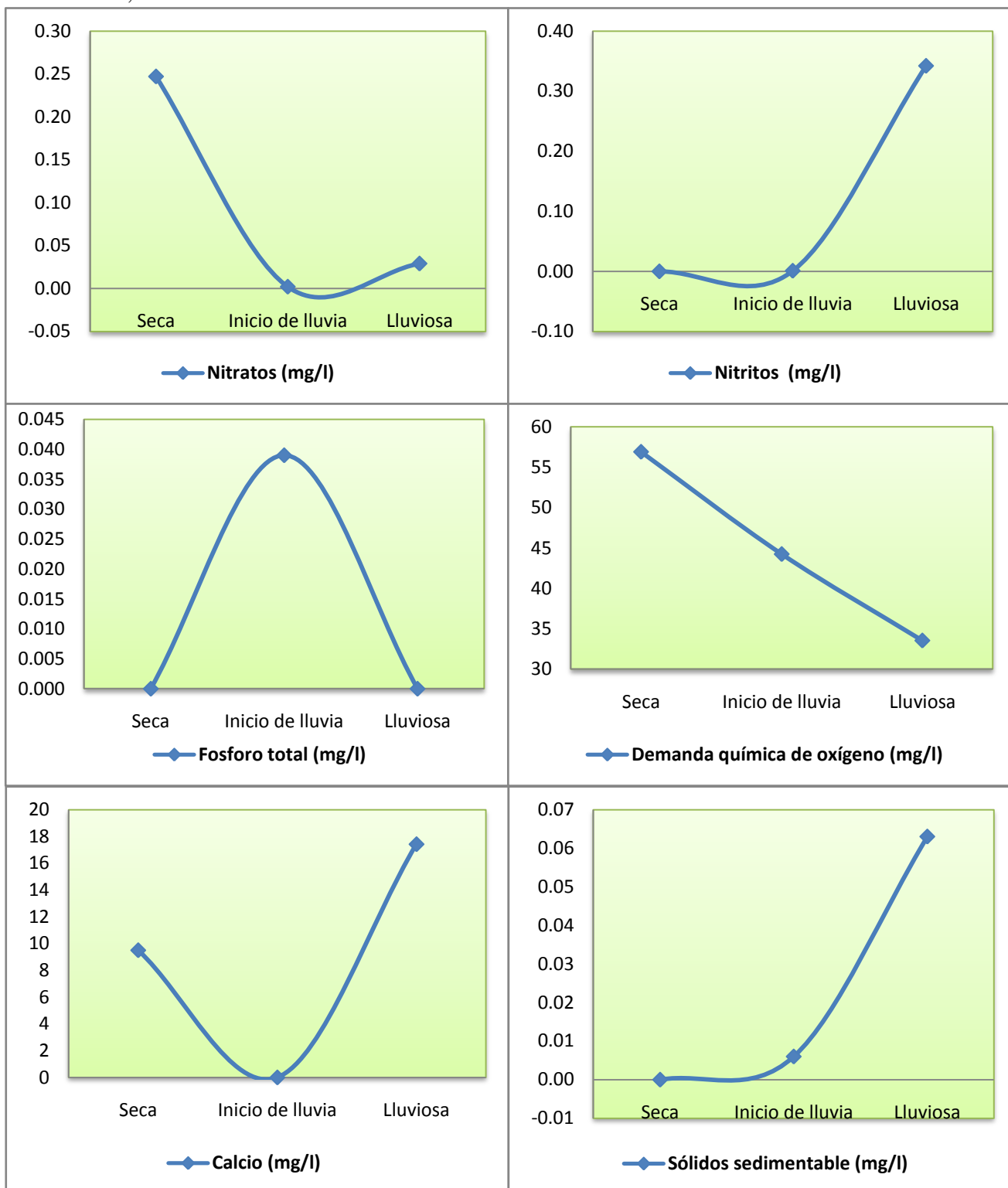


Figura 36. Comportamiento de nitratos, nitritos, fósforo total y demanda química de oxígeno en las épocas de muestreo

De acuerdo con lo descrito por Chapman (1996) las concentraciones de nitratos en la época seca sobrepasaron las concentraciones naturales que raramente exceden de 0.1 mg/l, por lo tanto, se atribuye que este incremento se está viendo afectado por los vertidos de desechos humanos y animales de las comunidades asentadas en el área de estudio. Es importante mencionar que en estas comunidades por motivos de acceso, económicos y culturales no se realizan prácticas de fertilización y en la gran mayoría de los casos no utilizan ningún tipo de pesticida para los cultivos.

A través de la Figura 36 y el Cuadro 62 pueden constatar que los **nitritos** alcanzaron su mayor concentración en la época lluviosa (0.342 mg/l), lo cual puede ser atribuido por el arrastre de desechos humanos y de animales domésticos (por ejemplo; las eses y orinas) provenientes de las comunidades hacia el río. De acuerdo con Chapman (1996), esta concentración puede ser considerada como alta en comparación con los valores máximos permisibles considerados para el mantenimiento de peces y especies acuáticas para países como EEUU, Canadá y Rusia. Es probable que este comportamiento, para estos dos parámetros (nitratos y nitritos) pueda estarse viendo afectado por descargas directas de estos desechos hacia el río.

El fósforo al igual que los nitritos alcanzó su mayor concentración en la época lluviosa (0.039 mg/l) (Figura 36 y Cuadro 62) el cual puede ser atribuido al vertido de aguas residuales provenientes de las comunidades. De acuerdo con lo descrito por Chapman (2006), los residuos domésticos (en particular los que contienen detergentes) pueden aumentar las concentraciones de fósforo en los cuerpos de agua superficial. Asimismo señala que en la mayoría de las aguas superficiales naturales, el fósforo oscila entre 0,005 a 0,020 mg/l. Concentraciones tan bajas como 0,001 mg/l se puede encontrar en algunas aguas prístinas y tan altas como 200 mg/l en algunos cuerpos de agua cerrados y con altas concentraciones de salinidad. Por lo tanto, este valor (0.039 mg/l) puede considerarse como moderadamente alto, ya que sobrepasa los valores considerados anteriormente por Chapman (1996).

La demanda química de oxígeno presentó las concentraciones más altas para la época seca (56.87 mg/l) (Cuadro 62 y Figura 36), lo cual fue disminuyendo en función de la época (44.22 mg/l en la época de inicio de lluvia y 33.52 mg/l en la época lluviosa), con lo cual se demuestra la influencia del aumento del caudal en la disminución de la concentración de este parámetro. De acuerdo con Chapman (1996) puede observarse que el agua presenta concentraciones superiores a las permitidas para aguas superficiales para consumo humano

(<20 mg/l). Estas concentraciones pueden ser atribuidas mayormente a los vertidos realizados por las comunidades y por la tasas de descomposición de materia orgánica, ya que este método no diferencia materia orgánica e inorgánica.

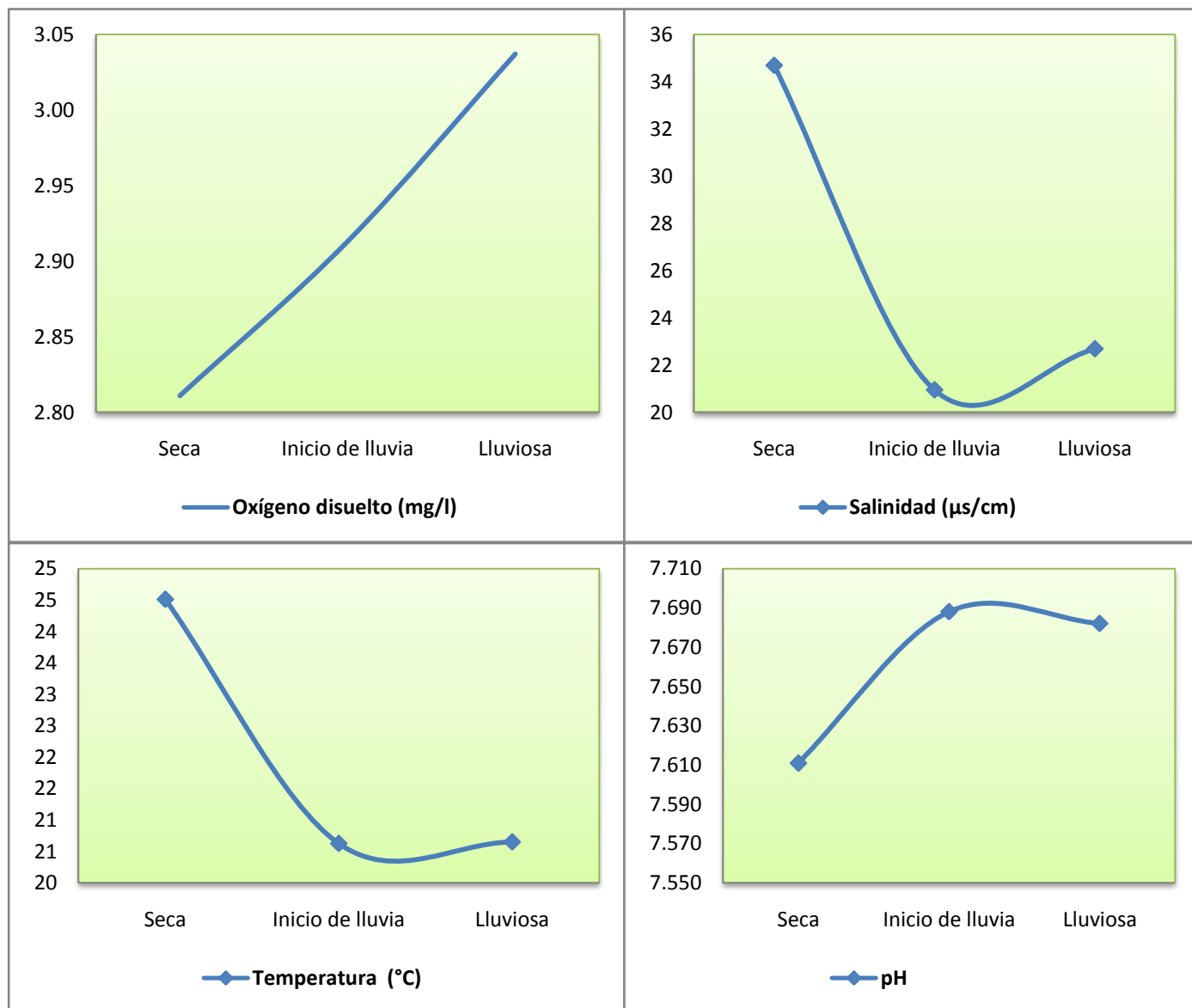


Figura 37. Comportamiento del oxígeno, salinidad, temperatura y pH en las épocas de muestreo

El **Calcio** de acuerdo con la Figura 36 puede constatar que sus mayores concentraciones se encontraron para la época lluviosa (17.42 mg/l). Esta concentración puede estar afectada por la presencia de algunas rocas ricas en minerales de calcio como carbonatos y sulfatos. De acuerdo con Chapman (1996) dicha concentración puede ser considerada como adecuada, ya que las concentraciones de este elemento para cuerpos de agua naturales, normalmente son inferiores a 15 mg/l.

