



El Colegio de la Frontera Sur

**Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad  
riparia del río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México.**

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de  
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

Jorge Luis Hernández Hernández

2014



## **Dedicatoria.**

A **Dios** por darme la oportunidad de vivir y sobre todo por la dicha de realizar un triunfo más en mi vida.

A mi abuelo **Feliciano Hernández Alberto** por su ejemplo de fortaleza, su crianza y las palabras de motivación que me da.

A mi tía **Silvia Hernández Antonio**, quien siempre me ha brindado su apoyo y amor, enseñándome a vivir con rectitud y humildad. Tú eres el mejor ejemplo de esfuerzo, trabajo y superación.

A mi hermana **María de Lourdes Hernández Antonio** por su apoyo, cariño y comprensión.

A mi hermano **Sergio Romeo Montes de Oca Ramos**, que con su insistencia logro que estudiara esta maestría, enseñándome que con esfuerzo y dedicación puedo lograr todo lo que me proponga.

A mi hermano **José Antonio López Digueros**, por su apoyo incondicional.

## **Agradecimientos.**

Al **Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)**, por darme la oportunidad de estudiar una maestría, permitiéndome adquirir nuevos conocimientos y herramientas para ser un mejor profesionista.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por mis estudios de Maestría en Ciencias (Beca No. 290747) y por la oportunidad de desarrollar esta investigación. A la **Dra. Dulce María Infante Mata**, por su apoyo académico y paciencia para llevar a buen término este trabajo. Al **Dr. Cristian Tovilla Hernández** y al **M.C. Gamaliel Mejía González**, por el tiempo que han dedicado a revisar este trabajo e invertir parte de su experiencia y conocimiento en su mejora.

Al **Lic. José Higinio López Urbina** de Laige Tapachula por su apoyo en el procesamiento de imágenes satelitales. Al **Biol. José Rubén García Alfaro** por su apoyo en el trabajo de campo e identificación de plantas.

A la **M.C. Matilde Rincón Pérez** por su ayuda en campo y capacitación para emplear el índice de calidad de ribera. A la **M.C. María Guadalupe Albarrán Rivas** por su ayuda proporcionada en el uso del Hach en campo así como en los trabajos de laboratorio. A **Gerardo de la Cruz Montes** por su apoyo en campo.

A mis amigos **Icela, Gloria, Brenda, Jaime y David**, con los que de una manera u otra he compartido momentos de alegría y entusiasmo pero también tristezas.

## Índice general.

Agradecimientos. ....	V
Resumen.....	1
Capítulo I.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes. ....	6
1.3. Justificación.....	8
1.4. Objetivos. ....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos. ....	9
1.5. Hipótesis. ....	10
Capítulo II.....	11
2.1. Descripción del área de estudio. ....	11
2.1.1. Zonas funcionales de la cuenca del río Cacaluta. ....	11
2.1.2. Áreas naturales protegidas (ANP).....	14
2.1.2.1. Zona de reforestación Huizapa – Sesecapa (ZR Huizapa – Sesecapa)...	16
2.1.2.2. Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI). ....	16
2.1.2.3. Reserva de la Biósfera La Encrucijada (REBIEN). ....	18
2.1.3. Fisiografía. ....	19
2.1.4. Edafología.....	21
2.1.5. Clima. ....	23
2.1.6. Aspectos socioeconómicos. ....	26
Capítulo III.....	28
3.1. Caracterización de cobertura y uso de suelo.....	28
3.1.1. Uso de suelo. ....	29
3.1.2. Sistema de información geográfica (SIG).....	30
3.1.3. Imagen satelital.....	31
3.1.4. Metodología. ....	32
3.1.4.1. Obtención de imagen satelital SPOT 5 y su procesamiento. ....	33
3.1.4.2. Puntos de reconocimiento en campo. ....	33

3.1.4.3. Definición de clases y digitalización de polígonos. ....	33
3.1.5. Resultados. ....	35
3.1.6. Discusión. ....	39
Capitulo IV. ....	41
4.1. Valoración de la ribera fluvial. ....	41
4.1.1. Definición, estructura e importancia de la vegetación riparia. ....	41
4.1.2. Índices para evaluar la calidad ambiental en ríos. ....	43
4.1.3. Índice de calidad ecológica de las riberas (RQI). ....	44
4.1.4. Determinación de la morfología del cauce. ....	48
4.1.5. Infiltración. ....	48
4.1.6. Densidad aparente del suelo. ....	49
4.1.7. Metodología. ....	50
4.1.7.1 Selección de los sitios de muestreo. ....	50
4.1.7.2. Aplicación de índice RQI. ....	52
4.1.7.3. Determinación de la microtopografía (cauce). ....	53
4.1.7.4. Determinación de flora. ....	54
4.1.7.5. Determinación de infiltración. ....	56
4.1.7.6. Determinación de densidad aparente. ....	57
4.1.8. Resultado. ....	57
4.1.9. Discusión. ....	84
Capitulo V. ....	85
5.1. Análisis de agua. ....	85
5.1.1. El agua. ....	85
5.1.2. Calidad de agua. ....	86
5.1.3. Parámetros físicos y químicos. ....	87
5.1.3.1. Temperatura (T). ....	87
5.1.3.2. Oxígeno Disuelto (OD). ....	88
5.1.3.3. pH. ....	88
5.1.3.4. Conductividad eléctrica (CE). ....	88
5.1.3.5. Salinidad (Sal). ....	89
5.1.3.6. Amonio (NH <sub>4</sub> ). ....	89

5.1.3.7. Nitritos (NO <sub>2</sub> ).....	90
5.1.3.8. Nitratos (NO <sub>3</sub> ). .....	90
5.1.3.9. Nitrógeno Orgánico Kjeldhal (NOK). .....	90
5.1.3.10. Fosfatos (PO <sub>4</sub> ) .....	91
5.1.3.11. Fosforo Total (PT).....	91
5.1.3.12. Demanda química de oxígeno (DQO). .....	91
5.1.4. Normatividad.....	92
5.1.5. Metodología. ....	93
5.1.5.1. Selección de sitios de muestreo.....	93
5.1.6. Resultado.....	96
5.1.7. Discusión. ....	107
Capítulo VI. ....	108
6.1. Análisis de Hierro en sedimentos. ....	108
6.1.1. La minería en Chiapas. ....	108
6.1.2. Mina La Cristina (Acacoyagua, Chiapas). ....	110
6.1.3. Metales pesados.....	111
6.1.4. Titanio.....	113
6.1.5. Hierro.....	113
6.1.6. Metodología. ....	114
6.1.7. Resultados.....	115
Capítulo VII. ....	117
7.1. Identificación de productos químicos utilizados en la cuenca. ....	117
7.1.1. El uso de plaguicidas. ....	117
7.1.2. Problemática ambiental por el uso de plaguicidas.....	118
7.1.3. Metodología. ....	119
7.1.4. Resultados.....	120
7.1.5. Discusión. ....	123
Discusión general.....	124
Conclusión general.....	126
Literatura citada. ....	128
Anexos.....	148

Anexo I. Lista de especies de flora encontradas en la ribera del río Cacaluta, Chiapas.

148

Anexo II. Encuesta sobre el uso de plaguicidas en la Cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

.....165

Anexo III. Categorías de calidad fisicoquímica del agua para el Índice IP. ....169

### **Índice de figuras.**

Figura 1. Cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....13

Figura 2. Zonas funcionales de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.....14

Figura 3. Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....15

Figura 4. Fisiografía de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....20

Figura 5. Edafología de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....22

Figura 6. Tipos de clima de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....24

Figura 7. Climograma de la cuenca del río Cacaluta del periodo 1984 a 2013. ....25

Figura 8. Municipios y localidades inmersas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ...27

Figura 9. Imagen satelital SPOT 5 de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....34

Figura 10. Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. .38

Figura 11. Atributos de evaluación del índice RQI. ....46

Figura 12. Sitios de muestro del índice RQI en el río Cacaluta, Chiapas. ....51

Figura 13. Estado de cada uno de los atributos de las riberas estudiados con el RQI en los 26 sitios de muestro del río Cacaluta, Chiapas. ....61

Figura 14. Sitios de muestreo de vegetación en la ribera del río Cacaluta. ....62

Figura 15. Índice de riqueza de especies en 13 sitios de muestreo de la cuenca del río Cacaluta. ....63

Figura 16. Índice de diversidad de Shannon para 13 sitios de muestreo de la cuenca del río Cacaluta, Chipas. ....63

Figura 17. Dendrograma de 13 sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas con riqueza de especies (flora). ....65

Figura 18. Perfiles microtopográficos del cauce del río Cacaluta, Chiapas. ....66



Figura 19. Perfil microtopográfico de Reforma (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	68
Figura 20. Perfil microtopográfico de Magnolia (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	70
Figura 21. Perfil microtopográfico de Acacoyagua (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	73
Figura 22. Perfil microtopográfico de Flor del Carmen (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	75
Figura 23. Perfil microtopográfico de Bonanza (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	77
Figura 24. Perfil microtopográfico de Muralla (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	79
Figura 25. Perfil microtopográfico de Quince de Abril II (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal. ....	82
Figura 26. Sitios de muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas. ....	95
Figura 27. Parámetros físicos del agua analizados en el río Cacaluta, Chiapas. ....	99
Figura 28. Parámetros químicos del agua analizados en el río Cacaluta. ....	100
Figura 29. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para la temporada de seca. ....	104
Figura 30. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para la temporada de lluvia. ....	105
Figura 31. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para ambas temporadas. ....	106
Figura 32. Áreas de actividad minera en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	111

## Índice de Cuadros.

Cuadro 1. Superficie de las ANP inmersas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	16
Cuadro 2. Superficie de los tipos de suelo en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	22
Cuadro 3. Datos de precipitación y Temperatura mensual promedio de los años de 1984 a 2013 para la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	25
Cuadro 4. Situación poblacional de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	28
Cuadro 5. Principales satélites utilizados para la obtención de imágenes satelitales. ...	32
Cuadro 6. Superficie de cobertura y usos de suelo en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	37
Cuadro 7. Interpretación de los valores totales del índice RQI y propuestas de gestión. ....	47
Cuadro 8. Valores obtenidos en los sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas aplicando el índice RQI. ....	58
Cuadro 9. Datos promedio de densidad e infiltración de los sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas con valores de desviación estándar. ....	83
Cuadro 10. Métodos de parámetros analizados en el río Cacaluta, Chiapas. ....	96
Cuadro 11. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas en temporada de lluvias y secas 2014 con valores de desviación estándar. .	101
Cuadro 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas en temporada de lluvias y secas 2014 con valores de desviación estándar. .	102
Cuadro 13. Concentración de Hierro en sedimento del río Cacaluta, Chiapas. ....	115
Cuadro 14. Plaguicidas y fertilizantes usados en cultivos inmersos en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas. ....	121

## **Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad riparia del río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México.**

### **Resumen.**

Ríos y riberas constituyen una unidad funcional que intercambian materia y energía en el contexto de sus cuencas, donde las características climáticas, geológicas, topográficas, usos de suelo, cubierta vegetal e impactos humanos influyen en la estructura y en el funcionamiento de ambos. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue generar información ecológica del río Cacaluta, caracterizando primeramente la cobertura y uso de suelo de la cuenca, mediante imágenes satelitales SPOT, donde el acahual y la selva mediana subperennifolia fueron las coberturas que mayor superficie presentaron mientras que el uso de suelo de mayor predominancia fueron los pastizales (14131.76 ha). La diversidad de usos de suelo adyacentes al cauce del río, han afectado la estructura y funcionamiento de la vegetación riparia que de acuerdo al índice de calidad ecológica de las riberas (RQI), el 86.4% de los sitios de muestreo presentan una calidad entre moderada y pobre. Al ser una zona totalmente dedicada a las actividades primarias, se realizó una encuesta sobre el uso de plaguicidas y fertilizantes, donde los plaguicidas con el ingrediente activo Paraquat (grupo Bipiridilo) y Glisofato (grupo Fosfometilglicina) fueron los más usados mientras que en los fertilizantes fueron urea y triple 17. Aplicando una clasificación de Random Forests a los parámetros fisicoquímicos analizados tanto en temporadas de lluvia como en secas, los fosfatos y el amonio fueron las variables más importantes que caracterizan a los sitios de acuerdo al índice de Gini, cuyas concentraciones rebasan los valores de referencia del índice de

calidad del agua para la vida piscícola (IP) así los criterios ecológicos de calidad de agua para vida acuática en México. De manera general, la estructura y funcionamiento ecológico del río Cacaluta disminuye conforme el flujo del agua desciende hacia su desembocadura en la zona de humedales.

**Palabras claves:** Cuenca hidrográfica, ecosistema fluvial, vegetación riparia, calidad de agua, índice de calidad ecológica de las riberas.

## **Capítulo I.**

### **1.1. Introducción.**

Los ríos son sistemas complejos caracterizados por una alta conectividad y complejidad espacial, su funcionamiento está estrechamente ligado a los componentes abióticos y bióticos del ecosistema (Suárez-Pirez, 2011). Ecológicamente, un río es un sistema formado por una corriente de agua interrelacionada con el ecosistema terrestre adyacente, formando ambos una cuenca fluvial. Los grandes ríos siempre han sido sistemas difíciles de estudiar por sus dimensiones y su sorprendente dinámica espacial y temporal. En este sentido, han surgido teorías y conceptos que pretenden explicar la estructura, dinámica y relaciones funcionales que se producen en los ecosistemas fluviales, como es el caso de la teoría de río continuo (Vannote et al., 1980) y la teoría de pulsos de inundaciones (Junk et al., 1989) (Liotta, 2001).

La teoría del río continuo describe el gradiente de condiciones físicas y químicas (en términos de aporte de energía) y sus resultantes respuestas bióticas en los sistemas fluviales. Bajo este concepto, los sistemas fluviales son vistos como sistemas integrados longitudinalmente, existiendo una fuerte dependencia entre el funcionamiento del río aguas abajo y aquellos procesos que tienen lugar aguas arriba. Según este modelo la entrada de materia orgánica (energía) al sistema puede tener dos orígenes (autóctono o alóctono), y en consecuencia, la estructura de la comunidad de invertebrados acuáticos, varían dependiendo del orden del cauce (Vannote et al., 1980).

La teoría de pulsos de inundaciones establece que la estacionalidad hidrológica es la fuerza motriz que provoca los cambios en los patrones y procesos ecológicos que ocurren en el canal principal y en todos los cuerpos de agua asociados a la planicie inundable (Junk et al., 1989). Una alta complejidad geomorfológica en estos sistemas, una elevada productividad biológica y una importante biodiversidad son mantenidas en el tiempo gracias a la acción de las inundaciones periódicas. El pulso es generado por la inundación periódica, seguida de una fase de sequía (Montoya et al., 2011). Estas dos teorías aunadas a la teoría de sistemas, han ampliado el alcance espacial – temporal en la definición de unidades territoriales para la comprensión, manejo y conservación de los ecosistemas fluviales a nivel de cuencas hidrográficas (Zalewski y Robart, 2003).

La cuenca hidrográfica se define como el espacio geográfico delimitado naturalmente por la topografía a partir de las líneas divisorias de las aguas y que es drenado por un río y la totalidad de sus afluentes (Carrie, 2004; Álvarez y Argueta, 2006). La cuenca hidrográfica concebida como un sistema está conformada por las interrelaciones dinámicas en el tiempo y en el espacio de diferentes subsistemas, como son el social,

económico, político, institucional, cultural, legal, tecnológico, productivo, físico y biológico. Al interior de la cuenca, el agua funciona como distribuidor de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) producidos por la actividad sistémica de los recursos. Este proceso modela el relieve e influye en la formación y distribución de los suelos en las laderas, y por ende en la distribución de la vegetación y del uso de la tierra. El sistema hídrico también refleja un comportamiento de acuerdo a como se están manejando los recursos agua, suelo y bosque, así como que actividades o infraestructuras afectan su funcionamiento (Jiménez, 2009).

Ante el grave deterioro de los recursos naturales y los evidentes efectos del cambio climático, el manejo de recursos a nivel de cuenca hidrográfica ha recobrado importancia en el contexto mundial, como una vía idónea para el desarrollo sustentable y para disminuir la vulnerabilidad y el riesgo ante amenazas naturales (RIOCI, 2007). Los espacios de la cuenca y sus recursos naturales, expresan una potencialidad y vocación de acuerdo a la calidad de sus suelos, por el tipo de cobertura, por la disponibilidad de agua, entre otros y que a la vez producen bienes y servicios de los cuales se beneficia el ser humano (Faustino et al., 2005). Sin embargo, los ecosistemas son espacios dinámicos que sufren cambios en términos de los patrones espaciales, estructurales y funcionales como resultado de las interacciones entre los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos (Petit et al., 2001; Olivencia et al., 2006).

Las cuencas hidrográficas en México están experimentando un rápido y amplio cambio de cobertura y uso de suelo, provocado por factores naturales como el proceso de sucesión secundaria, las variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, entre otras y por factores antrópicos como el incremento poblacional y la expansión de la

frontera agropecuaria (Rosete et al., 2008; Bhagawart, 2011). Esta alteración en los ecosistemas, ocasiona diversas modificaciones en una región, tales como la pérdida de hábitat y biodiversidad, reducción de la recarga de mantos acuíferos, alteración de la calidad del agua, el incremento de la tasa de erosión y desertificación, el aumento de la tasa de azolve en cuerpos de agua, el aumento de inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos y el cambio de las condiciones climáticas, entre otras, llegando a repercutir en los procesos biogeoquímicos y en el funcionamiento ecológico de los ríos (Muñoz et al., 2003; Castelan et al., 2007).

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de evaluar la calidad de los cuerpos de agua mediante sus características físicas, químicas y biológicas (Madroñero y Jiménez, 2006). Pero muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos, como es el caso de los metales pesados (Herrera et al., 2013). Los estudios de metales pesados son de especial interés, ya que al ser contaminantes altamente persistentes y tóxicos, constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano por su capacidad de bioacumularse en los organismos expuestos (Shi y Wang, 2004).

La valoración ambiental de las riberas fluviales es hoy día un tema de gran interés, no solo para el desarrollo científico del funcionamiento ecológico de los ríos, sino que también permite identificar los problemas existentes y formular estrategias de gestión para su recuperación y restauración ecológica. De esta manera se han diseñado metodologías basadas en técnicas de reconocimiento visual que caracterizan la estructura y el funcionamiento dinámico de las riberas, como es el caso del índice de

calidad ecológica de las riberas (González del Tánago et al., 2006). Sin embargo, la vegetación riparia se encuentran, a menudo alterada o bien, ha sido sustituida completamente por otros tipos de ocupación del suelo. Por lo que el reconocimiento de los diferentes usos de suelo en una región permite conocer las prácticas de manejo a la cual está sometida un espacio geográfico y por consiguiente sus posibles efectos negativos o positivos en los diferentes componentes de una cuenca hidrográfica (Figueroa et al., 2011).

## **1.2. Antecedentes.**

Los ecosistemas fluviales han sido empleados por el ser humano como fuente de recursos y como vía para la eliminación de residuos, produciéndose una degradación paulatina e histórica de estos ecosistemas. El proceso de la Revolución Industrial empeoró la situación a causa del aumento en la producción de materiales residuales, introducción de nuevos contaminantes y por la concentración de la población en ciudades, generando cada vez más residuos (Alonso y Camargo, 2005). La urbanización de las cuencas es un proceso frecuente, cuya actividad antrópica genera cambios en el uso del suelo, eutrofización, degradación del bosque de ribera, rectificación y canalización de ríos, regulación de cauces, presencia de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes y aumento en la demanda del agua. Estos disturbios afectan la calidad y disponibilidad del recurso, sus características físico-químicas y la integridad ecológica, rompiendo los procesos del ecosistema y las estructuras bióticas (Gutiérrez, 2009). Muchos estudios demuestran la relación que hay entre los componentes de una cuenca, ya que toda acción que se realiza en ella, trae consigo una consecuencia,



positiva o negativa, que dependerá de la causa puesta en movimiento y por consiguiente los procesos en las partes altas de la cuenca que invariablemente tienen repercusiones en la parte baja dado el flujo unidireccional del agua, siendo este recurso considerado como el elemento integrador de todos los componentes de una cuenca (Jiménez, 2009).

Aquilla et al. (2005), realizaron un estudio sobre la influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Holguín et al. (2006), determinaron la calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua mediante parámetros físico-químicos, metales y metaloides. Rodríguez (2006), analizó la calidad del agua en la cuenca del río Cintalapa, Chiapas mediante parámetros físico-químicos. Teixeira (2007), evaluó los efectos del uso del suelo sobre la calidad del agua y como ésta afecta a las comunidades de peces, en la cuenca baja del Río Santa Lucía, Uruguay. Quevedo (2008), analizó la capacidad de las franjas ribereñas para disminuir la erosión y la contaminación, evaluando además la calidad ecológica de las riberas y la influencia de los usos de la tierra en la calidad del agua en la microcuenca del río Toila, subcuenca del río Matanzas, Guatemala. Castañón y Abraján (2009), determinaron la calidad del agua superficial del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Agular-Ucán et al. (2009), analizaron la concentración de metales pesados (Cd, Cu, Zn, Pb y Fe) en sedimentos del arroyo La Caleta de Ciudad del Carmen, Campeche, México. Gutiérrez (2009), determinó el uso del suelo, vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira, Santa Marta, Colombia. Guerrero (2011), analizó como el uso de suelo circundante y el estado de la captación afecta la calidad en las fuentes de abastecimiento de agua de la población

de la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. Rodríguez-Téllez et al. (2012), evaluaron la calidad del bosque de ribera, desde un punto de vista estructural y funcional del río El Tunal en Durango, México, mediante la aplicación del Índice de calidad del bosque de ribera (QBR). Castillo et al. (2012), analizaron los efectos del uso suelo sobre el régimen de flujo y composición química del agua de arroyos de cabecera en las tierras altas de Chiapas.

### **1.3. Justificación.**

La razón de estudiar la cuenca del río Cacaluta, radica en la importancia del agua como recurso indispensable para todo ser humano por su valor ambiental y social. En este contexto, la cuenca del río Cacaluta es la principal fuente de drenaje hidrológico para el municipio de Acacoyagua, Chiapas, que aunado a la naturaleza geológica, la geomorfología del sustrato y las formaciones vegetales asentadas en la cuenca, hacen que se presente una alta diversidad ecosistémica, razón por lo que en esta zona se encuentra parte de los polígonos de dos áreas naturales protegidas (ANP): La Reserva de la Biosfera El Triunfo (REBITRI) y la Reserva de la Biosfera La Encrucijada (REBIEN). Pero la pérdida de cobertura vegetal y el incremento de actividades agrícolas y ganaderas en general representan una amenaza para mantener el funcionamiento ecológico de la cuenca y en especial los cuerpos de agua, debido a la alteración en los procesos del ciclo hidrológico así como el aumento de las concentraciones de nutrientes y productos agroquímicos. A lo anterior, le podemos anexar la creciente descarga de aguas residuales sin tratamiento alguno por el incremento poblacional y la posible presencia de contaminación significativa por metales pesados debido a la presencia de yacimientos

minerales metálicos en la cuenca, como es el caso de la mina denominada La Cristina que ha estado operando periódicamente desde el año 2002 y de la cual se está extrayendo Ilmenita y Rutilo como materia prima.

Por lo que desarrollar la presente investigación permitirá generar información en materia ambiental sobre el río Cacaluta, ya que el desconocimiento y desinterés que han mostrado los gobiernos u organismos responsables de un determinado territorio por mantener un buen estado de conservación y funcionamiento de los ecosistemas fluviales, ha conducido a que los ríos sean unos de los ecosistemas más amenazados actualmente en Chiapas (Tovilla, 2005). De esta manera se pretende contribuir con elementos técnicos que permitan la implementación de estrategias políticas, económicas, sociales y ambientales que estimulen y fortalezcan la participación de todos los actores involucrados para promover un desarrollo sustentable en la cuenca.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

- ❖ Generar información ecológica del río Cacaluta mediante la caracterización del uso de suelo de la cuenca y evaluación de la calidad del agua y de las zonas riparias.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Identificar los usos de suelo en la cuenca del río Cacaluta a través del análisis de imágenes SPOT 2013.
- Realizar una valoración ambiental de la ribera fluvial del río Cacaluta empleando el índice de calidad ecológica de las riberas (RQI).

- Determinar mediante parámetros físicos y químicos la calidad de agua del río Cacaluta con base en la variación de las temporadas del año y por las diferencias altitudinales en la cuenca.
- Evaluar la concentración de Hierro en los sedimentos del río Cacaluta para identificar el efecto de la actividad minera.
- Identificar los principales productos agroquímicos utilizados en las áreas de producción en la cuenca del río Cacaluta.

### **1.5. Hipótesis.**

Con base en lo descrito en párrafos anteriores, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Está condicionada la estructura y el funcionamiento ecológico del río Cacaluta por el uso de suelo de la cuenca y a su división por altitud (parte alta, media y baja)?

Para sujetar a prueba el estudio, se ha planteado la siguiente hipótesis: Si la estructura y el funcionamiento ecológico del río Cacaluta dependen del uso de suelo entonces se espera que en las zonas de áreas naturales protegidas (parte alta y baja de la cuenca) éstas sean de mejor calidad que en las zonas sujetas a actividades productivas (parte media de la cuenca).

## **Capítulo II.**

### **2.1. Descripción del área de estudio.**

El área de estudio de ésta investigación es la cuenca hidrológica Cacaluta (donde se ubica el río del mismo nombre), se localiza en la parte oriental de la Sierra Madre de Chiapas y de la Planicie Costera del Pacífico, dentro de las coordenadas 15° 32' 24" y 15° 10' 36" de latitud norte y 92° 56' 24" y 92° 37' 36" de longitud oeste, con una superficie de 462.24 km<sup>2</sup> (CONAGUA, 2010). Pertenece a la región hidrológica número 23: Costa de Chiapas (Figura 1).

#### **2.1.1. Zonas funcionales de la cuenca del río Cacaluta.**

Las cuencas hidrográficas se han convertido en unidades físico-naturales cada vez más utilizadas para el estudio y gestión de los recursos naturales en México y el mundo. Para su estudio, planificación y manejo, las cuencas hidrográficas comúnmente son subdivididas en unidades de orden, dimensiones y complejidad. Las unidades más utilizadas para subdividir o segmentar a una cuenca bajo este tipo de esquemas son las sub-cuencas y micro-cuencas (Cotler, 2010). De igual forma, existe la posibilidad de subdividir una cuenca en diferentes unidades espaciales en función a las características hidromorfológicas: alta, media y baja, siempre y cuando la altura sea significativa de 0 a 2,500 msnm (Cotler, 2010). Los criterios utilizados para delimitar las zonas funcionales de la cuenca del río Cacaluta fueron los de Cotler (2010) y se sintetizan de la siguiente manera (Figura 2):

La cuenca alta abarca áreas aledañas a la divisoria de aguas en la porción altimétricamente más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona predomina la iniciación y confluencia de corrientes de primer y segundo orden, evidenciando procesos fluvio-erosivos, debido a una mayor energía del relieve por el mayor grado de inclinación de las pendientes. La cuenca media corresponde a sistemas de lomeríos, colinas, valles y planicies intermontañas y porciones superiores de abanicos aluviales con una energía del relieve media. Se observa una mayor integración de la red de drenaje con órdenes intermedios, esto es corrientes de segundo, tercero y cuarto orden. La energía del relieve en esta zona es en promedio intermedia al igual que la pendiente. La cuenca baja es el área de salida o emisión del drenaje, incluye las áreas aledañas al cauce principal (bancos laterales) antes de su salida hacia el mar o algún cuerpo interno (perenne o intermitente). Comprende las áreas de planicies de inundación ordinaria y extraordinaria, abarca las terrazas fluviales y los lechos ordinarios y extraordinarios de inundación.

### Cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

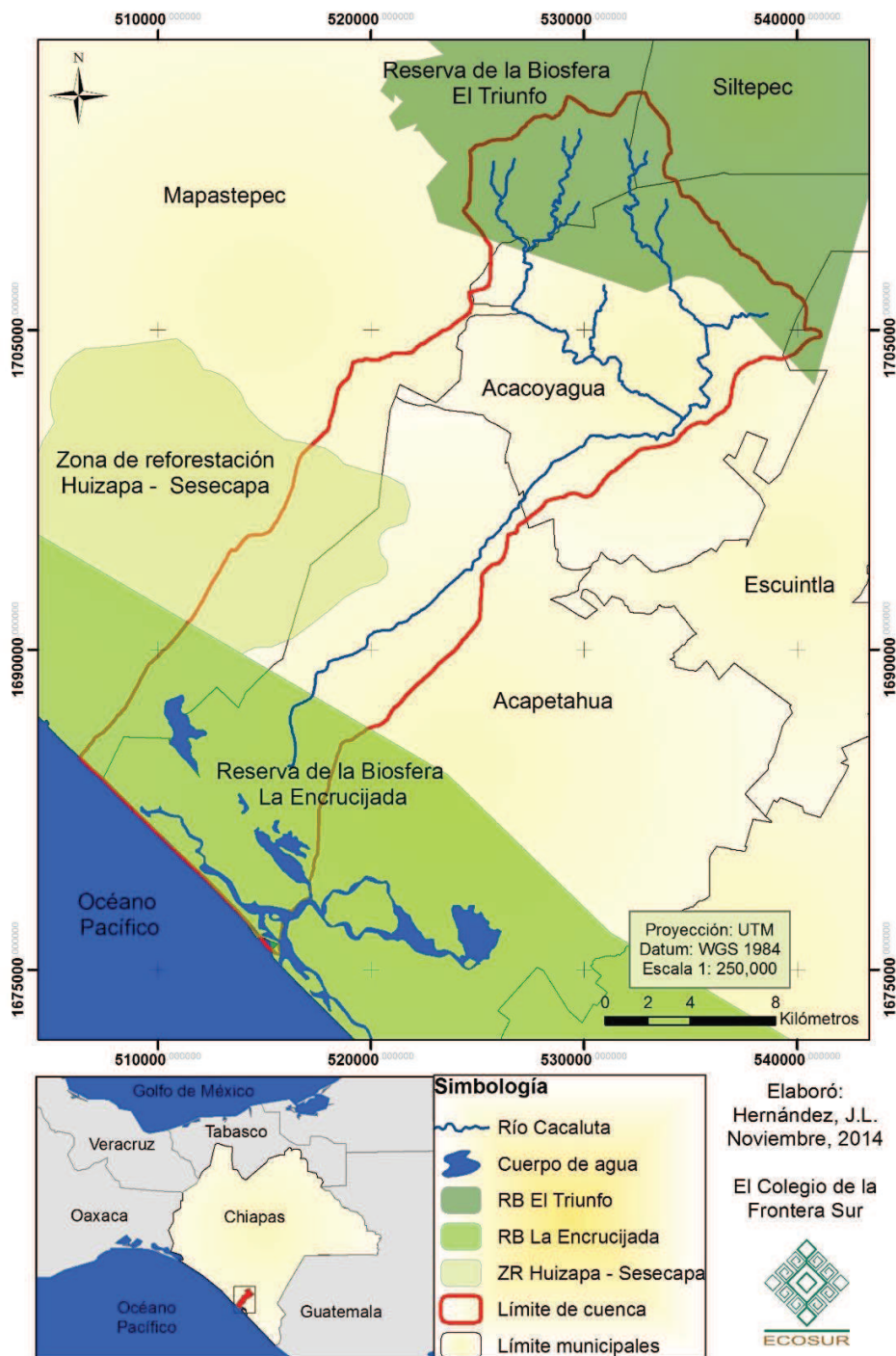


Figura 1. Cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

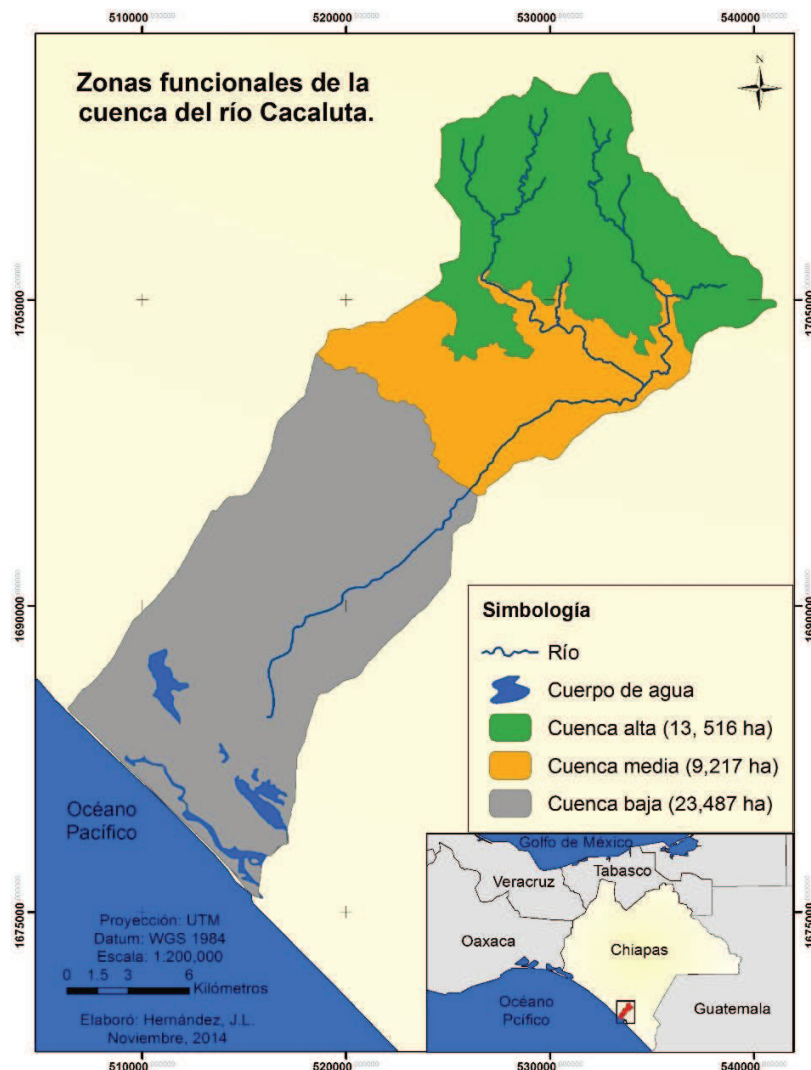


Figura 2. Zonas funcionales de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

### 2.1.2. Áreas naturales protegidas (ANP).

De acuerdo con la CONABIO, Chiapas es uno de los estados con mayor biodiversidad a nivel nacional, siendo la cuarta entidad con mayor superficie protegida, con un total de 50 Áreas Naturales Protegidas federales y estatales, entre las que se encuentran siete



Reservas de la Biósfera (Reyes y Sánchez, 2012). El área de la cuenca del río Cacaluta abarca parte de los polígonos de dos Reservas de la Biósfera: El Triunfo y La Encrucijada. También, se encuentra inmersa dentro del área de estudio la zona de reforestación Huizapa – Sesecapa (Figura 3). Éstas áreas, abarcan una superficie dentro de la cuenca de 23,941.48 ha (Cuadro 1.).

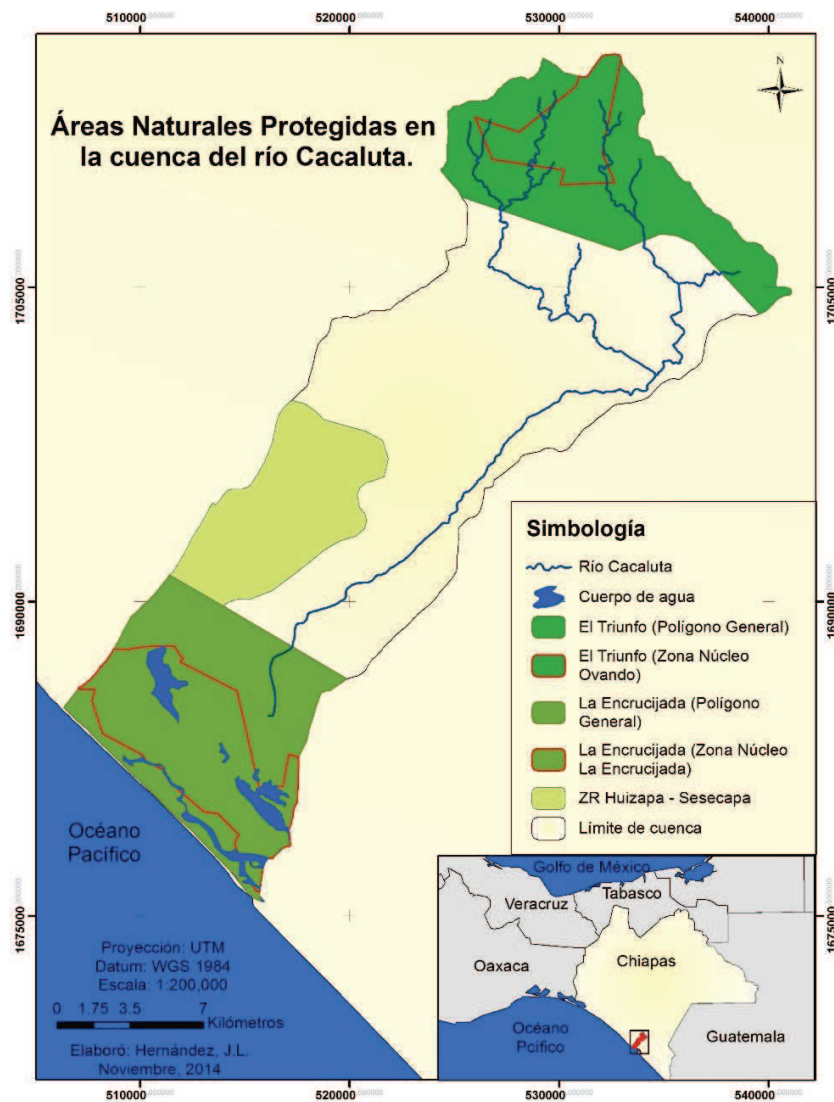


Figura 3. Áreas Naturales Protegidas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

Cuadro 1. Superficie de las ANP inmersas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

N°	ANP	Superficie (ha)
1	REBITRI	8,588.13
2	REBIEN	10,360.48
3	ZR Huizapa - Sesecapa	5,167.26
	Total	23,941.48

#### **2.1.2.1. Zona de reforestación Huizapa – Sesecapa (ZR Huizapa – Sesecapa).**

El 8 de octubre de 1936 se declara en el Diario Oficial de la Federación como Zona de Reforestación una superficie de 12,944 ha, que abarca los predios de las fincas Huizapa-Sesecapa, ubicadas en el Municipio de Mapastepec, Chiapas. La finalidad de este decreto fue permitir reforestar esta superficie mediante plantaciones artificiales para substituir la vegetación arbórea sin aplicación comercial, por las especies de caoba, cedro rojo y otras similares, pudiéndose combinar con estos trabajos el cultivo de plátano en los lugares irrigables (Vargas et al., 2000).