Los sólidos sedimentables manifestaron un comportamiento muy similar a los nitritos (Figura 36), alcanzándose las mayores concentraciones en la época lluviosa (0.063 mg/l), lo cual puede ser atribuido al incremento de la escorrentías que se da para estas épocas, la cual arrastra materia orgánica e inorgánica producto de la erosión del suelo en el área de estudio. Esto concuerda con los resultados encontrados por Calvo y Molina (2006) para las cuencas del río Tárcoles y Reventazón. De acuerdo con la clasificación y monitoreo de los cuerpos de agua superficiales propuesta por MINAE (2007), estas concentraciones tan bajas son consideradas como de clase 1, es decir utilizable y sin limitaciones.

El pH se mantuvo dentro de los rangos de neutralidad y de acuerdo con Chapman (1996) se encuentra dentro del intervalo de 6.0 a 9.0 que es donde se brindan la mayor protección a la vida de los peces e invertebrados de agua dulce que habitan en el fondo. Asimismo, de acuerdo con MINAE (2007) estas aguas son consideradas como utilizables y sin limitaciones.

De acuerdo con la (Figura 37 y Cuadro 62) puede constatar que hubo una pequeña aumento en los valores de pH durante el inicio de la época lluviosa y la época lluviosa. Este comportamiento se explica por el aumento de la escorrentía en estas épocas, donde muchas sustancias ricas en dióxido de carbono, carbonatos y bicarbonatos, así como jabones y detergentes que son arrastradas desde las áreas comunitarias hacia el río.

De acuerdo con la Figura 37, **el oxígeno disuelto** aumentó su concentración en función de la época lluviosa, lo cual se explica por el aumento de los caudales en las quebradas, coincidiendo con los resultados reportados por García (2003) en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras.

Según Chapman (2006) los cuerpos de agua no contaminados usualmente contienen concentraciones menores 10 mg/l, por lo tanto, los niveles registrados no son una limitante para la supervivencia de grupos de organismos acuáticos, que en condiciones normales toleran hasta un mínimo de 6,5 mg/l (García 2003).

Para el caso de **la salinidad** puede observarse a través de la Figura 37, que las mayores concentraciones se dieron para la época seca (34.68 $\mu\text{s/cm}$) (Cuadro 61), las cuales disminuyeron con respecto a la época lluviosa (20.94 y 22.68 $\mu\text{s/cm}$). Este comportamiento se dio debido a que al incrementarse la frecuencia de precipitaciones, se aumenta el caudal y por lo tanto, se incrementa la solubilidad y se disminuye la concentración de iones disueltos relacionados con la conductividad. Estos resultados tienen relación con lo descrito por García

(2003) sobre los resultados de conductividad encontrados en la subcuenca del río Tascalapa, Honduras. De acuerdo con Chapman (2006) la conductividad para la mayoría de cuerpos de agua fresca varía de 10 a 1,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y excede de los 1,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ cuando se trata de aguas contaminadas y que reciben grandes cantidades de escorrentía, por lo tanto, las concentraciones para este parámetro son considerados como adecuados.

La temperatura mostró un comportamiento muy parecido a la salinidad, observándose los valores más elevados para la época seca (24.51 °C), el cual disminuyó con relación a la época de lluvia (Cuadro 62 y Figura 37). Este comportamiento es atribuido especialmente a la época del año, ya que en la época seca la temperatura ambiente es más alta y el caudal es inferior en comparación con la época lluviosa, donde la temperatura ambiente disminuye y los caudales aumentan. De acuerdo con Chapman (1996) los valores normales de Temperatura para los cuerpos de agua suelen variar entre 0 y 30 °C y mayores de 40 °C cuando se trata de aguas de influencia volcánica o aguas termales. Por lo tanto, los valores encontrados para la temperatura en las tres épocas pueden ser considerados como adecuados.

Con respecto a la estación o puntos de muestreo, hubo diferencia para los **nitratos** ($p = 0.0119$), **salinidad** ($p < 0.0001$) y **temperatura** ($p < 0.0001$), para el caso de los **nitratos** puede verse a través de la Figura 38, que la concentración de este parámetro se mantiene casi constante a lo largo de las estaciones de muestreo a excepción del punto 5, donde la concentración para este parámetro se dispara.

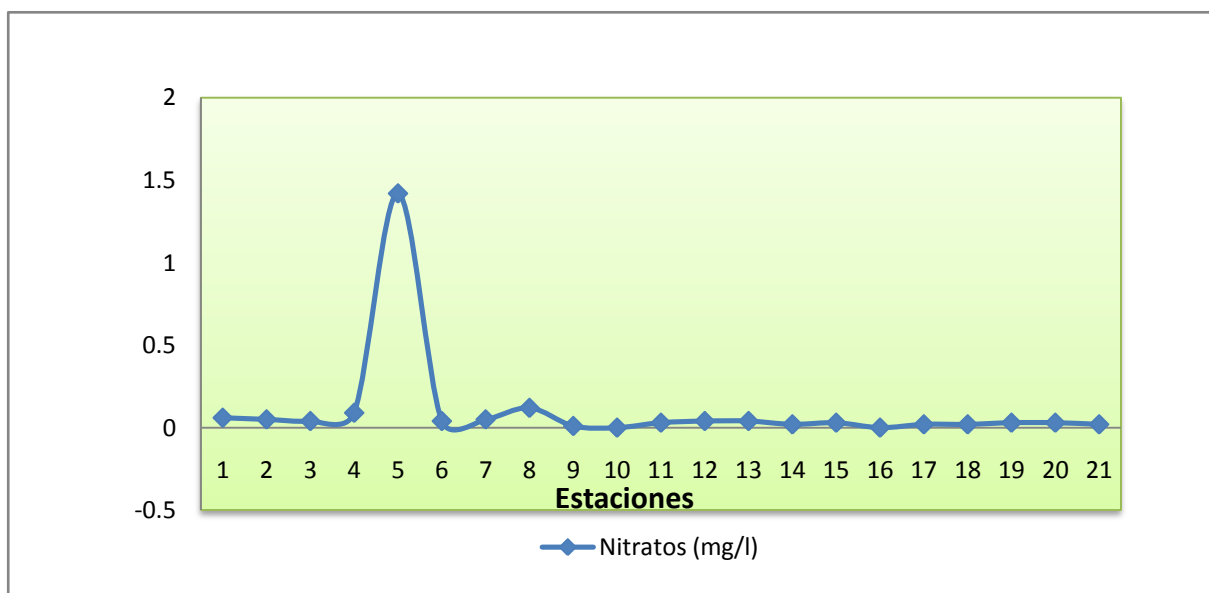


Figura 38. Fluctuación de las concentraciones de nitratos en las estaciones de muestreo

Este punto puede estar viéndose afectado por descargas directas de desechos humanos y de animales procedentes de la comunidad de San Antonio I.

La salinidad y la temperatura son parámetros que se encuentran relacionados (discutidos más adelante en el acápite correlaciones entre parámetros) y que para este caso, mostraron un comportamiento muy similar a lo largo de las estaciones de muestreo, lo cual se constata a través de la Figura 39, donde además pueden observarse picos de concentración para la salinidad y para la temperatura, los cuales están relacionados con los puntos de aforo de las quebradas que se unen al cauce principal. Por lo tanto, las mayores concentraciones de sales y la mayor temperatura se encontraron en estos sitios, que a su vez están relacionadas con la presencia de usos de la tierra diferentes del bosque natural y con la presencia de áreas urbanas. Por último, puede verse a través del comportamiento de estos parámetros, el efecto de dilución que se da a través del caudal que discurre por el cauce principal, el cual va neutralizando o mitigando la contaminación proveniente de estas quebradas con influencia antrópica.

Relación entre los usos de la tierra y la calidad del agua

En la época seca, el pH mostró una correlación negativa con respecto a la presencia de áreas en descanso ($p = 0.03$, $R = -0.53$) áreas urbanas ($p = 0.02$, $R = -0.57$), bosques en recuperación ($p = 0.02$ y $R = -0.57$) café con sombra ($p = 0.03$, $R = -0.55$), (Cuadro 53) para la época seca, esto demuestra que las áreas urbanas a través de los desechos vertidos, así como los usos de la tierra distintos del bosque natural, a través de los materiales orgánicos liberados a las corrientes y la disminución del caudal en esta época, permiten que los niveles para este parámetro disminuyan.

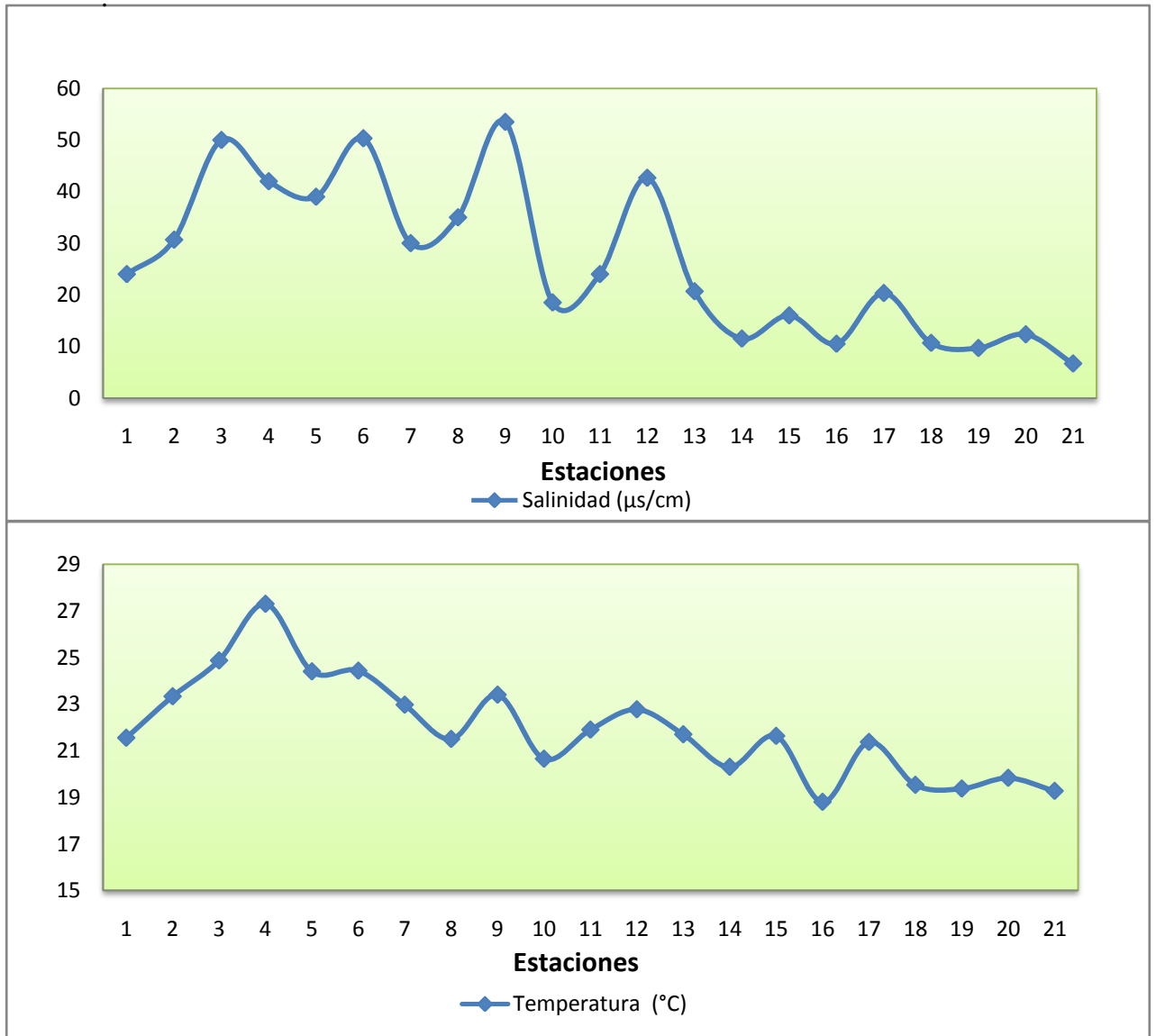


Figura 39. Fluctuaciones de la salinidad y temperatura en las estaciones de muestreo

El oxígeno disuelto, reveló un comportamiento similar al pH, el cual se correlacionó positivamente con todos los usos de la tierra a excepción del bosque natural para la época seca (Cuadro 63), lo cual se deben probablemente a que en gran parte de las áreas muestreadas, se observó que en las estaciones ubicadas en la parte más baja de la cuenca con usos de la tierra diferente del bosque, las fuentes presentaron mayor turbulencia y velocidad del agua, comparado con las zonas de bosque natural. Este comportamiento se relaciona con los resultados encontrados por García (2003) en el río Tascalapa Yoro, Honduras.