#### **2.1.2.2. Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI).**

Mediante Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 13 de Marzo de 1990, se declaró el establecimiento de la Reserva de la Biosfera denominada El Triunfo . Esta reserva se localiza en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, entre los 15° 09' 10" y 15° 57' 02" latitud norte y 92° 34' 04" y 93° 12' 42" longitud oeste. Cuenta con una superficie total de 119,177-29-00 ha, y abarca parte de los municipios de

Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villa Corzo y Siltepec (Carabias et al., 1998).

Dentro de la reserva de la biosfera "El Triunfo", se establecen cinco zonas núcleo denominadas: zona núcleo I "El Triunfo", con superficie de 11,594-75 ha, zona núcleo II "Ovando", con superficie de 2-143-25 ha, zona núcleo III "Custepec", con superficie de 1,192-75 ha, zona núcleo IV "El Venado", con superficie de 4,056-87 ha, zona núcleo V "La Angostura", con superficie de 6,776-25 ha, y una zona de amortiguamiento de 93-458-41 ha, que corresponde a la superficie restante (Vargas et al., 2000).

En la REBITRI se encuentra una de las áreas más grandes de Bosque Mesófilo del país y uno de los últimos hábitats de algunas especies que han visto seriamente disminuidas sus poblaciones, como el Quetzal (*Pharomachrus mocinno*) y el Pavón (*Oreophasis derbianus*). Por sus características la reserva genera diversos bienes y servicios ambientales entre los que destacan el resguardo del patrimonio genético, la absorción de gases invernadero, la regulación climática, el mantenimiento de recursos hídricos, la conservación de suelos, la preservación de valores paisajísticos, la producción de recursos forestales maderables y no maderables, y la estructuración de hábitat para una amplia diversidad de flora y fauna. Además, la reserva aporta agua dulce al complejo de humedales de mayor relevancia en el Pacífico, ubicado en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Actualmente cuenta con seis componentes de manejo: Protección, Manejo, Restauración, Conocimiento, Cultura y Gestión (Carabias et al., 1998; López et al., 2011).

### **2.1.2.3. Reserva de la Biósfera La Encrucijada (REBIEN).**

La Reserva se localiza al sur del estado de Chiapas, en la región fisiográfica denominada Planicie Costera del Pacífico, geográficamente ubicada entre los 14° 43' y 15° 40' latitud norte y 92° 26' y 93° 20' longitud oeste. Fue decretada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de Junio de 1995. Posee una superficie de 144,868-15-87.5 ha, de las cuales 36,216-42-50 ha corresponden a dos zonas núcleo (La Encrucijada y Palmarcito) y 108,651-73-37.5 ha corresponden a la zona de amortiguamiento. La Encrucijada comprende parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acapetahua, Huixtla, Villa Comaltitlán y Mazatán (Carabias et al., 1999).

La importancia de la REBIEN radica en que los ecosistemas costeros son considerados, junto con las selvas tropicales, como los ecosistemas más productivos del planeta. En esta reserva se encuentra grandes y complejos macizos forestales de manglar y amplias zonas pantanosas de tulares y popales, así como relictos importantes de selvas medianas y bajas. Además, cuenta con una amplia red hidrográfica constituida principalmente por ríos, lagunas costeras, esteros, canales y bocabarras que permiten establecer un intercambio entre las aguas continentales y el mar (Carabias et al., 1999).

Los bosques de mangle de la REBIEN desempeñan una serie de funciones ecológicas, como proteger la línea costera contra el embate de los huracanes y las tormentas tropicales, evitan la erosión de la línea de playa, las bahías y los estuarios, sirven de filtros biológicos para las aguas, constituyen sumideros de CO<sub>2</sub>, constituyen el hábitat de gran cantidad de animales residentes o migratorios, proporcionan las condiciones para el desarrollo de estadios juveniles de diversas especies marinas, permiten la formación de

suelo y con ello la sucesión natural, entre otras (Linares, et al., 2004). Por estas razones, la REBIEN es una de las regiones de humedales más rica, diversa y productiva de México, la cual fue incorporada a la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional (Ramsar). Actualmente cuenta con cuatro políticas de manejo generales que son: Protección, Conservación, Aprovechamiento y Recuperación (Carabias et al., 1999).

### **2.1.3. Fisiografía.**

La cuenca del río Cacaluta se localiza en la región fisiográfica conocida como Llanuras Costeras del Pacífico de Chiapas, ubicada en la Cordillera Centroamericana, la cual a la vez se divide en dos subprovincias: Sierras del Sur de Chiapas (83) y la Discontinuidad Llanura Costera de Chiapas y Guatemala (85) (CONAGUA, 2010; Carbajal-Evaristo, 2014) (Figura 4). La sierra madre del Sur de Chiapas se caracteriza por ser sierra escarpada compleja, constituida en su mayoría por rocas de origen volcánico. Los suelos son delgados y escasos, debido al accidentado del relieve y a lo pronunciado de la pendiente, favoreciendo altamente la formación de cárcavas y la pérdida de suelo en áreas deforestadas (Carbajal-Evaristo, 2014). La región sierra ocupa una superficie en la cuenca de 20,121.84 ha, que representa el 43.53% de la superficie total. La altura máxima de la cuenca en la parte sierra es de 2,435 msnm.

El suelo de la Llanura Costera se caracteriza por ser profundo y salitroso conforme su cercanía al mar. Es una zona muy fértil y totalmente plana, compuesta por depósitos aluviales no consolidados, provenientes de las tierras erosionadas de la parte alta de la cuenca que son transportados por los diversos escurrimientos que bajan de la Sierra. La parte más baja de esta llanura está influenciada por el mar y las mareas, y se compone de un sistema lagunar estuarino (CONAGUA, 2010; Carbajal-Evaristo, 2014).

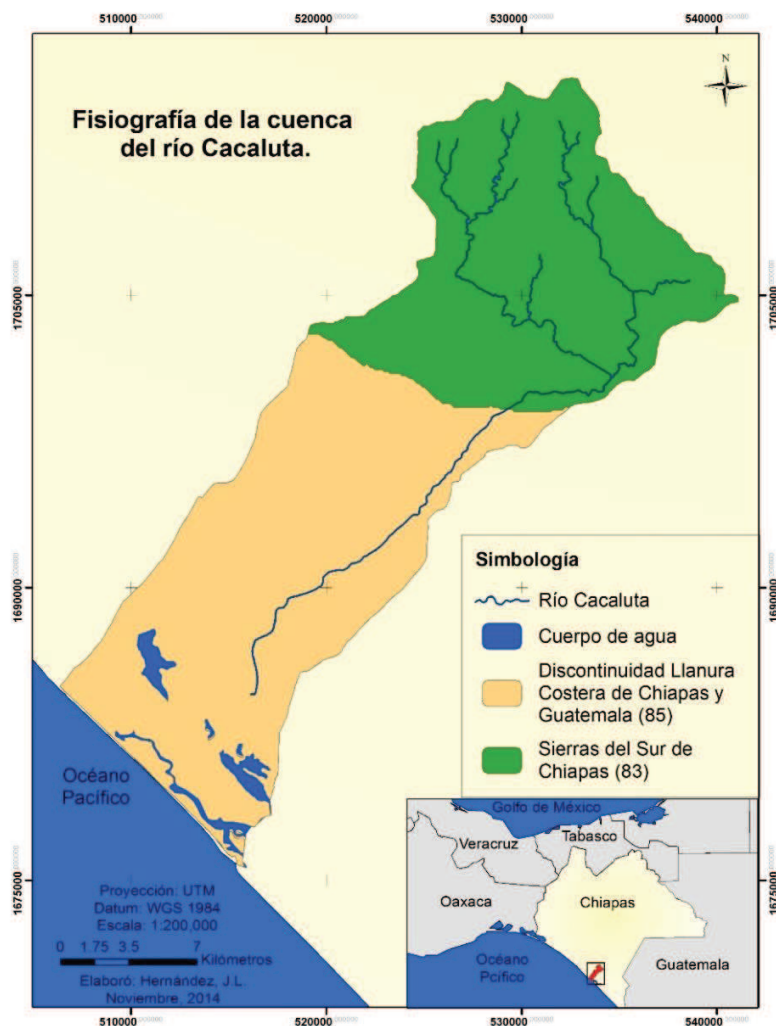


Figura 4. Fisiografía de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

#### 2.1.4. Edafología.

Desde el punto de vista de su origen y de los factores ambientales, la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), define al suelo como la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas, y que ha sido sujeto y presenta los efectos de los factores que le dieron origen (clima, topografía, biota, material parental y tiempo) y que debido a la interacción de éstos, difiere en sus propiedades físicas, químicas, biológicas y morfológicas del sustrato rocoso del que se originó (SEMARNAT, 2012).

La cuenca del río Cacaluta presenta una edafología compuesta por cuatro unidades de suelos, que son Cambisol, Feozem, Regosol y Solonchalk (Figura 5), siendo el primero el que mayor superficie abarca dentro de la cuenca con el 61.39% (Cuadro 2). De acuerdo con la base referencial mundial del recurso suelo, los suelos cambisoles (del italiano *cambiare*, cambiar) muestran poco desarrollo por ser jóvenes, con formación de por lo menos un horizonte subsuperficial incipiente y con diferenciación de horizontes en el subsuelo por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato. Se caracterizan por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla iluvial, materia orgánica, compuestos de Al y/o Fe (IUSS, 2007).

Los Feozems (del griego *phaios*, oscuro, y ruso *zemlja*, tierra) son suelos oscuros ricos en materia orgánica y nutrimentos, porosos y con una textura que va de franca arcillosa a franca (IUSS, 2007).

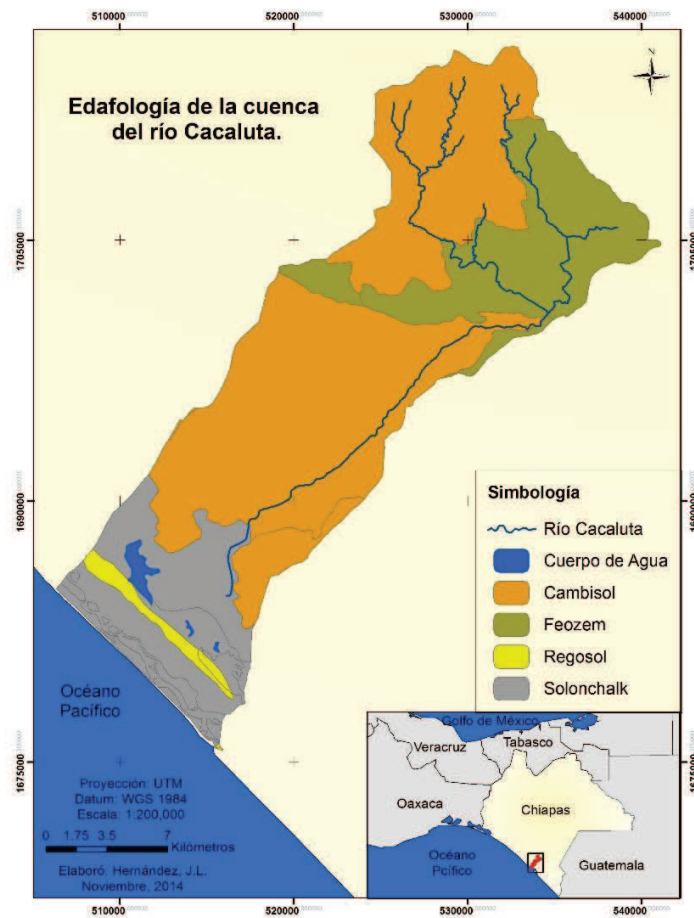


Figura 5. Edafología de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

Cuadro 2. Superficie de los tipos de suelo en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

Nº	Tipo de suelo	Superficie (ha)	Superficie %
1	Cambisol	27,739.61	61.39
2	Feozem	9,589.83	21.22
3	Regosol	836.42	1.85
4	Solonchak	7,021.75	15.54
	Total	45,187.75	100



Los Regosoles (del griego *rhegos*, manta) son suelos minerales muy débilmente desarrollados que constituyen la etapa inicial de formación de un gran número de suelos, pueden presentar diversas estructuras desde gruesas, medias y finas, susceptibles a la erosión y tienen bajo contenido de materia orgánica, de poca profundidad con un pH que varía de ácido a neutro, algunos son ligeramente alcalinos (IUSS, 2007).

Los suelos Solonchak (del ruso *sol*, sal) generalmente presentan un alto contenido de sales como son sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, entre otras. Están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas. La vegetación que existe es por lo común de pastizales resistentes a la salinidad y/o hierbas halófitas (IUSS, 2007).

#### **2.1.5. Clima.**

La cuenca del río Cacaluta presenta cuatro tipos de climas de acuerdo a la clasificación climática de Köppen: Cálido subhúmedo (Aw2(w)), Cálido húmedo (Am(w)), Semicálido húmedo (A(C)m(w)) y Templado húmedo (C(m)(w)), todos con abundantes lluvias en verano. El clima predominante en la cuenca es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am(w)) (Figura 6), abarcando una superficie de 26,348.88 ha, que representa el 57% de la superficie total. Su precipitación media anual es de 2,911 mm y para los años más lluviosos se registra una precipitación pluvial media de 3,600 mm para el periodo de mayo a octubre (Cuadro 3). La temperatura media es de 27 °C, con vientos predominantes suroeste-noroeste (CONAGUA, 2010).

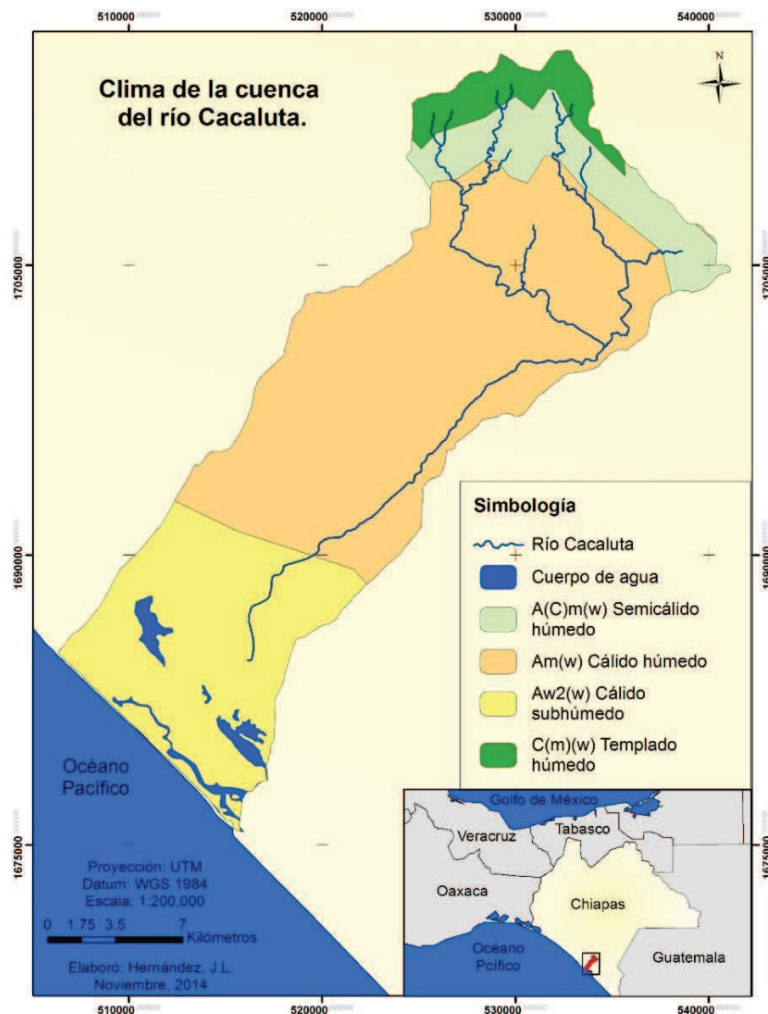


Figura 6. Tipos de clima de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

El cauce del río Cacaluta tiene un comportamiento a través del año de acuerdo a las épocas de lluvia y estiaje. A partir del mes de Noviembre al retirarse las lluvias, los caudales del río inician un proceso de disminución que dura hasta el mes de abril; este proceso empieza a revertirse a partir del mes de mayo con el inicio de las lluvias, cuando los ríos vuelven a aumentar sus caudales, alcanzando sus máximos valores en el mes de septiembre (Figura 7) (López et al., 2011).

Cuadro 3. Datos de precipitación y Temperatura mensual promedio de los años de 1984 a 2013 para la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

Mes	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Precipitación (mm)
Enero	33.3	18.2	9.18
Febrero	34.3	18.8	5.7
Marzo	35.6	20.1	24.23
Abril	36.4	21.6	60.22
Mayo	35.1	21.9	356.31
Junio	33.3	21.7	568.43
Julio	33.2	21.3	552.67
Agosto	33.2	20.7	614.18
Septiembre	32.6	21.1	657.36
Octubre	32.7	21.1	428.8
Noviembre	32.8	19.9	75.71
Diciembre	32.9	18.6	6.61

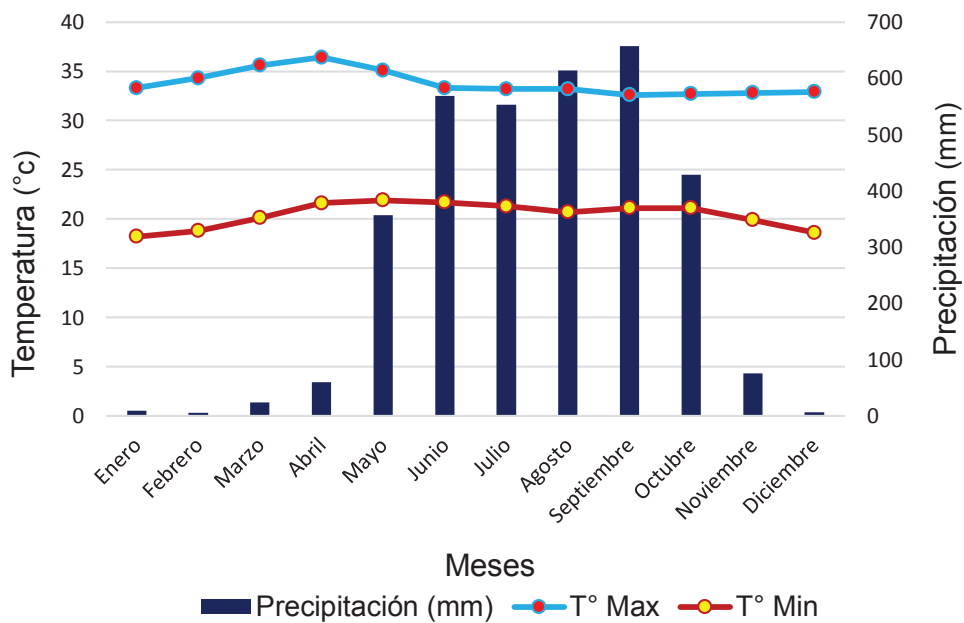


Figura 7. Climograma de la cuenca del río Cacaluta del periodo 1984 a 2013.

### **2.1.6. Aspectos socioeconómicos.**

La cuenca del río Cacaluta se encuentra ubicada principalmente en dos regiones socioeconómicas: IX Istmo – Costa y X Soconusco del estado de Chiapas, México (ceieg, 2012). Abarca parte de los territorios de cinco municipios: Acacoyagua, Acapetahua, Escuintla, Mapastepec y Siltepec. Dentro de la cuenca están inmersas 214 localidades que se encuentran dispersas a lo largo y ancho del río Cacaluta. La sumatoria de la población de todas estas comunidades hace un total de 16,143 habitantes de acuerdo al Censo de población de 2010 (Figura 8). Acapetahua, es el municipio que presenta mayor número de localidades en la cuenca y por consiguiente, el mayor número de habitantes (Cuadro 4).

Esta zona, es una región donde los núcleos agrarios (ejidos y comunidades) se sobreponen con zonas importantes para la conservación de los recursos naturales y la provisión de servicios ambientales (Reyes y Sánchez, 2012). La actividad productiva predominante en el área de estudio es la agropecuaria con prácticas de uso del suelo tradicionales; no obstante, existe una marcada diferencia de actividades productivas según la zona: en la parte alta predomina el cultivo de café mientras que en la parte media y baja predomina la ganadería y actividades agrícolas dedicadas al cultivo de granos básicos, oleaginosas y frutales así como la pesca y la acuicultura.

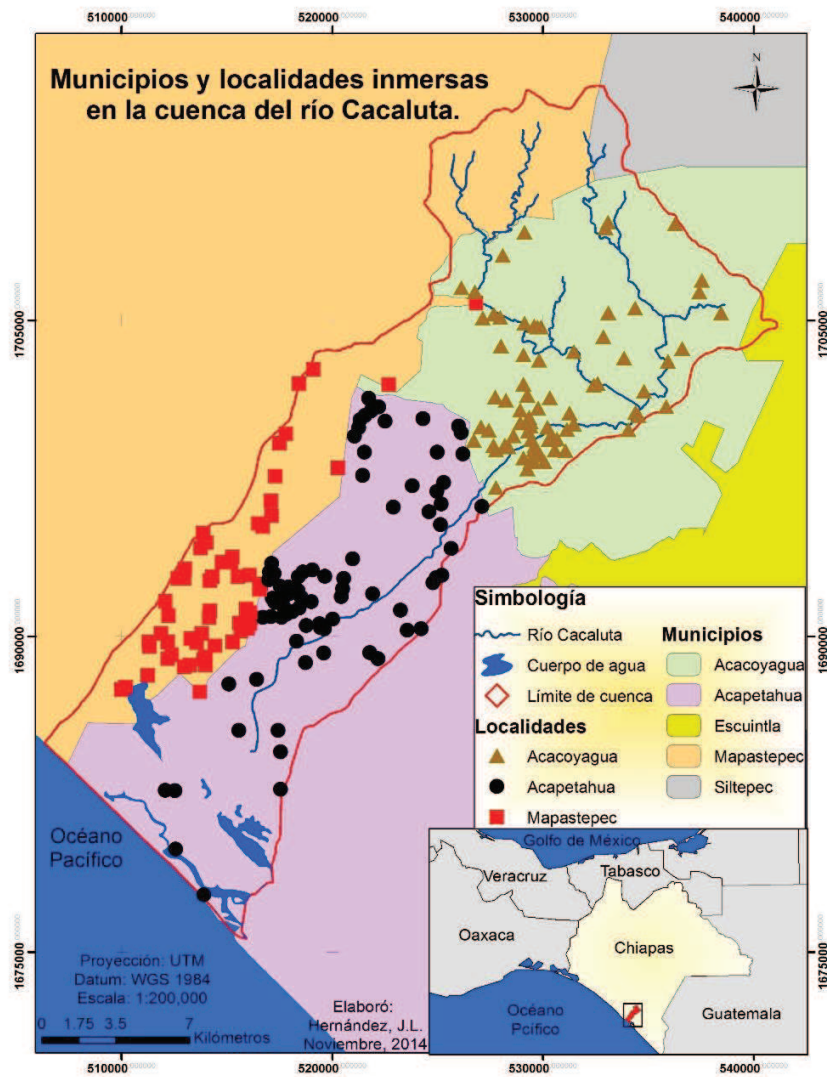


Figura 8. Municipios y localidades inmersas en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

Cuadro 4. Situación poblacional de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

N°	Municipio	Superficie (ha)	N° de localidades	N° de habitantes
1	Acacoyagua	14,865.7	74	4,875
2	Acapetahua	17,971.5	82	6,909
3	Escuintla	147.64	0	0
4	Mapastepec	12,428.87	58	4,359
5	Siltepec	833.23	0	0
	Total	46,246.94	212	16,143

### Capítulo III.

#### 3.1. Caracterización de cobertura y uso de suelo.

El crecimiento exponencial que ha experimentado la población humana a nivel mundial en las últimas décadas, la demanda de recursos naturales para satisfacer las necesidades de supervivencia de esa población y las formas y mecanismos de apropiación de los recursos, con frecuencia ligados a fuerzas sociales, políticas y económicas, han presentado implicaciones estructurales y funcionales sobre los ecosistemas (Alperín et al., 2002; Mas et al., 2009; Rosete et al., 2009 y Nájera et al., 2010).

Sanderson et al. (2002) estiman que el 83% de la superficie terrestre esta directa o indirectamente influenciada por la acción del ser humano. Estas relaciones hombre-ambiente o entre el ambiente y los procesos ligados a la economía social, se manifiestan o materializan como cambios en la cobertura y uso de suelo y han sido reconocidos desde

hace décadas como causa importante de cambios en el ambiente global (Foley et al, 2005). Por lo tanto es importante mapear y cuantificar el grado de conversión humana del hábitat natural al perturbado o dominado por el ser humano, para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de biodiversidad de una región determinada (Marcial, 2011).

### **3.1.1. Uso de suelo.**

A lo largo del territorio nacional se distribuye una gran diversidad de comunidades vegetales naturales como los bosques, selvas, matorrales y pastizales, junto con amplios terrenos dedicados a actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas y zonas urbanas. A las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se les conoce como uso del suelo (Luege, 2005).

Los usos del suelo tienen gran interés científico: por un lado interesa conocer cómo eran en el pasado, cuál es su distribución actual, cuál es su dinámica, su evolución y por otro lado interesa conocer si esta distribución es funcional, si el sistema territorial objeto de estudio es estable, es el deseable o por el contrario no es sostenible (Rodríguez-Pérez et al., 2013).

Además, esta variable es utilizada como indicador ambiental, ya que puede reflejar la presión del ser humano sobre el medio (indicador de presión), la calidad del medio y recursos naturales (indicador de estado) y medir cual es el esfuerzo social y político en materia ambiental (indicador de respuesta) (Rodríguez-Pérez et al., 2013).

El mejoramiento del entendimiento sobre el cambio de cobertura y uso de suelo ha sido resultado gracias al avance de la tecnología. La mejor forma de cuantificar este

proceso es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y el tiempo, donde los sistemas de información geográfica se han convertido en una potente herramienta de apoyo para obtener dicha información (Lambin et al., 2003; Ramos-Reyes et al., 2004 y Rosete et al., 2009).

### **3.1.2. Sistema de información geográfica (SIG).**

Un SIG es un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar, y representar datos u objetos referenciados espacialmente, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación. Se diferencian dos tipos información espacial, según atiendan a las propiedades de cada punto (en función de una variable o propiedad), o a su localización espacial (determinadas coordenadas espaciales), denominados vectorial y ráster. (Rodríguez-Pérez et al., 2013).

Los sistemas vectoriales contemplan la existencia de unidades individualizadas en el espacio geográfico que tienen determinadas propiedades comunes y representan unidades que realmente existen en el área de estudio. Los objetos de una cobertura vectorial pueden estar representados mediante puntos, líneas y polígonos. Los sistemas ráster son fotografías e imágenes digitales capturadas por satélites (Landsat, Spot) o información digital de un mapa. Trabaja con celdas de igual tamaño que poseen un valor (pixel); el tamaño de la celda define el nivel de detalle de la información (Puerta et al., 2011).

La generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que posee la base de datos disponible. La calidad



de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG (Lowry, 2007).

### **3.1.3. Imagen satelital.**

Una imagen satelital es una matriz digital de puntos capturada por un sensor montado a bordo de un satélite que órbita alrededor de la Tierra. A medida que el satélite avanza en su órbita, barre la superficie con un conjunto de detectores que registran la energía reflejada. El número de bandas espectrales, la resolución espacial y el tamaño de la imagen producidas por los diversos satélites es variado (Cuadro 5) (Martínez y Díaz, 2005).

El procesamiento de imágenes provenientes de sensores remotos se ha constituido en una herramienta eficaz con múltiples aplicaciones para las ciencias naturales (Turno-Orellano et al., 2003). El análisis espacial de la información ecológica contenida en las imágenes satelitales puede estar orientado hacia la clasificación de los tipos de cobertura, al mapeo de los ecosistemas o hacia la caracterización de los patrones espaciales de paisajes (Alperín et al., 2002).

Es muy común el uso de las imágenes satelitales para la creación de mapas temáticos, de manera que es necesario clasificar la imagen en cuestión. La clasificación digital de imágenes es parecida a la fotointerpretación, sólo que contempla procesos de automatización. En este método, se identifica el patrón visual asociado a cada categoría de acuerdo a una serie de parámetros de la imagen como son: el tono, la textura, la forma, el contexto, el patrón de distribución, entre otros. Después, se identifican sobre las

imágenes satelitales las superficies correspondientes a estas categorías, mediante su semejanza con el patrón-tipo previamente identificado. Por último, es necesaria una verificación de los resultados (Martínez y Díaz, 2005).

Cuadro 5. Principales satélites utilizados para la obtención de imágenes satelitales.

Satélite	Cobertura (km)	Resolución (m)	Periodo en días	Bandas espectrales
Landsat – MSS	180 X 180	80	16	5
Landsat – TM	180 X 180	30	16	7
SPOT	60 X 60	20	26	4
NOAA	300 X 300	1100 - 5000	0.5	5

#### 3.1.4. Metodología.

Para la generación del mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca del río Cacaluta requirió de varios insumos como fueron el software de ArcGis 10.2 y ERDAS 2013, imagen satelital SPOT 5, un sistema de posicionamiento global (GPS), capa temática de vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), capa temática del padrón cafetalero de la COMCAFE y puntos de reconocimiento en campo.

#### **3.1.4.1. Obtención de imagen satelital SPOT 5 y su procesamiento.**

El área de la cuenca del río Cacaluta abarcó cuatro imágenes satelitales SPOT 5, las cuales fueron obtenidas a través del Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (Laige) del Colegio de la Frontera Sur (Unidad Chetumal) con fecha del 27 de Enero de 2013. Para cada imagen satelital SPOT 5, primero se tuvo que unir la parte pancromática con la parte multiespectral a través del software de ERDAS 2013 para obtener una resolución de 2.5 m. Posteriormente, se unieron todas las imágenes con el mismo software para formar una sola imagen (Figura 9). Una vez obtenida la imagen final, se hizo un corte con la capa vectorial de la cuenca del río Cacaluta a través del software ArcGis 10.2, obteniendo de esta manera la imagen satelital SPOT 5 del contorno de la cuenca.

#### **3.1.4.2. Puntos de reconocimiento en campo.**

Se hicieron recorridos de reconocimiento en campo con la finalidad de observar los tipos de cobertura y usos de suelo de la cuenca del río Cacaluta. Con la ayuda de un GPS, se georeferenciaron 736 puntos a lo largo y ancho de la cuenca.

#### **3.1.4.3. Definición de clases y digitalización de polígonos.**

Analizada la capa temática de vegetación del INEGI, verificados y clasificados los puntos de reconocimiento de campo, se obtuvieron 20 clases de coberturas y usos de suelo en la cuenca (Cuadro 6). La definición de las clases de cobertura vegetal se basó de acuerdo a la clasificación hecha por Miranda y Hernández (1963), mientras que los

usos se clasificaron de acuerdo al tipo de cultivo que se presentaron en la cuenca, como mango, café, palma africana, plátano, pastizales, agricultura, entre otros. Con esta clasificación, se procedió a realizar una delimitación vectorial de polígonos por cada clase en la imagen satelital de la cuenca utilizando el software ArcGis 10.2, con una banda espectral de RGB de 1, 2, 3. Para la digitalización se tomó en cuenta el color y la estructura de cada clase en la imagen, apoyándose también del software de Google Earth.

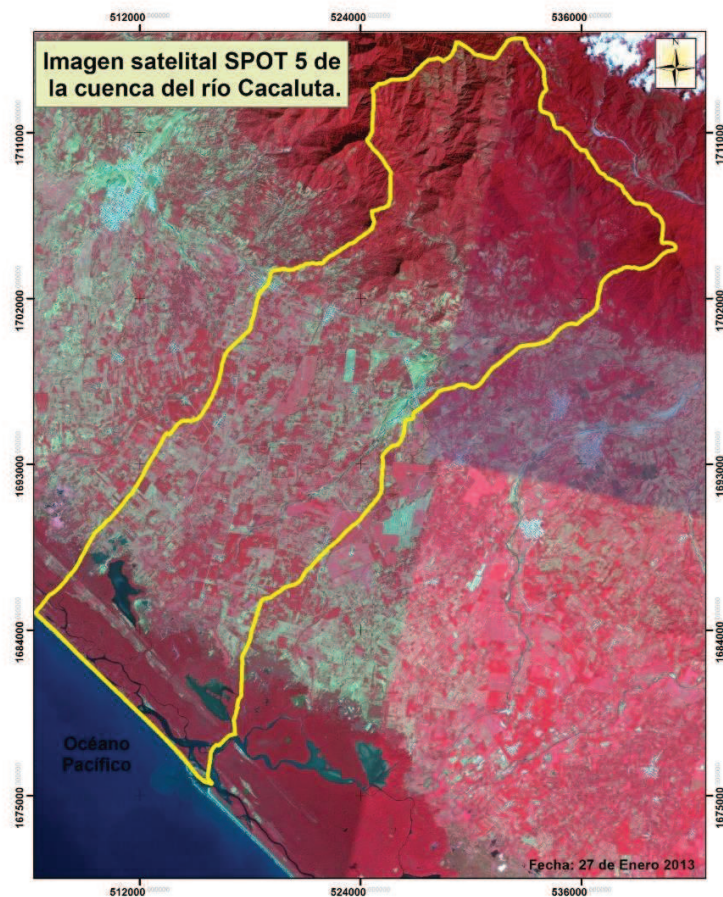


Figura 9. Imagen satelital SPOT 5 de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

### 3.1.5. Resultados.

La cubierta vegetal y uso de suelo de la cuenca del río Cacaluta es muy diversa (Figura 10). La principal cobertura que presenta la cuenca es acahual, término usado por Miranda y Hernández (1963) para nombrar a la vegetación secundaria, cuya característica depende del tiempo de formación y de las características propias de la región y sus alrededores. Este tipo de cobertura tiene una extensión 6201.52 ha que representa el 13.41% de la superficie de la cuenca y se ha originado por las actividades agropecuarias, incendios forestales y eventos hidrometeorológicos. Con unas cuantas hectáreas menos en comparación con el acahual, se presenta la selva mediana subperennifolia, con una superficie de 6092.64 ha. Ambas coberturas abarcan el 26.58% de la superficie total (Cuadro 6).

Por otra parte, la cobertura que tuvo menor superficie fue la selva baja caducifolia con solo 123.93 ha, la cual ha sido prácticamente deforestada. En la cobertura de humedales de agua dulce están agrupados varios tipos de vegetación, como son los tulares (*Typha dominguensis*, *Thalia geniculata* y *Maranta gibba*), palmares (*Sabal mexicana*) y parches de selva baja inundable que abarcan 529.14 ha. Estos tipos de coberturas, año con año van reduciendo su superficie debido a las actividades agropecuarias, incendios forestales, asolvamiento de cuerpos de agua, entre otros.

En cuanto a los usos de suelos actuales de la cuenca, el pastizal es el que mayor superficie abarca con 14131.76 ha (30.56%), siendo casi un tercio de la superficie total de la cuenca. Otro cultivo que ha tenido un auge en los últimos años es la palma africana

(*Elaeis guianensis*), la cual fue promovida por el gobernador Juan Sabines bajo el proyecto de cultivos bioenergéticos, ocupando una superficie de 5801.26 ha. La problemática que ha presentado el cultivo de palma africana es que ha desplazado a otros cultivos (agricultura, mango, caña, entre otros), se han desmontado nuevas zonas (humedales y manglar) y es particularmente una planta exigente en nutrientes y agua a través de sus más de veinte años de vida productiva. Los usos de suelo que presentaron menor superficie fueron el cultivo de marañón (8.21 ha) y la actividad minería (10.76 ha).

Haciendo una comparación entre las superficies de las coberturas y los usos de suelo en la cuenca, resulta que los usos de suelo en conjunto abarcan más de la mitad de la superficie total de la cuenca, con 26224.62 ha que representa el 56.70%, distribuidos entre la parte media y baja de la cuenca principalmente. En cuanto a la vegetación primaria de la parte alta de la cuenca, ésta ha sido más protegida debido al programa de pagos por servicios ambientales y por la presencia de la REBITRI. En la parte media, la vegetación primaria ha quedado fragmentada en pequeños parches, mientras que en la cuenca baja, ha sido reducida prácticamente a lo que es la zona núcleo La Encrucijada de la REBIEN.

Cuadro 6. Superficie de cobertura y usos de suelo en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

N°	Cobertura / uso	Superficie (ha)	Superficie %
1	Acahual	6201.52	13.41
2	Agricultura	1720.25	3.72
3	Agua	1059.2	2.29
4	Bosque mesófilo	1628.89	3.52
5	Cacao	84.87	0.18
6	Café	1863.45	4.03
7	Dunas	84.14	0.18
8	Humedales de agua dulce	529.14	1.14
9	Manglar	4302.91	9.30
10	Mango	1651.38	3.57
11	Marañón	8.21	0.02
12	Minería	10.76	0.02
13	Palma africana	5801.26	12.54
14	Papaya	109.17	0.24
15	Pastizal	14131.76	30.56
16	Plátano	504.04	1.09
17	Selva baja caducifolia	123.93	0.27
18	Selva mediana subperennifolia	6092.64	13.17
19	Tarquina	38.01	0.08
20	Zona urbana	301.46	0.65
Total		46246.99	100

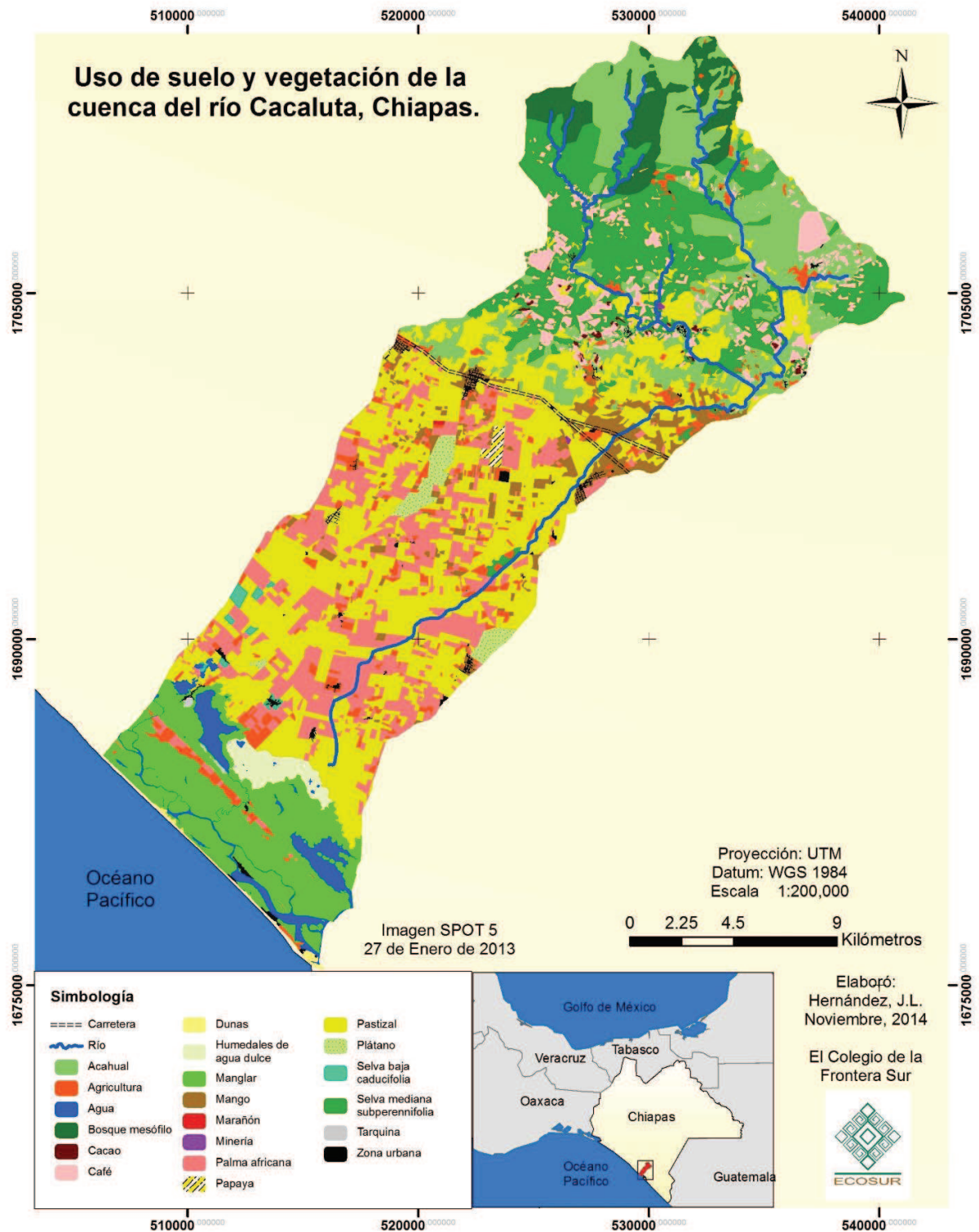


Figura 10. Mapa de cobertura y uso de suelo de la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.