Y por último, **la temperatura** mostró comportamientos similares a los dos parámetros antes discutidos, es decir, hubo una correlación positiva entre la temperatura y los usos de la tierra existentes a excepción del bosque natural (Cuadro 63). Esto demuestra, que los usos de la tierra diferentes del bosque natural influyen directamente en la temperatura del agua al no bloquear directamente la luz solar, ya que de acuerdo con Emmingham et ál. (2005), la sombra de los árboles cortan la convectibilidad del calor y los transfieren al cuerpo de agua. Es decir, existe un menor grado de sombreado hacia el cuerpo de agua, permitiendo una mayor radiación solar hacia el mismo y por consiguiente el aumento en la temperatura.

Con respecto al **inicio de la época lluviosa**, solamente hubo correlación con los parámetros de **salinidad y temperatura** (Cuadro 63). **La salinidad** se correlacionó negativamente con el bosque natural ($p = 0.02$, $R = -0.55$), lo cual demuestra que el bosque natural está influyendo positivamente en la disminución de este parámetro. Asimismo, hubo una correlación negativa ($p = 0.03$, $R = -0.51$) entre la **temperatura** y el bosque natural, por lo tanto, el bosque a través de la sombra está permitiendo que se dé una menor radiación solar hacia el cuerpo de agua y por consiguiente la disminución de la temperatura. De esta manera se comprueba lo descrito por Emmingham et ál. (2005) sobre la importancia de la temperatura del agua en las franjas ribereñas. En el Anexo 7 se presenta la matriz de correlaciones entre usos de la tierra y los parámetros de calidad de agua.

Cuadro 63. Probabilidades y coeficientes de correlación entre usos de la tierra y algunos de los parámetros evaluados

| Parámetros | Usos de la tierra | | | | | | | Época |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| | Áreas en descanso | Áreas urbanas | Bosque en recuperación | Bosque natural | Café con sombra | Cardamomo con sombra | Cultivo limpio | |
| <i>pH</i> | p = 0.03 R = -0.53 | p = 0.02 R = -0.57 | p = 0.02 R = -0.57 | xxx xxx | p = 0.03 R = -0.55 | xxx xxx | xxx xxx | Seca |
| <i>Oxígeno disuelto (mg)</i> | p = 0.02 R = 0.62 | p = 0.02 R = 0.58 | p = 0.02 R = 0.58 | xxx xxx | p = 0.03 R = 0.54 | p = 0.01 R = 0.6 | p = 0.02 R = 0.56 | |
| <i>Temperatura (°C)</i> | p = 0.01 R = 0.62 | p = 0.01 R = 0.66 | p = 0.01 R = 0.62 | xxx xxx | p = 0.01 R = 0.65 | p = 0.01 R = 0.66 | p = 0.01 R = 0.6 | |
| <i>Salinidad (µs/cm)</i> | xxx xxx | xxx xxx | xxx xxx | p = 0.02 R = -0.55 | xxx xxx | xxx xxx | xxx xxx | Inicio de época lluviosa |
| <i>Temperatura (°C)</i> | xxx xxx | xxx xxx | xxx xxx | p = 0.03 R = -0.51 | xxx xxx | xxx xxx | xxx xxx | |
| <i>Nitratos</i> | p = 0.0027 R = 0.65 | p = 0.003 R = 0.64 | p = 0.0039 R = 0.63 | xxx xxx | p = 0.002 R = 0.66 | p = 0.0042 R = 0.63 | p = 0.0026 R = 0.65 | Época lluviosa |
| <i>Nitritos</i> | p = 0.02 R = 0.51 | p = 0.04 R = 0.48 | p = 0.02 R = 0.53 | xxx xxx | p = 0.02 R = 0.54 | p = 0.02 R = 0.54 | p = 0.01 R = 0.56 | |

R = coeficiente de correlación p = valor de probabilidad

En la **época lluviosa** hubo correlaciones positivas de los **nitratos y nitritos** con todos los usos de la tierra distintos del bosque natural (Cuadro 63), esto demuestra que estos usos de la tierra están influyendo en el aumento de las concentraciones para estos parámetros. Asimismo la ausencia de coberturas distintas al bosque natural en las franjas ribereñas pueden estar facilitando el aumento de estos parámetros, ya que de acuerdo con Emmingham et ál. (2005) y Granados (2006) las plantas de las franjas ribereñas pueden absorber nutrientes provenientes de actividades agrícolas en áreas aledañas.

Correlaciones entre los parámetros evaluados

Existe una correlación positiva entre **los nitratos y nitritos (p = 0.03, R = 0.49)** (Cuadro 64) lo cual se explica por el hecho de que los nitritos dependen de procesos bioquímicos mediante los cuales, los nitratos son reducidos a nitritos por procesos de denitrificación que usualmente se dan bajo condiciones anaeróbicas (Chapman 1996).

Cuadro 64. Matriz de correlaciones y de probabilidades para los parámetros físicos-químicos evaluados

| | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Fósforo total (mg/l) | Demanda química de O | Calcio (mg/l) | pH | Sólidos sedimentables | Oxígeno disuelto (mg) | Salinidad (µs/cm) | Temperatura (°C) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Nitratos (mg/l) | 1 | 0.03 | 0 | 0.13 | 0.68 | 0.34 | 0.29 | 0.3 | 3.70E-03 | 0.05 |
| Nitritos (mg/l) | 0.49 | 1 | 0 | 0.45 | 0.75 | 0.21 | 0.47 | 0.21 | 0.36 | 0.58 |
| Fosforo total (mg/l) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Demanda química de O | -0.36 | -0.18 | 0 | 1 | 0.52 | 0.69 | 0.36 | 0.67 | 0.14 | 0.36 |
| Calcio (mg/l) | -0.1 | -0.08 | 0 | 0.16 | 1 | 0.2 | 0.73 | 0.34 | 0.25 | 0.22 |
| pH | 0.23 | 0.3 | 0 | -0.1 | -0.31 | 1 | 1 | 0.49 | 0.1 | 0.11 |
| Sólidos sedimentables | -0.25 | -0.18 | 0 | 0.22 | -0.09 | -8.40E-04 | 1 | 8.40E-06 | 0.77 | 0.11 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | -0.25 | -0.3 | 0 | 0.1 | 0.23 | -0.17 | 0.84 | 1 | 0.76 | 0.64 |
| Salinidad (µs/cm) | 0.63 | 0.22 | 0 | -0.35 | -0.28 | 0.39 | 0.07 | -0.07 | 1 | 2.80E-08 |
| Temperatura (°C) | 0.45 | 0.14 | 0 | -0.22 | -0.3 | 0.38 | 0.38 | 0.12 | 0.92 | 1 |

Valores arriba de la diagonal principal indican los valores de probabilidad con una significancia ($p < 0.05$)

Valores debajo de la diagonal indican el grado de correlación "R"

Asimismo hay correlación entre los **nitratos y salinidad** ($p = 0.0037$, $R = 0.63$) la cual puede explicarse por el hecho de que la salinidad al igual que los nitratos, se ve favorecida por la descargas de desechos humanos y animales hacia los ríos, las cuales son fuentes de nitrógeno y de sales, además de acuerdo con Chapman (1996), la concentración de iones como el Na^+ aumenta a medida que existan descargas de desagües y efluentes procedentes de áreas urbanas. Además se le encuentra de forma natural en desechos de plantas y animales. Otra correlación importante se da entre **sólidos sedimentables y el oxígeno disuelto** ($p = 0.0000084$, $R = 0.84$), esta correlación se origina, debido a que los sólidos sedimentables y el oxígeno disuelto se incrementan en la época lluviosa donde la escorrentía y el caudal aumentan, originándose también un aumento en la concentración de los sólidos sedimentables. Así, el aumento del caudal y el movimiento de las corrientes provocan consecuentemente, un

aumento en la concentración del oxígeno disuelto. **Y por último, se da una correlación entre la salinidad y la temperatura ($p = 0.000000028$, $R = 0.92$)**, este comportamiento puede verificarse en la Figura 39, donde se puede observar que la temperatura y la concentración de sales aumenta o disminuye en función de la época. De acuerdo con Chapman (1996), la conductividad del agua depende de factores como la temperatura, ya que un aumento en este parámetro puede favorecer la concentración de iones, los cuales favorecen conductividad de los cuerpos de agua.

Se detectó la presencia de coliformes fecales y *escherichia coli* en todos los puntos de muestreo, incluso en los puntos de las quebradas provenientes de la parte alta, donde existe poca influencia humana, con lo cual puede atribuirse que la presencia de estos microorganismos está siendo favorecida no solo por los desechos humanos, sino también por la presencia de animales silvestres.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Aunque existen elementos jurídicos en la Constitución través de los artículos 121, 122, 126 y 128 donde establece que es obligación de los usuarios de aguas reforestar y proteger las riberas y cauces para garantizar su permanencia. El régimen jurídico de las franjas ribereñas se muestra disperso, con un marcado enfoque sectorial y carente de una ley específica que oriente su administración integral.
- Si bien el MARN es el ente rector en materia de franjas ribereñas, existen deficiencias en su liderazgo que afectan la gestión de estas áreas, lo que se manifiesta en la falta de acciones concretas para la protección y gestión de las mismas
- De acuerdo con las entrevistas realizadas a representantes de instituciones y con base a los talleres realizados en las comunidades, se evidencia que el conocimiento que existente sobre las funciones de las franjas ribereñas es muy general y requiere reforzarse.
- Es necesario un mayor esfuerzo en investigación y gestión de franjas ribereñas, ya que actualmente no existe ninguna institución trabajando directamente en éstas áreas; los esfuerzos son dispersos e incipientes.
- Los procesos relacionados con los aprovechamientos de recursos naturales en franjas ribereñas enfrentan conflictos legales de aplicación, normativos y reglamentarios, por lo que en algunos casos se debe de solicitar a la Corte de Constitucionalidad definición al respecto.
- Existe una percepción favorable de las comunidades q' echi presentes en el área de estudio, respecto a los servicios ambientales, económicos y sociales que les proporcionan las franjas ribereñas, pero enfrentan el dilema de utilizarlas para la agricultura, ya que son de mayor productividad en comparación con las áreas adyacentes.
- Existen diferencias significativas entre la fertilidad de los suelos de áreas de bosque ribereño y adyacente encontrándose los niveles más altos de fertilidad en los suelos de bosques ribereños, los cuales a su vez influyeron positivamente en la composición y estructura de estos bosques ribereños en comparación con los bosques adyacentes.