### 3.1.6. Discusión.

Al realizar la determinación de la cobertura y uso de suelo, se encontró que la cuenca del río Cacaluta presenta varios tipos de vegetación así como una variedad de actividades productivas, como resultado de la interacción entre la acción antrópica y el medio natural (Rodríguez et al., 2003). En cuanto a la cobertura vegetal, el acahual fue la que presentó la mayor superficie con 6201.52 ha y se presenta en la parte media y alta de la cuenca, semejante a lo que reporta Grajales et al. (2008) para la cuenca Cohatán. Este tipo de vegetación, se presenta en la cuenca debido a la agricultura en suelos no aptos y a la modificación o perturbación de formaciones primarias por eventos hidrometeorológicos (como los del año 1998 y 2005) (Grajales et al., 2008; Vásquez, 2008) e incendios forestales (1998) principalmente. Debido a las condiciones ambientales y geomorfológicas, la cuenca presenta remanentes de bosque mesófilo (1628.89 ha) en la parte alta, cuya viabilidad está en riesgo debido a que es un ecosistema sensible a los cambios causados por la fragmentación, como lo reporta Williams et al. (2002), CONABIO (2010) y Navarrete et al. (2010). Otro tipo de vegetación presente en la cuenca son los manglares, que abarcan una superficie de 4302.91 ha en la parte baja (REBIEN), siendo considerado como uno de los sistemas más importante desde el punto de vista ecológico, económico y social, como lo estima Calderón et al. (2009). Sin embargo, este ecosistema presenta una serie de amenazas que ponen en riesgo los servicios ambientales que proporciona en la zona. Entre las amenazas se identifican los incendios forestales, ampliación de la frontera agropecuaria, obras de dragado, el asolvamiento, entre otras, como lo reporta Linares et al. (2004) y Carbajal-Evaristo (2014).

El principal uso de suelo en la cuenca son los pastizales, con una superficie de 14131.76 ha, que representa el 30.56% de la superficie total. Al respecto, CONABIO (2012) reporta a esta actividad como una de las principales causas de la pérdida de vegetación natural en la región del Soconusco. Esta actividad se ha desarrollado principalmente en terrenos no inundables de la llanura costera y en las partes bajas de la sierra. Sin embargo, existen áreas de pastos en las ANP de la llanura costera y en las de la sierra, donde el factor demográfico (Orozco et al., 2011) y los programas de gobierno (PROGAN) han incidido de manera considerable, colocando a Chiapas como el tercer estado con mayor producción pecuaria a nivel nacional (INEGI).

La segunda actividad que mayor superficie tuvo fue la palma africana (*Elaeis guianensis*) con 5801.26 ha. Este cultivo ha alcanzado una importancia considerable en la cuenca por los altos rendimientos económicos que presenta (Vásquez, 2008), ocupando Chiapas el primer lugar en producción a nivel nacional (INEGI). Sin embargo, este tipo de cultivo ha generado críticas por organizaciones ambientalistas debido a los problemas ecológicos y sociales que implica este tipo de producción (Arellano et al., 2009). Debido a las condiciones ambientales óptimas que presenta la cuenca, esta especie exótica e invasora se encuentra distribuida prácticamente en toda la llanura de inundación e incluso dentro del polígono de la REBIEN que incluye tanto zona de amortiguamiento como la zona núcleo, implicando una fuerte presión al sistema de humedales presentes en esta ANP así como los bienes y servicios que estos proveen a la sociedad, ocurriendo el mismo caso en Honduras (Carrasco y Flores, 2012).

Prácticamente, los intereses económicos y sociales han condicionado la cobertura y usos de suelo en la cuenca, donde los remanentes de vegetación primaria han quedado

reducida a lo que son las ANP, perdiendo la conectividad entre la Reserva de la Biósfera El Triunfo y la Reserva de la Biósfera La Encrucijada en un tramo de 29 km aproximadamente.

## **Capítulo IV.**

### **4.1. Valoración de la ribera fluvial.**

Ríos y riberas constituyen una unidad funcional que intercambian materia y energía en el contexto de sus cuencas. Ambos se cohesionan a través de los flujos hídricos y como tal son interdependientes. Los flujos de agua conectan cabeceras con desembocaduras (componente longitudinal), riberas con cauces y viceversa (componente horizontal) y aguas subterráneas con los anteriores (componente vertical). Estas conexiones son las que generan los servicios básicos de estos ecosistemas, aunque no siempre actúan al mismo tiempo, de manera que la importancia relativa de cada uno de ellos depende de la dominancia y dirección de los flujos hídricos predominantes (Vidal-Abarca y Suárez, 2012).

#### **4.1.1. Definición, estructura e importancia de la vegetación riparia.**

Un área riparia es un área que se encuentra junto o directamente influenciada por un cuerpo de agua, riparios significa “perteneciente al banco de un río” por lo tanto, se refiere a comunidades bióticas que viven a ambos lados de los ríos, quebradas, lagos e incluso

algunos humedales. A este tipo de vegetación también se le denomina ripícola, aluvial, galería o ribereña (Naiman et al. 2000; Arcos, 2005; Granados-Sanchez 2006).

En los ríos, las comunidades vegetales varían a medida que avanza el río y se distribuyen de forma paralela al cauce, según la tolerancia de las raíces de las diferentes especies al encharcamiento (Camacho et al., 2006). En este sentido, se puede encontrar una estructura horizontal en bandas. En una primera banda se sitúan la vegetación acuática y la vegetación helofítica. En una segunda banda aparecerá la vegetación riparia arbustiva y arbórea, y en una tercera banda se sitúan las especies que sólo soportan un encharcamiento temporal, pero que necesitan crecer sobre suelos frescos ocasionalmente inundados. Sin embargo, esta interpretación de la estructura de las formaciones vegetales de ribera en bandas no tiene siempre una verificación fácil sobre el terreno, ya que en la realidad la heterogeneidad de estos sistemas no permite hablar estrictamente de bandas, sino de tendencias de las distintas especies que forman estos bosques (Magdaleno, 2000). Las características climáticas, edafológicas e hidrológicas son, junto a la acción del ser humano, las que finalmente definen la ubicación y estructura de la vegetación riparia (Dimopoulos y Zogaris, 2008). En la organización vertical de la vegetación riparia, se puede apreciar cinco estratos, que son: arbóreo, arbustivo, herbáceo, lianoide y epifítico (Magdaleno, 2000).

La vegetación riparia en buen estado proporciona múltiples servicios ambientales a los paisajes fluviales como: la eliminación y retención de partículas inorgánicas, materia orgánica y nutrientes transportados desde los cultivos hasta los cursos de agua; regulación de la temperatura y luminosidad del agua; estabilización de taludes en los márgenes de los ríos; proporciona cantidades importantes de detritos; actúa como

barrera para aguas de inundación, favoreciendo su infiltración y la recarga de los acuíferos y poseen un gran valor paisajístico, recreativo y cultural. Pero además, la naturaleza lineal de las áreas riparias y su densa vegetación hacen de ellos una obvia selección como corredores para conectar un parche de vegetación a otro, tanto en ambientes fragmentados como continuos (Camacho et al., 2006; Arizpe y Mendes, 2008; Palma et al., 2009; Sanfiorenzo et al., 2011).

Desafortunadamente, la vegetación riparia es uno de los ecosistemas más transformados por las actividades humanas, como es el cambio de uso de suelo para áreas agropecuarias, el encauzamiento de los tramos sobre los que se asientan, la construcción de infraestructuras hidráulicas y la contaminación por especies invasoras (Ceccon, 2003). Entre las principales consecuencias que provoca la pérdida de los bosques riparios se encuentra la pérdida de biodiversidad, reducción de la calidad del agua y la degradación de las cuencas hidrográficas en general (Lowrance et al., 2001).

#### **4.1.2. Índices para evaluar la calidad ambiental en ríos.**

Hoy día se reconocen los valores naturales de las riberas, tanto en sus aspectos fisonómicos e incluso taxonómicos, pero también como importantes elementos de diversificación paisajística y, sobre todo, como componentes biológicos y estabilizadores de los ecosistemas fluviales (Suárez y Abarca, 2000). Se han desarrollado diversos índices para analizar la calidad del agua en los ambientes fluviales. Estos índices están basados en indicadores físicos, químicos y biológicos y han sido protocolizados por diferentes agencias ambientales. Son adecuados para una evaluación rápida y permiten informar a las autoridades de aplicación y al público en general sobre el estado ecológico

de los ríos (Corigliano, 2008). Algunos índices aplicados para estimar el estado ecológico de los ríos son: el índice de hábitat fluvial (IHF) (Pardo et al., 2002), el índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988), el índice de calidad del bosque de ribera (QBR) (Munné et al., 1998), índice de calidad ecológica de las riberas (RQI) (González del Tánago y García de Jalón, 2006), Riparian Forest Evaluation (RVF) (Magdaleno et al., 2010), River Habitat Survey (RHS) (Raven et al., 1998), entre otros.

#### **4.1.3. Índice de calidad ecológica de las riberas (RQI).**

El índice RQI fue propuesto por Marta González Del Tánago, Diego García De Jalón, Francisco Lara y Ricardo Garilleti en el 2006 bajo el contexto de la Directiva Marco del Agua (DMA). Representa una metodología sencilla y rápida para recopilar información cuantitativa con base hidro-morfológica del estado ecológico de las riberas (González del Tánago y García de Jalón, 2006). El método tiene aplicaciones potenciales para monitoreo y diagnóstico, a la rehabilitación o diseño de la restauración, la conservación de la configuración prioritarias y la evaluación posterior al proyecto (González del Tánago y García de Jalón, 2011) (Cuadro 7).

El índice RQI se basa en la evaluación de siete atributos fácilmente observables y cuantificables que caracterizan la estructura y el funcionamiento dinámico de las riberas, cuya valoración se lleva a cabo en relación a unas determinadas condiciones de referencia, que son variables según la tipología del tramo fluvial correspondiente (González del Tánago et al., 2006; González del Tánago y García de Jalón, 2006) (Figura 11).

La estructura de las riberas queda caracterizada por la continuidad longitudinal de la vegetación, las dimensiones laterales (anchura) del espacio fluvial conteniendo vegetación riparia natural y la composición y estructura de las comunidades vegetales riparias. Estos atributos definen básicamente la morfología de las riberas. A su vez, dichos atributos definen las dimensiones espaciales donde tienen lugar las funciones riparias, e indican las posibilidades de llevar a cabo la restauración fluvial a corto plazo (González del Tánago y García de Jalón, 2006).

El funcionamiento de los sistemas riparios queda reflejado a través de la tasa de regeneración natural de las especies leñosas riparias, la condición de las orillas, la conectividad lateral del cauce con sus riberas y la permeabilidad de los suelos riparios. Estos atributos indican el comportamiento en el tiempo de las riberas, y su evaluación requiere una visión dinámica. 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 riparios (González del Tánago y García de Jalón, 2006).



Figura 11. Atributos de evaluación del índice RQI.



Cuadro 7. Interpretación de los valores totales del índice RQI y propuestas de gestión.

Valor del RQI	Estado de la ribera	Estrategias de gestión
150 - 130	Muy bueno	Atributos de ribera en condiciones naturales, sin amenazas en su funcionamiento. Gran interés en la conservación y protección, para mantener la situación actual y prevenir futuras alteraciones de los sistemas riparios.
129 - 100	Bueno	La mayoría de los atributos están en condiciones buenas o muy buenas y uno o dos pueden ser alterados. Los sistemas ribereños necesitan medidas de protección para evitar potenciales impactos y medidas de restauración para lograr la integridad total de las funciones de ribera. Eliminar las presiones y los impactos tanto como sea posible.
99 – 70	Moderado	Varios atributos son moderadamente alterados. Los sistemas ribereños requieren medidas de restauración para asegurar el funcionamiento hidrológico y ecológico adecuado. Eliminar o reducir las presiones y los impactos tanto como sea posible.
69 – 40	Pobre	La mayoría de los atributos están moderadamente alterados. Los sistemas ribereños necesitan rehabilitación o medidas de restauración, para mejorar y recuperar las funciones riparias hidrológicas y ecológicas. Reducir las presiones y los impactos tanto como sea posible y de compensación de diseño medidas para mejorar las condiciones ambientales.
39 – 10	Malo	Varios atributos están alterados. Los sistemas ribereños necesitan rehabilitación o medidas de restauración para reintroducir gradualmente o mejorar las funciones riparias hidrológicas y ecológicas. Reducir las presiones e impactos como sea posible y mejorar la percepción social de la degradación de los ríos.
< 10	Muy Malo	La mayoría de los atributos están gravemente alterada. Los sistemas ribereños necesitan nuevas obras de rehabilitación o restauración, para recrear y reintroducir funciones ribereños. Mejorar las condiciones ambientales para el buen estado potencial y mejorar la percepción social de la degradación de los ríos.

Fuente: González del Tánago y García de Jalón, 2011.

#### **4.1.4. Determinación de la morfología del cauce.**

Todos los ríos tienen una serie de características comunes que se derivan de la corriente del agua, pero también numerosas particularidades en función de las características climáticas y de la cuenca que drenan: área, geología, suelos, topografía, usos del suelo, cubierta vegetal, impactos humanos, entre otros. Los cauces fluviales pueden ser muy diferentes entre sí, desde estrechos cañones de montaña hasta grandes ríos de llanuras aluviales. La geomorfología de los cauces es una de las características que más influyen tanto en la estructura como en el funcionamiento del ecosistema fluvial (Elosegi y Díez, 2009; Gurnell, et al., 2012). Su descripción tiene gran interés, ya que cambios en la morfología del cauce en unos pocos años provocan variaciones en las propiedades físico-químicas del agua; en la profundidad, velocidad y tensión de arrastre del agua; en la granulometría y disposición de los sedimentos y en la composición y estructura de las comunidades biológicas. Las actividades que provocan estas variaciones son las canalizaciones, construcción de diques laterales, presas, las actividades agropecuarias, cambios climáticos, entre otros (Elosegi y Díez, 2009). Existen dos métodos sencillos y económicos para medir la forma del cauce (perfil transversal), ya sea la utilización de una manguera de nivel o el uso de un teodolito (Flores-Verdugo y Agraz, 2009).

#### **4.1.5. Infiltración.**

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta los horizontes internos. La velocidad con la que el agua se infiltra

en el suelo o tasa de infiltración, es función del tipo de suelo y de propiedades físicas como textura y estructura, del laboreo del terreno, del estado de compactación de la superficie del suelo y del agua. La infiltración del agua en el suelo juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escurrimiento (Moro et al., 2005).

Si la precipitación presenta una intensidad menor a la capacidad de infiltración, toda el agua penetra el suelo, provocando una progresiva disminución de su capacidad de infiltración, ya que el suelo se está humedeciendo. Si la precipitación continúa, puede ocurrir, dependiendo de su intensidad, un momento en que la capacidad de infiltración disminuye y el exceso de agua tiende a escurrir superficialmente si la pendiente del terreno lo permite. Cuando termina la precipitación y no hay más aporte superficial la tasa de infiltración real se hace cero rápidamente y la capacidad de infiltración vuelve a crecer, porque el suelo continúa perdiendo humedad hacia las capas más profundas, además de las pérdidas por evaporación o evapotranspiración. Los valores de infiltración dependerán del espacio y del tiempo (Ruiz et al., 2004; Moro et al., 2005).

#### **4.1.6. Densidad aparente del suelo.**

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen ( $\text{g}/\text{cm}^3$  o  $\text{t}/\text{m}^3$ ). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Rojas, 2009; Campos-Cascaredo y Moreno-Casasola, 2009). Los valores que puede tomar la densidad aparente depende de muchos factores, que van desde la textura, contenido de materia orgánica, hasta el manejo que se le da al suelo (Ingaromo et al., 2003, Sanchez et al., 2003). Los suelos que se han formado de material mineral tendrán una densidad aparente diferente a los suelos formados de material

orgánico. En general, la densidad aparente puede variar desde  $0.2 \text{ g/cm}^3$  o menos en suelos orgánicos con muchos poros a  $2.0 \text{ g/cm}^3$  o más en suelos minerales muy compactados (Campos-Casaredo y Moreno-Casasola, 2009). Existen tres métodos para realizar la determinación de la densidad aparente, que son el método del cilindro, el método de la probeta y el método de la parafina (Rojas, 2009).

#### **4.1.7. Metodología.**

##### **4.1.7.1 Selección de los sitios de muestreo.**

La selección de los sitios de muestreo se llevó a cabo mediante el uso del programa Google Earth delimitando previamente el área de la cuenca del río Cacaluta. En la elección del número de sitios de muestreo se consideró la longitud del río en estudio y el detalle que se deseaba conseguir, siempre y cuando la distancia entre los sitios de muestreo no rebasará los 10 km, ya que a distancias mayores los aspectos que se describen no tendrían una continuidad y los valores resultantes serían muy variados y quedaría sin evaluar gran parte de la vegetación riparia existente (Acosta et al., 2009; Rodríguez-Téllez et al., 2012). De esta forma se seleccionaron 26 sitios de muestreo a una equidistancia aproximada de dos a tres kilómetros, siendo muy importante para esto la accesibilidad de los sitios escogidos. A cada sitio de muestreo se le realizó una valoración de la calidad ecológica de la ribera, un perfil microtopográfico, densidad aparente e infiltración (Figura 12).

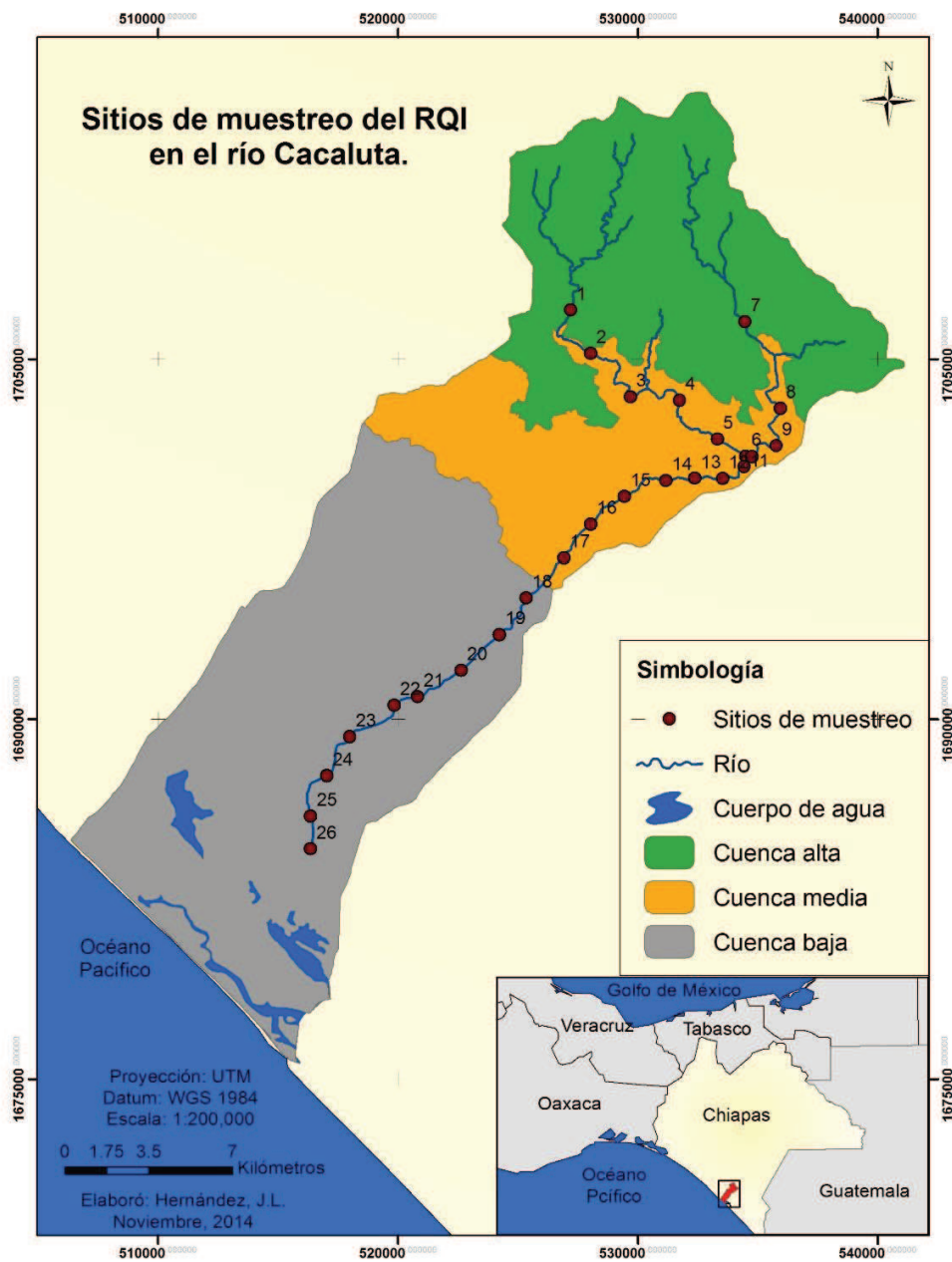


Figura 12. Sitios de muestreo del índice RQI en el río Cacaluta, Chiapas.

#### **4.1.7.2. Aplicación de índice RQI.**

La valoración de la ribera fluvial se realizó a partir del índice de calidad ecológica de las riberas (González del Tánago y García de Jalón, 2011). El tramo de estudio se determinó de acuerdo al ancho de ribera del cauce del río más la sumatoria de 20 m de anchura contigua al cauce (10 m por cada lado) de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales, en su artículo 3°, fracción XLVII. La sumatoria de ambos valores se multiplicó por cinco de acuerdo a la norma mexicana NMX-AA-159-SCF1-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, obteniendo de esta forma la longitud del tramo de estudio, el cual se dividió en dos para determinar la distancia a recorrer tanto aguas arriba como aguas debajo de acuerdo a un punto de referencia.

Se consideraron siete atributos para la caracterización del río a nivel tramo o segmento fluvial (entre 180 m y 550 m): la continuidad longitudinal de la vegetación leñosa; las dimensiones en anchura del espacio ripario ocupado por vegetación asociada al río; la composición y estructura de la vegetación riparia; la regeneración natural de las principales especies leñosas; la condición de las orillas; la conectividad transversal del cauce con sus riberas y llanura de inundación; y la conectividad vertical a través de la permeabilidad y el grado de alteración de los materiales y relieve de los suelos riparios. Cada uno de los atributos se evaluó en escala de 1 a 15, de acuerdo a su marco de referencia, en donde a mayor puntuación mejor estado ecológico de las riberas. Los atributos relacionados con la estructura de la ribera se evaluaron por separado cada margen del río mientras que los atributos relacionados con el funcionamiento de la ribera

se evaluaron en conjunto ambos márgenes. Al final se sumó el valor total de cada uno de los atributos para conocer la valoración global de la calidad de la ribera del tramo de estudio de acuerdo a los rangos del índice: muy buena, buena, moderado, pobre, malo y muy malo.

#### **4.1.7.3. Determinación de la microtopografía (cauce).**

Se utilizó una manguera de nivel de ocho metros de largo, amarrada en cada extremo a un estadal de madera de un metro, a los cuales se le denominó A y B. La longitud de la manguera entre cada estadal fue de cinco metros, la cual fue marcada a cada metro. Se adicionó agua con colorante para ayudar a definir más claramente el nivel del agua, dejando un nivel de 55 a 60 cm de agua en cada extremo de A y B. Cuando quedaron burbujas dentro de la manguera con agua, éstas se extrajeron levantando poco a poco la manguera y golpeándola para sacarlas.

La dirección y la distancia a medir se basaron de acuerdo a la topografía del terreno y a la accesibilidad. Hubo una participación de dos a tres personas con experiencia en el muestreo. Lista la manguera con la respectiva nivelación del agua y determinada la dirección y distancia del muestreo, se procedió a medir.

La longitud de cada medición fue variada, en ocasiones fue de medio metro en terrenos con pendientes pronunciadas mientras que en terrenos planos fue hasta de cinco metros. En cada tramo medido, los valores del nivel del agua en A y B fueron anotados, tomando primeramente el valor de A, que es el que inicia el transecto y posteriormente el valor de B, que es el que marca hasta donde llega el tramo medido. Enseguida, el estadal de A se movió donde terminó B, y B vuelve se movió para marcar

un nuevo tramo, haciendo anotaciones además sobre el uso del suelo y vegetación existente. Este proceso se fue repitiendo a lo largo del todo el transecto desde un margen hasta cruzar al otro margen, georreferenciando en cada desnivel presentado o al momento de algún cambio de vegetación. El desplazamiento de los estadales se hizo cuidadosamente, tapando con el dedo pulgar cada extremo de la manguera y procurando no levantarlos por arriba de la cabeza, para evitar que se derramará el agua o que se introdujeran burbujas de aire. Cuando la medición del transecto llegó al cuerpo de agua del río, en este momento se fue anotando también la profundidad del agua, tomando únicamente el valor presentado en B.

Los valores de A y B y la distancia medida de cada tramo del transecto del río fueron capturados en una base de datos en Microsoft Excel, calculando la distancia y la altura acumulada. Estos valores fueron utilizados para graficar en Excel mediante la modalidad de gráficos de dispersión con líneas suavizadas, donde en el eje horizontal aparecen los valores de la distancia acumulada en metros y en el eje vertical los valores de la altura acumulada en centímetros. De esta forma se observó la microtopografía en cada sitio de muestreo.

#### **4.1.7.4. Determinación de flora.**

De acuerdo al método de muestreo de vegetación de Braun-Blanquet (1979), únicamente se muestrearon 13 sitios debido a la ausencia de estructura vegetal (Figura 14). En los sitios seleccionados se establecieron transectos en ambos lados del cauce del río, iniciando en la orilla hacia tierra adentro. El largo de los transectos dependió de la accesibilidad, amplitud y variabilidad de la vegetación existente.



A lo largo de cada uno de los transectos establecidos, se trazaron parcelas o cuadrantes de muestreo de manera aleatoria en cada uno de los paisajes presentes y el tamaño fue de acuerdo a los ya establecidos como área mínima para cada comunidad o estrato vegetal (cuadrantes de 10x10 m para comunidades vegetales arbustivas y arbóreas, y cuadrantes de 2x2 m para la vegetación herbácea). De acuerdo a un formato de captura, se llevó el registro ordenado de cada una de las especies por cada cuadrante, anotando principalmente el valor de la cobertura de la especie, y a la vez el de abundancia.

En cada cuadrante se realizaron colectas botánicas en lo posible con estructuras fértiles (con flor o fruto) y se prensaron utilizando periódico y cartón y prensas de madera. A cada una de las colectas se le anotó, la forma biológica, color de la flor, forma del fruto, disposición de las hojas, forma de la hoja, presencia o ausencia de látex, especies asociadas, tipo de vegetación, estado de conservación, disturbios, además de las coordenadas del sitio, localidad, municipio, estado y fecha.

El material colectado fue trasladado al laboratorio siete de Ecología y manejo de ecosistemas costeros del Colegio de la Frontera Sur (Unidad Tapachula), para determinar la familia, género o especie de cada uno de los ejemplares y al mismo tiempo deshidratarlos y prepararlos para colección del herbario. Finalmente, con base a la identificación del material botánico, se elaboró una lista florística de cada sitio y del área de estudio en general, las cuales se ocuparon para analizar la diversidad, riqueza y la presencia-ausencia de especies, a través del software estadístico Past. La diversidad y riqueza de especies se determinó mediante el índice de diversidad de Shannon. Mientras

que el estudio de presencia-ausencia se hizo a través de un análisis cluster utilizando el algoritmo del vecino más cercano y aplicando el índice de Jaccard.

#### **4.1.7.5. Determinación de infiltración.**

Para medir la infiltración se usó un tubo de PVC de 20 cm de largo con un diámetro 10.5 cm. Dicho tubo se enterró en el suelo a una profundidad aproximada de 10 cm, posteriormente fue cubierto con un plástico lo suficientemente grande para que sobresaliera del tubo y que quedara en contacto con la superficie del suelo en el interior del tubo para poder recibir el agua. Se vertió en el interior del tubo una cantidad de 250 ml de agua y con mucho cuidado se jalo el plástico, asegurándose que toda el agua se depositara en el interior del tubo, iniciando en este momento la medición de la infiltración con un cronómetro. Se tomó el tiempo hasta que toda el agua libre desapareció de la superficie del suelo. Este procedimiento se realizó por triplicado en cada sitio de estudio. El valor de la infiltración se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$I = Q / (A) (T)$$

Donde:

I = Infiltración (cm/h).

Q = Cantidad de agua (cm<sup>3</sup>) infiltrada.

A = Área de la superficie del suelo expuesta a la infiltración.

$A = \pi r^2 = 3.1416 (5.25)^2 = 86.6 \text{ cm}^2$

T = tiempo en horas.

#### **4.1.7.6. Determinación de densidad aparente.**

En cada sitio de muestreo se extrajeron tres muestras de suelo dentro del área que abarca la zona riparia. Para la extracción, se utilizó una lata de aluminio de 122 ml, colocando el material en bolsas de plástico de 15 x 25 cm etiquetadas previamente y se transportaron al Laboratorio siete de Ecología y manejo de ecosistemas costeros del Colegio del Colegio de la Frontera Sur Unidad Tapachula para su respectivo secado. Antes de poner a secar las muestras de suelo, éstas fueron pesadas en estado húmedo con una balanza digital marca ADAM, para lo cual se utilizaron latas de aluminio.

El secado de las muestras se llevó a cabo a través de un horno de secado marca Casa Rios durante 24 h a 105 °C. Transcurrido el tiempo de secado, las muestras secas se volvieron a pesar para obtener de esta manera el peso seco, al cual se le resto el peso de la lata de aluminio para obtener el valor real del peso seco de cada una de ellas. El valor de la densidad aparente se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$D_a = M / V$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>).

M = Masa = Peso del suelo seco (g).

V = Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>).

#### **4.1.8. Resultado.**

En los 26 sitios muestreados, se encontraron cuatro de los seis rangos de calidad existentes para el índice RQI. Las estaciones 5, 7 y 8 presentaron una condición de ribera buena mientras que el sitio 17 presentó un estado de ribera malo debido

principalmente a la presencia de asentamientos humanos y obras de protección de cauces contra inundaciones (gaviones) (Cuadro 8). Los otros dos rangos de calidad presentes fueron el moderado y pobre, siendo el primero el que mayor presencia tuvo con el 46.15% (12 sitios) de los sitios muestreados.

Cuadro 8. Valores obtenidos en los sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas aplicando el índice RQI.

N°	Sitio de muestreo	Tramo de estudio (m)	Valor de RQI	Estado de ribera	Zona de la cuenca	Altitud msnm	Coordenadas
1	Reforma	215	95	Moderado	Alta	554	15°26'25.06" N 92°44'46.45" O
2	Ma. Esther	220	78	Moderado	Media	417	15°25'26.52" N 92°44'19.03" O
3	Violeta	225	97	Moderado	Media	327	15°24'27.48" N 92°43'23.42" O
4	La Libertad	320	77	Moderado	Media	256	15°24'23.09" N 92°42'14.85" O
5	La Liberta II	195	103	Bueno	Media	196	15°23'26.39" N 92°41'17.30" O
6	La Libertad III	225	92	Moderado	Media	182	15°23'6.75" N 92°40'42.74" O
7	Costa Rica	181	111	Bueno	Alta	581	15°26'30.79" N 92°40'56.58" O
8	Magnolia	200	121	Bueno	Media	304	15°24'12.67" N 92°39'53.38" O
9	Satélite Morelia	194	88	Moderado	Media	231	15°23'21.93" N 92°39'58.97" O

N°	Sitio de muestreo	Tramo de estudio (m)	Valor de RQI	Estado de ribera	Zona de la cuenca	Altitud msnm	Coordenadas
10	Puerto Arturo	181	82	Moderado	Media	176	15°23'5.92" N 92°40'34.29" O
11	El Encuentro	320	82	Moderado	Media	152	15°22'53.11" N 92°40'45.18" O
12	Acacoyagua	300	82	Moderado	Media	132	15°22'33.20" N 92°41'16.43" O
13	Nueva Esperanza	215	81	Moderado	Media	118	15°22'37.36" N 92°41'54.41" O
14	Flor del Carmen	258.5	73	Moderado	Media	100	15°22'33.99" N 92°42'34.46" O
15	Las Delicias	322.5	63	Pobre	Media	70	15°22'12.24" N 92°43'31.11" O
16	Hidalgo	432	55	Pobre	Media	50	15°21'34.99" N 92°44'20.13" O
17	Bonanza	543	39	Malo	Media	36	15°20'49.46" N 92°44'57.29" O
18	Bonanza II	500	62	Pobre	Baja	27	15°19'49.50" N 92°45'51.14" O
19	Corozal	490	70	Moderado	Baja	23	15°19'5.25" N 92°46'28.09" O
20	Finca Vainilla	400	48	Pobre	Baja	18	15°18'16.77" N 92°47'21.16" O

N°	Sitio de muestreo	Tramo de estudio (m)	Valor de RQI	Estado de ribera	Zona de la cuenca	Altitud msnm	Coordenadas
21	El Solitario	385	68	Pobre	Baja	18	15°17'40.05" N 92°48'21.95" O
22	Muralla	460	64	Pobre	Baja	17	15°17'29.46" N 92°48'55.06" O
23	Muralla II	345	52	Pobre	Baja	13	15°16'46.84" N 92°49'57.20" O
24	Muralla III	250	54	Pobre	Baja	9	15°15'53.91" N 92°50'29.36" O
25	Quinde de Abril	215	54	Pobre	Baja	6	15°14'59.16" N 92°50'51.26" O
26	Quinde de Abril II	230	56	Pobre	Baja	5	15°14'14.53" N 92°50'52.50" O

De acuerdo con los datos obtenidos en campo, se observó una alteración significativa en cuatro de los siete atributos que presenta el índice RQI, siendo estos el ancho del espacio ripario, la continuidad longitudinal, la composición y estructura y la diversidad de edad y regeneración. El rango de calidad para estos atributos osciló entre moderado y pobre (Figura 13).

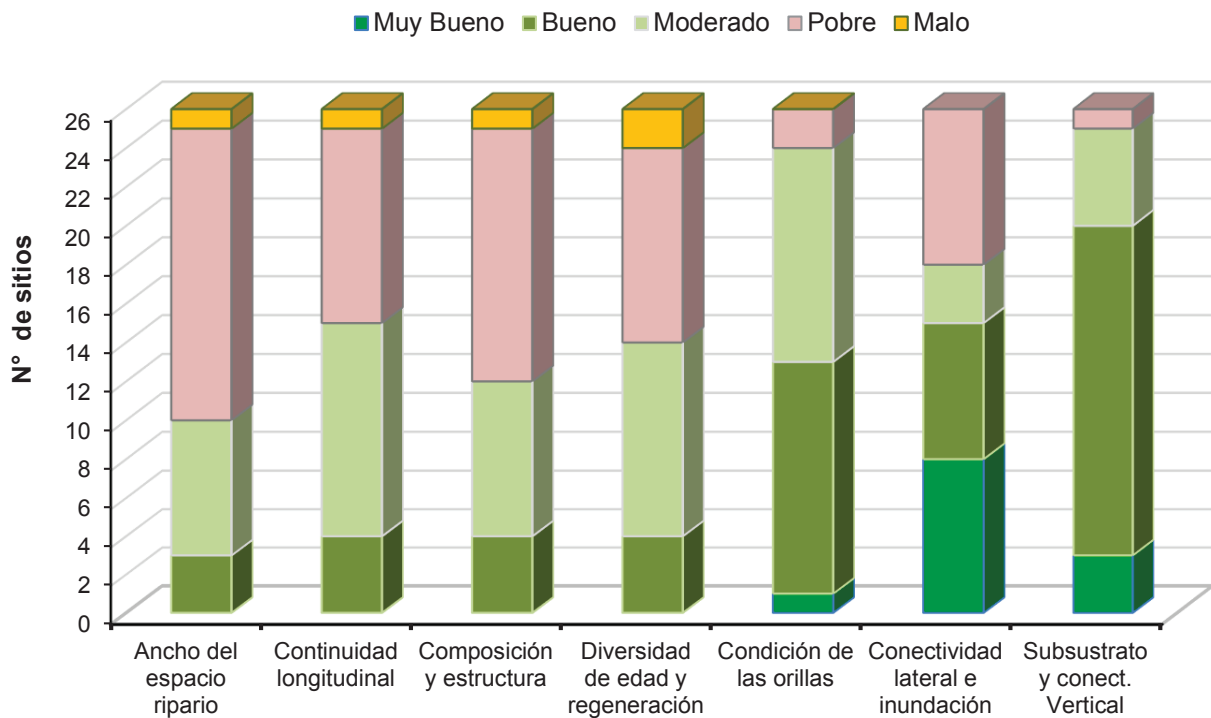


Figura 13. Estado de cada uno de los atributos de las riberas estudiados con el RQI en los 26 sitios de muestro del río Cacaluta, Chiapas.

En relación a la flora, únicamente se muestrearon 13 de los 26 sitios, principalmente por su variabilidad de especies (Figura 14). El sitio 4 “La Libertad” fue el que presentó la mayor riqueza de especies (91 especies) debido a la presencia de flora de selva mediana subperennifolia y riparia asociada con especies secundarias (perturbación humana) (Figura 15) y por consiguiente, este sitio obtuvo el valor más alto de diversidad de acuerdo al índice de Shannon, con 4.51 (Figura 16). El sitio que presentó el valor más bajo tanto en riqueza como en diversidad fue Laguna Campon en comparación con los otros sitios, ya que se trata de un ecosistema acuático costero donde las condiciones ambientales como salinidad del agua, temperatura y la estabilidad del suelo, condicionan el

establecimiento y desarrollo de la vegetación. Debido a esto, la especie dominante en la Laguna Campon es el mangle rojo (*Rhizophora mangle*).

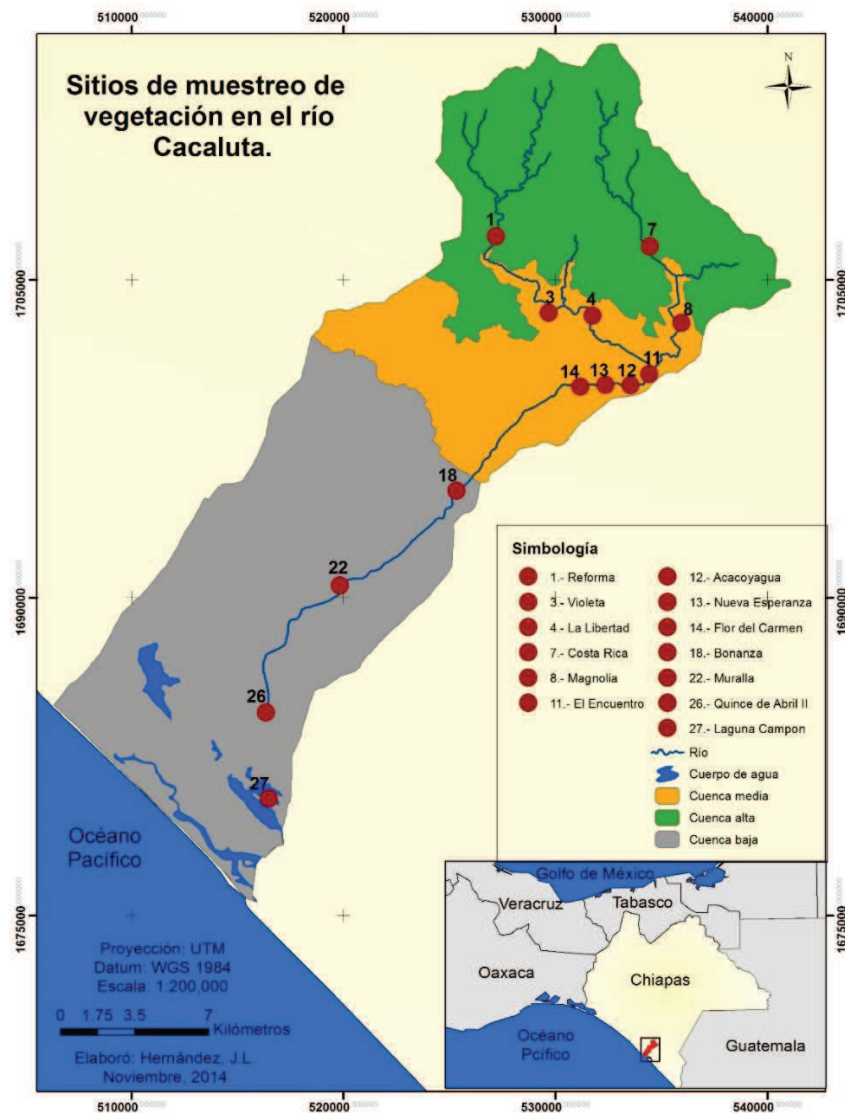


Figura 14. Sitios de muestreo de vegetación en la ribera del río Cacaluta.



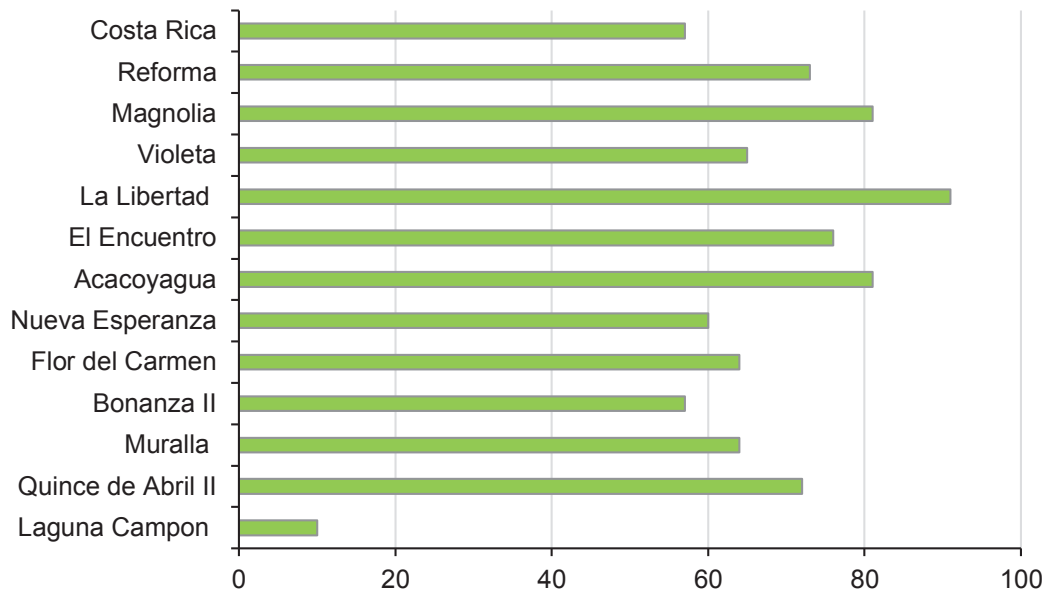


Figura 15. Índice de riqueza de especies en 13 sitios de muestreo de la cuenca del río Cacaluta.

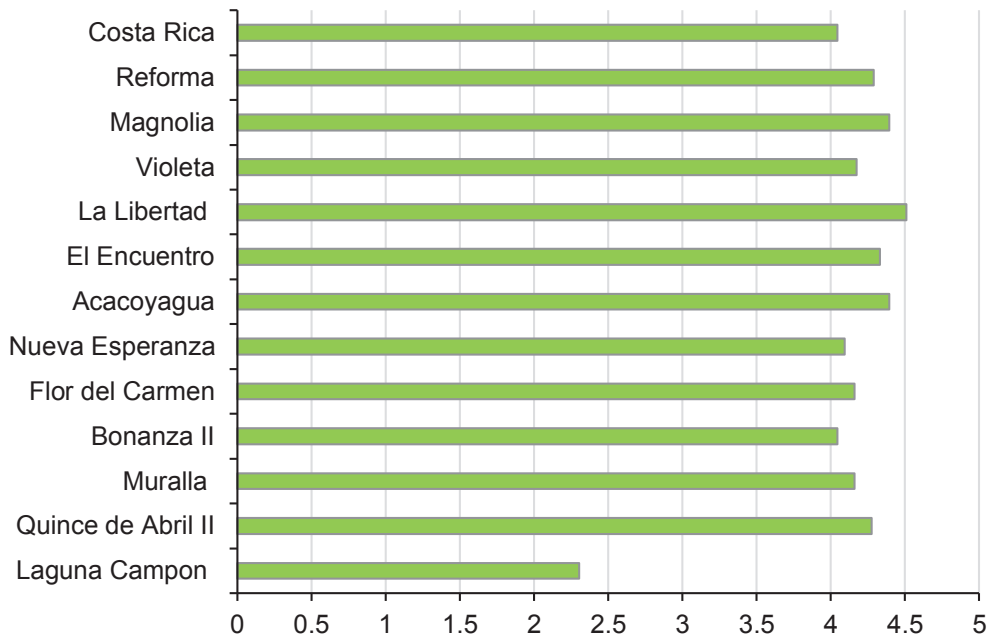


Figura 16. Índice de diversidad de Shannon para 13 sitios de muestreo de la cuenca del río Cacaluta, Chipas.

El número de especies de flora encontrada a lo largo de la ribera del río Cacaluta fue de 423 especies, distribuidas en 112 familias (Anexo I), siendo la familia Fabaceae la que más especies presentó. Empleando el índice de Jaccard como medida de similitud entre las especies de flora presentes en los 13 sitios con riqueza (311 especies), resulta una clasificación de los sitios en tres grupos a un corte del 0.24 de similaridad donde el grupo I se caracteriza por tener un relieve accidentado, presentando parches de selva mediana subperennifolia en condiciones de buenas a moderadas. El grupo II se caracteriza por tener riberas alteradas donde la vegetación esta reducida por las actividades agropecuarias debido a que son terrenos planos mientras que el grupo III se identifica por estar en la parte media de la cuenca con una ribera de calidad moderada donde existe la mezcla de vegetación (Figura17).

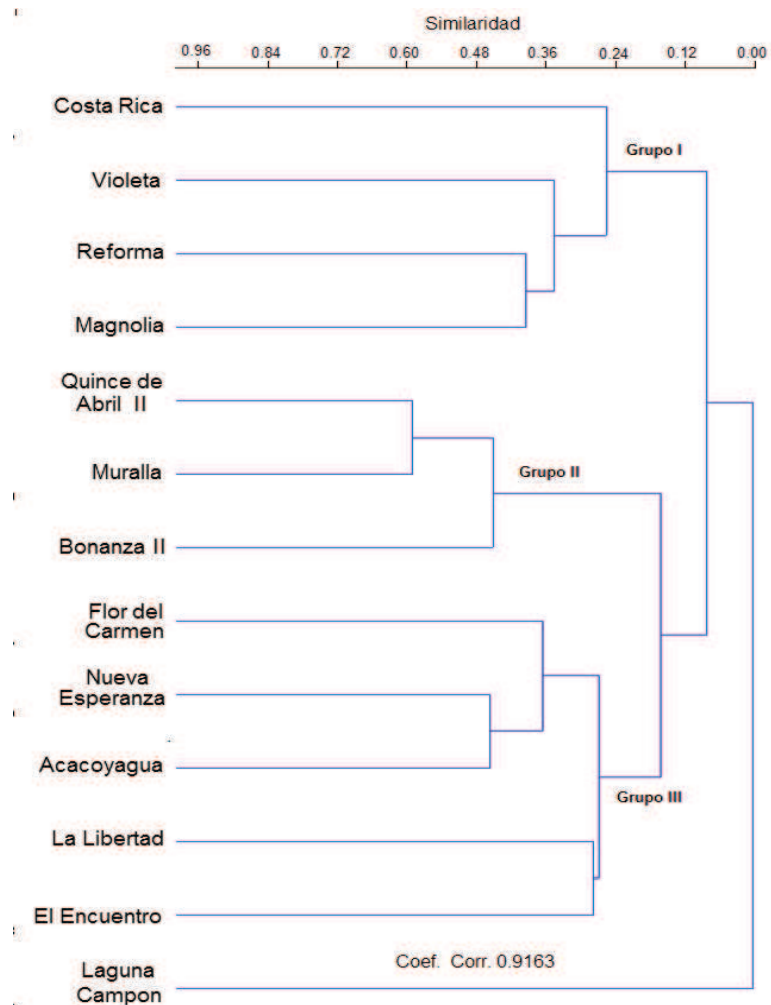


Figura 17. Dendrograma de 13 sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas con riqueza de especies (flora).

A continuación se describen siete perfiles microtopográficos representativos (Figura 18) en relación a la ubicación de la cuenca, la forma del cauce y por la presencia o ausencia de vegetación.

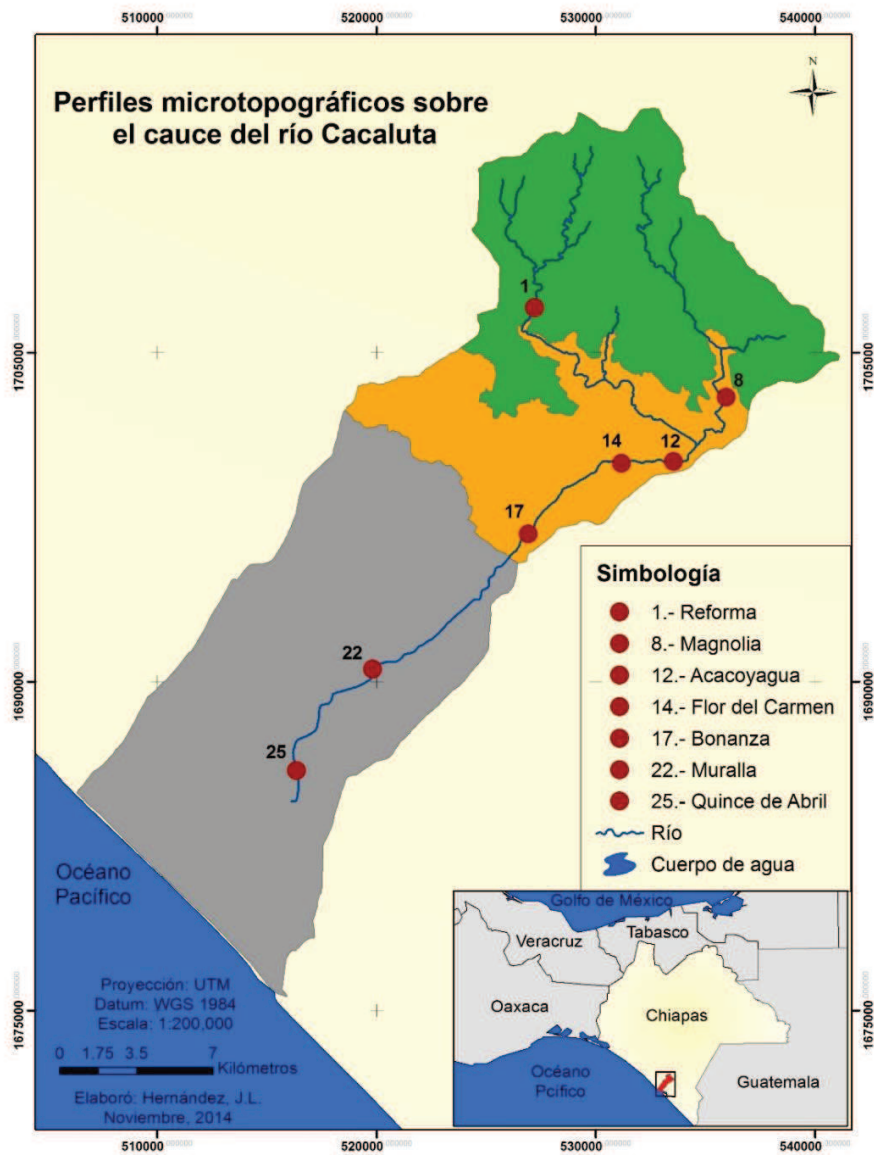


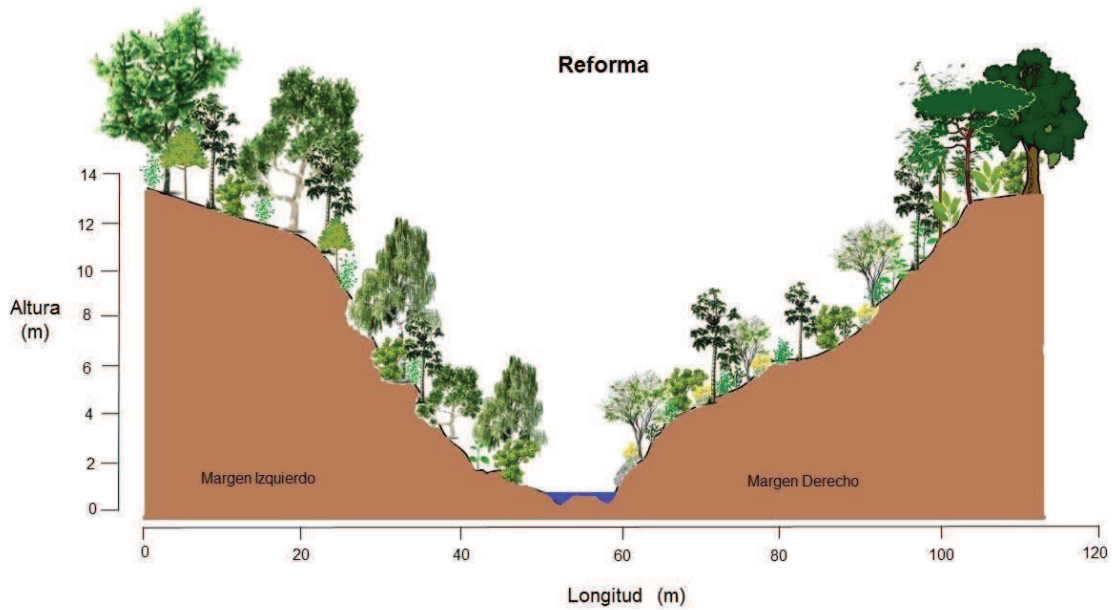
Figura 18. Perfiles microtopográficos del cauce del río Cacaluta, Chiapas.

### **Perfil 1: Reforma (muestreado el 08 de Marzo de 2014).**

Se localiza en la parte alta de la cuenca, entre las coordenadas 15°26'25.06" N y 92°44'46.45" O, con una altitud de 554 msnm. El perfil inicia en el margen izquierdo sobre una cañada con pendiente de 45° aproximadamente con abundante material rocoso, donde la vegetación predominante es selva mediana subperennifolia (con diferentes estadios de desarrollo), las especies más abundantes del estrato arbóreo son *Plumeria rubra*, *Dipholis minutiflora*, *Miconia argéntea* y en el dosel inferior abundan *Acalypha macrostachya*. A la orilla de cada margen la vegetación predominante está compuesta por *Ouratea Lucens*, *Ficus glabrata*, *Bursera simaruba*, *Rollinia Jimenezii*, *Cecropia obtusifolia* y *Alnus arguta* (Figura 19).

El ancho del cauce del río es de 13 m con un sustrato pedregoso, profundidad máxima de 60 cm, corriente de agua rápida con presencia de *Marathrum foeniculaceum* (planta acuática muy abundante arraigada en estrato rocoso). La vegetación del margen derecho, presenta alteraciones debido actividades humanas así como por eventos hidrometeorológicos, por lo que los elementos arbóreos de la selva mediana subperennifolia de manera aislada (como *Plumeria rubra*, *Dipholis minutiflora* y *Miconia argéntea* mantienen una distribución dispersa) encontrándose en los claros una mayor cantidad especies arbustivas como *Verbesina myriocephala*, *Piper glabrescens*, *Guazuma ulmifolia* y *Acacia cornigera*.

La temperatura promedio del agua es de 23.1 °C, con un pH de 8.33, una conductividad eléctrica de 0.09 mS/cm y una concentración de oxígeno de 8.15 mg/l.



Especie	50	40	30	20	10	Cauce	10	20	30	40	50	Especie
<i>Dendropanax arboreus</i>				_____			_____					<i>Miconia argentea</i>
<i>Plumeria rubra</i>		_____					_____					<i>Verbesina myriocephala</i>
<i>Ficus glabrata</i>			_____				_____					<i>Piper glabrescens</i>
<i>Bursera simaruba</i>				_____			_____					<i>Triplaris melaenodendron</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>		_____					_____					<i>Clethra mexicana</i>
<i>Dipholis minutiflora</i>	_____						_____					<i>Apeiba tibourbou</i>
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	_____						_____					<i>Alnus arguta</i>
<i>Alnus arguta</i>			_____				_____					<i>Dipholis minutiflora</i>
<i>Ulmus mexicana</i>							_____					<i>Guazuma ulmifolia</i>
<i>Miconia argentea</i>		_____					_____					<i>Acacia cornigera</i>
<i>Rollinia Jimenezii</i>	_____						_____					<i>Trema micrantha</i>
<i>Ouratea Lucens</i>	_____						_____					<i>Plumeria rubra</i>
<i>Acalypha macrostachya</i>	_____						_____					<i>Cecropia obtusifolia</i>
												<i>Tabebuia rosea</i>
												<i>Urera alceifolia</i>
												<i>Schizolobium parahyba</i>
												<i>Pouteria sapota</i>
												<i>Swartzia simplex</i>

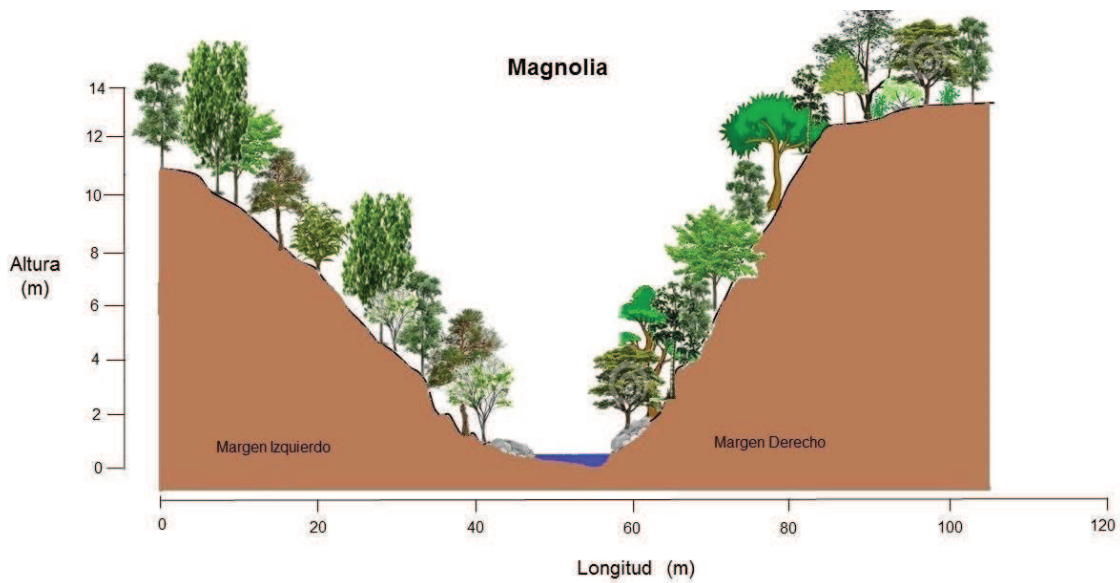
Figura 19. Perfil microtopográfico de Reforma (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

### **Perfil 8: Mangolia (muestreado el 08 de Abril de 2014).**

Se ubica en la parte media de la cuenca media, entre las coordenadas 15°24'12.67" N y 92°39'53.38" O, con una altitud de 304 msnm. El perfil se inicia sobre la pendiente del margen izquierdo con una inclinación aproximada de 45°. El cauce del río tiene un ancho de 12 m, una profundidad máxima de 65 cm, con abundancia de rocas y acumulación de arenas gruesas en pequeñas posas. Además, presenta una corriente de agua rápida con presencia de *Marathrum foeniculaceum* sobre las rocas (Figura 20).

La vegetación presente en ambos márgenes es principalmente arbórea de tipo ripario, con algunas especies de selva mediana subperennifolia, encontrando árboles que rebasan los 10 m de altura. Las especies con mayor presencia a lo largo del transecto son *Conostegia xalapensis*, *Cecropia obtusifolia*, *Ormosia macrocalyx*, *Rollinia jmenezii*, *Inga laurina*, *Aspidosperma megalocarpon*, *Bursera simaruba*, *Platymiscium dimorphandrum*, *Guarea glabra*, *Alnus arguta*, entre otras. La vegetación en el transecto presenta un buen estado de conservación, principalmente por su lejanía de asentamientos humanos.

La temperatura promedio del agua es de 27.6 °C, con un pH de 8.6, una conductividad eléctrica de 0.09 mS/cm y una concentración de oxígeno de 8.22 mg/l.



Especie	50	40	30	20	10	Cauce	10	20	30	40	50	Especie
<i>Aspidosperma megalocarpon</i>												<i>Trichospermum mexicanum</i>
<i>Bursera simaruba</i>												<i>Nectandra Coriacea</i>
<i>Platymiscium dimorphandrum</i>												<i>Oreopanax Xalapensis</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>												<i>Ormosia macrocalyx</i>
<i>Miconia argentea</i>												<i>Palicourea padifolia</i>
<i>Acacia cornigera</i>												<i>Alnus arguta</i>
<i>Cyathea divergens</i>												<i>Carpinus caroliniana</i>
<i>Machaerium riparium</i>												<i>Cecropia obtusifolia</i>
<i>Pennisetum purpureum</i>												<i>Conostegia xalapensis</i>
<i>Schizolobium parahyba</i>												<i>Couepia polyandra</i>
<i>Cordia alliodora</i>												<i>Ficus glabrata</i>
<i>Triplaris melaenodendron</i>												<i>Guarea glabra</i>
<i>Andira inermis</i>												<i>Inga laurina</i>
<i>salix humboldtiana</i>												<i>Inga vera</i>
<i>Piper glabrescens</i>												<i>Lysiloma divaricatum</i>
<i>Tithonia diversifolia</i>												<i>Pouteria sapota</i>
<i>Conostegia xalapensis</i>												<i>Rollinia jmenezii</i>
												<i>Terminalia amazonia</i>

Figura 20. Perfil microtopográfico de Magnolia (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

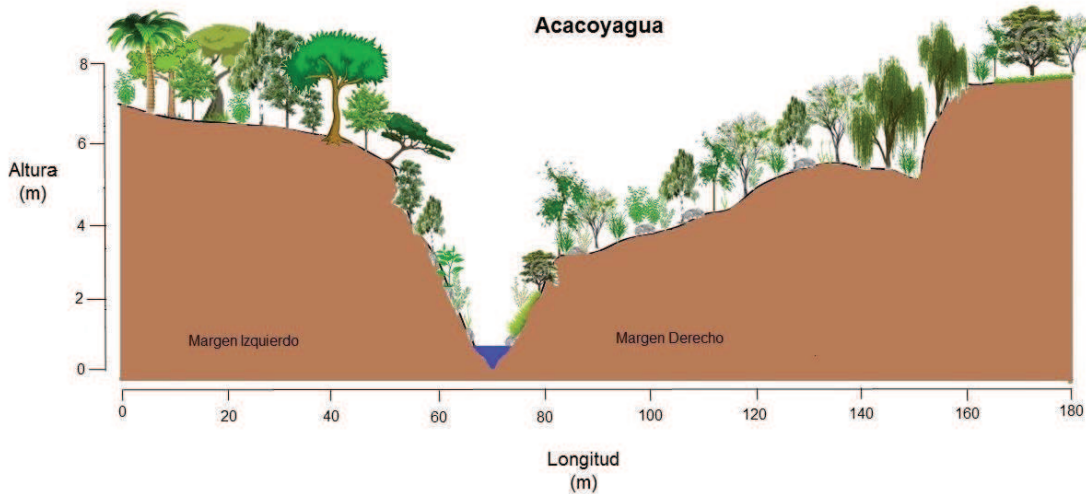


## **Perfil 12: Acacoyagua (muestreado el 07 de Marzo de 2014).**

Se localiza en la parte media de la cuenca, entre las coordenadas 15°22'33.20" N 92°41'16.43" O, a una altitud de 132 msnm. El perfil inicia en el margen izquierdo sobre un parche de selva mediana subperennifolia con elementos arbóreos representativos de este tipo de vegetación, que rebasan los 25 m de altura como *Terminalia amazonia*, *Dendropanax arboreus*, *Ulmus mexicana*, *Pouteria sapota*, entre otros. En el estrato medio se asocian otros árboles de menor altura como *Bursera simaruba*, *Cochlospermum vitifolium*, *Lysiloma divaricatum*, *Castilla elastica*, *Inga vera*, entre otras. También están presentes arbustos como *Acalypha macrostachya* y especies de lianas o trepadoras como *Bauhinia herrerae* y *Cissus erosa* (Figura 21).

El relieve es semiplano y conforme avanza el transecto, éste desciende de forma abrupta sobre una pendiente de 60° aproximadamente hacia el cauce del río. El cauce del río tiene un ancho de 10 m con una profundidad de 90 cm, sustrato pedregoso con acumulaciones de arena y grava en zonas de remanso, corriente de agua rápida con presencia de *Marathrum foeniculaceum* sobre las rocas. Sobre el margen derecho, existe una amplia zona de inundación de 60 m de largo, debido principalmente al deterioro de la ribera por eventos hidrometeorológicos como fueron la tormenta tropical Javier (Septiembre de 1998) y el huracán Stan (Octubre, 2005). Ante este deterioro, la mayoría de la vegetación presente en el margen derecho está compuesto por especies pioneras y de estadios sucesionales primarios, como son *Acacia cornigera*, *Trema micrantha*, *Samanea saman*, *Salix humboldtiana*, *Panicum maximum*, *Mimosa pigra*, entre otras. La

temperatura promedio del agua es de 28.8 °C, con un pH de 8.5, una conductividad eléctrica de 0.08 mS/cm y una concentración de oxígeno de 8.02 mg/l.



Especie	60	50	40	30	20	10	Cauce	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Especie
<i>Bursera simuraba</i>	_____							_____										<i>Acacia cornigera</i>
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	_____							_____										<i>Trema micrantha</i>
<i>Dendropanax arboreus</i>	_____							_____										<i>Inga vera</i>
<i>Ulmus mexicana</i>	_____							_____										<i>Andira inermis</i>
<i>Andira inermis</i>	_____							_____										<i>Samanea saman</i>
<i>Lysiloma divaricatum</i>	_____							_____										<i>Cochlospermum vitifolium</i>
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	_____							_____										<i>Machaerium riparium</i>
<i>Triplaris melaenodendron</i>	_____							_____										<i>Diphysa robinoides</i>
<i>Stemmadenia donnell-smithii</i>	_____							_____										<i>Triplaris melaenodendron</i>
<i>Costus spicatus</i>	_____							_____										<i>Trichilia hirta</i>
<i>Terminalia amazonia</i>	_____							_____										<i>Trixis inula</i>
<i>Attalea cohune</i>	_____							_____										<i>Salix humboldtiana</i>
<i>Ormosia macrocalyx</i>	_____							_____										<i>Panicum maximum</i>
<i>Pithecellobium dulce</i>	_____							_____										<i>Melinis repens</i>
<i>Guarea glabra</i>	_____							_____										<i>Panicum maximum</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>	_____							_____										<i>Mimosa pigra</i>
<i>Schizolobium parahyba</i>	_____							_____										<i>Mimosa sensitiva</i>
<i>Castilla elastica</i>	_____							_____										<i>Hyptis brevipes</i>
<i>Inga vera</i>	_____							_____										<i>Blepharodon mucronatum</i>
<i>Cissus erosa</i>	_____							_____										<i>Iresine diffusa</i>
<i>Malva viscus arboreus</i>	_____							_____										<i>Sida acuta</i>
<i>Bauhinia herrerae</i>	_____							_____										<i>Chamaesyce hirta</i>
<i>Acalypha macrostachya</i>	_____							_____										<i>Solanum quitoense</i>
<i>Aphelandra scabra</i>	_____							_____										<i>Desmodium tortuosum</i>
<i>Heliconia latispatha</i>	_____							_____										<i>Ruellia nudiflora</i>
<i>Boehmeria sp</i>	_____							_____										<i>Russelia sarmentosa</i>
<i>Cissus erosa</i>	_____							_____										<i>Iresine heterophylla</i>

*Casearia arguta*

*Iresine diffusa*  
*Blepharodon*  
*mucronatum*  
*Marathrum*  
*foeniculaceum*

Figura 21. Perfil microtopográfico de Acacoyagua (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

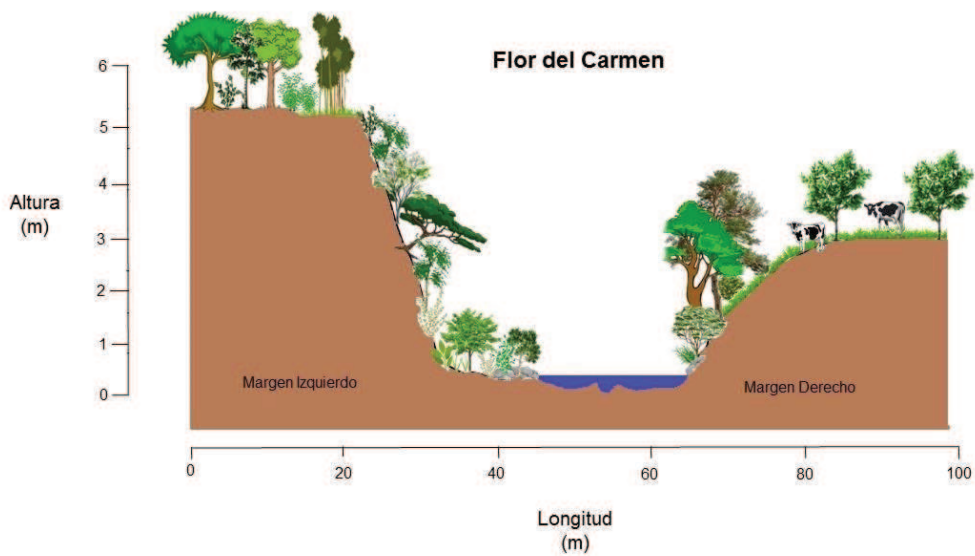
#### **Perfil 14: Flor del Carmen (muestreado el 07 de Marzo de 2014).**

Se localiza en la parte media de la cuenca, entre las coordenadas 15°22'33.99" N 92°42'34.46" O, a una altitud de 100 msnm. El perfil inicia en el margen izquierdo sobre un terreno plano pedregoso, en el cual la vegetación arbórea y arbustiva ha sido modificada y reducida a unas cuantas especies, formando una hilera de pocos metros a lo largo del río. Las especies de mayor presencia son *Triplaris melaenodendron*, *Gliricidia sepium*, *Inga laurina*, *Acacia cornigera*, *Ficus glabrata*, *Cordia alliodora* y *Licaria* sp, con presencia de especies trepadoras como son *Machaerium riparium* y *Serjania mexicana*.

El cauce del río tiene un ancho de 23 m con una profundidad máxima de 49 cm y presencia moderada de rocas. La corriente de agua es semirápida, con presencia de *Marathrum foeniculaceum* sobre las rocas, con acumulación de arena en los remansos. La vegetación del margen derecho ha sido totalmente alterada, quedando de manera aislada unas cuantas especies de árboles maduros de 8 a 12 m de altura en los primeros 10 m del margen, como son *Platymiscium dimorphandrum*, *Inga micheliana*, *Poëppigia procera*, *Schizolobium parahyba*, *Calycophyllum candidissimum* y *Andira inermis*. En el resto del margen la especie dominante es *Guazuma ulmifolia*. En ambos márgenes, la

vegetación ha sido alterada y reducida por la presión de cambio de uso de suelo a potreros para la práctica de la ganadería (Figura 22).

La temperatura promedio del agua es de 29.4 °C, con un pH de 8.56, una conductividad eléctrica de 0.08mS/cm y una concentración de oxígeno de 7.65 mg/l.



Especie	40	30	20	10	Cauce	10	20	30	Especie
<i>Ficus glabrata</i>			_____						<i>Platymiscium</i>
<i>Inga laurina</i>			_____						<i>dimorphandrum</i>
<i>Conostegia volcanalis</i>			_____						<i>Inga micheliana</i>
<i>Gliricidia sepium</i>				_____					<i>Poeppigia procera</i>
<i>Aspidosperma megalocarpon</i>		_____							<i>Schizolobium parahyba</i>
<i>Acacia cornigera</i>		_____							<i>Calycophyllum candidissimum</i>
<i>Cordia alliodora</i>		_____							<i>Andira inermis</i>
<i>Machaerium riparium</i>	_____								<i>Licania arborea</i>
<i>Cecropia obtusifolia</i>	_____		_____						<i>Entadopsis polystachya</i>
<i>Serjania mexicana</i>	_____						_____		<i>Guazuma ulmifolia</i>
<i>Triplaris melaenodendron</i>									
<i>Guarea glabra</i>		_____							
<i>Licaria sp</i>	_____								
<i>Mimosa pigra</i>	_____								
<i>Panicum maximum</i>				_____					
<i>Lasiacis nigra</i>				_____					
<i>Sida acuta</i>				_____					

*Mimosa pigra*  
*Marathrum*  
*foeniculaceum*

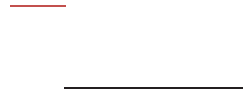


Figura 22. Perfil microtopográfico de Flor del Carmen (Acacoyagua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

### **Perfil 17: Bonanza (muestreado el 23 de Febrero de 2014).**

Se localiza en la parte media de la cuenca, entre las coordenadas 15°20'49.46" N 92°44'57.29" O, a una altitud de 36 msnm. El perfil inicia a la orilla de la colonia Bonanza, municipio de Acapetahua, Chipas y conforme se avanza se llega a una obra de protección de márgenes en forma de gaviones construido por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en el 2009. En seguida, hay un bordo de grava y posteriormente la parte plana del cauce del río, el cual tienen un ancho de 80 m. Solamente en los últimos 20 m del cauce del río hacia el margen derecho es que agua con una profundidad máxima de 50 cm, con sustrato pedregoso y una corriente de agua de lenta a semirápida. Sobre la orilla del margen derecho, hay una pendiente arenosa erosionada por las inundaciones periódicas del río, dando lugar posteriormente, aun bordo de grava para terminar el transecto en la orilla de un potrero (Figura 23).

En cuanto a la vegetación, en este sitio está totalmente transformada, abundando especies de malezas anuales. Las especies dominantes sobre el margen izquierdo son principalmente trepadoras, como *Canavalia brasiliensis*, *Luffa cylindrica*, *Mucuna pruriens*, *Ipomoea alba* y *Momordica charantia* con presencia de *Mimosa pigra*,

*Pennisetum purpureum*, *Acacia cornigera* y *Asclepias curassavica*. Mientras que el margen derecho, la vegetación arbórea y arbustiva más abundante es *Guazuma ulmifolia*, *Tabebuia rosea*, *Trema micrantha*, *Acacia cornigera*, *Salix humboldtiana*, *Senna reticulata*, con presencia de hierbas de *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus spinosus*, *Asclepias curassavica* y especies trepadoras de *Momordica charantia*, *Mucuna pruriens* e *Ipomoea alba*. Esta zona es muy común que cada año se quemé, debido a depósitos de basura al aire libre de manera clandestina y la maleza seca que existe, principalmente pastos por lo que cada vez existen menos especies de árboles y arbustos que rebasan el metro de altura.

La temperatura promedio del agua es de 27.9 °C, una conductividad eléctrica de 0.08 mS/cm y una concentración de oxígeno de 8.22 mg/l.