- Los resultados del estudio evidencian claramente que existen especies indicadoras de los bosques ribereños, en este caso destacan las siguientes especies: Cacao de montaña , Guarumo (*Cecropia peltata* L.), Raxché, Xoot , Cuje de montaña , Vatch , Suj y el Tzimpté .
- No existen diferencias significativas entre la estructura de los bosque ribereños y adyacentes, asimismo, no se encontraron diferencias significativas entre la diversidad de los bosques ribereños y los adyacentes con respecto al índice de Shannon y Simpson. No obstante, existe una diversidad levemente mayor en los bosques adyacentes en comparación con los bosque ribereños.
- La estructura para ambos tipos de bosques con respecto las densidades y clases diamétricas muestran un comportamiento en “J” invertida, lo cual indican el buen estado para ambos tipos de bosque, ya que esta es la estructura típica de los bosques naturales.
- La capacidad de las franjas ribereñas para reducir la erosión y contaminación varía de buena a lo largo del cauce principal, a moderada en las quebradas. El valor del índice CR se vio fuertemente favorecido por el bosque natural principalmente en las áreas de fuerte pendiente.
- No hubo diferencia significativa en la capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación cuando se utilizó el índice CR y el método de sistemas de información geográfica, por lo que se sugiere utilizar este último si se cuenta con la información necesaria, ya que es más simple.
- La mayoría de las franjas ribereñas de la microcuenca del río Toila presenta buenas condiciones con respecto a su estructura y funcionamiento hidrológico, como lo evidencian los valores de RQI obtenidos, que son superiores a 80 y menores a 100.
- La estrategias de gestión para la restauración de las franjas ribereñas en la microcuenca del río Toila, deberán de enfocarse en la conservación y prevención de la alteración de las funciones hidrológicas de los tramos en estado “muy bueno”; la protección de los tramos en estado “bueno”; la restauración de los tramos en estado “regular” y la rehabilitación y restauración de los tramos en estado pobre.
- La metodología RQI resultó muy práctica y útil, presenta bases hidrológicas y geomorfológicas para la valoración de las riberas, permite conocer el estado de conservación de las mismas y reflejar dicho estado en cartografías de calidad, a partir

de las cuales se puede fácilmente localizar los tramos mejor conservados y relacionar el estado de cada tramo con las presiones e impactos existentes, a escala de cuenca vertiente, tramo de río o hábitat fluvial.

- Los mayores valores de los indicadores de calidad de agua se dieron para la época lluviosa, lo cual puede atribuirse a factores tales como el clima, la escorrentía superficial y la dinámica de los caudales en dichas épocas de muestreo.
- Existen diferencias significativas entre la época y los nitratos, nitritos, demanda química de oxígeno, calcio, sólidos sedimentables, salinidad y la temperatura.
- Los indicadores de calidad del agua oxígeno disuelto, temperatura, nitratos y nitritos fueron afectados negativamente por todos los usos de la tierra, excepto por el uso bosque natural.
- Se detectó la presencia de coliformes fecales y *escherichia coli* en todos los puntos de muestreo, incluso en los puntos de las quebradas provenientes de la parte alta, donde existe poca influencia humana, con lo cual puede atribuirse que la presencia de estos microorganismos está siendo favorecida no solo por los desechos humanos, sino también por la presencia de animales silvestres.
- A pesar de la existencia de buena cobertura vegetal en la microcuenca y a pesar de que las comunidades no fertilizan en las áreas de cultivo, se constató que todos los usos de la tierra, a excepción del bosque natural, influyen negativamente en las calidad del agua.

5.2 Recomendaciones

- De acuerdo con los entrevistados los principales roles que el gobierno debe ejecutar es la creación de un ente rector de cuencas hidrográficas y que por medio de este, se reforme y se cumpla la normativa legal relacionada con las franjas ribereñas. Asimismo deberá ordenarse e integrarse con las demás instituciones y actores, y crear algún tipo de incentivo para la protección de las franjas ribereñas.
- Para estudios específicos de composición florística, se recomienda incrementar el tamaño de la muestra para hacer más eficiente el muestreo.
- Realizar estudios de composición y estructura de la vegetación ribereña en la parte media y baja de la microcuenca para conocer cuáles son las especies indicadoras y con

base a esto, proponer proyectos de rehabilitación para aquellos tramos que de acuerdo con el Índice RQI se encuentran en estado pobre.

- Para estudios posteriores se recomienda revisar los términos técnicos utilizados en la metodología RQI y realizar las adaptaciones que sean necesarias para mejorar su eficiencia en las áreas en donde se desee aplicar.
- Es necesario que el Ministerio de Ambiente asuma liderazgo en la gestión de las franjas de las ribereñas y que divulgue su importancia como fuente de servicios ecosistémicos, económicos y sociales.
- Que el MARN incida ante las instituciones, organizaciones, COCODES, COMUDES, comités de cuencas, entre otros para que desarrollen proyectos encaminados a mejorar las condiciones de las franjas ribereñas en Guatemala.
- Realizar alianzas con el Ministerio de Educación, para que este tema sea incluido en las guías curriculares ambientales, con lo cual se estaría educando a las poblaciones jóvenes sobre la importancia de esta temática.
- Realizar alianzas entre el MARN como ente rector y el CONAP, INAB, MAGA y organizaciones ambientalistas a efecto de que en conjunto se trabaje en pro de la conservación de estas áreas, bajo un enfoque integral y sin duplicación de esfuerzos.
- Que las instituciones de gobierno ambientalistas coordinen esfuerzos para formular un esquema de pago y/o compensación por servicios ecosistémicos para las franjas ribereñas o adaptar el esquema de Pinfor (Programa de incentivos forestales) de protección, para incentivar o compensar a los propietarios que protejan o manejen adecuadamente estas áreas.
- Que el MARN coordine charlas de capacitación y educación ambiental con las comunidades q'echi' para mejorar el manejo y protección de las franjas ribereñas.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Abernethy, B; Rutherford, D. 1999. Guidelines for stabilising streambanks with riparian vegetation. Technical report 99/10. US. Cooperative research centre for catchment hydrology. 37 p.
- Abarca, FJ. Sf. Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. Arizona, US. 32 p.
- Amitha Bachan, KH. 2003. Riparian vegetation along the middle and lower zones of the Chalakkudy river., Limnological Association of Kerala, Iringalakkuda Kerala, IN. 118 p.
- Aquino, JS. 2006. Análisis de los sistemas de vida: microcuencas de los ríos Cucanjá, Pueblo Viejo, Teculután y Pasabien. Guatemala, GT. WWF/CARE. 140 p.
- Aragón de Rendon, B; Rodas, O; Hurtado P. 2002. Informe nacional sobre la situación de cuencas en Guatemala. Tercer congreso latinoamericano de manejo de cuencas en zonas de montaña. FAO / REDLACH – PAFG. Guatemala, GT. 33 p.
- Arcos Torres, I. 2005. Efecto del ancho los ecosistemas ribereños en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba Costa Rica. 104 p.
- Auquilla Cisneros, RC. 2005. Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba CR, CATIE. 104 p.
- Ballard, G; Burnett, R; Burton, D; Chrisney, A; Comrack, L; Elliott, G; Gardali, T; Geupel, G; Heath, S; Humple, D; Kus, B; Lynes, M; Pitkin, M; Pomara, L; Scoggin, S; Small, S; Stralberg, D; Toniolo, V. 2004. A strategy for reversing the decline of riparian associated birds in California. California US. The Riparian Bird Conservation Plan. 170 p.
- Basterrechea, D. 1997. Limnología del lago de Amatitlán. Guayemala, GT. Universidad de San Carlos. 86 p.
Guatemala
- Belows, BC. 2003. Protecting riparian areas: farmland management strategies. ATTRA (Appropriate Tecnology Transfer for Rural Areas). US. 36 p.
- Bigley, R; Deisenhofer, F. 2006. Riparian forest restoration strategy. Washington, US. Department of Natural Resources. 92 p.

- Buzolich, G; Donal, M; Reynolds, J; Torres, L. 2007. Capacidad potencial de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión. *Recursos Naturales y Ambiente*. 51-52:175-183.
- Calvo Brenes, G; Mora Molina, J. 2006. Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón; Parte I: análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana. Cartago, CR. *Tecnología en Marcha* (20-2): 3-9.
- Chaney, E; Elmore, W y Plats, WS. 1991. Livestock grazing on western riparian areas. US. Environmental Protection Agency by Northwest. 47 p.
- Chapman D. 1996. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. UK. Chapman & Hall. Londres 609 p.
- Chará, J; Pedraza G; Giraldo L; Hincapié, D. 2007. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río la Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*. no. 45: 72-78 p.
- Colindres de Segura, M. 2008. Legislación vigente en Guatemala en el tema de los Recursos Hídricos. Guatemala, GT. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 32 p.
- Coles Ritchie, MC; Henderson, RC; Archer, EK; Kennedy, C y Kershner, JL. 2004. Repeatability of riparian vegetation sampling methods: how useful are these techniques for broad-scale, long-term monitoring? US, USDA. 24p.
- Dourojeanni, A. 2001. Water management at the river basin level: challenges in Latin America. Santiago, CL. CEPAL. 72 p
- Duff, JH; Jackman, AP; Triska, FJ; Sheibley RW; Avanzino, RJ. 2007. Nitrate retention in riparian ground water at natural and elevated nitrate levels in North Central Minnesota. (en línea). Consultado 07 nov. 2007. Disponible en: <http://jeq.sci journals.org/cgi/content/abstract/36/2/343>
- EEP (Ecosystem Enhancement Program). 2004. Guidelines for riparian buffer restoration. Canada. 12 p.
- Ehrlich, RL; Governor, JR; Steel, MS; Franks, CR; Koehn, SW. 2005. Riparian forest buffer design and maintenance. Maryland, US. Maryland Department of Natural Resources Forest Service. 60 p.
- Eichner, T. 2002. Ackerly Creek: Riparian buffer survey. Pennsylvania, Keystone College's Willary Water Discovery Center. United States. 18 p.