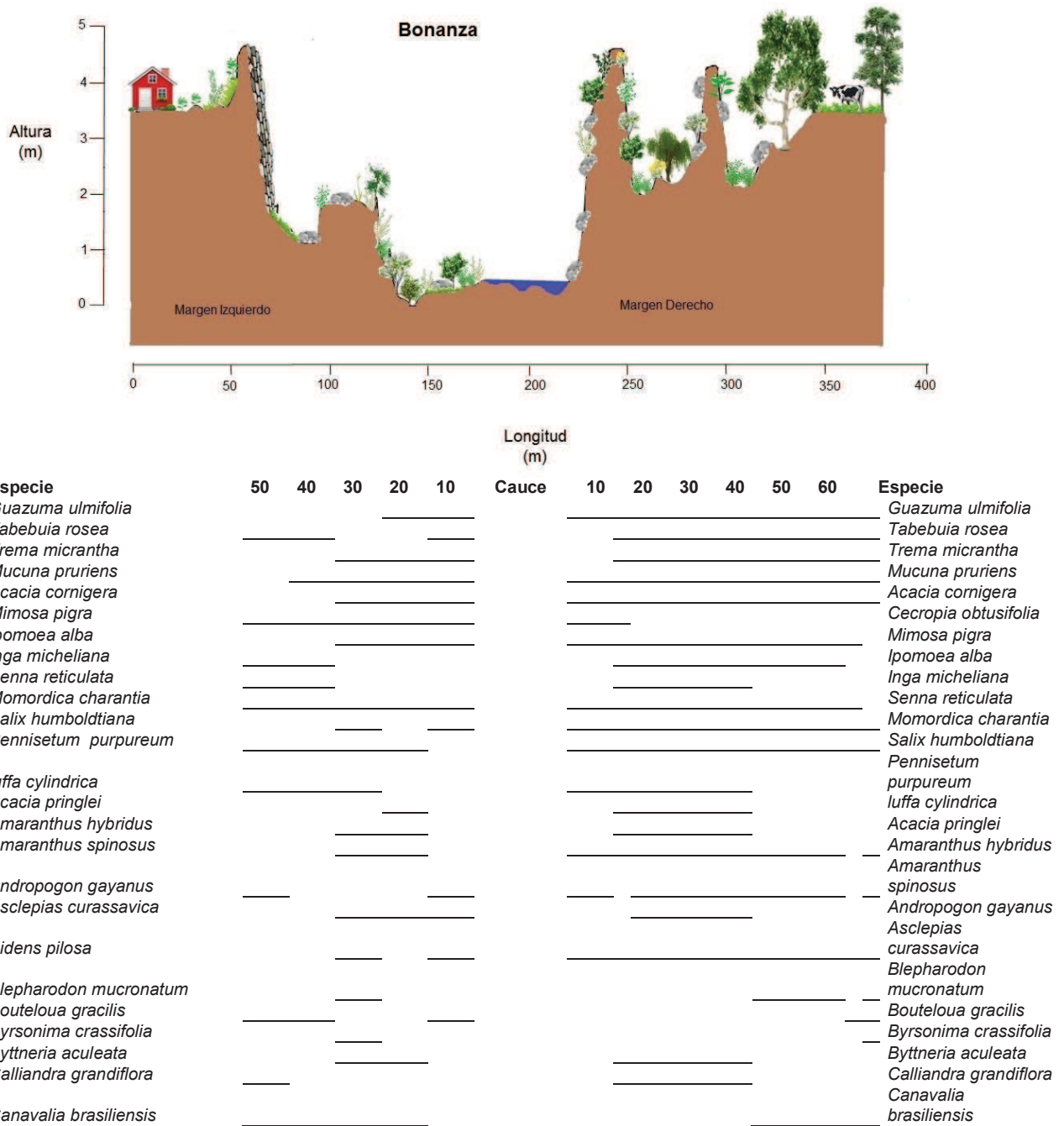


Figura 23. Perfil microtopográfico de Bonanza (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

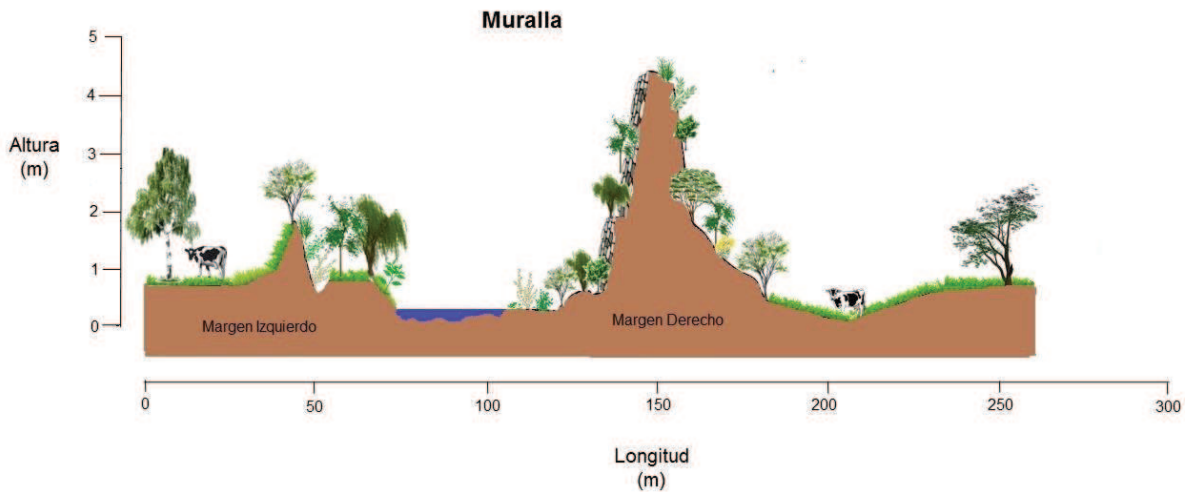
## Perfil 22: Muralla (muestreado el 14 de Marzo de 2014).

Se localiza en la parte baja de la cuenca, entre las coordenadas 15°17'29.46" N 92°48'55.06" O, a una altitud de 17 msnm. El perfil inicia en el margen izquierdo sobre los terrenos de un potrero con abundan especies de gramíneas como *Dactylis glomerata*, *Cynodon plectostachyus* y *Andropogon gayanus*. Conforme se avanza, se encuentra evidencias de lo que en su momento fue un bordo, con presencia de vegetación herbácea muy abundante como *Calathea lutea*, *Cyperus hermaphroditus*, *Ludwigia octovalvis*, *Mimosa sensitiva*, *Mimosa pigra*, *Solanum quitoense*, entre otras y especies aisladas de árboles maduros de *Tabebuia rosea*, *Inga micheliana* y *Salix humboldtiana* (Figura 24).

El cauce del río presenta un ancho de 50 m con una profundidad en la parte más honda de 30 cm, un sustrato arenoso y una corriente de agua lenta. Sobre la orilla del margen derecho, a unos tres metros del cauce, se presenta una obra de protección de gaviones con una altura promedio de cuatro metros para reducir el riesgo de inundación hacia las colonias de Santa Elena y Murallas, municipio de Acapetahua, Chiapas. Posteriormente, después de la obra de protección el uso de suelo es totalmente dedicado a la ganadería. Por lo tanto, la vegetación presente en dicho margen está totalmente reducida y transformada a especies comunes de ambientes perturbados como son *Acacia cornígera*, *Senna reticulata*, *Mimosa pigra*, *Mucuna pruriens* *Momordica charantia*, *Salix humboldtiana*, *Mimosa albida*, *Mimosa pigra*, *Solanum quitoense*, *Tabebuia rosea*, entre otras.

La temperatura promedio del agua es de 37.9 °C, con un pH de 8.03, una conductividad eléctrica de 0.09 mS/cm y una concentración de oxígeno de 6.54 mg/l.





Especie	20	10	Cauce	10	20	30	40	50	60	Especie
<i>Tabebuia rosea</i>	_____									<i>Guazuma ulmifolia</i>
<i>Inga micheliana</i>	_____									<i>Tabebuia rosea</i>
<i>Acacia cornigera</i>	_____									<i>Ficus glabrata</i>
<i>Mimosa pigra</i>	_____									<i>Inga micheliana</i>
<i>Mucuna pruriens</i>	_____									<i>Calathea lutea</i>
<i>Momordica charantia</i>	_____									<i>Byttneria aculeata</i>
<i>Salix humboldtiana</i>	_____									<i>Ipomoea alba</i>
<i>Mimosa albida</i>	_____									<i>Gouania polygama</i>
<i>Solanum quitoense</i>	_____									<i>Cecropia obtusifolia</i>
<i>Andropogon gayanus</i>	_____									<i>Acacia cornigera</i>
<i>Calathea lutea</i>	_____									<i>Senna reticulata</i>
<i>Cynodon plectostachyus</i>	_____									<i>Mimosa pigra</i>
<i>Cyperus hermaphroditus</i>	_____									<i>Mucuna pruriens</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	_____									<i>Momordica charantia</i>
<i>Hypharrehnia ruffa</i>	_____									<i>Gonolobus barbatus</i>
<i>Indigofera hirsuta</i>	_____									<i>Carica cauliflora</i>
<i>Ludwigia octovalvis</i>	_____									<i>Salix humboldtiana</i>
<i>Mimosa sensitiva</i>	_____									<i>Pennisetum purpureum</i>
<i>Petiveria alliacea</i>	_____									<i>Mimosa albida</i>
										<i>luffa cylindrica</i>
										<i>Solanum quitoense</i>
										<i>Thalia geniculata</i>
										<i>Bursera simaruba</i>

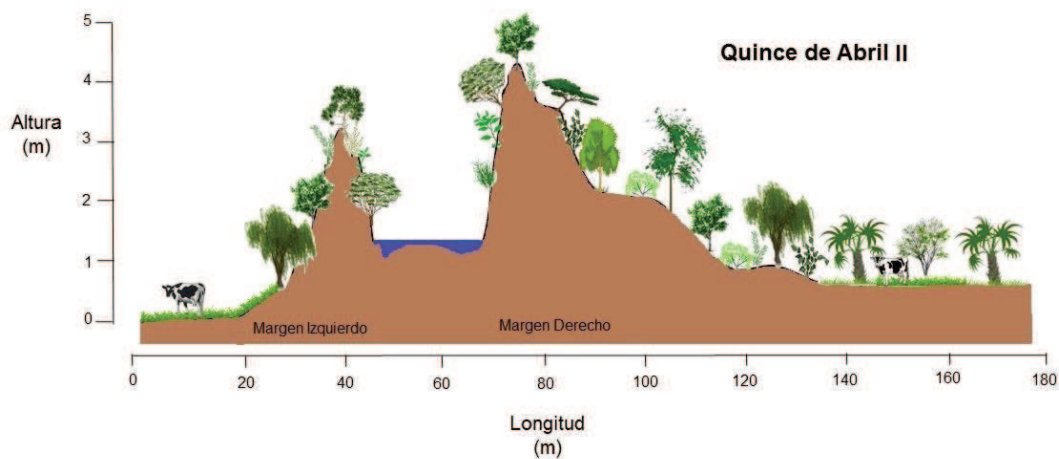
Figura 24. Perfil microtopográfico de Muralla (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

## **Perfil 26: Quince de Abril II (muestreado el 13 de Marzo de 2014).**

Se localiza en la parte baja de la cuenca, entre las coordenadas 15°14'14.53" N 92°50'52.50" O, a una altitud de 5 msnm. El perfil inicia sobre un potrero ubicado en el margen izquierdo con presencia de *Cynodon plectostachyus*, *Hypharrehnia ruffa* y *Digitaria decumbens* y algunos árboles de *Guazuma ulmifolia*. El cauce del río tiene un ancho de 20 m, con una profundidad máxima de 50 cm, sustrato arenoso y una corriente de agua lenta. A la orilla de ambos márgenes, existe la presencia de bordos de arena construidos por la CONAGUA como obras de protección contra inundaciones. Dicha obras se elevan a una altura promedio de 3 a 4 m sobre el nivel del suelo, provocando que la llanura de inundación no reciba agua e intercambio de sedimento durante las inundaciones de la temporada de lluvia. Una de las consecuencias directas de esta obra, es que los sedimentos se quedan retenidos a lo largo y ancho del cauce canalizado, ocasionando que el nivel del río suba con respecto al nivel del suelo y esto se presenta en los últimos 5 km de la desembocadura del río antes de llegar a la zona de humedales.

La actividad principal en el transecto de estudio es la ganadería, por lo que la poca vegetación presente en el margen izquierdo queda reducida a lo ancho del bordo, que cuenta con *Salix humboldtiana*, *Mimosa pigra*, *Mimosa albida*, *Cyperus laxus*, *Ricinus communis*, entre otras. En el margen derecho, aunque existe presencia de ganadería, se encuentran parches de vegetación nativa de selva baja espinosa caducifolia como *Coccoloba barbadensis*, *Pitecellobium dulce*, palmas como *Sabal mexicana* y *Attalea cohune* así como otras especies como *Celtis iguanaea*, *Sapium macrocarpum* y

*Gonolobus barbatus*. Debido a la alteración por la ganadería son abundantes otras especies de vegetación secundaria que crecen en los bordos como *Guazuma ulmifolia*, *Byttneria aculeata*, *Mimosa albida*, *Panicum máximo*, *Pennisetum purpureum*, *Salix humboldtiana*, *Momordica charantia*, entre otras. La temperatura promedio del agua es de 34.07 °C, con un pH de 8.1, una conductividad eléctrica de 0.10 mS/cm y una concentración de oxígeno de 7.47 mg/l.



Especie	20	10	Cauce	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Especie
<i>Guazuma ulmifolia</i>														<i>Guazuma ulmifolia</i>
<i>Ricinus communis</i>														<i>Tabebuia rosea</i>
<i>Mimosa pigra</i>														<i>Coccoloba caracasana</i>
<i>Momordica charantia</i>														<i>Iuffa cylindrica</i>
<i>Salix humboldtiana</i>														<i>Ricinus communis</i>
<i>Pennisetum purpureum</i>														<i>Cassia alata</i>
<i>Panicum maximum</i>														<i>Byttneria aculeata</i>
<i>Mimosa albida</i>														<i>Ipomoea alba</i>
<i>Achyranthes aspera</i>														<i>Gouania polygama</i>
<i>Andropogon gayanus</i>														<i>Pithecellobium dulce</i>
<i>Calathea lutea</i>														<i>Acacia cornigera</i>
<i>Cynodon plectostachyus</i>														<i>Acacia pringlei</i>
<i>Cyperus laxus</i>														<i>Mimosa pigra</i>
<i>Digitaria decumbens</i>														<i>Mucuna pruriens</i>
<i>Hypharrehnia ruffa</i>														<i>Momordica charantia</i>
<i>Indigofera hirsuta</i>														<i>Serjania mexicana</i>
<i>Maranta gibba</i>														<i>Gonolobus barbatus</i>
<i>Orthosanthus climborascens</i>														<i>Carica cauliflora</i>



Figura 25. Perfil microtopográfico de Quince de Abril II (Acapetahua) y distribución de las especies en cada uno de los márgenes con respecto al cauce principal.

Los sitios de muestreo en el que se aplicó el índice RQI presenta una textura arenosa con presencia de materia orgánica (depósitos aluviales), por lo que su densidad aparente oscila entre 1 – 1.47 g/cm<sup>3</sup> por ser suelos anisotrópicos. En cuanto a la velocidad de infiltración, se observa una amplia variación en los valores, siendo los sitios 5 y 7 los que presentan los valores más bajos con 150.19 y 152.93 cm/h, debido a la presencia de rocas (Cuadro 9). A pesar que los suelos arenosos se caracterizan por tener una estabilidad estructural definida con una aireación y capacidad de infiltración alta, esto no siempre se cumple en los cauces fluviales, ya que la estructura física de dichas zonas dependen de la corriente de agua, geología, topografía, usos de suelo, cubierta vegetal, impactos humanos, entre otros.

Cuadro 9. Datos promedio de densidad e infiltración de los sitios de muestreo del río Cacaluta, Chiapas con valores de desviación estándar.

N°	Lugar	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Infiltración (cm/h)
1	Reforma	1.15 ± 0.03	698.96 ± 642.99
2	Ma. Esther	1.07 ± 0.08	990.22 ± 707.39
3	Violeta	1.07 ± 0.13	590.72 ± 404.79
4	Libertad	1.04 ± 0.07	370.45 ± 118.30
5	Liberta II	1.02 ± 0.02	150.19 ± 126.54
6	Libertad III	1.09 ± 0.07	294.97 ± 340.98
7	Costa Rica	1.24 ± 0.03	152.93 ± 1.49
8	Magnolia	1.07 ± 0.05	602.75 ± 98.96
9	Satélite Morelia	1.09 ± 0.04	96.66 ± 15.91
10	Puerto Arturo	1.1 ± 0.09	700.07 ± 286.60
11	El Encuentro	1.12 ± 0.12	198.43 ± 14.32
12	Acacoyagua	1.02 ± 0.06	229.67 ± 188.68
13	Nueva Esperanza	1.19 ± 0.08	359.75 ± 135.43
14	Flor del Carmen	1.09 ± 0.06	340.11 ± 486.75
15	Las Delicias	1.12 ± 0.14	376.94 ± 164.81
16	Hidalgo	1.1 ± 0.08	430.96 ± 520.54
17	Bonanza	1.07 ± 0.12	288.13 ± 362.11
18	Bonanza II	1.47 ± 0.10	359.13 ± 76.47
19	Corozal	1.18 ± 0.11	399.97 ± 54.66
20	Finca Vainilla	1.2 ± 0.04	440.82 ± 244.82
21	El Solitario	1.11 ± 0.02	548.17 ± 60.08
22	Muralla	1.03 ± 0.18	490.57 ± 71.23
23	Muralla II	1.11 ± 0.10	308.25 ± 138.13
24	Muralla III	1 ± 0.20	320.18 ± 244.26
25	Quinde de Abril	1.1 ± 0.07	234.32 ± 72.83
26	Quinde de Abril II	1.13 ± 0.06	287.58 ± 108.51

#### **4.1.9. Discusión.**

La aplicación del índice RQI para valoración de la estructura y funcionamiento de la vegetación ribereña del río Cacaluta mostró una clara idea de las condiciones actuales que guarda este ecosistema. El índice resultó ser una herramienta económica y de rápida aplicación; además la información obtenida es confiable, ya que abarca aspectos hidrogeomorfológicos de los sistemas riparios. La presencia de ANP, no representa ninguna condicionante para la conservación de los sistemas fluviales, ya que la calidad de los sitios de muestreo presenta de manera general una degradación de las riberas conforme se desciende desde el origen del río hacia la desembocadura, debido a que la presión antrópica es más intensa en la parte media y baja que en la parte alta de la cuenca, semejante a lo describe Suárez et al., 2002; Vásquez (2008) y Fernández et al. (2009). De los 26 sitios de muestreo, solo tres sitios (5, 7 y 8) obtuvieron un rango de calidad bueno debido a que están ubicados en zonas alejadas así como en lugares de difícil acceso (Kutschker et al., 2009) mientras que el resto de los sitios oscilaron entre moderado y pobre, similar a los que describe Suarez y Vidal-Abarca (2000) donde los sitios más deteriorados corresponden sistemáticamente a los situados en el tramo medio – bajo del río. Sin embargo, el sitio de muestreo 17 “Bonanza” fue el que presentó un rango de calidad malo debido a la proximidad de una de las colonias con mayor presencia poblacional en la cuenca y por la construcción de una obra de gaviones en el margen izquierdo del cauce. Resultado semejantes han encontrado Fernández et al. (2009) y Kutschker et al., 2009, donde las zonas calificadas con peor calidad correspondieron con las más próximas a los núcleos poblacionales.

La presencia de asentamientos humanos, la deforestación, el pastoreo, la agricultura, el dragado y la canalización de ríos fueron las condicionantes que determinaron las puntuaciones bajas en los sitios de muestreo (Rodríguez-Téllez et al., 2012), a través de las cuales se ha ido reemplazando la vegetación ribereña natural por especies alóctonas como *Elaeis guianensis*. Dado los resultados obtenidos en el presente estudio, resulta fundamental el desarrollo de planes de manejo en el corto y mediano plazo de las riberas mediante medidas de restauración y rehabilitación así como reducir las presiones y los impactos como sea posible para asegurar la integridad ecológica del sistema fluvial del río Cacaluta (González del Tánago, y García de Jalón; Palma, 2009). A pesar que en México, el artículo 34 (sección III) de la Ley General de Cambio Climático propone que se deben de diseñar políticas y realizar acciones para la protección, conservación y restauración de la vegetación riparia en el uso, aprovechamiento y explotación de las riberas o zonas federales, sin embargo hasta la fecha no se ha realizado ninguna acción por las dependencias competentes.

## **Capítulo V.**

### **5.1. Análisis de agua.**

#### **5.1.1. El agua.**

El agua, como el aire, es esencial para la vida, tanto para los humanos como para los ecosistemas. Agua y ecosistemas están indiscutiblemente ligados, debido a que la presencia de uno no se puede explicar sin la presencia del otro. Hoy en día es costumbre

considerar que los ecosistemas prestan un servicio, pero también son un sistema. Debido a que a través de su ciclo el agua desempeña varios papeles tanto en el clima como en la química y biología de la Tierra (Ruelas et al., 2010).

La cantidad de agua que hay en el planeta ocupa el 70% de la superficie terrestre. Sin embargo, alrededor del 97% de esta agua está en los mares, los océanos y es salada. El 3% del agua restante es dulce pero casi toda ella está en los hielos de los polos, en los glaciares, en depósitos subterráneos o en otros lugares de difícil utilización. Por todo esto sólo un 0.003% de la masa total de agua del planeta es aprovechable para los usos humanos (Conde et al., 2002).

### **5.1.2. Calidad de agua.**

El agua dulce es un recurso limitado y su calidad está bajo presión constante. Calidad de agua es el término utilizado para describir las condiciones físicas, químicas y biológicas que tiene un cuerpo de agua en un punto y tiempo dado (Carrasco y Castillo, 2012). El concepto de calidad del agua es un término abstracto, que sólo se puede medir si se define un uso y se asocian a éste parámetros y valores. Sin embargo, existe la dificultad para seleccionar un número adecuado de parámetros que sean, por una parte, relevantes para una situación específica y, por otra, fáciles de medir desde un punto de vista técnico, económico e institucional (Jiménez et al., 2010).

Las aguas superficiales de una cuenca están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico (descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros) (Torres et al., 2009). En este sentido, la



valoración y monitoreo del recurso agua ha sido una priorización en la actualidad, ya que el acceso al agua de calidad y en cantidad suficiente es un derecho de toda la humanidad (Zhen-Wu et al., 2009).

La situación actual del agua en México se plantea bajo cinco grandes retos que deben afrontar tanto la sociedad como las dependencias competentes, que son: la escasez, contaminación del recurso, impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico, una administración que requiere ser fortalecida con la participación de todos los usuarios, el desorden en el ordenamiento ecológico y la necesidad de revisar y fortalecer el sistema de ciencia y tecnología en el país (Arreguín et al., 2010).

### **5.1.3. Parámetros físicos y químicos.**

#### **5.1.3.1. Temperatura (T).**

La temperatura es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas acuáticos. La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. De esta manera, influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinando su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de la materia orgánica (Aznar, 2000; Rodríguez, 2006).

### **5.1.3.2. Oxígeno Disuelto (OD).**

El oxígeno es disuelto en el agua por difusión desde la atmósfera y por la fotosíntesis, dependiendo de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. Las aguas superficiales, si son corrientes, suelen estar saturadas de oxígeno y a veces incluso sobresaturada. La disponibilidad del oxígeno libre disuelto en el agua es el factor clave que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua. Niveles bajos de oxígeno en el agua, puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; es por ello que se le considera como un indicador de contaminación. La concentración máxima de OD en el intervalo normal de temperaturas es de aproximadamente 9 mg/l, considerándose que cuando la concentración baja de 4 mg/l, el agua no es apta para desarrollar vida en su seno (Aznar, 2000; Castañón y Abraján, 2009).

### **5.1.3.3. pH.**

El término pH representa el potencial de hidrógeno que caracteriza si una solución es ácida o básica. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH entre 6.5 y 8.5. Los valores por debajo o arriba de este rango significan deterioro de ecosistemas (Rodríguez, 2006).

### **5.1.3.4. Conductividad eléctrica (CE).**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas

en el agua y la temperatura a la cual se haga la determinación. Cuando mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad. La conductividad de una solución se expresa en Siemens/cm (S/cm), miliSiemens/cm (mS/cm) ó microSiemens/cm ( $\mu$ S/cm). En aguas naturales es conveniente expresar su conductividad en ( $\mu$ S/cm). (Castañón y Abraján, 2009).

#### **5.1.3.5. Salinidad (Sal).**

Los ríos transportan agua por gravedad, desde las cabeceras de las cuencas hacia los océanos, pero no solamente cargan agua, sino también algunos sólidos, específicamente sólidos suspendidos (sedimentos) y disueltos (en su mayoría, sales). El origen de la salinidad en los ríos puede ser natural, debido a la geología del terreno o a la climatología, o bien antropogénico, es decir, generada por vertidos domésticos e industriales, por la actividad minera o por residuos agrícolas y ganaderos, entre otros (Cañedo-Argüelles, 2013). La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en agua. La salinidad y la conductividad están relacionadas porque la cantidad de iones disueltos aumentan los valores de ambas. La salinidad se mide en gramos/litro (g/l) o partes por mil (ppt) (EPA, 2013).

#### **5.1.3.6. Amonio ( $\text{NH}_4$ ).**

El amonio es un producto tóxico del metabolismo nitrogenado. Se forma a partir de la degradación de aminoácidos y de otros compuestos que contienen nitrógeno. La presencia de ion amonio es considerado como una prueba química de contaminación. Si el medio es aerobio, el amonio se transforma en nitritos. Para la fauna acuática el amonio

es tóxico en concentraciones de unas cuantas partes por millón (Castañón y Abraján, 2009).

#### **5.1.3.7. Nitritos ( $\text{NO}_2$ ).**

La presencia de nitritos en el agua es un indicio de la contaminación por aguas negras o desechos animales. Este compuesto se halla en un estado intermedio en el ciclo del nitrógeno (entre el amonio y el nitrato). En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 mg/l (NMX-AA-099-SCFI-2006)

#### **5.1.3.8. Nitratos ( $\text{NO}_3$ ).**

Los nitratos existentes en el agua son consecuencia de una nitrificación del nitrógeno orgánico o proceden de la disolución de los terrenos atravesados por el agua. Como contaminante, resulta de las actividades humanas que provienen de contaminación orgánica o de la contaminación por abonos químicos. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provoca la aparición de un excesivo crecimiento de algas (eutrofización) (Castañón y Abraján, 2009).

#### **5.1.3.9. Nitrógeno Orgánico Kjeldhal (NOK).**

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. Las fuentes de nitrógeno incluyen además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de aguas potables. Debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo al ambiente. Analíticamente el

nitrógeno orgánico es determinado por el método Kjeldahl, que proporciona el contenido de nitrógeno orgánico más nitrógeno amoniacal de una muestra. (NMX-AA-026-SCFI-2010; Espinosa-Lloréns et al., 2013).

#### **5.1.3.10. Fosfatos ( $\text{PO}_4$ )**

La concentración de fosfatos en un cuerpo de agua natural es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de las aguas. La forma asimilable del fósforo es el ión fosfato, aunque en el agua a veces se encuentran compuestos fosforados en estado coloidal o en forma de fósforo elemento (Castañón y Abraján, 2009).

#### **5.1.3.11. Fosforo Total (PT).**

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización). Una gran parte del fósforo total presente en las aguas se debe al uso de abonos fosfatados y detergentes (Aznar, 2000).

#### **5.1.3.12. Demanda química de oxígeno (DQO).**

La DQO determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar a la materia orgánica de aguas de desecho, por medio de un agente oxidante bajo ciertas condiciones de

acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en bióxido de carbono y agua (Castañón y Abraján, 2009).

#### **5.1.4. Normatividad.**

La calidad del agua puede ser alterada como consecuencia de las actividades humanas o fenómenos naturales que produzcan efectos adversos y cambien su valor fisicoquímico o ecológico. De tal modo, cualquier alteración de la calidad física, química o biológica del agua, que provoque un efecto inaceptable de su utilidad o valor ecológico, es considerada como contaminación del agua (Guzmán et al., 2009). En México existen numerosas Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de agua, que regulan las concentraciones máximas permisibles de nutrientes o sustancias para una situación concreta (por ejemplo, la NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales) (Solís et al., 2011). Sin embargo, para cuestiones ecológicas, México únicamente cuenta con un acuerdo sobre criterios ecológicos de calidad de agua (CE-CCA-001/89) establecida por la Secretaría Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) en 1989, en el que participaron para su elaboración las Secretarías de Marina, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua, de Salud y de Pesca.

### **5.1.5. Metodología.**

#### **5.1.5.1. Selección de sitios de muestreo.**

Los criterios utilizados para la elección del lugar de muestreo fueron la representación de las zonas funcionales de la cuenca, usos de suelo y la accesibilidad al sitio. El número de sitios de muestreo se basó en criterios sobre posible impacto humano como económicos. En este sentido, se establecieron 11 sitios de muestreos (Figura 26). Los parámetros analizados fueron pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, amonio, nitritos, nitratos, nitrógeno orgánico Kjeldhal, fosfatos, fósforo total, demanda química de oxígeno, salinidad y profundidad del nivel del agua. El muestreo se realizó en dos temporadas, en secas (Abril) y en lluvias (Septiembre).

En cada sitio de muestreo, los parámetros de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura y salinidad se obtuvieron *in situ* con un equipo multiparamétrico portable YSI modelo 85. El potencial de hidrógeno se analizó con un sensor de pH eco Test modelo pH2. El análisis del amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total se hizo por medio de un equipo de Hach portable Case modelo DR/890. Todos los parámetros mencionados anteriormente se hicieron directamente en campo y por triplicado, a excepción del fósforo total que por cuestiones del proceso de digestión se tuvo que hacer en un lugar donde contará con energía eléctrica, para poder conectar el digestor. Para el análisis del fósforo total, se recolectó aleatoriamente un litro de agua aproximadamente a la ancho del cauce del río en recipientes de vidrio para su posterior análisis. Esta misma muestra de agua, fue utilizada para determinar nitrógeno total y demanda química de oxígeno en el Laboratorio 11 de Microbiología del Colegio de la Frontera Sur (Unidad Tapachula),

haciéndolas por triplicado. A la muestra de agua, se le adicionó unas gotas de ácido sulfúrico y mantenerlas a 4 °C, para poder analizar estos dos últimos parámetros.

El método utilizado para el amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y fósforo total fueron los ya establecidos en el manual para Hach DR/890, previamente calibrado el equipo con los estándares respectivos para cada parámetro de acuerdo a la National Institute of Standards and Technology (NIST). Los métodos para nitrógeno orgánico Kjeldhal y demanda química de oxígeno fueron los que están determinados en el manual de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, haciendo previamente la curva de calibración de las sustancias utilizadas (Cuadro 10).



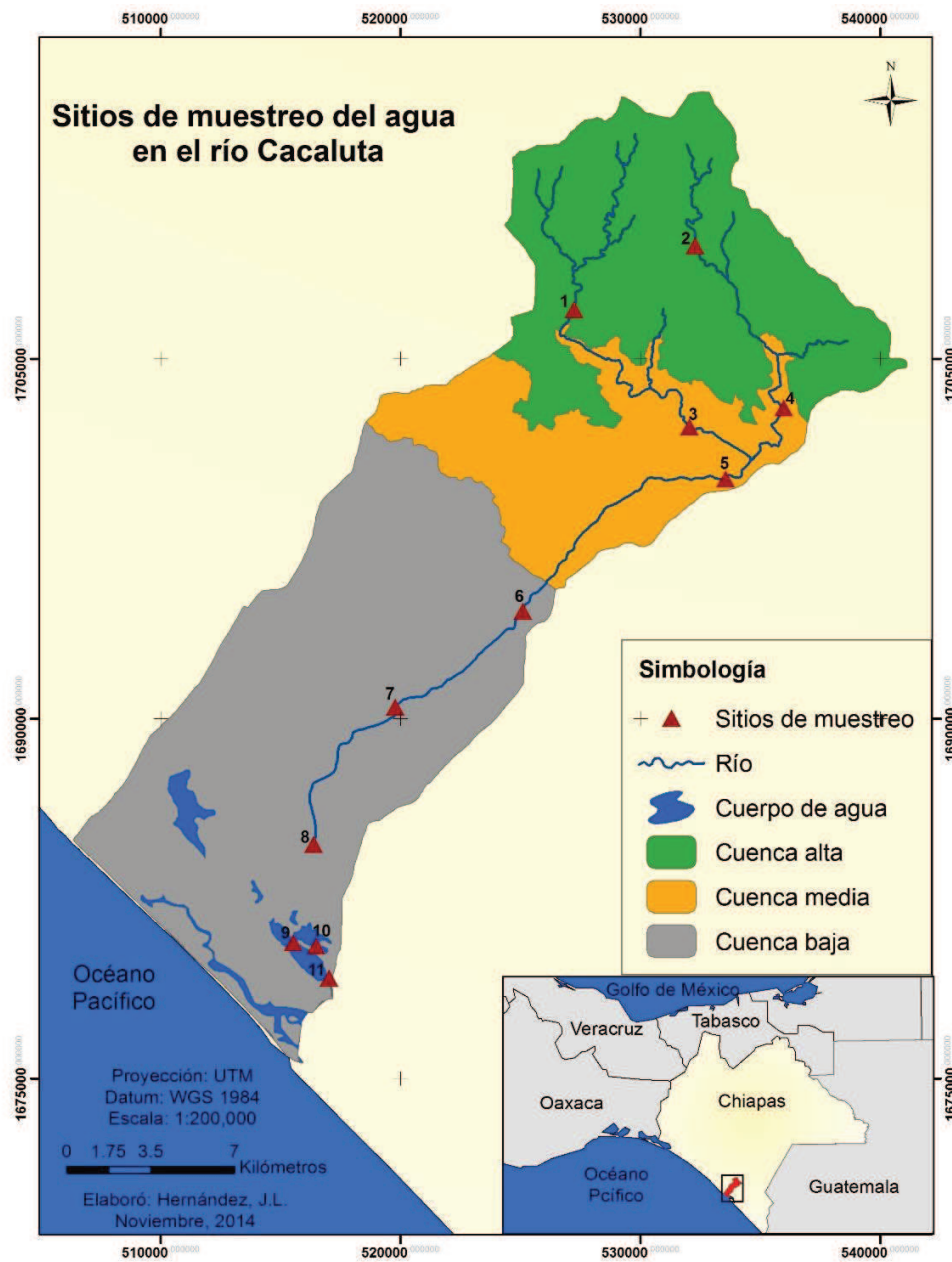


Figura 26. Sitios de muestreo de parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas.

Cuadro 10. Métodos de parámetros analizados en el río Cacaluta, Chiapas.

N°	Parámetro	N° de Método
1	Amonio	8155
2	Nitrito	8153
3	Nitrato	8039
4	Fosfatos	8048
5	Fósforo total	10127
6	Nitrógeno orgánico Kjeldhal	4500-Norg C
7	Demanda química de oxígeno	5220 D

#### 5.1.6. Resultado.

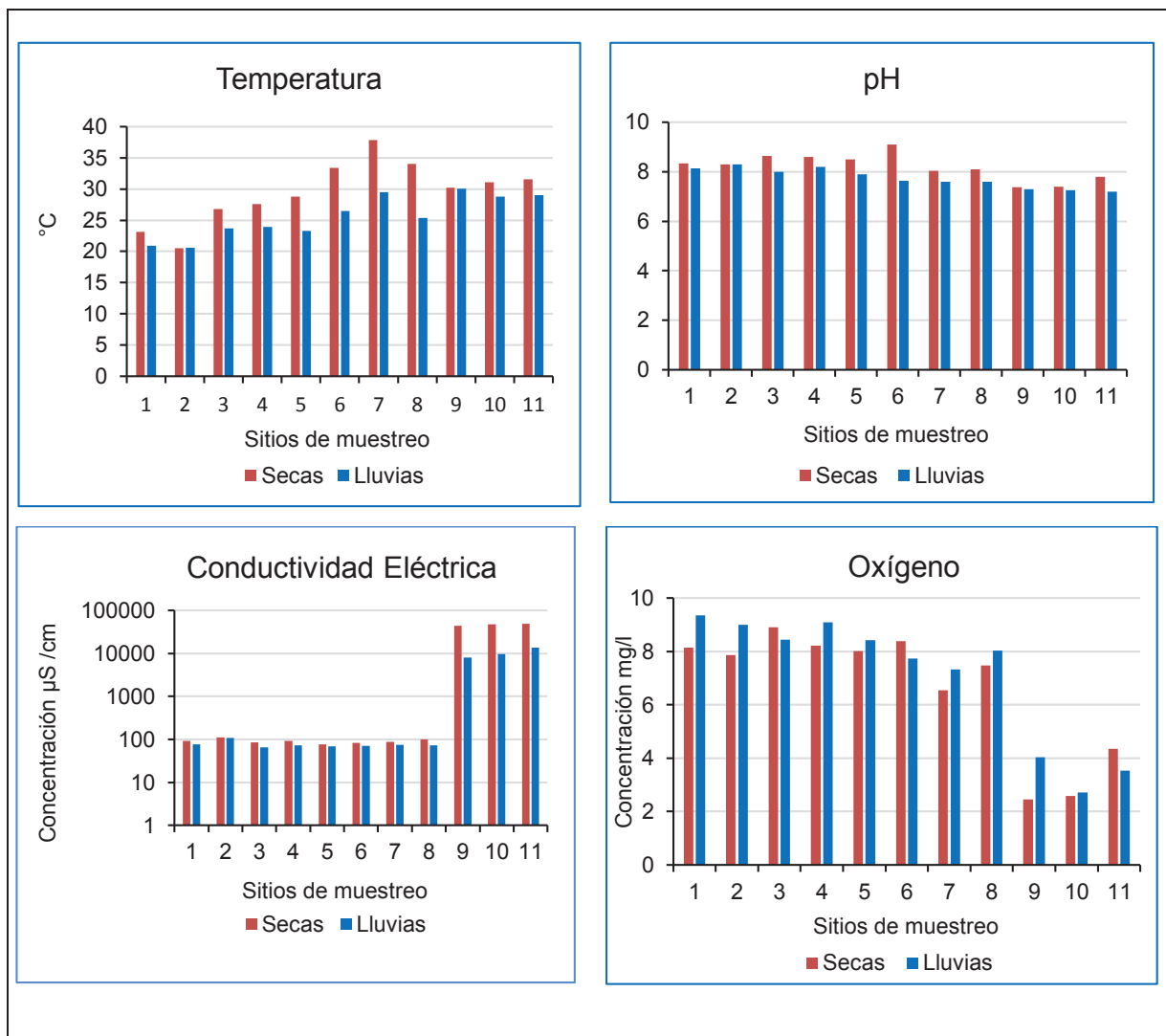
Los resultados de los parámetros físicos y químicos realizados durante las épocas; lluvia y seca, se presentan en los cuadro 11 y 12, respectivamente. Para ambas temporadas, los parámetros físicos (Figura 27), la concentración de oxígeno, salinidad y conductividad eléctrica presentaron una clara diferencia entre los sitios ubicados en el río (1-8) y los de la laguna Campon (9-11). La concentración de oxígeno en la Laguna Campon es baja, oscilando los valores entre 2.46 y 4.36 mg/l. La salinidad y la conductividad están relacionadas recíprocamente, así que presentan valores altos en tiempos de secas (31.5 ppt y 48600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y disminuyen en temporada de lluvias (4.43 ppt y 7970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), principalmente por el aporte de agua dulce del río hacia la laguna. El comportamiento del pH de manera general se mantuvo en un rango alcalino (entre 7.2 y

9.1), presentándose los valores más bajos en los sitios 9, 10 y 11 relativamente. Los valores de la temperatura para ambas temporadas fueron inferiores en los sitios ubicados en la parte alta del río (sitios 1 y 2) en comparación con los registrados en la zona baja del río. El valor promedio más alto, se presentó en el sitio 7 “Muralla” con 33.7 °C mientras que el sitio 2 “Laguna Arenal” presentó el valor promedio más bajo con 20.5 °C.