- Emmingham WH; Bishaw, B; Rogers, W. 2005. Tree buffers along streams on western Oregon Farmland. Oregon State University. EM 8895-E. 24 p.
- Environmental Protection Agency. 2005. National Management Measures to Protect and Restore Wetlands and Riparian Areas for the Abatement of Nonpoint Source Pollution. US. 204 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Sf. Manejo de cuencas, corrección de torrentes y control de aludes, rehabilitación de tierras y control de erosión. Roma, IT, 48 FAO p.
- Fisher, R A; Fischenich JC. 2000. Design recommendations for ribereñas corridors and vegetated buffer strips. (en línea). Vicksburg, US. EMRRP (Ecosystem Management and Restoration Research Program). Consultado 10 oct. 2007. Disponible en <http://www.dnr.wi.gov/org/water/wm/dsfm/shore/documents/sr24.pdf>
- García Obando, LA. 2003. Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 164 p.
- Garret, G. 2005. Establishing and managing riparian forest buffers. Missouri, US. University of Missouri. AF1009 – 2005. 20 p.
- Geilfus, F. 1997. 80 Herramientas Para el Desarrollo Participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación., San Salvador, Prochalate-IICA, ES. 208 p.
- González del Tanago, M. 1998. Restauración de los ríos: conceptos, objetivos y criterios de actuación. Madrid, ES. Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. p 21-31.
- González del Tanago, M; García de Jalón, D. 1998. Restauración de ríos y riberas. Madrid, ES. Fundación Conde del Valle de Salazar. 319 p.
- González del Tanago, M; García de Jalón, D; Lara, F y Garrileti, R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. Madrid, ES. p 97-108.
- González del Tanago, M; García de Jalón, D. 2006. Attributes for assessing the environmental quality of riparian zones. Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, ES. Limnetica 25(1-2): 389-402.
- Granados Sánchez, D; Hernández García, MA; López Río, GF. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. 16 p.

- Hill, WR. 1996, Factors affecting benthic algae: effects of light, In R.J. Stevenson, M.L. Bothwell & R.L. Lowe (eds), *Algal ecology—freshwater benthic ecosystems* San Diego, California, US. Academic Press, 80 p.
- Jiménez, F. 2007. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Curso Manejo de Cuencas. Turrialba, CR, CATIE. 29 p.
- Kerr, J. 2007. Watershed Management: Lessons from common property theory. *International Journal of the Commons*. Vol 1, no 1. Michigan State University, United State. pp. 89-109.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Trad. Antonio Carrillo. DE, GTZ. 335 p.
- Lovett S; Price, P. 1999. Riparian land management technical guidelines, volume one: Principles of Sound Management. LWRRDC (Land and Water Resources Research and Development Corporation). Australia. 198 p.
- Lovett S; Price, P. 2001. Managing riparian lands in the sugar industry: a guide to principles and practices, Brisbane, AU. Sugar Research & Development Corporation / Land & Water. 114 p.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2001. Base de datos del departamento de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Shapes finales de la cuenca del río Polochic. Guatemala, GT. MAGA. 1 disco compacto 80 min.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2004. Atlas temático de cuencas hidrográficas de la República de Guatemala. Guatemala, GT, MAGA. Versión electrónica.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2006. Orthofotos, "Proyecto obtención de imágenes digitales a escala de detalle de la República de Guatemala". Guatemala, GT, MAGA.
- MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, Guatemala); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2006. Marco político e institucional relativo al manejo de cuencas hidrográficas en Guatemala: inventario y análisis. Borrador. Guatemala, GT. MAGA/FAO. 74 p.
- Magurran, AE. 1988. Ecological diversity and its measurement. New Jersey. US. Princeton University Press. 179 p.

- Martinez, M; Dimas, L. 2007. Valoración económica de los servicios hidrológicos: subcuenca del río Teculutlán. Guatemala, GT. 60 p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2006. Plan de acción del lago de Izabal y Río Dulce., Guatemala, GT. MARN 78 p.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2004. Política Marco de Servicios Ambientales con énfasis en el Recurso Hídrico. Guatemala, GT. MARN 36 p.
- McNaught, D; Rudek, J y Spalt, E. 2003. Riparian Buffers: Common sense protection of north Carolina's Water. New York, US. Environmental Defense. 38 p.
- Meyer, JL; Jons, CL; Pool, GC; Jackson, CR; Kundell, JE; Rivenbark BL; Kramer, EL; y Bumback W. 2005. Implications of changes in riparian buffer protection for Georgia's Trout Streams. Georgia, US. The University of Georgia. 86p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2003. Propuesta de reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica. San José, CR. 22 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR). 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Decreto 33903-MINAE-S. La Uruca, CR. 7 p.
- Ministerio de Energía y Minas. 2000. Guía para el análisis y muestreo de suelos. (en línea) Perú. Consultado 12 de Nov. 2007. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dgaae/legislacion/guias/guiahidroxvii.pdf>
- Moreno, CE; 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza, ES. 84 p.
- De Noack, J y Bocaletti, M. 2007. Marco jurídico de los servicios hidrológicos para Guatemala. Guatemala, GT. WWF/CARE. 104 p.
- Ortiz, A. 2005. Restauración de bosques ribereños en paisajes antropogénicos, en el occidente de México. (en línea). Cuba. Consultado 07 de nov. 2007. Disponible en: www.dama.gov.co.
- Poulin. VA; Harris, C; Simmons, B; Holden, B. 2000. Riparian restoration in British Columbia: what's happening now, what's needed for the future. Columbia, US. 85 p.
- Ramos Bendaña, ZS. 2004. Estructura y composición de un paisaje boscoso fragmentado: herramienta para el diseño de estrategias de conservación de la biodiversidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba CR. CATIE 114 p.

- Raupach, MR; Leys, JF; Woods, N; Dorr, G y Cleugh, HA. 2000. Modelling the effects of riparian vegetation on spray drift and dust: the role of local protection. CSIRO Land and Water. 43 p.
- Sánchez Merlo, D; Harvey, CA; Grijalva, A; Medina, A; Vílchez, S; Hernandez, B. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista Biológica Tropical*. 53 (3-4): 387-414.
- Sardiñas Peña, O; Chiroles Rubalcaba, S; Fernández Novo, M; Hernández Rodríguez, Y; Pérez Cabrera, A. 2006. Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental* 6: 202-206.
- Samboni Ruiz, NE; Carvajal Escobar, Y; Escobar JC. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista ingeniería e investigación. Colombia, CO*. 27(3): 172-181.
- Treviño Garza, EJ; Cavazos Camacho, C; Aguirre Calderón, OA. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques* 7(1): 13-25.
- Tetzaguic, C. 2002. Monitoreo de la calidad del agua del lago de Amatitlán. Investigación del curso de Limnología y saneamiento de corrientes, Guatemala, GT. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria 44 p.
- Tschinkel, H. 2001. What really works in watershed management? Some lessons for Guatemala. Guatemala, GT. 20 p.
- Vermont Agency of Natural Resources. 2005. Riparian buffers and corridors. Waterbury. Vermont, US. 43 p.

7 ANEXOS

Anexo 1. Protocolo de entrevista Semi Estructurada para el análisis del contexto legal e institucional respecto a las franjas ribereñas en la parte alta de la cuenca del río Naranjo.

Dirigido a directores o encargado de instituciones, ONG, organizaciones, comités, entre otros.

Mi nombre es Jerson Elizardo Quevedo Corado, soy estudiante de la Maestría de Manejo de Cuencas Hidrográficas del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE, y estoy realizando un análisis del contexto legal e institucional respecto a la conservación, manejo y restauración de las franjas ribereñas de los ríos. Para realizar dicho trabajo es necesario conocer la información proveniente de cada uno de ustedes y poder comprender más sobre esta temática de acuerdo con el contexto actual.

En función de esto; me gustaría pedirle permiso para entrevistarle y aclararle algunos aspectos importantes:

- Esta entrevista está compuesta por 19 preguntas y considero que esta conversación nos toma alrededor de 30 minutos de su tiempo.
- Su participación en esta entrevista es totalmente **voluntaria** (**Si no desea participar** o si existe alguna pregunta que no desea contestar puede comunicarme sin ningún problema).
- Si en algún momento **se incomoda y no quiere continuar**, por favor me lo hace saber.
- Otra cosa que me gustaría aclarar es que su **respuesta es anónima**, es decir, aunque sus respuestas y las de las otras personas son importantes, serán estudiadas en conjunto y por eso; no se va a saber cuáles fueron sus respuestas en particular.
- Si mi pregunta no es clara o **si desea alguna explicación adicional** por favor no dude en preguntarme.
- ¿Si usted me lo permite? estaré tomando notas de sus respuestas para no perder la información y poderla analizar.

Por último recalcarle que la participación en esta entrevista es totalmente **voluntaria**.

Nombre: _____

Cargo que desempeña: _____

Nombre de la entidad: _____

Municipio: _____

Departamento: _____

Explicación sobre lo que es una franja ribereña (mostrar ilustraciones)

1. ¿Cuáles cree que son las funciones de las franjas ribereñas?

2. ¿Cuáles son las principales funciones y actividades que realiza con relación a los recursos naturales en franjas ribereñas?

3. ¿Cuáles son los mecanismos utilizados para la implementación de actividades en franjas ribereñas?

4. ¿Cuáles son las fortalezas, debilidades y dificultades de su institución para la implementación de actividades dentro de franjas ribereñas?

5. ¿Cuenta la institución con mecanismos para el monitoreo de las actividades implementadas?

6. ¿Cuáles cree que han sido las principales lecciones aprendidas en la implementación de actividades en franjas ribereñas?

7. ¿Cuáles son las instituciones, ONG u organizaciones que usted conoce y que estén trabajando en franjas ribereñas?

8. ¿Cómo cree que ha sido el rol del gobierno en el manejo, conservación y restauración de los recursos naturales a nivel de franjas ribereñas?

Bueno _____ Malo _____ Regular _____

Porque? _____

9. ¿Cuál cree que debería ser el rol del gobierno a través de sus instituciones en el manejo de los recursos naturales en las franjas ribereñas?

10. ¿Cuáles considera que son los principales obstáculos que impiden que se desarrollen actividades de manejo y conservación en franjas ribereñas de una manera más satisfactoria?

11. ¿Cómo considera usted que se están manejando las franjas ribereñas actualmente en Guatemala?

12. Cuáles cree que son las principales actividades antrópicas que están deteriorando a los recursos naturales de los ecosistemas ribereños de los ríos en Guatemala.

13. ¿Conoce alguna ley, política o normativo que hable sobre el manejo y protección de las franjas ribereñas de los ríos en Guatemala?

Si _____ No _____

Cuáles son las que usted conoce:

14. ¿Cree usted que se aplica la ley o se respeta lo que dicen las políticas y normativas de Guatemala respecto a esta temática?

15. ¿Qué proyectos o actividades conoce usted que se estén desarrollando a nivel de franjas ribereñas en Guatemala?

16. ¿Conoce si existe alguna estrategia o programas de educación ambiental relacionada con esta temática?

17. De acuerdo con el contexto actual, cree usted que si se compensara a los propietarios de terrenos en franjas ribereñas, ¿Dedicarían estas áreas para la conservación y restauración de las mismas?

18. ¿Tiene algún comentario o sugerencia?

Anexo 2. Listado de Instituciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan a nivel de recursos naturales en Guatemala

| Listado de Instituciones entrevistadas |
|--|
| Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) |
| Defensores de la Naturaleza |
| Instituto Nacional de Bosques (INAB) |
| Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- |
| Fundación para el Eco desarrollo (FUNDAECO) |
| Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce (AMASURLY-MARN) |
| World Wildlife Found (WWF) |
| Instituto de Agricultura Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) |
| Instituto de Incidencia Ambiental |
| Centro de Acción Legal Ambiental (CALAS) |
| Asociación Tercer Milenio (A3K) |
| The Natural Conservancy (TNC) |
| FAO |
| Alternativas de Desarrollo (ALDES) |
| Fundación Mario Dary (FUNDARY) |
| CARE Internacional |

Anexo 3

Legislación que influyen de manera indirecta en el manejo y conservación de las franjas ribereñas en Guatemala

Aspectos conceptualizados en la Constitución política de la República

La Constitución Política de la República de Guatemala incorpora en el artículo 97 que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Mencionando además que se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación. Así mismo, el artículo 119 obliga al estado a adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

En este sentido, el artículo 127 de la Constitución hace alusión al régimen de aguas como bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles incorpora la necesidad de creación de una ley específica que regule esta materia.