En cuanto a los parámetros químicos (Figura 28), el amonio presenta una diferencia en los valores obtenidos por temporada, presentando valores altos en la temporada de secas con respecto a los valores de la temporada de lluvias a excepción del sitio 5 “El Encuentro”, presentando el valor promedio más alto (3.46 mg/l). El sitio 3 “La Libertad” presento el valor más alto con 4.67 mg/l en la temporada de seca mientras que en la temporada de lluvia el sitio 1 “Reforma” no presentó valor. La cantidad de nitritos fue muy variable para ambas temporadas, presentándose los valores más altos en los sitios 3, 5, 9 y 10 en la temporada de seca, siendo la concentración más elevada de 16.66 mg/l. En la temporada de lluvia prácticamente los sitios ubicados en la parte baja de la cuenca fueron los que presentaron la mayor concentración, con un valor máximo de 6.66 mg/l. En cuanto a la concentración de nitratos, éstos presentaron un comportamiento similar a los nitritos, tanto en temporadas como en sitios, presentándose tanto el valor más alto (55.43 mg/l) como el más bajo (1.53 mg/l) en la temporada de seca. El nitrógeno orgánico presentó una concentración más elevada en la mayoría de las estaciones de la temporada de lluvias (sitios de la parte baja de la cuenca principalmente) con referencia a las concentraciones de la temporada de seca. Las concentraciones más altas para ambas temporadas se encontraron en los sitios de la Laguna Campon (9, 10 y 11),

oscilando entre 1.12 – 2.57 mg/l mientras que la concentración más baja se presentó en el sitio 1 “Reforma” con un promedio de 0.17 mg/l.

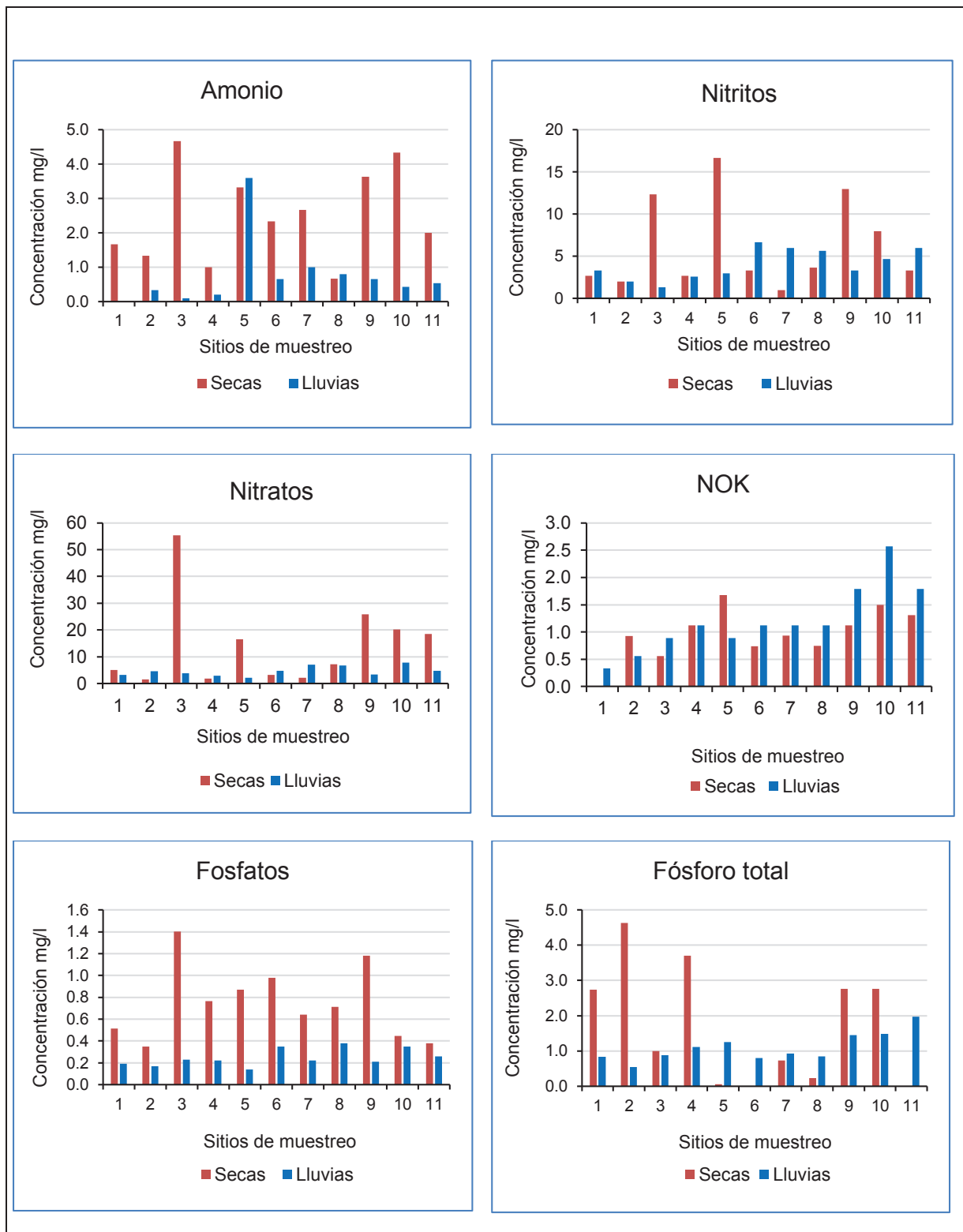
Los fosfatos presentaron una mayor concentración durante la temporada de seca con referencia a los valores mostrados en la temporada de lluvia. En la época de seca, el sitio 3 “Libertad” fue el que presentó la concentración más alta con 1.4 gm/l y la concentración más baja fue para los sitios 1 y 2 con valores de 0.51 y 0.35 mg/l. En la época de lluvia las concentraciones más altas fueron en los sitios ubicados en la parte baja de la cuenca (6-11) con valores que oscilaron entre 0.21 – 0.38 mg/l. En relación al fósforo total, el sitio 2 “Laguna Arenal” fue el que presentó la concentración más alta con 4.63 mg/l durante la temporada de seca, cambiando su posición en la temporada de lluvia como el sitios con el valor más bajo, siendo éste de 0.55 mg/l. Los sitios que presentaron la mayor concentración en promedio para ambas temporadas fueron los de la Laguna Campon (9 y 10).



Nota: Eje y de la conductividad eléctrica graficado con logaritmo base 10.

Figura 27. Parámetros físicos del agua analizados en el río Cacaluta, Chiapas.

Figura 28. Parámetros químicos del agua analizados en el río Cacaluta.



Cuadro 11. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas en temporada de lluvias y secas 2014 con valores de desviación estándar.

N°	Sitios de Muestreo	Temporada	Parámetros					
			Amonio mg/l	Nitritos mg/l	Nitratos mg/l	Nitrog. Org. Kendall mg/l	Fosfatos mg/l	Fosforo Total mg/l
1	Reforma	Secas	1.67 ±0.58	2.67 ±1.15	5.03 ±2.06	0	0.51 ±0.16	2.73 ±0.23
		Lluvias	0	3.33 ±0.58	3.16 ±0.47	0.33 ±0.58	0.19 ±0.06	0.84 ±0.35
2	Laguna Arenal	Secas	1.33 ±0.58	2 ±1	1.53 ±0.23	0.93 ±0.32	0.35 ±0.18	4.63 ±1.6
		Lluvias	0.33 ±0.15	2 ±1	4.63 ±1.2	0.56 ±0.51	0.17 ±0.04	0.55 ±0.1
3	Libertad	Secas	4.67 ±1.15	12.33 ±1.15	55.43 ±3.06	0.56 ±0.56	1.4 ±0.30	1 ±0.17
		Lluvias	0.1 ±0.06	1.33 ±0.58	3.8 ±1.31	0.89 ±0.32	0.23 ±0.08	0.88 ±0.45
4	Magnolia	Secas	1 ±0.58	2.67 ±0.58	1.77 ±0.64	1.12 ±0	0.76 ±0.08	3.7 ±0.79
		Lluvias	0.2 ±0.10	2.6 ±0.58	2.96 ±0.97	1.12 ±0.56	0.22 ±0.02	1.11 ±0.80
5	El Encuentro	Secas	3.33 ±0.58	16.66 ±0.58	16.53 ±1.7	1.68 ±0.58	0.87 ±0.06	0.06 ±0.12
		Lluvias	3.6 ±3.21	3 ±2	2.1 ±1.21	0.89 ±0.32	0.14 ±0.06	1.25 ±0.51
6	Bonanza	Secas	2.33 ±0.58	3.33 ±1.53	3.23 ±0.23	0.74 ±0.65	0.98 ±0.71	0
		Lluvias	0.66 ±0.58	6.66 ±0.58	4.76 ±1.57	1.12 ±0	0.35 ±0.31	0.8 ±0.22
7	Muralla	Secas	2.67 ±0.58	1 ±0	2.2 ±1.32	0.93 ±0.32	0.64 ±0.13	0.73 ±0.15
		Lluvias	1 ±0	6 ±0	7 ±1.39	1.12 ±0	0.22 ±0.01	0.93 ±0.21
8	Quince de Abril	Secas	0.67 ±0.58	3.67 ±0.58	7.23 ±1.61	0.75 ±0.65	0.71 ±0.21	0.23 ±0.40
		Lluvias	0.8 ±0.15	5.66 ±0.58	6.76 ±2.54	1.12 ±0	0.38 ±0.21	0.84 ±0.23
9	Laguna Campon A	Secas	3.63 ±0.55	13 ±0	25.83 ±3.16	1.12 ±0.56	1.18 ±1.02	2.77 ±0.45
		Lluvias	0.66 ±0.06	3.33 ±0.58	3.3 ±1.91	1.79 ±0.32	0.21 ±0.05	1.46 ±0.84
10	Laguna Campon B	Secas	4.33 ±0.58	8 ±1	20.17 ±3.07	1.49 ±0.32	0.45 ±0.06	2.77 ±0.45
		Lluvias	0.43 ±0.12	4.66 ±0.58	7.8 ±1.93	2.57 ±0.32	0.35 ±0.06	1.48 ±0.21
11	Laguna Campon C	Secas	2 ±0	3.33 ±0.58	18.5 ±3.9	1.31 ±0.32	0.38 ±0.24	0
		Lluvias	0.53 ±0.06	6 ±0	4.8 ±2.15	1.79 ±0.65	0.26 ±0.07	1.97 ±1.31

Cuadro 12. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta, Chiapas en temporada de lluvias y secas 2014 con valores de desviación estándar.

N°	Sitios de Muestreo	Temporada	Parámetros					
			DQO mg O <sub>2</sub> /l	pH	Oxígeno Disuelto mg/l	Conduct. Electrica mS/ cm	Salinidad ppt	Temperatura °C
1	Reforma	Secas	122.59 ±40.63	8.33 ±0.06	8.15 ±0.03	0.09 ±0	0	23.1 ±0
		Lluvias		8.13 ±0.06	9.36 ±0.03	0.08 ±0	0	20.9 ±0.06
2	Laguna Arenal	Secas	156.17 ±43.19	8.3 ±0.1	7.87 ±0.23	0.11 ±0	0	20.5 ±0
		Lluvias		8.3 ±0.06	9 ±0.1	0.11 ±0	0	20.6 ±0.06
3	Libertad	Secas	217.76 ±24.41	8.63 ±0.06	8.9 ±0.11	0.09 ±0	0	26.8 ±0.17
		Lluvias		8 ±0.06	8.44 ±0.06	0.07 ±0	0	23.7 ±0.17
4	Magnolia	Secas	180.26 ±9.43	8.6 ±0.06	8.22 ±0.16	0.09 ±0	0	27.6 ±0.06
		Lluvias		8.2 ±0	9.09 ±0.11	0.07 ±0	0	23.9 ±0.06
5	El Encuentro	Secas	271.34 ±65.73	8.5 ±0	8.02 ±0.16	0.08 ±0	0	28.8 ±0.17
		Lluvias		7.9 ±0.1	8.43 ±0.03	0.07 ±0	0	23.3 ±0.06
6	Bonanza	Secas	279.67 ±41.97	9.1 ±0	8.39 ±0.43	0.08 ±0	0	33.43 ±0.06
		Lluvias		7.63 ±0.06	7.73 ±0.15	0.07 ±0	0	26.5 ±0.06
7	Muralla	Secas	298.67 ±63.08	8.03 ±0.12	6.54 ±0.1	0.09 ±0	0	37.9 ±0.1
		Lluvias		7.6 ±0	7.32 ±0.08	0.07 ±0	0	29.5 ±0.06
8	Quince de Abril	Secas	303.01 ±43.83	8.1 ±0	7.47 ±0.2	0.1 ±0	0	34.07 ±0.12
		Lluvias		7.6 ±0.06	8.04 ±0.02	0.07 ±0	0	25.4 ±0
9	Laguna Campon A	Secas	2450.9 ±43.98	7.37 ±0.06	2.46 ±0.5	44.11 ±3.03	28.46 ±0.95	30.23 ±0.06
		Lluvias		7.3 ±0.06	4.04 ±0.42	7.97 ±1.58	4.43 ±0.95	30.1 ±0.2
10	Laguna Campon B	Secas	2311.73 ±25.18	7.4 ±0	2.59 ±0.11	47.9 ±0.1	31 ±0	31.07 ±0.06
		Lluvias		7.26 ±0.21	2.72 ±0.23	9.66 ±3.23	5.36 ±2.17	28.8 ±0.35
11	Laguna Campon C	Secas	2145.9 ±48.11	7.8 ±0	4.36 ±0.13	48.6 ±0.2	31.5 ±0.1	31.6 ±0.1
		Lluvias		7.2 ±0.12	3.54 ±0.1	13.67 ±0.26	7.8 ±0.15	29 ±0.1



Realizando un análisis de clasificación mediante la técnica de Random Forests a los parámetros físicos y químicos (por temporada y en conjunto), nos muestra que en la temporada de seca los parámetros de mayor importancia de acuerdo al índice de Gini son DQO, PO<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> y T (Figura 29) presentando una separación entre los sitios de muestreo ubicados en el cauce del río y los sitios ubicados en la Laguna Campon. En la temporada de lluvia, los parámetros PT, NO<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub> y T son los de mayor importancia, agrupándose los sitios en tres grupos: en el grupo I se ubican prácticamente los sitios ubicados en la cuenca alta y media mientras que en el grupo II están los sitios 6, 7 y 8 que pertenecen a la parte baja de la cuenca del río y en el grupo III se encuentran los sitios de la Laguna Campon (Figura 30). Al combinar los valores de ambas temporadas, los parámetros de mayor importancia son PO<sub>4</sub>, profundidad, NH<sub>4</sub>, T y CE, existiendo una clara separación de sitios entre temporadas con una estimación de error de 0% (Figura 31)

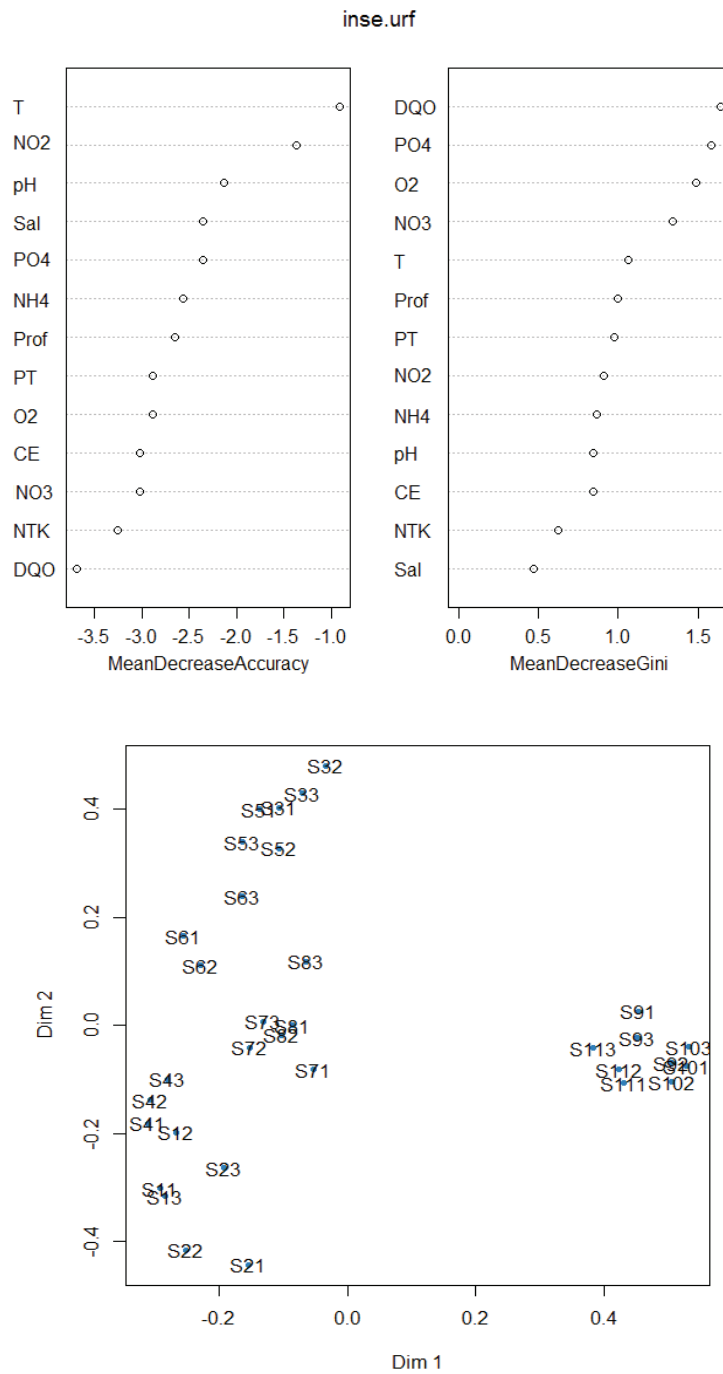


Figura 29. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para la temporada de seca.

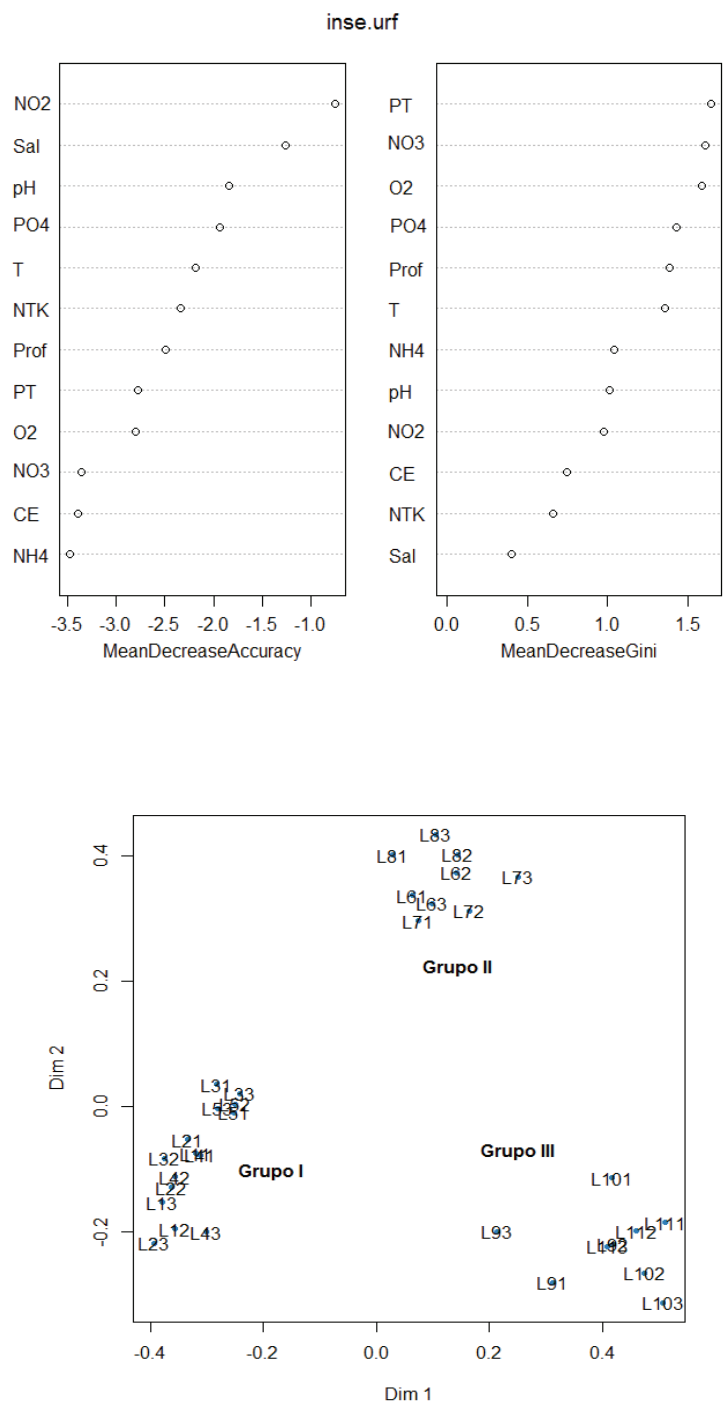


Figura 30. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para la temporada de lluvia.

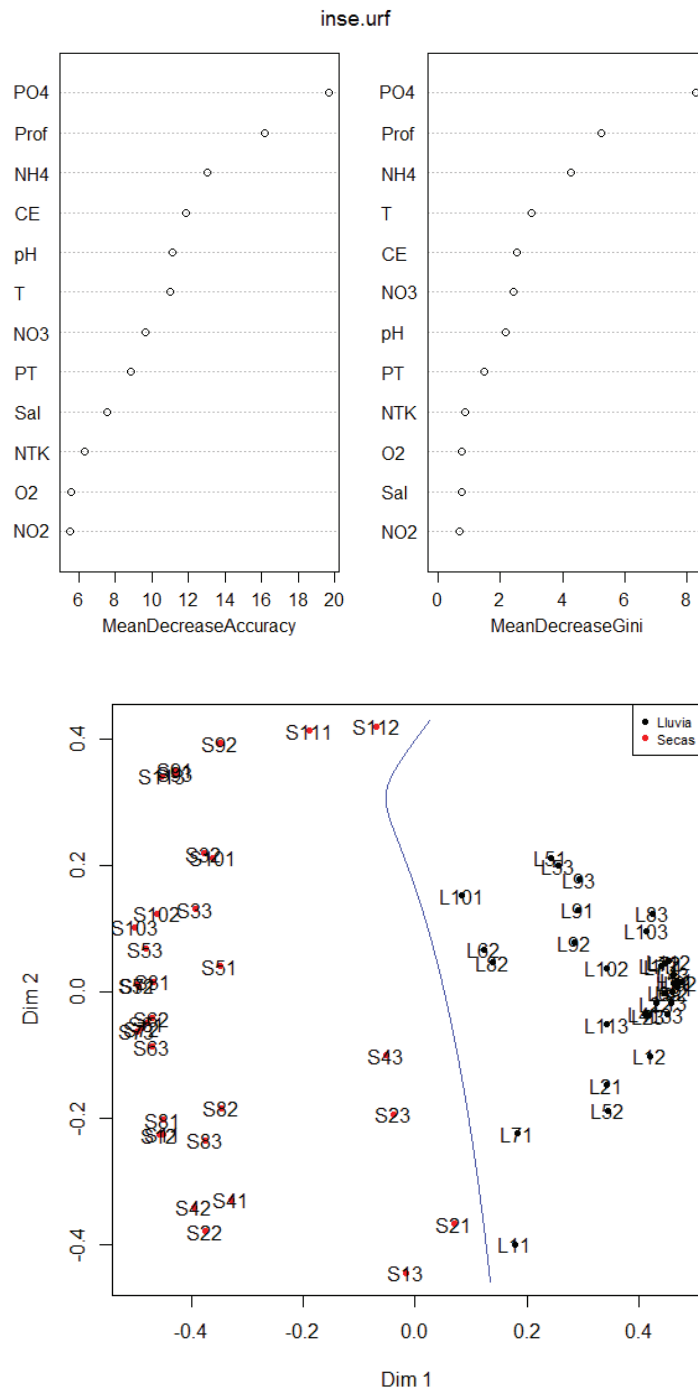


Figura 31. Resultado del análisis estadístico Random Forests de los parámetros fisicoquímicos del agua del río Cacaluta para ambas temporadas.

### 5.1.7. Discusión.

De acuerdo a los parámetros físicos, existe una diferencia significativa entre los valores presentados entre los sitios ubicados a lo largo del río (1 – 8) y los sitios ubicados en la laguna Campon (9 – 11). Tomando como referencia los valores establecidos en el índice de calidad del agua para la vida piscícola (IP) (Prat et al., 2000) (Anexo III), los sitios del 1 al 6 presentan una calidad de buena a muy buena para la vida acuática mientras que en los sitios 7 y 8, la temperatura del agua se presenta como una limitante durante la temporada de secas (valores mayores a los 30 °C), afectando por consiguiente la solubilidad del oxígeno (Carrasco y Castillo, 2012; Pedreros et al., 2013). Guillen (2004) reporta valores similares de temperatura altas en el río Huixtla para sitios donde el cauce ha sido canalizado.

La variación de los parámetros físicos en los sitios de muestreo de la laguna Campon se debe que al ser una laguna costera, está recibe el aporte de nutrientes del río, el efecto de la marea y el suministro de materia orgánica por los manglares, presentando una concentración de oxígeno baja (oscilando entre 2.46 y 4.36 mg/l). Datos semejantes de presenta González (2000) para la laguna pampa El Cabildo, Guillen (2004) para la laguna pampa La Cantileña y Gómez (2013) para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola. En cuanto a los parámetros químicos, los sitios de muestreo presentaron una calidad que oscila entre mediocre y mala tomando como referencia el IP.

El estudio de los parámetros fisicoquímicos en el río Cacaluta, dio como resultado que los parámetros de mayor importancia fueran  $PO_4$ , Prof.,  $NH_4$ ,  $T^\circ$  y CE de acuerdo a la técnica Random Forest. Comparando las concentraciones de  $NH_4$  y  $PO_4$  de los sitios de

muestreo con los criterios la CE-CCA-001/89 (SEDUE, 1989) para protección de vida acuática (agua dulce), éstos parámetros rebasan los límites máximos en todos los sitios.

Las concentraciones de  $\text{NH}_4$  y  $\text{PO}_4$  en los sitios de muestreo presentaron una mayor concentración en la temporada de secas en comparación con las concentraciones de la temporada de lluvia, similares a los que reporta Solís et al. (2011) para  $\text{PO}_4$ . La disminución de la concentración de  $\text{PO}_4$ , se debe principalmente al efecto de dilución debido al aumento del caudal del río generado por las precipitaciones, como lo experimentado por Schenone et al. (2008) y Guzmán-Colis et al. (2011) mientras que para el  $\text{NH}_4$ , éste reduce su concentración debido a las concentraciones de oxígeno y pH, que hace que se oxide rápidamente en  $\text{NO}_2$ . Las actividades agropecuarias (fertilizantes nitrogenados y el estiércol del ganado) pueden estar incidiendo en la concentración de estos parámetros, como lo reporta Auquilla et al. (2005). Por lo que se afirma que las temporadas del año y las diferencias altitudinales aunado a los usos de suelo en la cuenca provocan variaciones en las concentraciones de los parámetros físico-químicos analizados.

## **Capítulo VI.**

### **6.1. Análisis de Hierro en sedimentos.**

#### **6.1.1. La minería en Chiapas.**

El estado de Chiapas se localiza en el sureste de la República Mexicana y cuenta con una extensión superficial de 73,311 km<sup>2</sup> que representa el 3.7 % de la superficie total del

territorio nacional, con lo cual ocupa el décimo lugar a nivel nacional. Limita al norte con el estado de Tabasco, al sur con el Océano Pacífico, al oriente con la República de Guatemala y al poniente con los estados de Oaxaca y Veracruz (SGM, 2013).

La minería en Chiapas es un fenómeno nuevo que surge después de la puesta en marcha del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en 1994 (Roblero, 2011). Actualmente, Chiapas ocupa a nivel nacional el décimo quinto lugar en la producción de agregados pétreos, décimo segundo lugar en roca caliza y cal hidratada; así mismo se registra una producción de azufre en el segundo lugar derivado de la refinación de hidrocarburos. No existen registros de producción de minerales metálicos, aunque la exploración ha tenido mucho auge en los últimos años. En el estado se pueden definir siete regiones mineras, atendiendo al tipo de mineralización y a su ubicación: (A) Pauch, (B) Pichucalco-Tecpatán-Ixhucatán, (C) Cintalapa-San Fernando, (D) Motozintla, (E) Batolito de Chiapas, (F) Los Altos de Chiapas y (G) Tuxtla-Comitán (SGM, 2013).

La actividad minera de metales metálicos en el territorio chiapaneco inició en los municipios de Ixhucatán, Acacoyagua, Pijijiapan, Ángel Albino Corzo y Chicomuselo (Roblero, 2011). En el estado de Chiapas, seis importantes compañías mineras internacionales están operando en distintas etapas del proceso de explotación. Existen dos compañías con minas abiertas y funcionando, mientras las demás siguen en las etapas de exploración y construcción. Dichas compañías están buscando oro y plata pero también están extrayendo baritina, titanio, magnetita (mineral de hierro), y cobre. Una de las principales compañías en Chiapas es Blackfire Exploration Ltd., cuya sede se encuentra en Alberta, Canadá y tiene como lema "Explorando agresivamente y desarrollando Chiapas, México" (Roblero, 2011).

La minería sigue siendo una actividad peligrosa no solamente en términos de condiciones laborales sino también en términos ecológicos por la contaminación del agua y de la tierra, la deforestación, entre otros. En términos sociales, la minería afecta las formas tradicionales de vida basadas en el respeto a la tierra y la agricultura de subsistencia. Además, provoca divisiones internas dentro de las comunidades afectadas donde los enfrentamientos entre grupos partidarios y contrarios a los proyectos mineros se enfrentan a menudo con violencia, con los actores externos promoviendo la agudización de los conflictos (Roblero, 2011).

#### **6.1.2. Mina La Cristina (Acacoyagua, Chiapas).**

Se ubica a un kilómetro al noroeste del Ejido Nueva Libertad, municipio de Acacoyagua, Chiapas. Su ubicación geográfica es 15° 24.871' latitud norte y 92° 42.847 longitud oeste. Tiene en posesión una superficie de 35 ha para exploración y explotación por un lapso de tiempo de 56 años, cuya empresa concesionaria es Tristán Canales. Los minerales involucrados, 100% aprovechables, son: ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) y clinocloro  $((\text{Mg, Fe, Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8)$ . El material extraído es transportado a una planta de molienda y trituración de la empresa industrias unidas de Cobalto localizada en el paraje denominado Pataste, municipio de Acacoyagua, Chiapas (MIA, s/f; SGM, 2013) (Figura 32).



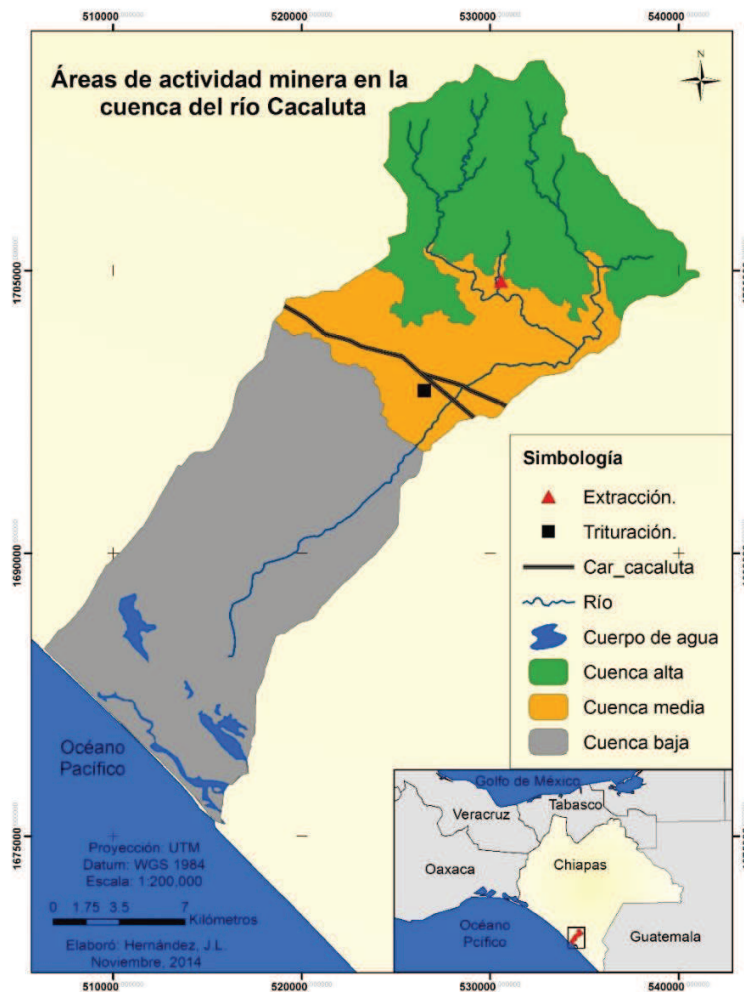


Figura 32. Áreas de actividad minera en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

### 6.1.3. Metales pesados.

Los sedimentos en las riberas de los ríos están constituidos principalmente por la fracción sedimentable, orgánica y mineral de los sólidos suspendidos y por los desechos celulares de la actividad bacteriana, producidos en la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cauce por aporte de aguas domésticas y escorrentía superficial. Estos depósitos tienen un gran valor científico para el estudio de los

ecosistemas acuáticos, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su recorrido, y al interaccionar con las corrientes de agua ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua. Así, variaciones de pH, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua pueden provocar movilización y suspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados (Molina et al., 2010; Herrera et al., 2013).

Inicialmente los metales pesados al llegar a un cuerpo de agua sufren diversas modificaciones físicas y químicas que los hacen estar disponibles como: iones libres, compuestos de sales metálicas solubles o insolubles, óxidos metálicos, carbonatos e hidróxidos. Una gran parte de los metales pesados son movilizados por las corrientes de aguas, lo que facilita su transporte y disposición en fuentes lejanas a donde se generan, y otros se depositan en los sedimentos por precipitación cuando el carácter biogeoquímico del ambiente cambia. Los principales procesos naturales que movilizan metales traza son: intemperismo de las rocas, desgasificación, vulcanismo terrestre y submarino y procesos relacionados con los sedimentos marinos. Entre las principales causas de movilización antropogénica están los procesos industriales y minero-metalúrgicos, producción de cemento, consumo de combustibles fósiles, fertilización de suelos, extracción de petróleo, entre otras (Aguilar-Ucán et al., 2009). Los estudios de metales pesados son de especial interés, ya que son altamente persistentes y tóxicos teniendo la capacidad de bioacumularse en los organismos expuestos. De esta forma los

metales pesados pueden estar presentes a lo largo de la cadena trófica e incluso alcanzar al ser humano (Shi y Wang, 2004; Aragón-Briceño et al., 2011).

#### **6.1.4. Titanio.**

El titanio es un elemento abundante en la corteza terrestre, siendo excedido sólo por otros ocho elementos (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K y Mg) (Valderrama, 2008). Este metal es resistente a la mayoría de los ácidos orgánicos, al ácido clorhídrico y sulfúrico diluidos, a los gases y soluciones conteniendo cloro. Debido a sus propiedades como la densidad, elevada tenacidad, elevado punto de fusión, gran resistencia a la corrosión, elevada resistencia mecánica, estabilidad térmica y elevada blancura, el titanio es utilizado en diversas aplicaciones, desde la fabricación de turbinas para aviones supersónicos hasta prótesis dentarias, razones por las que el titanio es considerado un metal de importancia estratégica (Valderrama, 2008; Esteban et al., 2011). La alta reactividad del titanio hace que nunca se presente en estado elemental en la naturaleza, sino que se encuentre en forma de óxidos, principalmente ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) y rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) (Esteban et al., 2011).

#### **6.1.5. Hierro.**

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Debido a la facilidad con la cual reacciona, es raro encontrarlo en la forma de hierro puro. Debido a su avidez por el oxígeno, el hierro se encuentra en la naturaleza en forma de minerales, compuestos principalmente por los óxidos (SE, 2013). El hierro se encuentra en dos estados de oxidación en la naturaleza: el ión férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ , la forma oxidada) y el ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ , la forma reducida). Un rasgo distintivo del ciclo de hierro son los cambios

que sufre este mineral en su estado de oxidación y en su solubilidad, dictados por cambios en pH, oxigenación y potencial redox. En cuerpos de agua oligotróficos, lenticos y bien oxigenados, las concentraciones del ión férrico son escasas, dada su insolubilidad. En dicho tipo de hábitat, la mayor parte del ión férrico se encuentra en los sedimentos en forma de hidróxidos férricos  $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ , fosfato férrico  $[\text{FePO}_4]$  y en ocasiones como silicato férrico  $[\text{FeSiO}]$  y carbonato férrico  $[\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3]$  (Campo y Barrera, 2005; Fuentes, 2013).

#### **6.1.6. Metodología.**

Se establecieron 11 estaciones de muestreo a lo largo del río Cacaluta, mismos sitios donde se realizaron los análisis físico-químicos del agua e igualmente ambas temporadas. En cada sitio de muestreo se recolectaron dos muestras de sedimentos aleatoriamente a lo ancho del cauce, las cuales fueron depositadas en recipientes de polietileno de un litro. Dichas muestras fueron pre-secadas directamente al sol en recipientes de plástico para reducir la cantidad de agua. Una vez secas, fueron tamizadas con un colador de cocina, extrayendo de cada muestra una porción de 150 gr aproximadamente de manera homogénea para su posterior proceso en un horno de secado, con la finalidad de quitar cualquier porción de humedad existente. La porción extraída de cada muestra fue colocada en un recipiente de aluminio y puestas en un horno de secado marca Casa Rios durante 24 h a 50 °C, para su secado final. Transcurrido el tiempo de secado, se tomó una cantidad de 30 gr aproximadamente de cada muestra y fueron colocadas en recipientes de polietileno de 100 ml. Listas las

muestras para su análisis, fueron enviadas al laboratorio de análisis instrumental del Colegio de la Frontera Sur (Unidad San Cristóbal de Las Casas) para su procesamiento a través del método 3015A del “Test Methods for Evaluating Solid Waste” de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) mediante espectrometría de absorción atómica.