Legislación que influye indirectamente en el manejo y conservación de las franjas ribereñas

Código de Salud de 1932

El **artículo 420** de este mismo Código se habla sobre los álveos o cauces naturales de las corrientes discontinuas formadas con aguas pluviales y las define como el **terreno que aquéllas cubren durante sus avenidas ordinarias en las barrancas o ramblas que les sirven de recipiente**. De acuerdo con el **artículo 425** estas áreas de los ríos y arroyos pertenecen a los dueños de las heredades que atraviesan. Sin embargo, en el **artículo 423** se prohíbe a propietarios privados hacer en ellos labores, ni construir obras que puedan hacer variar el **curso natural** de las mismas en perjuicio de otro o cuya destrucción, por la fuerza de las avenidas, pueda causar daño a predios, fábricas, o establecimientos, fuentes, caminos o poblaciones.

Así mismo, en el **artículo 426** se hace alusión a los álveos o cauces de dominio nacional, el cual incluye lo siguiente:

- ✓ Los álveos o cauces de los arroyos que no se hallan descritos en el **artículo 425**
- y
- ✓ Los álveos o cauces naturales de los ríos a que se refieren los incisos 3² y 4³ del **artículo 402**, en la extensión que cubren sus aguas en las mayores crecidas ordinarias.

Decreto 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

El **Artículo 2** (Reformado por el Artículo 5 del Decreto Legislativo Número 90-2000) deja en claro que la aplicación de esta ley y de sus reglamentos compete al Organismo Ejecutivo, a través del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), cuyas funciones establece la Ley del Organismo Ejecutivo. Esta misma ley en el **Artículo 12** hace alusión a lo siguiente:

- La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general;
- La prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común, calificados así, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes;
- La creación de toda clase de incentivos y estímulos para fomentar programas e iniciativas que se encaminen a la protección, mejoramiento y restauración del medio ambiente;
- El uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos;
- Salvar y **restaurar aquellos cuerpos de agua que estén amenazados** o en grave peligro de extinción;

² Los ríos navegables o flotables, en la parte de su curso que tenga estas condiciones. Se entiende por ríos navegables o flotables, aquellos cuya navegación o flote sea posible natural o artificialmente.

³ Los ríos de cualquier clase y en toda la extensión que sirva de límite a la República, y los lagos o lagunas que no estén reducidos a propiedad particular.

En el **Artículo 15** se incluye un apartado específico relativo a la calidad de las aguas, el cual manda al Gobierno a velar por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:

a) Evaluar la **calidad de las aguas** y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus **características físicas, químicas y biológicas**;

b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental;

c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos;

d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua;

e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo;

g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies;

h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua; **Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala**;

k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

El MARN mediante el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha cinco de mayo, promovió la emisión del Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, cuyo objetivo es establecer un proceso continuo que permita:

a. Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.

- b. Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- c. Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada
- d. También es objeto del presente reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el MARN promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Decreto 4-89 Ley de Áreas Protegidas

La legislación promulgada para la protección de ecosistemas incluye una serie de instrumentos jurídicos que tienen como base constitucional el Artículo 64 que generó el Decreto 4-89, el cual, en el **Artículo 59** crea el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, con personalidad jurídica que depende directamente de la Presidencia de la República, cuya denominación abreviada en esta ley es "CONAP" o simplemente el Consejo, como el órgano máximo de dirección y coordinación del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) creado por esta misma ley, con jurisdicción en todo el territorio nacional, sus costas marítimas y su espacio aéreo. Esta ley en el **Artículo 13** referente a las fuentes de agua, establece que como programa prioritario del "SIGAP", se crea el Subsistema de Conservación de los Bosques Pluviales, de tal manera de asegurar un suministro de agua constante y de aceptable calidad para la comunidad guatemalteca.

El SIGAP integra el conjunto de zonas resguardadas y entidades que administran cada una de ellas, a fin de conservar, rehabilitar y mejorar los recursos naturales de Guatemala y la diversidad biológica que albergan dichas áreas, que constituyen muestras de ecosistemas importantes para el desarrollo del país. En atención a ello, en términos de recursos hídricos, se debe elaborar un inventario de bosques pluviales para su protección efectiva. Asimismo el CONAP se constituye en la autoridad administrativa para la Convención Ramsar proveniente del convenio del mismo nombre y cuyo fin es proteger los humedales, su flora y fauna y especialmente las aves acuáticas migratorias (De Noack, y Bocaletti 2007).

Además el CONAP mediante resolución 01-13-2005 del Acta número 13-2005 del 22 de septiembre de 2005, emitió su Política Nacional de Humedales que incluye ríos, arroyos, lagunas, aguadas, agua subterránea, esteros, manglares, playas y mares, es decir aquellas que se conservan y utilizan para el beneficio de la población presente y futura.

Decreto Número 90- 97 Código de Salud

Este Decreto en el **artículo 78** obliga al Ministerio de Salud en coordinación con el Instituto de Fomento Municipal y otras instituciones del sector, a impulsar una política prioritaria y de necesidad pública, que garantice el acceso y cobertura universal de la población a los servicios de agua potable, con énfasis en la gestión de las propias comunidades, para garantizar el manejo sostenible del recurso. En este Código se incorpora a través del **artículo 80**, la obligación del estado, a través del Ministerio de Salud, que en coordinación con las instituciones del Sector, velarán por **la protección, conservación, aprovechamiento y uso racional de las fuentes de agua potable**. Las Municipalidades del país están obligadas como principales prestatarias del servicio de agua potable, a proteger y conservar las fuentes de agua y apoyar y colaborar con las políticas del Sector, para el logro de la cobertura universal dentro de su jurisdicción territorial, en términos de cantidad y calidad del servicio.

El **artículo 81** obliga al Estado a través del Ministerio de Salud, instituciones del Sector y otras, a garantizar que los ríos, lagos, lagunas, riachuelos, nacimientos y otras fuentes naturales de agua, puedan con base a dictamen técnico, declararse de utilidad e interés público, para el abastecimiento de agua potable en beneficio de las poblaciones urbanas y rurales de acuerdo con la ley específica.

Decreto 12-2002 Código Municipal

El Código Municipal a través del **artículo 35** da competencias generales al Concejo Municipal, dentro de las cuales está la de promover y proteger los recursos renovables y no renovables del municipio.

Decreto número 116-96. Ley de fomento a la difusión de la conciencia ambiental

Esta Ley en el Artículo 1, en el objetivo d) hace alusión al mantenimiento del equilibrio ecológico y el desarrollo sustentable por medio de la conservación, protección y uso sostenible del patrimonio nacional, apoyándose en los programas generales de políticas ambientales que dicte la autoridad competente en la materia. Así mismo el Artículo 6, en el inciso b) hace mención a que la divulgación de la temática permanente debe estar orientada principalmente hacia la promoción y difusión de las acciones que reduzcan la contaminación de desechos sólidos, visual, auditiva, de aire, **agua, suelo y del ambiente en general**.

Decreto número 90-2000 Reformas a la Ley del Organismo Ejecutivo, Decreto número 114-97 del Congreso de la República

En este Decreto en el Artículo 2 se reforma el Artículo 29, al cual obliga al MAGA a atender los asuntos concernientes al régimen jurídico que rige la producción agrícola, pecuaria e **hidrobiológica**.

Decreto número 80-2002. Ley General de Pesca y Acuicultura

El Artículo 1 hace alusión a esta Ley que tiene por objeto regular la pesca y la acuicultura, normar las actividades pesqueras y acuícolas a efecto de armonizarlas con los adelantos de la ciencia, ajustándolas con métodos y procedimientos adecuados para el uso y aprovechamiento racional de los recursos hidrobiológicos en aguas de dominio público.

Luego en el Artículo 2 obliga al Estado, en coordinación con el sector pesquero y acuícola, establecer una política pesquera y acuícola para el uso y aprovechamiento racional y sostenido de los recursos hidrobiológicos, así como la conservación de los ecosistemas acuáticos, tomando en consideración el interés público...

Decreto 80-2002. Ley General de Pesca y Acuicultura

Regula el uso y aprovechamiento racional de los recursos hidrobiológicos en aguas de dominio Público.

Decreto número 90-2000. Reformas a la Ley del Organismo Ejecutivo, Decreto número 114-97 del Congreso de la República

En este Decreto en el Artículo 2 se reforma el Artículo 29, al cual obliga al MAGA a atender los asuntos concernientes al régimen jurídico que rige la producción agrícola, pecuaria e **hidrobiológica**

Anexo 4. Políticas que influyen de manera indirecta en el manejo y conservación de las franjas ribereñas en Guatemala

No existe a la fecha una política específica para éste tema, por lo que se recurre a señalar que para el manejo de cuencas, *en materia de políticas (política, leyes e instituciones) en el país lo que tiene es un conjunto de instrumentos derivados de distintos entes del Estado, los cuales dan orientaciones, lineamientos, regulaciones, incentivos, referidos a la gestión de recursos naturales dentro del territorio nacional.* Todo ello en un sentido amplio, tal y como ha sido señalado por los estudiosos de política pública y ciencias sociales, son parte de las instituciones del país. Estas instituciones, son emitidas por el Poder Legislativo en su papel de aprobar y/o derogar leyes (normas jurídicas), y el Poder Ejecutivo el cual es el encargado de la administración de los bienes del Estado, entre los que se encuentran los Recursos Naturales, y quien tiene la facultad de elaborar políticas, planes y estrategias relativas a recursos naturales y ambiente (uso, conservación, protección, desarrollo, recuperación), a través de Consejo de Ministros, por los Ministerios que ejercen rectoría (ej. MARN en aspectos ambientales), por Secretarías y por las entidades autónomas (MAGA y FAO 2006)

✓ **Política Marco de Ambiente y Recursos Naturales**

La Política Marco de Ambiente y Recursos Naturales en el Área de Política relativa a los recursos naturales establece dentro de su objetivo general “Mejorar la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales, para coadyuvar a incrementar la calidad de vida de los guatemaltecos del presente y del futuro”. Dentro de sus objetivos específicos establece (i) Evitar el deterioro de los recursos naturales renovables, garantizando la continuidad de los ciclos de renovación, (ii) Conservar y manejar sosteniblemente la biodiversidad del territorio nacional, y mejorar el conocimiento cultural asociado a la misma y (iii) Evitar el deterioro y agotamiento de los recursos naturales no renovables, para garantizar su aprovechamiento en beneficio del país.

La misma política marco cuando se refiere a las condiciones ambientales del país, establece como objetivo general “Fortalecer la actuación del Ministerio de Ambiente, perfeccionando sus recursos legales, técnicos, humanos, institucionales, financieros, políticos y de infraestructura, con el fin de agilizar y mejorar la eficiencia de la gestión ambiental y de los recursos naturales”. Dentro de sus objetivos específicos establece (i) Fortalecer, agilizar y

hacer más eficiente la gestión institucional del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (ii) Coadyuvar al desarrollo económico del país, diversificando la productividad con bienes y servicios ambientales, (iii) Propiciar cambios de conducta en la población, a través del fomento de una cultura ambiental, (iv) Propiciar la institucionalidad de la gestión ambiental, coordinando a los actores individuales e institucionales involucrados y (v) Implementar y administrar los tratados y convenios ambientales internacionales (MARN 2004).

✓ **La Política Nacional y Estrategias para el Desarrollo del SIGAP**

Plantea como líneas centrales de política, por un lado “Alcanzar el desarrollo pleno de cada área protegida de acuerdo a su categoría de manejo” y por otro lado, el “Fomento al manejo productivo de bienes y servicios ambientales de acuerdo a los criterios técnicos y legales de cada área protegida”. Estas líneas de política enfatizan en la necesidad de fortalecer el SIGAP como un mecanismo para, entre otros fines, asegurar la producción de agua para llenar las demandas de consumo humano, riego y producción de energía eléctrica.

✓ **La Política Forestal de Guatemala**

Establece como Área de Acción Fundamental el “Fortalecimiento del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) y la protección y conservación de ecosistemas forestales estratégicos”. Dentro de las estrategias específicas destaca la generación del “Plan de Manejo Integrado de los Recursos hídricos”, con énfasis en las relaciones hidrológico-forestales. Destaca también la estrategia de “Valoración de servicios ambientales”, enfatizando en la necesidad de internalizar los costos de las externalidades positivas de los ecosistemas forestales de producción y protección (MARN 2004).

✓ **La Política Agraria**

Taza los siguientes lineamientos de política vinculados con el manejo de cuencas: a) Orientación del manejo integral de recursos naturales con enfoque de cuenca hidrográfica como unidad natural de planificación. b) Creación y fortalecimiento de mecanismos para la conservación y el uso sostenible del recurso suelo y bosque en partes altas de cuencas hidrográficas. c) Establecimiento de plantaciones forestales, manejo de bosques y protección forestal en zonas de recarga hídrica. d) Desarrollo de un programa para la reducción de riesgos por catástrofes naturales en el sector agropecuario. e) Fortalecimiento y promoción de proyectos comunitarios de producción de agua. f) Ordenamiento territorial mediante

programas y proyectos que incentiven la reducción de la brecha entre el uso actual de suelos y su vocación socio productiva (Aragón *et al* 2002).

Asimismo, de acuerdo con MAGA y FAO (2006) existen Políticas generales o de borde, Políticas Sectoriales, planes y estrategias que pueden afectar el manejo de cuencas hidrográficas, dando lugar a alteraciones positivas o negativas a nivel de cuenca vertiente, que a su vez afectan a las franjas ribereñas de los ríos. Entre estas están:

Políticas de borde

- Deuda externa
- Política económica: fiscal, monetaria,
- cambiaria
- Precios
- Subsidios
- Política crediticia
- Política agraria:
- Sistema educativo nacional

Políticas de borde y transectoriales

- Políticas económicas: fiscal, monetaria, cambiaria
- Vamos Guatemala: Guate Invierte, Guate Crece, Guate Solidaria y Guate Verde
- Política gubernamental de Género
- Política de desarrollo social y población
- Política de conservación, protección y mejoramiento del ambiente
Política Marco de la Gestión Ambiental: orienta planes, programas y proyectos sobre calidad ambiental y sostenibilidad de la biodiversidad y los recursos naturales
- Política nacional de educación ambiental

Políticas sectoriales:

- Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos
- Política gubernamental del Recurso Hídrico
- Política Agropecuaria y Sectorial 2004-2007: Eje estratégico #3 Manejo

adecuado de los recursos naturales en la agricultura del país. A través del programa PARPA, incentiva a los propietarios y poseedores que participen en la conservación de los bosques para proteger el recurso hídrico, para asegurar así el abastecimiento de las comunidades del altiplano central y occidental del país y la sociedad en general. El programa se desarrolla a partir de cuencas consideradas como prioritarias

Convenios internacionales

- En materia ambiental existen 49 convenios ratificados (al 2004)

- **Derecho Consuetudinario**
- Normas de conducta, costumbres que forman parte del comportamiento popular en torno al acceso, uso, protección y renovación de recursos naturales: agua, bosques y vida silvestre

Esfuerzos en la emisión de políticas hídricas

A finales del año 2003, el MARN gestionó la emisión del Acuerdo Gubernativo 791-2003 y dio vida a la Política de Gestión Ambiental, que constituye un marco de referencia nacional al servicio del Estado, para que oriente sus planes, programas y proyectos, a fin de mantener la calidad ambiental y la sostenibilidad de la biodiversidad y los recursos naturales.

En el año 2004 también se constituyó el Foro Gubernamental del Agua, cuyo objetivo fue generar un instrumento de consenso sobre la política gubernamental para el manejo de recurso hídrico, aglutinando la visión de las diversas entidades que legalmente tienen competencia y jurisdicción sobre este recurso. El Gabinete de Gobierno conoció el instrumento de política, pero no lo acogió. No obstante se implementaron diversas acciones gubernamentales, tales como:

a. El Organismo Ejecutivo creó el Consejo Nacional del Agua (CONAGUA), presidido por el Comisionado Presidencial para el uso, manejo y conservación de los recursos hídricos, cuyas atribuciones principales son la coordinación y ejecución de proyectos gubernamentales en atención a ella. Sin embargo, aún no se cuenta con el instrumento de política aludido.

b. El Organismo Legislativo creó una Comisión de Recursos Hídricos con el único propósito de desarrollar una iniciativa de ley que responda al cumplimiento de los artículos constitucionales 127 y 128 que manda la emisión de la legislación

También existe el Programa de Manejo Integrado de Recursos Hídricos (PMIRH), cuyo objetivo es el planteamiento de una gestión integrada del agua. Busca la eliminación de los conflictos que surgen entre los diferentes sectores de usuarios, propicia el uso eficiente del recurso y hacer viables mecanismos innovadores que aseguren el cumplimiento de sus objetivos (De Noack, y Bocaletti 2007).

Anexo 5. Resultados del análisis de fertilidad en los suelos de áreas d bosque adyacente

| Identifi- ción | pH | P (ppm) 12-16 | K (ppm) 120-150 | Ca (Meq/100 gr) 6-8 | Mg (Meq/100 gr) 1.5-2.5 | Cu (ppm) 2-4 | Zn (ppm) 4-6 | Fe (ppm) 10-15 | Mn (ppm) 10-15 | ARCILLA (%) | IMO (%) | ARENA (%) | CLASE TURAL |
|-------------------|-----|------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|---------|-----------|-----------------|
| ADY_1 | 4.3 | 4.51 | 30 | 0.62 | 0.21 | 0.1 | 0.5 | 11.5 | 5 | 17.51 | 24.82 | 57.66 | franco enoso |
| ADY_2 | 4.7 | 5.26 | 68 | 0.62 | 0.26 | 0.1 | 0.5 | 17 | 7 | 15.41 | 20.62 | 63.96 | franco enoso |
| ADY_3 | 4.3 | 4.69 | 68 | 0.62 | 0.26 | 0.5 | 0.5 | 16 | 6.5 | 17.51 | 18.52 | 63.96 | franco enoso |
| ADY_4 | 3.7 | 5.13 | 39 | 0.94 | 0.26 | 0.1 | 0.5 | 12 | 5.5 | 15.41 | 18.52 | 66.06 | franco enoso |
| ADY_5 | 3.6 | 6.82 | 42 | 0.94 | 0.31 | 0.5 | 1 | 53.5 | 9.5 | 13.31 | 16.42 | 70.26 | franco enoso |
| ADY_6 | 3.9 | 5.32 | 62 | 0.62 | 0.26 | 0.1 | 0.5 | 10 | 7.5 | 13.31 | 20.62 | 66.06 | franco enoso |
| ADY_7 | 4.3 | 5.26 | 50 | 0.94 | 0.26 | 0.1 | 0.5 | 14.5 | 6 | 13.31 | 18.52 | 68.16 | franco enoso |
| ADY_8 | 4 | 4.13 | 47 | 0.62 | 0.26 | 0.1 | 0.5 | 10 | 2 | 19.61 | 16.42 | 63.96 | franco enoso |
| ADY_9 | 4.2 | 5.82 | 61 | 0.94 | 0.26 | 0.5 | 1 | 6.5 | 6.5 | 9.11 | 14.32 | 76.56 | arena franca |
| ADY_10 | 3.4 | 5.7 | 67 | 0.94 | 0.31 | 0.1 | 1 | 19 | 1 | 9.11 | 12.22 | 78.66 | arena franca |
| ADY_11 | 3.9 | 4.63 | 55 | 0.62 | 0.36 | 0.1 | 0.5 | 19 | 0.5 | 15.41 | 18.52 | 66.06 | franco enoso |
| ADY_12 | 3.7 | 4.57 | 65 | 0.94 | 0.31 | 0.5 | 0.5 | 35.5 | 0.1 | 13.31 | 18.52 | 68.16 | franco enoso |
| RIV_1 | 4 | 6.76 | 53 | 0.62 | 0.26 | 0.5 | 1 | 18 | 20 | 11.21 | 18.52 | 70.26 | franco enoso |
| RIV_2 | 4.5 | 5.95 | 83 | 3.12 | 0.67 | 0.5 | 1.5 | 10.5 | 20.5 | 11.21 | 22.72 | 66.06 | franco enoso |
| RIV_3 | 5.2 | 13.84 | 165 | 4.06 | 1.03 | 0.5 | 1.5 | 10 | 14.5 | 11.21 | 16.42 | 72.36 | franco enoso |
| RIV_4 | 4.4 | 7.76 | 71 | 1.56 | 1.03 | 0.5 | 2 | 11.5 | 44 | 11.21 | 16.42 | 72.36 | franco enoso |
| RIV_5 | 4.2 | 6.95 | 75 | 1.56 | 0.51 | 0.5 | 3.5 | 11 | 43.5 | 15.41 | 24.82 | 59.76 | franco enoso |
| RIV_6 | 4.2 | 22.23 | 49 | 0.94 | 0.31 | 1 | 1 | 5.5 | 8.5 | 11.21 | 16.42 | 72.36 | franco enoso |
| RIV_7 | 5.5 | 7.95 | 55 | 4.06 | 0.62 | 0.5 | 3.5 | 33 | 16.5 | 11.21 | 14.32 | 74.46 | franco enoso |
| RIV_8 | 4.4 | 18.54 | 80 | 1.87 | 0.41 | 0.1 | 3 | 18 | 16 | 13.31 | 18.52 | 48.16 | franco enoso |
| RIV_9 | 3.6 | 7.32 | 60 | 0.94 | 0.36 | 0.1 | 1.5 | 24.5 | 3 | 15.41 | 14.32 | 70.26 | franco enoso |
| RIV_10 | 4.6 | 5.45 | 41 | 1.56 | 0.41 | 0.1 | 1.5 | 4 | 6.5 | 17.51 | 22.72 | 59.76 | franco enoso |
| RIV_11 | 4.3 | 7.58 | 35 | 0.62 | 0.31 | 1 | 1 | 12.5 | 5 | 11.59 | 22.72 | 65.69 | franco enoso |
| RIV_12 | 4.4 | 10.08 | 43 | 1.87 | 0.62 | 0.5 | 1.5 | 23 | 23 | 11.59 | 18.9 | 69.51 | franco enoso |