### 6.1.7. Resultados.

Tomando como nivel guía de referencia de la USEPA, la concentración de hierro presente en los sedimentos del río Cacaluta se encuentran en la categoría de no contaminados, ya que la concentración que presentan los sitios de muestreo no rebasan la cantidad que especifica esta dependencia (Figura 13). Se tiene claro, que la concentración de minerales en sedimentos varía geográficamente y temporalmente de acuerdo a las características geológicas, climáticas y biológicas así como el tipo de actividad humana presente en la zona.

Cuadro 13. Concentración de Hierro en sedimento del río Cacaluta, Chiapas.

N°	Sitio de muestro	Hierro (mg/kg)
1	Reforma	599.54
2	Laguna Arenal	474.30
3	Libertad	521.44
4	Magnolia	692.93
5	El Encuentro	615.36
6	Bonanza	455.83
7	Muralla	692.93
8	Quince de Abril	666.85
9	Laguna Campon A	541.10
10	Laguna Campon B	483.17
11	Laguna Campon C	443.04

### **6.1.8. Discusión.**

De acuerdo con las concentraciones de pH y oxígeno en el río Cacaluta, éstas promueven la oxidación del ión ferroso presente en el agua en ión férrico y por ende, la precipitación del hierro (Chantes, 2012). Las concentraciones de hierro en los sitios de muestreo a lo largo del río no presentaron una variación significativa, por lo que la actividad minera en la zona (a cielo abierto) ubicada en la parte media de la cuenca no incide hasta el momento en los valores reportados, porque el hierro presente en el río se puede atribuir más a la geología de la zona y procesos naturales.

Las concentraciones de hierro de los sitios de muestreo, con referencia a lo encontrado por Ibárcena (2011) en sedimentos de la Bahía de Ite, Tacna (Perú) son prácticamente bajos pero comparándolo con los resultados reportados por Aguilar-Ucán et al. (2009) en sedimentos del arroyo La Caleta (Campeche, México) estos son relativamente altos. La mayoría de los estudios sobre hierro son usualmente en agua, debido a que se considera como un contaminante secundario (o de estética) que no representa un peligro para la salud. Por lo que debido a que en la zona no existen estudios sobre hierro en sedimentos, los resultados que se presentan aquí constituyen importantes valores de referencia sobre la concentración de este mineral para futuras investigaciones.

## **Capítulo VII.**

### **7.1. Identificación de productos químicos utilizados en la cuenca.**

A finales de la década de 1940, surgió un paradigma de producción agrícola no solamente dominante, sino totalizante: la Revolución Verde, la cual tenía como principal soporte la selección genética de nuevas variedades de cultivo de alto rendimiento, asociada a la explotación intensiva del suelo por medio del riego y el uso masivo de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas) y maquinaria pesada (Ceccon, 2008; Bernardino, 2013).

Con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en 1994, la necesidad de aumentar la producción agrícola en México cobró mayor importancia. En consecuencia, México implementó políticas dirigidas a la tecnificación e intensificación a través de programas como PROCAMPO y Alianza para el Campo, entre otros. A través de estos programas los campesinos tradicionales recibieron subsidios económicos y en especie, lo que incluyó plaguicidas con lo que intensificaron sus cultivos (Ríos, 2013).

#### **7.1.1. El uso de plaguicidas.**

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO) (2006) define plaguicida como cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan

perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos. Los plaguicidas pueden ser clasificados de acuerdo a su uso, composición química, naturaleza química, acción específica, concentración, formulación, modo de acción, grado de toxicidad y persistencia en el ambiente (Medina-Díaz et al., 2010).

El manejo de plaguicidas en el campo de México, tal como en otros países latinoamericanos, se ha caracterizado por una sobredosis en los cultivos y prácticas de aplicación ineficientes, que ponen en riesgo a la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas (Hernández-Romero et al., 2004; Bernardino, 2013). Los estados con mayor uso de plaguicidas son Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Nayarit, Colima, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, Estado de México, Puebla y Oaxaca. Se calcula que en ellos se aplica 80 % del total de plaguicidas usados en el país (Albert, 2005). En Chiapas, una de las regiones con mayor uso de plaguicidas es la zona del Soconusco, debido a su intensiva actividad agropecuaria, ya que ésta ha sido el pilar fundamental de ingreso económico en las familias (Ríos, 2013).

#### **7.1.2. Problemática ambiental por el uso de plaguicidas.**

El excesivo uso de los plaguicidas en la agricultura representa una amenaza grave para el equilibrio ecológico, de manera particular para los ecosistemas acuáticos y terrestres aledaños a las áreas de cultivo. Después de ser aplicados a los cultivos, el plaguicida cae directamente y se acumula en el suelo y cuerpos de agua aledaños a la zona de cultivos (Hernández-Romero et al., 2004; Geissen et al., 2010). El plaguicida remanente en el suelo provoca pérdida de biodiversidad, lo cual deteriora su calidad



productiva, ya que se mueren los microorganismos de la materia orgánica (Geissen et al., 2010). La acumulación de plaguicida en agua puede afectar la vida de la flora y fauna acuática que sirve de base de la cadena alimentaria. El plaguicida acumulado en el suelo puede ser transportado por medio del proceso de lixiviación al agua subterránea y aguas superficiales más lejanas a la zona de aplicación (Castillo et al., 2006). Según su composición química, los plaguicidas pueden persistir en el ambiente (persistencia), acumularse en un organismo e incluso aumentar su concentración en función del tiempo (bioconcentración) y a lo largo de la cadena trófica (biomagnificación). Los plaguicidas más persistentes y con mayor potencial de bioconcentración y magnificación son los organoclorados, como el DDT, el cual puede permanecer en el medio ambiente hasta 60 años. Cuando un plaguicida se degrada, puede resultar en la liberación de metabolitos que pueden ser incluso más tóxicos que la propia sustancia activa del plaguicida (Bernardino, 2013). En México, la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST) clasifica a los plaguicidas en cuatro clases de acuerdo a su toxicidad expresada en DL50: Clase I (extremadamente peligrosos); Clase II (altamente peligrosos); Clase III (moderadamente peligrosos) y Clase IV (ligeramente peligrosos).

### **7.1.3. Metodología.**

Se elaboró un guion de entrevista abarcando tres aspectos: Tipo de agroquímicos, percepción de cambios en el agua (cantidad y calidad) y percepción de presencia de

actividad minera en la cuenca (Anexo II). En este sentido, se entrevistaron a 30 productores de distintas actividades económicas.

#### **7.1.4. Resultados.**

De acuerdo a la información obtenida en las entrevistas semi-estructuradas, los plaguicidas más utilizados fueron los herbicidas (15 productos). Los herbicidas que mayor uso presentaron fueron los que contienen el ingrediente activo de Glifosato y Paraquat, clasificados dentro de los grupos Fosfometilglicina y Bipiridilo. De acuerdo a la toxicidad de los plaguicidas y por su variedad de usos, el grupo de Bipiridilo son los que mayor toxicidad presentan al estar ubicados en la clase II mientras que el 66.6% de los plaguicidas encontrados pertenecen a la clase IV (Cuadro 14). El cultivo de café es la actividad que ocasionalmente hace uso de plaguicidas.

De las personas entrevistadas, el 90% que hace uso de plaguicidas lo aplica por la mañana y de ese grupo solo seis personas utilizan alguna medida de seguridad durante la aplicación. En cuanto a la disposición final de los envases, los productores de la parte alta de la cuenca los entierran o los tira a las cárcavas mientras que los de la parte media y baja de la cuenca, ya sea que los acumule en las áreas de cultivo, los queman o lo guardan hasta que las autoridades municipales pasen por ellos.

En relación a la percepción sobre los cambios en calidad y cantidad de agua del río Cacaluta, la mayoría de los productores comentaron que la calidad a simple vista se ve bien, sin embargo, la mayoría están consiente que hay contaminantes en el agua debido a la presencia de ganadería, agricultura y asentamientos humanos en la periferia del río. En lo que se refiere al nivel del agua del río, éstos comentaron que ha disminuido año

con año, haciendo énfasis los productores de la parte baja de la cuenca de una reducción drástica durante la temporada de secas debido a la desviación de agua del cauce del río hacia las bananeras, provocando una serie de efectos negativos en el ecosistema fluvial como el calentamiento del agua y la reducción de vida acuática.

En lo que se refiere a la opinión sobre el desarrollo de minería en la zona, el 86.6% de los productores entrevistados comentaron que esta actividad económica es perjudicial, debido a que contamina tanto el suelo como el agua.

Cuadro 14. Plaguicidas y fertilizantes usados en cultivos inmersos en la cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

N°	Nombre Comercial	Uso	Ingrediente Activo	CT	Clasificación	Cultivo
1	Sanfosato	Herbicida	Glifosato	IV	Fosfometilglicina	Pastizal, Agricultura
2	Pastar	Herbicida	Aminopyralid + 2,4-D	IV	Ácido piridincarboxílico	Pastizal
3	Defensa	Herbicida	Picloram	IV	Piridina	Pastizal
4	Prado	Herbicida	Aminopyralid + Metsulfurón metil	IV	Ácido piridincarboxílico	Pastizal
5	Diabloquat	Herbicida	Paraquat	II	Bipiridilo	Agricultura
6	Hierbamina	Herbicida	2,4-D	III	Clorofenoxi	Agricultura
7	Herbipol	Herbicida	2,4-D	III	Clorofenoxi	Agricultura
8	Paraquat	Herbicida	Paraquat	II	Bipiridilo	Agricultura
9	Faena	Herbicida	Glifosato	IV	Fosfometilglicina	Agricultura, Plátano, Palma
10	Rival	Herbicida	Glifosato	IV	Fosfometilglicina	Agricultura
11	Tacsá Quat	Herbicida	Paraquat	II	Bipiridilo	Agricultura
12	Gramoxone	Herbicida	Paraquat	II	Bipiridilo	Agricultura, Mango, Plátano y Palma

N°	Nombre Comercial	Uso	Ingrediente Activo	CT	Clasificación	Cultivo
13	Glisofato	Herbicida	Glifosato	IV	Fosfonometilglicina	Agricultura y palma
14	Gesaprin	Herbicida	Atrazina	IV	Triazina	Agricultura
15	Nitrato de Potasio	Fertilizante	12-00-45			Mango
16	Nitrato de Amonio	Fertilizante	33.5-00-00			Mango
17	Promyl	Fungicida	Benomilo	IV	Benzimidazol	Mango
18	Manzate	Fungicida	Mancozeb	IV	Ditiocarbamato	Mango
19	Biozyme	Fertilizante				Mango
20	Banki	Fungicida	Azoxystrobin	IV	Pirimidina	Mango
21	Tega	Fungicida	Trifloxystrobin	IV	Estrobilurina	Mango
22	Talstar	Insecticida	Bifentrina	IV	Piretroide	Plátano
23	Bravo 720	Fungicida	Clorotalonil + cimoxanil	IV	Aromático policlorado	Plátano
24	Calixin	Fungicida	Tridemorf	III	Morfolina	Plátano
25	Gramocil	Herbicida	Paraquat	II	Bipiridilo	Plátano
26	Regnum	Fungicida	Pyraclostrobin	IV	Estrobirulina	Plátano
27	Inex	Adherente	Alquil polieter alcohol etoxilado Alquil poliglicol aril polietoxi etanol			Plátano
28	Sico 250	Fungicida	Difenoconazole	IV	Triazol	Plátano
29	Agrimec	Insecticida	Abamectina	I	Pentaciclina	Papaya
30	Malahtion	Insecticida	Malation	IV	Organofosforado	Papaya
31	Herald	Insecticida	Fenpropatrin	II	Piretroide	Papaya
32	Karate Zeon	Insecticida	Lambda cyalotrina	IV	Piretroide	Papaya
33	Cupravit	Fungicida	Oxicloruro de cobre	IV	Compuestos de cobre	Papaya

N°	Nombre Comercial	Uso	Ingrediente Activo	CT	Clasificación	Cultivo
34	Captan	Fungicida	Captan	IV	Carboxamida	Papaya
35	Mezcla física	Fertilizante				Plátano y papaya
36	Triple	Fertilizante	7-17-17			Plátano, Papaya, Agricultura, Mango y Palma
37	Urea	Fertilizante	46-00-00			Plátano, Papaya y Agricultura
38	Potasio	Fertilizante				Plátano

#### 7.1.5. Discusión.

Al existir una variedad de usos de suelo en la cuenca, eso trae por consiguiente el uso masivo de plaguicidas, donde los productos del grupo Bipiridilo (Paraquat) son los que mayor toxicidad presentan al estar ubicados en la clase II de acuerdo a su toxicidad, lo que indica un alto potencial de peligrosidad para la fauna silvestre (peces y aves), como lo reporta Córdova-Carrillo, et al., (2009) y Salazar y Aldana (2011), tardando hasta tres años para degradarse en el suelo. En humanos, la DL50 de es 3 a 5 mg/kg vía oral, pero también puede causar irritación cutánea, ya que es rara su intoxicación por inhalación (CICOPLAFEST, 2004).

Estudios epidemiológicos han encontrado relación entre el incremento de la exposición a cuatro plaguicidas frecuentemente usados (atrazina, 2,4-D, glifosato y diazinon) con un incremento en el riesgo de contraer cáncer (de ovario, cáncer de pecho, cáncer cerebral y leucemia) de acuerdo con la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) y todos ellos

están autorizados en México (Bejarano, 2001). Dentro de los fertilizantes, las sustancias más usadas son la urea y el triple 17, por lo que al ser arrastrados por la lluvia pueden convertirse en una fuente importante de nutrientes a los cuerpos de agua (eutrofización) o incluso precipitarse y acumularse en los sedimentos (Fao, 1997; Romero, 2010).

Se pudo observar que independientemente de la zona de la cuenca (alta, media o baja), ya sea áreas de ANP o no, la utilización de los tipos de agroquímicos para actividades agropecuarias (agricultura y ganadería) es la misma y que sus efectos a la salud humana y a los ecosistemas van a depender de la especie u organismo, tipo de compuesto, la concentración y el tiempo de exposición (Salazar y Aldana, 2011). Con la información proporcionada en este apartado sobre los tipos de plaguicidas utilizados en la cuenca del río Cacaluta, se sientan las bases para futuros estudios en los que se evalúen los efectos de estos contaminantes en la salud humana y los ecosistemas.

### **Discusión general.**

La cuenca hidrográfica como unidad espacial, funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto (Jiménez, 2009). En este sentido, desde una perspectiva de ecología del paisaje, la cuenca del río Cacaluta presenta una matriz de pastizales como elemento dominante con una superficie de 14131.76 ha (30.56%), superficie distribuida tanto a lo largo como a lo ancho de la cuenca pero principalmente en la parte media y baja. Esta actividad repercute de manera significativa en la fragmentación de la cubierta vegetal, ocasionando que las áreas naturales protegidas (REBITRI y REBIEN) pierdan su conectividad ecológica, debido a que el manejo de los recursos naturales en la cuenca

no siempre ha sido dictado por la aptitud de los paisajes, ya que las políticas públicas, la demanda del mercado y los modelos de desarrollo han sido las principales leyes que rigen en el territorio.

El uso inapropiado de los ecosistemas se manifiesta con un aumento de la vulnerabilidad de la cuenca en su conjunto, alterando las condiciones climáticas y procesos biogeoquímicos de la zona. Esta modificación altera por consiguiente el funcionamiento ecológico del río Cacaluta, siendo los ríos el medio de distribución de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) en la cuenca. Los usos de suelo, la canalización de ríos y la pérdida de cobertura vegetal en la cuenca, han ocasionado primeramente la modificación los sistemas fluviales, mostrando de acuerdo al RQI valores de calidad de riberas de moderado a pobre principalmente; segundo, han alterado la calidad del agua principalmente por el aporte de fósforo y nitrógeno en sus diferentes especies, significando un gran aporte de estos compuestos hacia la laguna Campon y donde al final pueden incidir en un proceso de eutrofización de dicho cuerpo de agua; tercero, se ha propiciado los medios adecuados para la erosión, reflejo de esto es el aumento de la tasa de azolve del río en la parte baja de la cuenca y en la laguna Campon; cuarto, se propicia los medios adecuados para el aumento de inundaciones causadas por el desbordamiento del río, entre otras. Ante esta situación, Tovilla (2005) comenta que los sistemas fluviales en Chiapas son los más amenazados.

Si a lo anterior, se le agrega que en México no existe un control eficiente del uso de plaguicidas y que además, en los últimos años la explotación minera en la zona ha sido una nueva actividad, la situación del funcionamiento ecológico del río Cacaluta y de la cuenca en general se pone en riesgo. Ante esta situación, se requiere del desarrollo de

políticas de manejo puntuales de acuerdo a las características de la zona, donde se permita la participación del gobierno, organizaciones civiles y población en general para asegurar la integridad ecológica de la cuenca.

Ante este panorama, existe dos alternativas que pueden mejorar la situación de la cuenca del río Cacaluta a corto plazo o mediano, primera establecer la determinación de un caudal ecológico que de acuerdo a la NMX-AA-159-SCFI-2012 esta cuenca presenta una importancia ecológica alta y segunda, declarar a la cuenca como una reserva potencial de agua, ya que presenta una factibilidad media de acuerdo a la CONAGUA (2011).

### **Conclusión general.**

- ❖ La pérdida y fragmentación de la vegetación natural han provocado la pérdida de bienes y servicios ambientales, alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos y la reducción de hábitat en la cuenca del río Cacaluta.
- ❖ La cuenca del río Cacaluta presenta un modelo de desarrollo que no tiene ninguna garantía de sustentabilidad, donde la naturaleza ha seguido un patrón de adaptación ante los intereses económicos de corto plazo y al crecimiento desordenado de la población.
- ❖ El monocultivo de la palma africana como planta exótica e invasora presenta una fuerte presión para la Reserva de la Biosfera La Encrucijada como a otros cultivos (mango y agricultura principalmente).



- ❖ La vegetación primaria en la cuenca del río Cacaluta está reducida solo a los polígonos de las ANP.
- ❖ El índice de RQI representó una herramienta de fácil manejo para valorar la calidad hidrogeomorfológica del río Cacaluta.
- ❖ La calidad de las riberas del río Cacaluta se encuentran dentro de un rango de calidad de moderado y pobre, por lo que necesitan acciones de restauración y rehabilitación.
- ❖ Se encontró que los parámetros físicos del agua del río Cacaluta muestran una calidad buena en la parte alta y media de la cuenca de acuerdo al índice de calidad de vida piscícola (IP).
- ❖ De acuerdo a los parámetros de mayor importancia por la técnica Random Forest, los sitios de muestreo 7 “Muralla” es el que presenta las características menos favorables para la vida acuática.
- ❖ La actividad minera en la zona produce serios cambios en las concentraciones de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$  en el agua del río Cacaluta, como se muestra en el sitio 3 “La Libertad”, aunque su actividad sea de manera irregular.
- ❖ Por su toxicidad intrínseca y su forma de uso, los plaguicidas presentes en la Cuenca del río Cacaluta representan un riesgo importante para la salud humana y para la vida acuática.
- ❖ El estudio de hierro en sedimentos del río Cacaluta significó tener un valor de referencia para futuros estudios.
- ❖ De manera general, la estructura y funcionamiento ecológico del río Cacaluta disminuye conforme el flujo del agua desciende hacia la zona de humedales.

## Literatura citada.

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N., 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28(1): 35-64.
- Agencia de Protección Ambiental (EPA), 2013. Conductividad Eléctrica/Salinidad. Folleto Informativo 3.1.3.0. Pp. 1-4.
- Aguilar-Ucán, C.A., Montalvo-Romero, C., Ramírez-Elías, M.A. y González, B.C, 2009. Metales pesados en sedimentos del arroyo La Caleta de Ciudad del Carmen, Campeche, México: Estudio preliminar. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5(3): 232-237.
- Alba-Tercedor, J. y Sánchez- Ortega, A., 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.
- Albert, L. 2005. Panorama de los plaguicidas en México. *Revista de Toxicológica*. Pp. 17.
- Alonso, A. y Camargo, J.A., 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*. 14 (3): 87-99.
- Alperín, M.I, Borges, V.G. y Sarandón, R., 2002. Caracterización Espacial de los Tipos de Cobertura de Suelo usando Técnicas Geoestadísticas a partir de Información Satelital. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105 (1): 40-51.
- Aragón-Briceño, C., Ponce-Caballero, C., Coronado, P.V., Giácoman-Vallejos, G., 2011. Evaluación de un método analítico para la determinación de níquel y plomo en

sedimento de mar por espectroscopia de absorción atómica. *Ingeniería*, 15 (1): 1-8.

Álvarez, H.E. y Argueta, Y.Y., 2006. Manual del ingeniero civil en el manejo de cuencas. Universidad de Oriente. El Salvador.

Arcos, T.I., 2005. Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Arreguín, C.F, Alcocer, Y.V., Marengo, M.H., Cervantes, J.C., Albornoz, G.P. y Salinas, J.M., 2010. El agua en México: cauces y encauces. Capítulo 3: Los retos del agua. Primera edición, Editorial Academia Mexicana de Ciencias, México. Pp. 51-78.

Arizpe, D. y Mendes, A., 2008. Áreas de ribera sostenibles: una guía para su gestión. Generalitat Valenciana. ISBN: 978-84-482-4967-0.

Auquilla, R.C., Astorga, Y. y Jiménez, F., 2005. Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 48:81-92.

Aznar, J.A., 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2 (23): 12-19.

Bejarano, F., 2001. Actualización con los datos de los plaguicidas en México de la lista original publicada en Pesticide News 51 March 2001. *The Journal of Pesticide Action Network UK*. Londres. P. 18-19.

Bernardino, H.H., 2013. Plaguicidas: percepciones de su uso en comunidades rurales de Los Altos de Chiapas. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur. Pp. 192.

- Bhagawart, R. 2011. Application of remote sensing and gis, land use/land cover change in Kathmandu metropolitan city, Nepal. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 23: 80-86.
- Braun-Blanquet, J., 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Editorial Blume, Madrid, España. Pp 820.
- Calderón, C., Aburto, O. y Ezcurra, E., 2009. El valor de los manglares. *CONABIO. Biodiversitas*, 82: 1-6.
- Camacho, R.F., Trejo, I. y Bonfil, C., 2006. Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78: 17-31.
- Campo, A. y Barrera, S., 2005. Estudio de la cinética de oxidación de hierro en sistemas acuosos orientada hacia la absorción de oxígeno. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Campos-Cascaredo, A. y Moreno-Casasola, B., 2009. Breviario para describir, observar y manejar humedales. Capítulo I: Ambiente, tema: Suelos hidromórficos. Serie *Costa Sustentable* no 1. México. Pp 123 – 124.
- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B.J., Piscart, C., Prat, N., Schäfer, R.B. y Schulz, C.J., 2013. Salinisation of rivers: An urgent ecological issue. *Environmental Pollution*, 173:157-167.
- Carabias, J.L., Provencio, E., Maza, E.J. y Hernández, Y.A., 1998. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Pp. 109.

- Carabias, J.L., Provencio, E., Maza, E.J. y Jiménez, G.F., 1999. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera La Encrucijada. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Pp. 185.
- Carbajal-Evaristo, S., 2014. Evaluación del impacto del azolvamiento en La Laguna Cerritos a partir de la canalización del Río Cintalapa. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur, Chiapas.
- Carrasco, O.G. y Castillo, G.M., 2012. Aplicación del análisis factorial (af), en el estudio de la calidad de agua. *Tecnociencia*, 14(2): 101-116.
- Carrasco, J. y Flores, R., 2012. La palma africana especie exótica e invasora en los humedales costeros marinos de la vertiente caribe de Honduras. I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales. Cádiz, España. Pp. 750 - 759.
- Carrie, J., 2004. Manual de manejo de cuencas. Editorial World Vision, El Salvador.
- Castañón, G.J. y Abraján, H.P., 2009. Análisis de la calidad del agua superficial del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Lacandonia*, 3 (2): 67-77.
- Castelan, R, Ruiz, J., Linares, G., Pérez, R. y Tamariz, V. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la Subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, ISSN 0188-4611, 64:75-89.
- Castillo, L.E., Martínez, E., Ruepert, C., Savage, C., Gilek, M., Pinnock, M., Solis, E., 2006. Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limon, Costa Rica. *Science of the total environment*. 367(1): 418-432.

- Castillo, M.M, Morales, H., Valencia, E., Morales, J.J. y Cruz-Motta, J.J, 2012. The effects of human land use on flow regime and water chemistry of headwater streams in the highlands of Chiapas. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 407, 09 (1-17).
- Ceccon, E., 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* 72: 46-53.
- Ceccon, E., 2008. La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1: 21-29.
- Chantes, G.A., Negrete, A.E., Vaca, P.S., Sánchez, A.M. y Vázquez, C.C., 2012. El hierro, elemento metálico importante en la vida y en los procesos infecciosos. *Elementos*, 85: 41-48.
- CONABIO, 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F., México. Pp. 197
- CONABIO, 2012. Regiones hidrológicas prioritarias.
- Conde, D., Arocena, R. y Rodríguez-Gallego, L., (2002). Recursos acuáticos superficiales de Uruguay: ambientes algunas problemáticas y desafíos para la gestión (I y II). *AMBIOS* III (10):5-9 y IV (11): 32-33.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2010. Construcción de obras de protección de los márgenes del río Cacaluta en los municipios de Acacoyagua y Acapetahua, Chiapas. Estudio de impacto ambiental.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2011. Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México.

- Compendio de Información Estadística y Geográfica de Chiapas (ceieg), 2012. Gobierno del Estado de Chiapas. Carta Geográfica de Chiapas.
- Córdova-Carrillo, A., Pérez-Sánchez, E., Rodríguez-Quevedo, F., Ovando-Hidalgo, N. y Zaqueira-Larios, C., 2010. Agroquímicos utilizados en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla: Una afectación indirecta para el Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*). Publicación de la Ujat. Pp 31 – 42.
- Corigliano, M., 2008. Índices para evaluar la calidad ambiental en ríos serranos urbanos mediante indicadores. Revista de la Universidad Nacional de Río Cuarto, 28: 33-54.
- Dimopoulos, P. y Zogaris, S., 2008. Áreas de ribera sostenibles. Capítulo II: Descriptores biológicos. Los ríos como corredores ecológicos, tema: Flora y vegetación de ribera. Editorial Generalitat Valenciana. Pp 66 – 80.
- Elosegi, A. y Sabater, S., 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Capítulo 5: La estructura física de los cauces fluviales. Fundación BBVA. España. Pp. 70 – 84.
- Espinosa-Lloréns, M., León-Hernández, Y. y Rodríguez-Petit, X., 2013. Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 44: 1-12.
- Esteban, P.G., Bolzoni, L., Ruiz-Navas, E.M. y Gordo, E., 2011. Introducción al procesado pulvimetalúrgico del titanio. Revista de Metalurgia, 47(2): 169-187.
- FAO, 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). Capítulo III: los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua.

- Faustino, J., Jiménez, F. y Campos, J.J., 2005. La cogestión de cuencas hidrográficas en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Fernández, L., Rau, J. y Arriagada, A., 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41°20' S; 72°59' W) utilizando el índice QBR. *Gayana Botánica* 66 (2): 269-278.
- Figueroa, J.M., Ibáñez, C.L., Arteaga, R.R., Arellano, M.L. y Vázquez P.M., 2011. Cambio de uso de suelo en la cuenca de San Cristóbal de las Casas, México. *Agrociencia*, 45: 531-544.
- Flores-Verdugo, F. y Agraz, H.C., 2009. Brevario para describir, observar y manejar humedales. Capítulo 1: Ambiente, tema: Determinación de la microtopografía utilizando manguera de nivel. Serie Costa Sustentable no 1. México. Pp 119 – 144.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. y Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309: 570–574.
- Fuentes, A.H., 2013. Estudio experimental de la oxidación de hierro en aguas subterráneas de abastecimiento a través de aireación. Tesis de Licenciatura. Universidad Bio-Bio, Chile.
- Geissen, V., Ramos, F.Q., Bastidas-Bastidas, P., Díaz-González, G., Bello-Mendoza, R., Huerta-Lwanga, E. y Ruiz-Suárez, L.E., 2010. Soil and water pollution in a banana



production region in tropical Mexico. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 85 (4), 407-413.

González, H.L., 2000. Características fisicoquímicas y evaluación de plaguicidas organoclorados en la laguna pampa El Cabildo, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. Pp. 75.

González del Tánago, M., García de Jalón, D., Lara, F. y Garrilleti, R., 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. Madrid, España. Pp. 97-108.

González del Tánago, M. y García de Jalón, D., 2006. Attributes for assessing the environmental quality of riparian zones. *Limnetica*, 25(1-2): 389-402.

González del Tánago, M., y García de Jalón, D., 2011. Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica* 30(2): 235-254.

Grajales, M., De la Piedra, R. y López, J., 2008. Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la parte media y alta de la subcuenca Cohatán, Chiapas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12 (1): 29-44.

Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M.A. y López-Ríos, G.F., 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 55-69.

Guerrero, H.M., 2011. Determinación del efecto del uso del suelo (influencia antropogénica) sobre la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento de la población en la cuenca del río Sarapiquí. Tesis de Maestría. Universidad estatal a distancia, San José, Costa Rica.

- Guillen, A.M, 2004. Impacto antropogénico en la calidad del agua del río Huixtla y la laguna pampa La Cantileña. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chiapas. Pp. 67.
- Gurnell, A., Bertoldi, W. y Corenblit, D., 2012. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. *Earth-Science Reviews*, 111: 129-141.
- Gutiérrez, Y., 2009. Uso del suelo, vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira, Santa Marta, Colombia. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Guzmán, A.M., Peniche, C.S., López, H.M. y Peña, G.L., 2009. Estudios de la cuenca del río Santiago. Un enfoque multidisciplinario. Capítulo: La Calidad del Agua en el Río Santiago. Editorial Paramo. México. PP. 50-57.
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E.M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A.L. y Avelar-González, F.J., 2011. Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río san Pedro en el estado de Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*, 27 (1): 17-32.
- Hernández-Romero, H., Tovilla-Hernández, C., Malo, E. y Bello-Mendoza, R., 2004. Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 1130–1141.
- Herrera, N.J., Rodríguez, C.J., Coto, C.J., Salgado, S.V. y Borbón, A.H., 2013. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26 (1): 28-36.

- Holguín, C., Rubio, H., Olave, M.E., Saucedo, R., Gutierrez, M. y Bautista, R., 2006. Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. *Universidad y Ciencia*, 22 (1): 51-63.
- Ibárcena, F.L., 2011. Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna. *Revista Ciencia y Desarrollo*, 13: 28-35.
- Ingaramo, O.E., Paz, G.A. y Dugo, P.M., 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- International Union of Soil Sciences (IUSS), 2007. Base referencial mundial del recurso suelo. *Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103*. FAO, Roma. Pp. 130.
- Jiménez, F., 2009. Reconocimiento inicial de la cuenca e identificación y caracterización de actores claves. Material de referencia en curso de maestría en manejo y gestión integral de cuencas hidrográficas I. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Jiménez, C.B., Duran, A.J. y Méndez, C.J., 2010. El agua en México: cauces y encauces. Capítulo 10: Calidad. Primera edición, Editorial Academia Mexicana de Ciencias, México. Pp. 265-290.
- Junk, W.J, Bayley, P.B y Sparks, R.E, 1989. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.
- Kutschker, A., Brand, C. y Miserendino, M., 2009. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral* 19:19-34.

- La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO), 2006. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Pp. 41
- Lambin, E., Geist, H. y Lepers, E., 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 205-241.
- Linares, M.R., Tovilla, H.C. y De la Presa, P.J., 2004. Educación ambiental: una alternativa para la conservación del manglar. *Madera y Bosques* 10 (2): 105-114.
- Liotta, J., 2001. Rasgos biológicos de *Salix humboldtiana* Willd y régimen de pulsos de inundación. *Interciencia*, 26 (9): 397-403.
- López, N. y Sandoval, I, 2006. Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa. Documento de trabajo, Sistema de Universidad Virtual, Universidad de Guadalajara.
- López, W., Salinas, E. y Reynoso, R., 2011. Conectividad hídrica entre municipios, cuencas y Reserva de la Biosfera El Triunfo, Chiapas, México. Potencial para la creación de un mercado local de agua. INIFAP/FONCET/CFE. Pp.108.
- Lowrance, R, Williams, G., Inamdar, P., Bosch, D. y Sheridan, M., 2001. Evaluation of coastal plain conservation buffers using the riparian ecosystem management model. *Journal of the American Water Resources Association* 37(6): 1445-1455.
- Lowry, J., 2007. La utilización de programas y datos de SIG de bajo costo para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Informe Técnico de Ramsar núm 2. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

- Luege, T.J., 2005. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Estadística e Información Ambiental.
- Madroñero, P.S. y Jiménez O.F., 2006. Manejo del recurso hídrico y estrategias de gestión integral en la microcuenca del río Mijitayo, Colombia. Recursos Naturales y Ambiente, 56-57: 51-58.
- Magdaleno, M. F., 2000. Estructura y composición de la vegetación de ribera. Evolución de los bosques riparios en el Ebro Medio. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas - CEDEX (Ministerio de Fomento – Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).
- Magdaleno, F., Martínez, R. y Roch, V., 2010. Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. Ingeniería Civil, 157: 85-96.
- Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) Modalidad Particular Mina Cristina, s/f. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Pp 147.
- Marcial, J.R., 2011. Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en los servicios ambientales hidrológicos de la comunidad de Capulálpam de Méndez. Tesis de Licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, México.
- Martínez, J. y Díaz, A., 2005. Percepción Remota. Fundamentos de Teledetección Espacial. Comisión Nacional del Agua. Jefatura de control cartográfico. Pp. 62.
- Mas, J.F., Velázquez, A. y Couturier, S., 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana. Investigación Ambiental 1 (1): 23-39.
- Medina-Díaz, C., Velázquez-Fernández, B., Girón-Pérez, M., Quintanilla-Vega, B., Ostrosky-Wegman, P., Pérez-Herrera, N., Rojas-García, N., 2010. Patrón de uso y

venta de plaguicidas en Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26 (3): 221-228.

Molina, P.X., Rodríguez, B.X. y Aránguiz, A.A., 2010. Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua. Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). Santiago, Chile. Pp 69.

Montoya, J.V., Castillo, M.M. y Sánchez, L., 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: Estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia*, 36 (12): 900-907.

Moro, E.C., Ingaramo, O.E., Venialgo, C.A. y Gutierrez, N.C., 2005. Infiltración en un argiustol udico con diferentes sistemas de uso en el Departamento 9 de Julio – Chaco. *Agrotecnia* 14: 14 – 18.

Munné, A., Solá, C. y Prat, N., 1998. QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.

Muñoz, V.L., Equihua, Z.M., Tobón, C. y Gutiérrez, M.J., 2003. Efectos del uso del suelo en la hidrología de cuencas de montaña del centro oriente de México. Proyecto de investigación a cargo del Instituto de Ecología A.C. (num SEP-2003-C02-43082).

Naiman, R.J., Bilby, R.E. y Bisson, P.A., 2000. Riparian ecology and management in the pacific coastal rain forest. *BioScience*, 50 (11): 996-1011.

Nájera, G.O., Bojórquez, S.J., Cifuentes, L.J. y Marceleño, F.S., 2010. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Biociencias*, 1 (1): 19-29.

Navarrete, D., Méndez, D., Flamenco, A. y Alba, P., 2010. Los bosques de mesófilos de montaña en Chiapas. Situación actual, diversidad y conservación. Capítulo: Situación actual, fragmentación, áreas prioritarias de conservación y principales amenazas del bosque mesófilo en Chiapas. Unicach. Pp 295.

Norma Mexicana NMX-AA-099-SCFI-2006. Análisis de agua – Determinación de Nitrógeno de Nitritos en aguas naturales y residuales – Métodos de prueba.

Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.

Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de agua - Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

Olivencia, Y., Sánchez, M. y José, J., 2006. Los sig en el análisis y el diagnóstico del paisaje: el caso de río Guadix (Parque Nacional de Sierra Nevada). Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada, 39:103-124.

Orozco, G.J., Gutierrez, C.J., Juan, P.J. y Balderas, P.M., 2011. Cambio de uso de suelo en una microcuenca del altiplano mexicano. Papeles de Geografía, núm. 53-54: 125-135.

Palma, A., Figueroa, R. y Ruiz, V., 2009. Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. Gayana 73(1): 57-63.

Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J., Vicas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimezcuéllar, P., Moya, G., Prat, N., Robles, S., Suarez, M., Toro, M. y Vidal-

- Abarca, M., 2002. El habitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de habitat. *Limnetica* 21: 115-132.
- Pedrerros, P., Guevara, M., Figueroa, R., Araneda, A., Stehrl, A., Link, O. y Urritia, R., 2013. Comportamiento térmico en ríos mediterráneos andinos de la zona centro-sur de Chile. *Limnetica*, 32 (1): 87-96.
- Petit, C., Scudder, T. y Lambin, E., 2001. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. *International Journal of Remote Sensing*, 22: 3435-3456.
- Prat, N., Munné, A., Rieradevall, M., Solà, C. y Bonada, N., 2000. Ecostrimed. Protocolo para determinar el estatus de calidad de los ríos mediterráneos. Estudio de la calidad ecológica de los ríos, 8. Barcelona, Área de medio ambiente. Pp. 94.
- Puerta, T.R., Rengifo, T.J. y Bravo, M.N., 2011. Manual de ArcGis 10. Universidad Nacional Agraria de La Selva, Tingo María, Perú. Pp. 148.
- Quevedo, C.J., 2008. Análisis y evaluación de las franjas ribereñas y de los usos adyacentes en la microcuenca del río Toila, subcuenca del río Matanzas, Guatemala. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Ramos-Reyes, R., Palma-López, D.J., Ortiz-Solorio, C.A., Ortiz-García, C.F. y Díaz-Padilla, G., 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *TERRA Latinoamericana*, 22 (3): 267-278.



- Raven, P., Holmes, N., Dawson, H. y Everard, M., 1998. Quality assessment using River Habitat Survey data. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems*, 8: 405-424.
- Red Internacional de Organismos de Cuencas (RIOC). 2007. La carta de la RIOC No. 16. Séptima asamblea general de la RIOC realizada en Decrecen, Hungría.
- Reyes, B.M. y Sánchez, G.C., 2012. Red de Áreas Naturales Protegidas Comunitarias y Servicios Ambientales en Chiapas. Instituto para el Desarrollo Sustentable de Mesoamérica, A.C. (IDESMAC). Pp. 67.
- Ríos, G.A., 2013. Uso de modelos predictivos y conceptuales para la evaluación ambiental y el análisis de la percepción de riesgo por uso de plaguicidas: Una opción para el manejo de riesgos en Chiapas. Tesis de Doctorado. El Colegio de la Frontera Sur. Pp. 163.
- Roblero, M.M., 2011. El despertar de la serpiente, La Sierra Madre de Chiapas en riesgo: extracción minera y comunidades en resistencia en Chicomuselo, Chiapas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp. 214.
- Rodríguez, E.J., 2006. Dinámica del agua en la cuenca del río Cintalapa, Soconusco, Chiapas. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Tapachula. México.
- Rodríguez-Pérez, J.R., González-Vázquez, X.P. y Arias-Sánchez, P., 2013. Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial. Departamento de Ingeniería Minera. Universidad de León, Astorga, España. Pp. 11.