Anexo 6 Listado de individuos encontrados en bosques ribereños y adyacentes

| ESPECIE | Bosque adyacente (Individuos/ha) | Bosque ribereño (Individuos/ha) | Total |
|--|---|--|--------------|
| Kantulté | 720 | 810 | 1530 |
| Quic ché | 480 | 210 | 690 |
| Guarumo (<i>Cecropia peltata</i> L.) | 100 | 590 | 690 |
| Xoot | 10 | 470 | 480 |
| Chakalté | 340 | 120 | 460 |
| Raxché | 70 | 320 | 390 |
| Cuje de café | 80 | 250 | 330 |
| Cacao de montaña | 30 | 280 | 310 |
| Cuje de montaña | 40 | 200 | 240 |
| D10 (Jaché) | 140 | 70 | 210 |
| Encino (<i>Quercus</i> spp) | 40 | 160 | 200 |
| Vatch | 0 | 200 | 200 |
| San Juan (<i>Vochysia guatemalensis</i>) | 150 | 20 | 170 |
| Sajché (<i>Cybistax donnell-smithii</i>) | 140 | 20 | 160 |
| Desconocida (1) | 100 | 60 | 160 |
| Köh (<i>Liquidambar styraciflua</i>) | 100 | 40 | 140 |
| Wachíl (<i>Dialium guianense</i>) | 140 | 0 | 140 |
| Cheer | 110 | 20 | 130 |
| D15 (Pujshic) | 110 | 20 | 130 |
| D16 (Kaquivach) | 100 | 20 | 120 |
| D19 (Aqál) | 70 | 50 | 120 |
| D17 (Sacaqál) | 100 | 0 | 100 |
| Sn(sp130) | 80 | 20 | 100 |
| Sn (sp87) | 0 | 90 | 90 |
| Sakiché | 80 | 0 | 80 |
| Piperaceae (sp107) | 10 | 70 | 80 |
| Cheer (sp156) | 20 | 50 | 70 |
| Cherry (sp156) | 0 | 70 | 70 |
| Civijché (sp89) | 60 | 10 | 70 |
| D24 (Chochoch) | 20 | 50 | 70 |
| D24 (Lolté) | 50 | 20 | 70 |
| D27 (Pipaal) | 30 | 40 | 70 |
| Quich | 0 | 70 | 70 |
| Sn(sp147) | 70 | 0 | 70 |
| Aax ché (sp95) | 60 | 0 | 60 |
| D11(Ooché, aguacate de montaña) | 0 | 60 | 60 |
| D22 (Canxán) | 60 | 0 | 60 |
| D26 (Caqui ché) | 30 | 30 | 60 |
| D37 (Xocché) | 50 | 10 | 60 |
| D4(Suchaj) | 30 | 30 | 60 |
| Suj | 0 | 60 | 60 |
| Sn(sp74) | 0 | 60 | 60 |
| D29 (Temché) | 50 | 0 | 50 |
| D33 (Yaxché) | 0 | 50 | 50 |
| Guayaba de montaña (sp100) | 50 | 0 | 50 |
| Sn (sp150) | 50 | 0 | 50 |

| | | | |
|---|----|----|----|
| Sn(sp134) | 50 | 0 | 50 |
| Cedro (Cedrella odorata L.) | 10 | 30 | 40 |
| Cuje (sp160) | 40 | 0 | 40 |
| D1(parecido al zapotillo) | 40 | 0 | 40 |
| D30 (Jucuch) | 30 | 10 | 40 |
| D32 (Saqui Vatch | 10 | 30 | 40 |
| D38 (Sacamam) | 40 | 0 | 40 |
| D5 (Falso Cedro) | 0 | 40 | 40 |
| Kaki Vatch | 30 | 10 | 40 |
| Kojl(sp155) | 40 | 0 | 40 |
| SN(sp129) | 40 | 0 | 40 |
| Sn (sp73) | 0 | 40 | 40 |
| Tzimpté | 0 | 40 | 40 |
| Café de montaña (sp32) | 30 | 0 | 30 |
| Camparaguay (sp105) | 30 | 0 | 30 |
| D12(Chalum) | 0 | 30 | 30 |
| D15 (Salché) | 30 | 0 | 30 |
| D2(cacché) | 30 | 0 | 30 |
| D35 (Tzol ché) | 10 | 20 | 30 |
| D36 (Chaib) | 20 | 10 | 30 |
| Quicché (Virola koschnyi) | 30 | 0 | 30 |
| Sn(sp126) | 30 | 0 | 30 |
| Chuché (sp28) | 0 | 20 | 20 |
| D21 (Malaqueta de montaña) | 10 | 10 | 20 |
| D25 (Canxán) | 10 | 10 | 20 |
| D3(cacché) | 10 | 10 | 20 |
| D43 (Jukuch) | 0 | 20 | 20 |
| D5(Xök) | 20 | 0 | 20 |
| D6 (Chinché) | 20 | 0 | 20 |
| Kaó (Quercus spp) | 20 | 0 | 20 |
| SN(muestra, flor grande) | 0 | 20 | 20 |
| D54(parecido al aguacatillo) | 20 | 0 | 20 |
| Santa maría (Callophyllum brasiliense) | 10 | 10 | 20 |
| Tem (maderable) | 10 | 10 | 20 |
| Tolosh (amate) | 20 | 0 | 20 |
| Tzinté(leguminosa fríjoles rojos) | 0 | 20 | 20 |
| D18 (Puabak) | 10 | 0 | 10 |
| Chakalté(Caoba) | 10 | 0 | 10 |
| D28 (Quc ché) | 0 | 10 | 10 |
| D32 (Vaton) | 0 | 10 | 10 |
| D34 (Choc choc)(quiché) | 10 | 0 | 10 |
| D44 (Sibité) | 10 | 0 | 10 |
| D44 (Yok) | 0 | 10 | 10 |
| D46 (Iecchè) | 10 | 0 | 10 |
| D47 (Palo de ruda de montaña) | 10 | 0 | 10 |
| D5 (Falso Cedro) | 10 | 0 | 10 |
| D7 (Civiteé) | 10 | 0 | 10 |
| Piperaceae (sp78) | 0 | 10 | 10 |
| SN (sp131) | 0 | 10 | 10 |

| | | | |
|------------------------------------|----|----|----|
| D58MF | 0 | 10 | 10 |
| SN(muestra de frutos en ramillete) | 0 | 10 | 10 |
| Sn (sp89) | 0 | 10 | 10 |
| D57 (parecido al Tem ché) | 10 | 0 | 10 |

Anexo 7. Matriz de correlaciones de porcentajes de usos de la tierra e indicadores de calidad de agua

| | Áreas en descanso (%) | Áreas urbanas (%) | Bosque en recuperación (%) | Bosque natural (%) | Café con sombra (%) | Cardamomo con sombra (%) | Cultivo limpio (%) | Nitratos (mg/l) | Nitritos (mg/l) | Fosforo total (mg/l) | Demanda química de oxígeno | Calcio (mg/l) | pH | Sólidos sedimentable | Oxígeno disuelto (mg) | Salinidad (µs/cm) | Temperatura (°C) |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------------|---------------|------|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Áreas en descanso (%) | 1 | 2.20E-12 | 0 | 0.01 | 5.10E-10 | 1.10E-10 | 8.70E-11 | 0.13 | 0 | 0 | 0.73 | 0.3 | 0.03 | 0 | 0.02 | 0.25 | 0.01 |
| Áreas urbanas (%) | 0.99 | 1 | 1.10E-11 | 0.01 | 0 | 1.80E-08 | 5.10E-09 | 0.18 | 0 | 0 | 0.77 | 0.33 | 0.02 | 0 | 0.02 | 0.21 | 0.01 |
| Bosque en recuperación | 0.99 | 0.98 | 1 | 0.01 | 1.90E-10 | 7.90E-10 | 1.80E-11 | 0.14 | 0 | 0 | 0.72 | 0.26 | 0.02 | 0 | 0.02 | 0.28 | 0.01 |
| Bosque natural (%) | 0.63 | 0.6 | 0.66 | 1 | 0.01 | 0.03 | 2.60E-03 | 0.38 | 0 | 0 | 0.73 | 0.05 | 0.25 | 0 | 0.38 | 0.25 | 0.96 |
| Café con sombra (%) | 0.97 | 0.99 | 0.97 | 0.64 | 1 | 8.90E-08 | 1.30E-08 | 0.2 | 0 | 0 | 0.88 | 0.26 | 0.03 | 0 | 0.03 | 0.23 | 0.01 |
| Cardamomo con sombra | 0.98 | 0.95 | 0.97 | 0.53 | 0.94 | 1 | 1.00E-07 | 0.11 | 0 | 0 | 0.77 | 0.46 | 0.05 | 0 | 0.01 | 0.12 | 0.01 |
| Cultivo limpio (%) | 0.98 | 0.96 | 0.98 | 0.7 | 0.95 | 0.94 | 1 | 0.09 | 0 | 0 | 0.66 | 0.25 | 0.05 | 0 | 0.02 | 0.4 | 0.01 |
| Nitratos (mg/l) | 0.39 | 0.35 | 0.39 | 0.24 | 0.34 | 0.41 | 0.44 | 1 | 0 | 0 | 0.94 | 0.81 | 0.58 | 0 | 0.35 | 0.63 | 0.25 |
| Nitritos (mg/l) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fosforo total (mg/l) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Demanda química de oxígeno | 0.09 | 0.08 | 0.1 | 0.09 | 0.04 | 0.08 | 0.12 | 0.02 | 0 | 0 | 1 | 0.26 | 0.75 | 0 | 0.96 | 0.55 | 0.79 |
| Calcio (mg/l) | -0.27 | -0.26 | -0.3 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.3 | -0.07 | 0 | 0 | 0.3 | 0.1 | 0.75 | 0 | 0.69 | 0.15 | 0.43 |
| pH | -0.53 | 0.57 | -0.57 | -0.3 | 0.55 | -0.49 | -0.5 | -0.15 | 0 | 0 | -0.09 | 0.08 | 1 | 0 | 0.05 | 0.05 | 0.03 |
| Sólidos sedimentable | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oxígeno disuelto (mg) | 0.59 | 0.58 | 0.58 | 0.24 | 0.54 | 0.6 | 0.56 | 0.25 | 0 | 0 | 0.01 | 0.11 | 0.51 | 0 | 1 | 0.01 | 0.01 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|-------|------|-------|---|------|------|----------|
| Salinidad ($\mu\text{s/cm}$) | 0.3 | 0.33 | 0.29 | -0.3 | 0.32 | 0.4 | 0.22 | 0.13 | 0 | 0 | -0.16 | 0.38 | -0.49 | 0 | 0.64 | 1 | 1.20E-04 |
| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | 0.62 | 0.66 | 0.62 | 0.01 | 0.65 | 0.66 | 0.6 | 0.3 | 0 | 0 | 0.07 | 0.21 | 0.56 | 0 | 0.66 | 0.81 | 1 |

Anexo 8. Taller sobre la percepción de las comunidades con relación a las franjas ribereñas en la comunidad de San Antonio I



Anexo 9. Taller sobre la percepción de las comunidades con relación a las franjas ribereñas en la comunidad de Santo Domingo III