- Rodríguez-Téllez, E., Domínguez-Calleros, A., Pompa-García, M., Quiroz-Arratia, J. y Pérez, L.M., 2012. Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Botánica*, 69 (1): 147-151.
- Rojas, J.M., 2009. Comparación de métodos de determinación de densidad aparente en ensayo de rotaciones en siembra directa. Estación Experimental Agropecuarias Sáenz Peña. Argentina.
- Romero, M., 2010. Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Revista Ingeniería Primero*, 17: 64 -74
- Rosete, V.F., Pérez, D.J. y Bocco, G., 2008. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. ISSN 0188-4611, 67:39-58.
- Rosete, V.F., Pérez, D.J. y Bocco, G., 2009. Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental* 1 (1): 70-82.
- Ruelas, M.L., Chávez, C.M., Barradas, M.V., Octaviano, Z.A y García, C.L, 2010. El agua en México: cauces y encauces. Capítulo 9: Uso ecológico. Primera edición, Editorial Academia Mexicana de Ciencias, México. Pp. 237-264.
- Ruiz, E.F., Venialgo, C.A., Gutiérrez, N.C., Ingaramo, O. y Briend, M.C., 2004. Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Salazar, L.N. y Aldana, M.M., 2011. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *BIOtecnia / XIII* (2): 23-28.

- Sánchez, V.G., Obrador, O.J., Palma-López, D. y Salgado, G.S, 2003. Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas. *Interciencia* 28(6): 347 – 351.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V. y Woolmer, G., 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, 52: 891–904.
- Sanfiozenzo, A., DeClerck, F., Benjamin, T. y Velásquez, S., 2011. Conectividad funcional para los géneros de aves Trogon, Icterus y Dendroica en el paisaje de la subcuenca del río Copán, Honduras. *Agroforestería en las Américas* (48): 54-64.
- Secretaría de Economía (SE), 2013. Perfil de mercado del Hierro – Acero. Dirección General de Desarrollo Minero. Pp. 64.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Pp. 382.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE, 1989). Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89.
- Shi, D. y Wang, W., 2004. Understanding the differences in Cd and Zn Bioaccumulation and Subcellular storage among different populations of marine Clams. *Environmental Science and Technology*, 38: 449-456.
- Sistema Geológico Mexicano (SGM), 2013. Panorama Minero del Estado de Chiapas. Pp. 1-43.
- Solís, G.G., Villalba, A.A., Nubes, O.G., Castillo, A.J. y Meraz, A.F., 2011. Físico-química del agua superficial y sedimento en el río Santa Cruz, Sonora, México. *BIOTecnia*, 1: 3-9.

- Suaréz, A y Vidal-Abarca, G., 2000. Aplicación del índice del bodque de ribera, QBR (Munné et al., 1998) a los cauces fluviales de la cuenca del río Segura. *Tecnología del Agua*, 33-45.
- Suárez-Pirez, 2011. Estudio comparativo de ecosistemas loticos de cuencas con usos agropecuarios contrastantes mediante fraccionamiento isotópico de Carbono y Nitrógeno. Tesis de Licenciatura. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Montevideo, Uruguay.
- Suarez, M., Vidal-Abarca, M., Sánchez-Montoya, M., Alba-Tercedor, Alvarez, M., Avilés, J., Bonada, N., Casas, J., Jimenez-Cuéllar, P., Munné, A., Pardo, I., Prat, N., Rieradevall, M., Salinas, M., Toro, M. y Vivas, S., 2002. Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica* 21(3-4): 135-148.
- Teixeira, M.F., 2007. Efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua y las comunidades de peces en sistemas lóticos de la cuenca baja del río Santa Lucía, Uruguay. Tesis de Maestría. Universidad de la República, Uruguay.
- Tovilla H. C. 2005. Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la costa de Chiapas. *Ecofronteras*, 25: 5-8.
- Turno-Orellano, H.A., Isla, F.I. y Juárez, V.I., 2003. Implementación de un SIG en la evaluación de la aptitud para prácticas forestales en el litoral bonaerense. *Boletín Paranaense de Geociencias*, 53: 27-34.
- Valderrama, C.L., 2008. Concentración de minerales de Titanio contenidos en las arenas de playas de la región de Atacama-Chile. *IDICTEC*, 1: 119-130.

- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. y Cushing, C.E., 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.
- Vargas, M.F., Escobar, S. y Rosendo, A., 2000. Áreas naturales protegidas de México con decretos federales (1899-2000). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría De Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Red para el Desarrollo Sostenible, A.C. Pp. 866.
- Vásquez, S.M., 2008. Zonas afectadas por el huracán Stan en las regiones Istmo-Costa, Sierra y Soconusco. CONACYT-Cocytech, 1<sup>ra</sup> Edición. Pp. 340.
- Vidal-Abarca, M. y Suárez, A.M., 2012. Evaluación de los ecosistemas del milenio de España. Capítulo 10: Ríos y riberas. Universidad de Murcia, España.
- Williams, L.G., Manson, R.H. y Isunza, V.E., 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 8 (1): 73-89.
- Zalewski, M. y Robarts, R., 2003. La Ecohidrología: un nuevo paradigma para el manejo integrado de los recursos hídricos. *Sil News* (Sociedad internacional de Limnología) Volumen 40.

## Anexos.

### Anexo I. Lista de especies de flora encontradas en la ribera del río Cacaluta, Chiapas.

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
1	<i>Entadopsis polystachya</i>	Fabaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
2	<i>Acacia cornigera</i>	Fabaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
3	<i>Acacia pringlei</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
4	<i>Acalypha arvensis</i>	Euphorbiaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
5	<i>Acalypha macrostachya</i>	Euphorbiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
6	<i>Acanthocereus tetragonus</i>	Cactaceae	Cactus	Selva Baja Espinosa Caducifolia
7	<i>Achyranthes aspera</i>	Amaranthaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
8	<i>Acrocomia mexicana</i>	Arecaceae	Palma	Selva Baja Espinosa Caducifolia
9	<i>Acrostichum aureum</i>	Adiantaceae	Helecho	Manglar
10	<i>Adiantopsis radiata</i>	Adiantaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
11	<i>Adiantum caudatum</i>	Adiantaceae	Helecho	Bosque mesófilo de Montaña
12	<i>Adiantum princeps</i>	Adiantaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
13	<i>Ageratina atrocordata</i>	Asteraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
14	<i>Alibertia edulis</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
15	<i>Alnus arguta</i>	Betulaceae	Árbol	Bosque de galería
16	<i>Amaranthus hybridus</i>	Amaranthaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
17	<i>Amaranthus spinosus</i>	Amaranthaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
18	<i>Andira inermis</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
19	<i>Andropogon gayanus</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
20	<i>Andropogon glomeratus</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
21	<i>Annona cherimola</i>	Annonaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
22	<i>Apeiba tibourbou</i>	Tiliaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
23	<i>Aphelandra scabra</i>	Acanthaceae	Arbusto	Riparia modificada

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
24	<i>Asclepias curassavica</i>	Asclepidaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
25	<i>Aspidosperma megalocarpon</i>	Apocynaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
26	<i>Astronium graveolens</i>	Anacardaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
27	<i>Attalea cohune</i>	Arecaceae	Palma	Selva Mediana Subperennifolia
28	<i>Avicenia germinans</i>	Verbenaceae	Mangle	Manglar
29	<i>Balmea stornae</i>	Rubiaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
30	<i>Bauhinia herrerae</i>	Fabaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
31	<i>Bauhinia unguolata</i>	Fabaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
32	<i>Begonia calderonii</i>	Begoniaceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia
33	<i>Begonia philodendroides</i>	Begoniaceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia
34	<i>Belotia mexicana</i>	Tiliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
35	<i>Bernoullia flammea</i>	Bombacaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
36	<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
37	<i>Bixa orellana</i>	Bixaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
38	<i>Blechnum occidentale</i>	Polypodiaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
39	<i>Blepharodon mucronatum</i>	Asclepidaceae	Trepadora	Potrero
40	<i>Boehmeria cylindrica</i>	Urticaceae	Hierba	Riparia modificada
41	<i>Boehmeria nivea</i>	Urticaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
42	<i>Bomarea hirtella</i>	Liliaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
43	<i>Bouteloua gracilis</i>	Poaceae	Graminea	Potrero
44	<i>Bouvardia dictyoneura</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
45	<i>Brosimum alicastrum</i>	Moraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
46	<i>Bunchosia lanceolata</i>	Malpighiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
47	<i>Bursera simaruba</i>	Burseraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
48	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Malpighiaceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
49	<i>Byttneria aculeata</i>	Malvaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
50	<i>Calathea lutea</i>	Maranthaceae	Hierba	Riparia modificada

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
51	<i>Calliandra grandiflora</i>	Fabaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
52	<i>Calliandra rubescens</i>	Fabaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
53	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Clusiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
54	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Rubiaceae	Árbol	Bosque de galería
55	<i>Canavalia brasiliensis</i>	Fabaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
56	<i>Canavalia hirsuta</i>	Fabaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
57	<i>Capparis flexuosa</i>	Capparaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
58	<i>Carica cauliflora</i>	Caricaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
59	<i>Carpinus caroliniana</i>	Betulaceae	Árbol	Bosque de galería
60	<i>Casearia arguta</i>	Flacourtiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
61	<i>Casearia corymbosa</i>	Flacourtiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
62	<i>Casearia sylvestris</i>	Flacourtiaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
63	<i>Cassia alata</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
64	<i>Castilla elastica</i>	Moraceae	Árbol	Bosque de galería
65	<i>Catharanthus roseus</i>	Apocynaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
66	<i>Cecropia obtusifolia</i>	Cecropiaceae	Árbol	Bosque de galería
67	<i>Ceiba pentandra</i>	Malvaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
68	<i>Celastrus chiapensis</i>	Celastraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
69	<i>Celastrus vulcanicola</i>	Celastraceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
70	<i>Celtis aff caudata</i>	Ulmaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
71	<i>Celtis iguanaea</i>	Cannabaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
72	<i>Cestrum elegantissimus</i>	Solanaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
73	<i>Cestrum luteovirescens</i>	Solanaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
74	<i>Cestrum nocturnum</i>	Solanaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
75	<i>Chamaedorea elegans</i>	Arecaceae	Palma	Selva Mediana Subperennifolia
76	<i>Chamaedorea pinnatifrons</i>	Arecaceae	Palma	Selva Mediana Subperennifolia



N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
77	<i>Chamaedorea quetzalteca</i>	Arecaceae	Palma	Selva Mediana Subperennifolia
78	<i>Chamaedorea tepejilote</i>	Arecaceae	Palma	Selva Mediana Subperennifolia
79	<i>Chomelia protracta</i>	Rubiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
80	<i>Chrysobalanus Icaco</i>	Chrysobalanaceae		Selva Mediana Subperennifolia
81	<i>Cissus cacuminis</i>	Vitaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
82	<i>Cissus erosa</i>	Vitaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
83	<i>Cleome viscosa</i>	Cleomaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
84	<i>Clethra hartwegii</i>	Clethraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
85	<i>Clethra mexicana</i>	Clethraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
86	<i>Clethra suaveolens</i>	Clethraceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
87	<i>Cleyera theaeoides</i>	Theaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
88	<i>Clusia guatemalensis</i>	Clusiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
89	<i>Clusia salvinii</i>	Clusiaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
90	<i>Coccoloba barbadensis</i>	Polygonaceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
91	<i>Coccoloba caracasana</i>	Polygonaceae	Árbol	Potrero
92	<i>Coccoloba escuintlensis</i>	Polygonaceae		Potrero
93	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Cochlospermaceae	Árbol	Bosque de galería
94	<i>Conostegia volcanalis</i>	Melastomataceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
95	<i>Conostegia xalapensis</i>	Melastomataceae	Árbol	Bosque de galería
96	<i>Conyza canadensis</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
97	<i>Cordia alliodora</i>	Boraginaceae	Árbol	Potrero
98	<i>Costus spicatus</i>	Zingiberaceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia
99	<i>Couepia polyandra</i>	Rosaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
100	<i>Croton guatemalensis</i>	Euphorbiaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
101	<i>Cupania aff. Macrophylla</i>	Sapindaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
102	<i>Cupania dentata</i>	Sapindaceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
103	<i>Cupressus lindleyi</i>	Cupressaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
104	<i>Cyathea divergens</i>	Cyatheaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
105	<i>Cymbopetalum stenophyllum</i>	Annonaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
106	<i>Cynodon plectostachyus</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
107	<i>Cyperus gigante</i>	Cyperaceae	Hierba	Manglar
108	<i>Cyperus hermaphroditus</i>	Cyperaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
109	<i>Cyperus laxus</i>	Cyperaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
110	<i>Cyperus matudae</i>	Cyperaceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia
111	<i>Dactylis glomerata</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
112	<i>Dalbergia retusa</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
113	<i>Dendropanax arboreus</i>	Araliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
114	<i>Dendropanax pallidus</i>	Araliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
115	<i>Desmodium cordistipulum</i>	Fabaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
116	<i>Desmodium incanum</i>	Fabaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
117	<i>Desmodium tortuosum</i>	Fabaceae	Arbusto	Riparia modificada
118	<i>Desmodium villosa</i>	Fabaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
119	<i>Desmopsis lanceolata</i>	Annonaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
120	<i>Digitaria decumbens</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
121	<i>Digitaria sp</i>	Poaceae	Graminea	Potrero
122	<i>Dioscorea bulbifera</i>	Dioscoreaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
123	<i>Dioscorea densiflora</i>	Dioscoreaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
124	<i>Dioscorea floribunda</i>	Dioscoreaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
125	<i>Dipholis minutiflora</i>	Zapotaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
126	<i>Diphysa robinoides</i>	Fabaceae	Árbol	Potrero
127	<i>Dodonaea viscosa</i>	Sapindaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
128	<i>Emilia sonchifolia</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
129	<i>Entadopsis polystachya</i>	Fabaceae	Bejuco	Selva Baja Espinosa Caducifolia
130	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
131	<i>Eugenia biflora</i>	Myrtaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
131	<i>Eugenia biflora</i>	Myrtaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
132	<i>Eugenia capuli</i>	Myrtaceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
133	<i>Euphorbia scabrella</i>	Euphorbiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
134	<i>Exothea paniculata</i>	Sapindaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
135	<i>Faramea occidentalis</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
136	<i>Festuca arundinacea</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
137	<i>Ficus cookii</i>	Moraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
138	<i>Ficus glabrata</i>	Moraceae	Árbol	Bosque de galería
139	<i>Ficus maxima</i>	Moraceae	Árbol	Bosque de galería
140	<i>Ficus obtusifolia</i>	Moraceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
141	<i>Ficus padifolia</i>	Moraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
142	<i>Forchameria matudae</i>	Capparaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
143	<i>Forchameria trifoliata</i>	Capparaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
144	<i>Funastrum clausum</i>	Asclepidaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
145	<i>Gaultheria acuminata</i>	Ericacea	Arbusto	Bosque mesofilo de Montaña
146	<i>Genipa americana</i>	Rubiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
147	<i>Geonoma seleri</i>	Areceaceae	Palma	Bosque mesofilo de Montaña
148	<i>Glossostipula concinna</i>	Rubiaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
149	<i>Glicidia sepium</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
150	<i>Gnaphalium roseum</i>	Asteraceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
151	<i>Godmania aescuifolia</i>	Bignoniaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
152	<i>Gonolobus barbatus</i>	Asclepidaceae	Bejuco	Selva Baja Espinosa Caducifolia
153	<i>Gonolobus chiapensis</i>	Asclepidaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
154	<i>Gouania polygama</i>	Rhamnaceae	Trepadora	Bosque de galería
155	<i>Gronovia scandens</i>	Loasaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
156	<i>Guarea glabra</i>	Meliaceae	Árbol	Bosque de galería
157	<i>Guarea grandifolia</i>	Meliaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
158	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Sterculaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
159	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Baja Espinosa Caducifolia
160	<i>Hamelia patens</i>	Rubiaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
161	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Bignoniaceae	Árbol	Potrero
162	<i>Heliconia latispatha</i>	Heliconiaceae	Hierba	Riparia modificada
163	<i>Helicteres guazumifolia</i>	Sterculaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
164	<i>Heliocarpus appendiculatus</i>	Malvaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
165	<i>Heliotropium angiospermum</i>	Borraginaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
166	<i>Herissantia crispa</i>	Malvaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
167	<i>Heteropterys laurifolia</i>	Malpighiaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
168	<i>Hiptis urticoides</i>	Lamiaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
169	<i>Hirtella racemosa</i>	Rosaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
170	<i>Hoffmannia angustifolia</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
171	<i>Hoffmannia quadrifolia</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
172	<i>Hydrocotyle mexicana</i>	Apiaceae	Hierba	Bosque mesofilo de Montaña
173	<i>Hymenaea courbaril</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
174	<i>Hypharrehnia ruffa</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
175	<i>Hyptis brevipes</i>	Lamiaceae	Hierba	Riparia modificada

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
176	<i>Hyptis capitata</i>	Lamiaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
177	<i>Indigofera hirsuta</i>	Fabaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
178	<i>Inga fagifolia</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
179	<i>Inga laurina</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
180	<i>Inga micheliana</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
181	<i>Inga Sapiniodes</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
182	<i>Inga vera</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
183	<i>Ipomoea alba</i>	Convolvulaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
184	<i>Ipomoea alba</i>	Convolvulaceae	Trepadora	Riparia modificada
185	<i>Ipomoea lindelli</i>	Convolvulaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
186	<i>Ipomoea quamoclit</i>	Convolvulaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
187	<i>Iresine celosia</i>	Amaranthaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
188	<i>Iresine diffusa</i>	Amaranthaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
189	<i>Iresine heterophylla</i>	Amaranthaceae	Hierba	Potrero
190	<i>Jacquinia aurantiaca</i>	Theophrastaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
191	<i>Jatropha curcas</i>	Euphorbiaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
192	<i>Justicia breviflora</i>	Acanthaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
193	<i>Kallstroemia rosei</i>	Zygophyllaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
194	<i>Laguncularia racemosa</i>	Combretaceae	Mangle	Manglar
195	<i>Lasiacis nigra</i>	Poaceae	Pasto	Riparia modificada
196	<i>Lasiacis procerrima</i>	Poaceae	Pasto	Vegetación Secundaria
197	<i>Licania arborea</i>	Chrysobalanaceae	Árbol	Potrero
198	<i>Licaria sp.</i>	Lauraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
199	<i>Litsea glaucescens</i>	Lauraceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
200	<i>Lobelia laxiflora</i>	Campanulaceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
201	<i>Loeselia glandulosa</i>	Polemoniaceae	Hierba	Vegetación Secundaria

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
202	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
203	<i>Lopezia racemosa</i>	Oleaceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
204	<i>Lozanella enantiophylla</i>	Ulmaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
205	<i>Ludwigia octovalvis</i>	Onagraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
206	<i>Luehea candida</i>	Tiliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
207	<i>Iuffa cylindrica</i>	Cucurbitaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
208	<i>Lycianthes arrazolensis</i>	Solanaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
209	<i>Lycianthes ocellata</i>	Solanaceae	Hierba	Selva Baja Espinosa Caducifolia
210	<i>Lycianthes tricolor</i>	Solanaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
211	<i>Lysiloma divaricatum</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
212	<i>Machaerium riparium</i>	Fabaceae	Trepadora	Bosque de galería
213	<i>Macherium aff. chiapaensis</i>	Fabaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
214	<i>Malpighia glabra</i>	Malpighiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
215	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Malvaceae	Bejuco	Selva Baja Espinosa Caducifolia
216	<i>Malvaviscus lanceolata</i>	Malvaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
217	<i>Mandevilla aff. rosana</i>	Apocynaceae	Trepadora	Bosque mesófilo de Montaña
218	<i>Mandevilla subsagittata</i>	Apocynaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
219	<i>Maranta gibba</i>	Marantaceae	Hierba	Vegetación acuática
220	<i>Marathrum foeniculaceum</i>	Podostemaceae	Hierba	Vegetación acuática
221	<i>Marsdenia aff. bourgeana</i>	Asclepidaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
222	<i>Mateleia aff. velutina</i>	Asclepidaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
223	<i>Matudea trinervia</i>	Hammamelidaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
224	<i>Melanthera nivea</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
225	<i>Melinis minutiflora</i>	Poaceae	Pasto	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
226	<i>Melinis repens</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
227	<i>Melothria pendula</i>	Cucurbitaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
228	<i>Mentzelia hispida</i>	Loasaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
229	<i>Miconia argentea</i>	Melastomataceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
230	<i>Miconia glaberrima</i>	Melastomataceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
231	<i>Miconia globulifera</i>	Melastomataceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
232	<i>Miconia mexicana</i>	Melastomataceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
233	<i>Mikania pyramidata</i>	Asteraceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
234	<i>Mimosa albida</i>	Fabaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
235	<i>Mimosa pigra</i>	Fabaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
236	<i>Mimosa pudica</i>	Fabaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
237	<i>Mimosa sensitiva</i>	Fabaceae	Hierba	Riparia modificada
238	<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
239	<i>Mucuna pruriens</i>	Fabaceae	Trepadora	Riparia modificada
240	<i>Mucuna urens</i>	Fabaceae	Bejuco	Selva Baja Espinosa Caducifolia
241	<i>Myrica cerifera</i>	Myricaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
242	<i>Myriocarpa longipes</i>	Urticaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
243	<i>Myrsine juergensenii</i>	Myrsinaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
244	<i>Nectandra Coriacea</i>	Lauraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
245	<i>Nectandra sinuata</i>	Lauraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
246	<i>Odontadenia puncticulosa</i>	Apocynaceae	Trepadora	Selva Baja Espinosa Caducifolia
247	<i>Odontonema tubaeforme</i>	Acanthaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
248	<i>Oreopanax peltatus</i>	Araliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
249	<i>Oreopanax Xalapensis</i>	Araliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
250	<i>Ormosia macrocalyx</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
251	<i>Orthosanthus climborascens</i>	Iridaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
252	<i>Ouratea Lucens</i>	Ochnaceae	Árbol	Bosque de galería
253	<i>Pachyrhizus erosus</i>	Fabaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
254	<i>Pachyrhizus ferrugineus</i>	Fabaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
255	<i>Palicourea padifolia</i>	Rubiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
256	<i>Panicum maximum</i>	Poaceae	Pasto	Riparia modificada
257	<i>Parathesis nigropunctata</i>	Myrsinaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
258	<i>Parmentiera edulis</i>	Bignoniaceae	Árbol	Potrero
259	<i>Pasiflora foetida</i>	Passifloraceae	Trepadora	Selva Baja Espinosa Caducifolia
260	<i>Paspalum sp</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
261	<i>Passiflora biflora</i>	Passifloraceae	Trepadora	Selva Baja Espinosa Caducifolia
262	<i>Passiflora foetida</i>	Passifloraceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
263	<i>Passiflora membranacea</i>	Passifloraceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
264	<i>Passiflora Sexflora</i>	Passifloraceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
265	<i>Paullinia pinnata</i>	Sapindaceae	Trepadora	Selva Baja Espinosa Caducifolia
266	<i>Pennisetum purpureum</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
267	<i>Persea liebmanni</i>	Lauraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
268	<i>Petiveria alliacea</i>	Phytolaccaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
269	<i>Phenax hirtus</i>	Urticaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
270	<i>Phoebe siltepecana</i>	Lauraceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
271	<i>Phyllanthus cf. elsiae</i>	Phyllantaceae	Árbol	Manglar
272	<i>Picramnia matudae</i>	Simaroubaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
273	<i>Pilea aff. auriculata</i>	Urticaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
274	<i>Pilea pubescens</i>	Urticaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
275	<i>Pinus oocarpa</i>	Pinaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña



N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
276	<i>Piper aduncum</i>	Piperaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
277	<i>Piper auritum</i>	Piperaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
278	<i>Piper glabrescens</i>	Piperaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
279	<i>Piper hispidum</i>	Piperaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
280	<i>Piper uspantanense</i>	Piperaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
281	<i>Pithecellobium arboreum</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
282	<i>Pithecellobium dulce</i>	Fabaceae	Árbol	Bosque de galería
283	<i>Platymiscium dimorphandrum</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
284	<i>Platymiscium pinnatum</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
285	<i>Pleopeltis angusta</i>	Polypodiaceae	Helecho	Bosque mesófilo de Montaña
286	<i>Pleopeltis astrolepis</i>	Polypodiaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
287	<i>Plumeria rubra</i>	Apocynaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
288	<i>Podocarpus matudae</i>	Podocarpaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
289	<i>Poeppigia procera</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
290	<i>Polanisia uniglandulosa</i>	Capparaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
291	<i>Polypodium furfuraceum</i>	Polypodiaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
292	<i>Pouteria campechiana</i>	Zapotaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
293	<i>Pouteria sapota</i>	Sapotaceae	Árbol	Bosque de galería
294	<i>Prestonia grandiflora</i>	Apocynaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
295	<i>Prosopis juliflora</i>	Fabaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
296	<i>Prunus tetradenia</i>	Rosaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
297	<i>Pseudobombax ellipticum</i>	Malvaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
298	<i>Psichotria skutchii</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
299	<i>Psichotria patens</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
300	<i>Psychotria quinqueradiata</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
301	<i>Pteris orisabae</i>	Adiantaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
302	<i>Quamoclit lutea</i>	Convulvulaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
303	<i>Quercus salicifolia</i>	Fagaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
304	<i>Quercus skinneri Benth</i>	Fagaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
305	<i>Randia grandifolia</i>	Rubiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
306	<i>Randia tetracantha</i>	Rubiaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
307	<i>Rhacoma aff. riparia</i>	Celastraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
308	<i>Rhamnus sharpii</i>	Rhamnaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
309	<i>Rheedia edulis</i>	Clusiaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
310	<i>Rhizophora mangle</i>	Rhizophoraceae	Mangle	Manglar
311	<i>Rhynchosia amabilis</i>	Fabaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
312	<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
313	<i>Rizophora harrisonii</i>	Rhizophoraceae	Mangle	Manglar
314	<i>Robinsonella speciosa</i>	Malvaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
315	<i>Rollinia jmenezii</i>	Annonaceae	Árbol	Bosque de galería
316	<i>Rondeletia albida</i>	Rubiaceae	Árbol	Bosque mesófilo de montaña
317	<i>Rourea glabra</i>	Connaraceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
318	<i>Ruellia matagalpae</i>	Acanthaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
319	<i>Ruellia nudiflora</i>	Acanthaceae	Hierba	Riparia modificada
320	<i>Russelia sarmentosa</i>	Scrophulariaceae	Hierba	Potrero
321	<i>Rytidostylis gracilis</i>	Cucurbitaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
322	<i>Sabal mexicana</i>	Arecaceae	Palma	Selva Baja Espinosa Caducifolia
323	<i>Salix humboldtiana</i>	Salicaceae	Árbol	Riparia modificada
324	<i>Salvia infuscata</i>	Lamiaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
324	<i>Salvia infuscata E</i>	Lamiaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
325	<i>Samanea saman</i>	Fabaceae	Árbol	Potrero
326	<i>Sambucus mexicana</i>	Caprifoliaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
327	<i>Sapium macrocarpum</i>	Euphorbiaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
328	<i>Saurauia kegeliana</i>	Actinidaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
329	<i>Saurauia madrensis</i>	Actinidaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
330	<i>Saurauia matudae</i>	Actinidaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
331	<i>Schizolobium parahyba</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
332	<i>Scleria lacustris</i>	Cyperaceae	Hierba	Manglar
333	<i>Sclerocarpus uniserialis</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
334	<i>Scutellaria orizabensis</i>	Lamiaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
335	<i>Senecio cobanensis</i>	Asteraceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
336	<i>Senecio grandifolius</i>	Asteraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
337	<i>Senecio uspatensis</i>	Asteraceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
338	<i>Senna reticulata</i>	Fabaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
339	<i>Serjania mexicana</i>	Sapindaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
340	<i>Serjania racemosa</i>	Sapindaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
341	<i>Sesbania herbaceae</i>	Fabaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
342	<i>Setaria sp</i>	Poaceae	Pasto	Potrero
343	<i>Sida acuta</i>	Malvaceae	Hierba	Riparia modificada
344	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
345	<i>Siegesbeckia agrestis</i>	Asteraceae	Hierba	Selva Mediana Subperennifolia
346	<i>Siegesbeckia sp</i>	Asteraceae	Hierba	Potrero
347	<i>Sloanea ampla</i>	Eleocarpaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
348	<i>Smilacina scilloides</i>	Liliaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
349	<i>Smilax domingensis</i>	Smilacaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
350	<i>Smilax mollis</i>	Smilacaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
351	<i>Smilax purpusii</i>	Smilacaceae	Trepadora	Bosque mesófilo de Montaña
352	<i>Solanum appendiculatum</i>	Solanaceae	Trepadora	Bosque mesófilo de Montaña
353	<i>Solanum diphyllum</i>	Solanaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
354	<i>Solanum nigrescens</i>	Solanaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
355	<i>Solanum quitoense</i>	Solanaceae	Hierba	Riparia modificada
356	<i>Solanum wendlandii</i>	Solanaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
357	<i>Spermacoce latifolia</i>	Rubiaceae	Hierba	Potrero
358	<i>Spondias mombin</i>	Anacardaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
359	<i>Sporobolus indicus</i>	Poaceae	Pasto	Selva Mediana Subperennifolia
360	<i>Stemmadenia donnell-Smithii</i>	Apocynaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
361	<i>Stemmadenia galeottiana</i>	Apocynaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
362	<i>Stemmadenia obovata</i>	Apocynaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
363	<i>Sterculia apetala</i>	Sterculiaceae		Selva Mediana Subperennifolia
364	<i>Stevia Chiapensis</i>	Asteraceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
365	<i>Stizolobium pruriens</i>	Fabaceae	Bejuco	Vegetación Secundaria
366	<i>Styrax glabrescens</i>	Styracaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
367	<i>Swartzia simplex</i>	Fabaceae	Arbusto	Bosque de galería
368	<i>Swietenia humilis</i>	Meliaceae	Árbol	Potrero
369	<i>Symplocos flavifolia</i>	Symplocaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
370	<i>Symplocos hartwegii</i>	Symplocaceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
371	<i>Tabebuia donnell-smithii</i>	Bignoniaceae	Árbol	Potrero
372	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	Árbol	Potrero
373	<i>Tapirira mexicana</i>	Anacardaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
374	<i>Terminalia amazonia</i>	Combretaceae	Árbol	Bosque de galería

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
375	<i>Ternstroemia tepezapote</i>	Theaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
376	<i>Thalia geniculata</i>	Marantaceae	Hierba	Vegetación acuática
377	<i>Thelypteris hispidula</i>	Aspleniaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
378	<i>Thelypteris imbrincata</i>	Thelypteridaceae	Helecho	Selva Mediana Subperennifolia
379	<i>Thevetia peruviana</i>	Apocynaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
380	<i>Tibouchina longiflora</i>	Melastomataceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
381	<i>Tithonia diversifolia</i>	Asteraceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
382	<i>Tithonia rotundifolia</i>	Asteraceae	Hierba	Vegetación Secundaria
383	<i>Tournefortia glabra</i>	Borraginaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
384	<i>Tournefortia glabra</i>	Borraginaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
385	<i>Tournefortia volubilis</i>	Borraginaceae	Arbusto	Selva Baja Espinosa Caducifolia
386	<i>Tradescantia deficiens</i>	Commelinaceae	Hierba	Bosque mesófilo de Montaña
387	<i>Tradescantia zebrina</i>	Commelinaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
388	<i>Tragia mexicana</i>	Euphorbiaceae	Trepadora	Selva Mediana Subperennifolia
389	<i>Trema micrantha</i>	Ulmaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
390	<i>Tribulus terrestres</i>	Zygophyllaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
391	<i>Trichilia havanensis</i>	Meliaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
392	<i>Trichilia hirta</i>	Meliaceae	Árbol	Bosque de galería
393	<i>Trichospermum mexicanum</i>	Malvaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
394	<i>Triplaris americana</i>	Polygonaceae	Árbol	Potrero
395	<i>Triplaris melaenodendron</i>	Poligonaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
396	<i>Tripogandra serrulata</i>	Commelinaceae	Trepadora	Bosque mesófilo de Montaña
397	<i>Triunfetta speciosa</i>	Tiliaceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
398	<i>Trixis inula</i>	Asteraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
399	<i>Trophis Chorizantha</i>	Moraceae	Árbol	Vegetación Secundaria
400	<i>Trophis mexicana</i>	Moraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
401	<i>Typha dominguensis</i>	Typhaceae	Hierba	Vegetación acuática
402	<i>Ulmus mexicana</i>	Ulmaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
403	<i>Urera alceifolia</i>	Urticaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
404	<i>Urera baccifera</i>	Urticaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
405	<i>Vaccinium leucanthum</i>	Ericacea	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
406	<i>Vatairea lundellii</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia
407	<i>Verbesina myriocephala</i>	Asteraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
408	<i>Verbesina turbacensis</i>	Asteraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
409	<i>Vernonanthura patens</i>	Asteraceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
410	<i>Vernonia cinerea</i>	Asteraceae	hierba	Vegetación Secundaria
411	<i>Viburnum guatemalensis</i>	Caprifoliaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
412	<i>Viburnum hartwegii</i>	Caprifoliaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
413	<i>Viguiera Cordata</i>	Asteraceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
414	<i>Vitis tiliifolia</i>	Vitaceae	Trepadora	Vegetación Secundaria
415	<i>Waltheria glomerata</i>	Sterculiaceae	Árbol	Vegetación Secundaria
416	<i>Waltheria indica</i>	Sterculiaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
417	<i>Wigandia urens</i>	Hidrophyllaceae	Arbusto	Vegetación Secundaria
418	<i>Witheringia solanacea</i>	Solanaceae	Hierba	Vegetación Secundaria
419	<i>Xylosma flexuosum</i>	Flacourtiaceae	Arbusto	Selva Mediana Subperennifolia
420	<i>Zamia soconuscensis</i>	Zamiaceae	Cycada	Selva Mediana Subperennifolia
421	<i>Zapoteca portoricensis</i>	Fabaceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia

N°	Especie	Familia	Forma biológica	Tipo de vegetación
422	<i>Zexmania appressipila</i>	Asteraceae	Arbusto	Bosque mesófilo de Montaña
423	<i>Zinowiewia matudai</i>	Celastraceae	Árbol	Selva Mediana Subperennifolia

## Anexo II. Encuesta sobre el uso de plaguicidas en la Cuenca del río Cacaluta, Chiapas.

### Obejtivos.

1. Conocer los tipos de agroquímicos que se utilizan en la cuenca de acuerdo a los usos de suelo.
2. Identificar los cambios en los cuerpos de agua de acuerdo a la opinión de los productores.
3. Conocer la posición de las personas en relación a la minería en la zona.

Localidad: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre de Productor: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_

¿Cuántos años ha vivido en la región? \_\_\_\_\_

¿Con qué superficie de terreno cuenta? \_\_\_\_\_

Tipo de producción que tiene: \_\_\_\_\_ Superficie: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Superficie: \_\_\_\_\_

➤ Cultivo perenne (Mango, Palma Africana, café, otro).

Edad del cultivo: \_\_\_\_\_ Cultivo anterior: \_\_\_\_\_

Variedad: \_\_\_\_\_ Rendimiento/Ha: \_\_\_\_\_

➤ Cultivos anuales (Maíz, Frijol).

Fecha de siembra: \_\_\_\_\_ Fecha de Cosecha: \_\_\_\_\_

Rendimiento/Ha \_\_\_\_\_

➤ Ganadería.

N° animales: \_\_\_\_\_ Raza: \_\_\_\_\_

Tipo de pasto: \_\_\_\_\_ Pastoreo libre o rotacional.

¿Cuáles son las plagas o enfermedades más frecuentes en su tipo de producción?

Aplicación de agroquímicos.

Nombre	Formulación (polvo, liquido)	Dosis/Ha	Cuantas veces por ciclo o por año	Fecha de aplicación

¿En qué condiciones ambientales aplica el producto?

Cuando decide aplicar, ¿por qué lo hace? Por costumbre, por recomendación, porque el vecino lo hace, otros.



¿Ventajas o desventajas de aplicar agroquímicos?

¿Toma en cuenta alguna(s) medida(s) de seguridad para la mezcla y/o aplicación de agroquímicos?

Si toma ¿cuáles son esas medidas?

¿Qué hacen con los envases cuando se acaba el producto?

¿Ha observado algún cambio en el suelo o el agua con la aplicación de agroquímicos después de cierto tiempo?

¿Estaría dispuesto a recibir cursos para la adecuada manipulación de agroquímicos?

¿Estaría dispuesto a entregar los envases de agroquímicos en centros de acopio?

¿Estaría dispuesto a cambiar a biofertilizantes, lombricomposta o productos de compostas orgánicas?

¿Por qué sí le interesaría o por qué no?

**Comunidad.**

¿De dónde trae el agua que utiliza para sus actividades en el hogar?

¿Qué cambios ha visto sobre la calidad del agua en arroyos y ríos dentro del ejido o colonia en los últimos años?

¿A qué cree que se debe los cambios en la calidad de agua?

¿Ha observado cambios en la cantidad de peces en ríos?

### **Actividades de Minería.**

¿Sabe de alguna actividad de minera en la zona?

¿Está de acuerdo que se lleve a cabo esta actividad minera en la zona?

¿Ventajas o desventajas de la actividad minera?

### Anexo III. Categorías de calidad fisicoquímica del agua para el Índice IP.

Parámetros fisicoquímicos	Celeste: Muy Bueno Verde: Bueno Amarillo: Mediocre Café: Deficiente Rojo: Malo				
Temperatura °C	≤ 30	> 30			
Sólidos en suspensión (mg SS/l)	≤ 25	> 25			
pH	< 5	5 - 6.5	6.6 - 7.5	7.6 - 9	> 9
Oxígeno disuelto mg O <sub>2</sub> /l	< 3	3 - 4.9	5 - 6.9	7 - 8.9	>8.9
Oxígeno disuelto (% O <sub>2</sub> de sat.)	≤ 50	> 50			
DBO 6 (mg O <sub>2</sub> /l)	≤ 6	> 6			
Conductividad eléctrica (μS/cm)	<101	101 - 500	501 - 1000	1001 - 3000	>3000
Amonio (mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	< 0.1	0.1 - 0.4	0.5 - 0.9	1 - 4	> 4
Nitritos (mg N-NH <sub>2</sub> <sup>-</sup> /l)	< 0.01	0.01 - 0.1	> 0.1		
Nitratos (mg N-NH <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	< 0.7	0.7 - 10	>10		
Fosfatos (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /l)	<0.03	0.03 - 0.09	0.10 - 0.29	0.30 - 0.49	> 0.49
Cloruros (mg Cl/l)	<25	25 - 99	100 - 199	200 - 1000	>1000
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	<250	250 - 1000	>1000		

Fuente: Camprodon et al., 2012.