

**Caracterización y diagnóstico en tramos de los ríos Prusia,  
El Plan, Cuxtepeques, Negrito y El Rosario en la Reserva  
de la Biósfera “El Triunfo” (REBITRI) y su zona de  
influencia, Chiapas, México**



**Proyecto fin de Máster presentado por  
Sergio Alberto Salinas Rodríguez**

Tutor académico: Diego García de Jalón Lastra

Tutor institucional: Neptalí Ramírez Marcial

Máster Oficial en Restauración de Ecosistemas

Universidad de Alcalá de Henares, Universidad Complutense de Madrid,

Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Rey Juan Carlos

Proyecto fin de Máster para optar al título de  
Máster Oficial en Restauración de Ecosistemas  
Programa Oficial de Posgrado en Ecología por la  
Universidad de Alcalá de Henares

**Caracterización y diagnóstico en tramos de los ríos Prusia, El  
Plan, Cuxtepeques, Negrito y El Rosario en la Reserva de la  
Biósfera “El Triunfo” (REBITRI) y su zona de influencia,  
Chiapas, México**

V°B° Tutor académico  
Diego García de Jalón Lastra  
Universidad Politécnica de Madrid

V°B° Tutor Institucional  
Neptalí Ramírez Marcial  
El Colegio de la Frontera Sur

San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. A 6 de febrero de 2009

## RESUMEN

En los últimos años los ríos en la Reserva de la Biósfera “El Triunfo” y su área de influencia han incrementado su anchura a causa de eventos de alta precipitación produciendo pérdidas humanas y económicas en el estado. El presente trabajo fue desarrollado en esta área con la finalidad de identificar, caracterizar y diagnosticar a manera de muestreo el estado de 5 tramos de ríos para su restauración hidrológica, siendo la pregunta formulada en este estudio ¿El comportamiento y dinamismo de los ríos en el área es normal en función de los atributos geomorfológicos, hidrológicos y biológicos? Se realizó un análisis multicriterio para definir los tramos de muestreo y un análisis SIG utilizando índices de composición y configuración en el paisaje ripario, y que junto con la caracterización de los tramos, se diagnostica que la respuesta de los ríos fue debido a la falta de cobertura vegetal arbórea, imprescindible como obstáculo para retener y absorber mayor cantidad de agua producto de la escorrentía superficial en las laderas de influencia de los segmentos de ríos analizados. Por lo tanto, los proyectos de restauración hidrológica deben considerar el restablecimiento de ésta para equilibrar la relación de los procesos de erosión y sedimentación.

## ABSTRACT

*In the last years the rivers in “El Triunfo” Biosphere Reserve and its influence area has increase its width as cause of high precipitation events producing human and economical lost in the state. The present work was developed in this area with the purpose of identify, characterize, and diagnose as a survey way, 5 sections state of present rivers for its hydrological restoration, being the question formulated, the behavior and dynamism of the rivers in this area is normal in function of its geomorphological, hydrological, and biological attributes? It was realized a multicriteria analysis to define the sampling rivers sections and a GIS analysis using composition and configuration index in the riparian landscape, then besides characterization rivers sections, the diagnosis of this is than the rivers response was due lack of tree cover, essential as obstacle to retain and absorb more water quantity superficial overflow product in the analyzed river sections influence slope. Therefore, the hydrological restoration projects must consider its reestablishment to balance erosion and sediment process relationship.*

## **ÍNDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>i</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Presentación</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Marco conceptual y contexto</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Antecedentes</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4.1 Objetivo general</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2. Material y Métodos</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Ubicación y delimitación del área de estudio</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.1 Prediagnóstico</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2 Ubicación de los tramos visitados en campo tras el análisis SIG</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Descripción del área de estudio</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.1 Medio Natural</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.1.1 Clima</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.1.2 Fisiografía</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.1.3 Geología</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.1.4 Edafología</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.1.5 Hidrología</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1.6 Flora</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1.7 Fauna</b> .....	<b>23</b>

<b>2.2.2 Medio Socioeconómico.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Normativa para la restauración.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3 Metodología.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1 Construcción del SIG.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1.1 Limitación de la zona de análisis.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1.2 Digitalización y establecimiento de criterios.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1.3 Análisis y clasificación final.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.2 Visita y caracterización de los ríos en campo.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.3 Análisis de los componentes del ecosistema ripario.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.4 Estimación de la escorrentía en las microcuencas .....</b>	<b>36</b>
<b>3. Resultados.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1 Prediagnóstico (SIG).....</b>	<b>38</b>
<b>3.2 Caracterización de los tramos de ríos visitados en campo.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 Análisis del paisaje y trazado en planta.....</b>	<b>43</b>
<b>3.4 Escorrentía media anual de las microcuencas.....</b>	<b>51</b>
<b>3.5 Diagnóstico del estado de los ríos visitados en la REBITRI     y su zona de influencia.....</b>	<b>52</b>
<b>4. Discusión.....</b>	<b>54</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>57</b>
<b>6. Recomendaciones.....</b>	<b>58</b>
<b>7. Agradecimientos.....</b>	<b>59</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>60</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>65</b>

## ***Índice de figuras***

Figura 1. Localización del área de estudio.....	16
Figura 2. Pesos ponderados para cada una de las capas.....	32
Figura 3. Mapa de degradación potencial en la REBITRI y su área de influencia para la restauración hidrológica.....	38
Figura 4. Perfiles transversales de los tramos de ríos muestreados en campo...	39
Figura 5. Gráfica de perfiles longitudinales en los tramos de río muestreados..	40
Figura 6. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Prusia.....	44
Figura 7. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Prusia.....	44
Figura 8. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río El Plan.....	45
Figura 9. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río El Plan.....	45
Figura 10. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Cuxtepeques.....	46
Figura 11. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Cuxtepeques.....	46
Figura 12. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Negrito.....	47
Figura 13. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Negrito.....	47
Figura 14. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río El Rosario.....	48
Figura 15. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río El Rosario.....	48
Figura 16. Volumen medio anual de la escorrentía superficial y su tendencia en las microcuencas analizadas.....	51

## ***Índice de tablas***

Tabla 1. Tramos de ríos muestreados y caracterizados en campo.....	16
Tabla 2. Población por municipio.....	25

Tabla 3. Aprovechamiento y uso del suelo por municipio.....	25
Tabla 4. Características del sector primario por municipio.....	26
Tabla 5. Características de los núcleos agrarios por municipio.....	27
Tabla 6. Formato y escala de las capas temáticas trabajadas.....	28
Tabla 7. Criterio de clasificación para los días por periodo de lluvias.....	29
Tabla 8. Criterio de clasificación para las distintas zonas de la REBITRI.....	30
Tabla 9. Clasificación dada para las infraestructuras.....	31
Tabla 10. Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al uso del suelo y su textura, así como la pendiente del terreno.....	37
Tabla 11. Resumen de características encontradas en cada tramo durante su muestreo.....	41
Tabla 12. Índices obtenidos para los componentes del ecosistema en todos los tramos de los ríos muestreados en campo.....	49

### ***Índice de anexos***

Anexo 1. Descripción de la composición de especies arbóreas en la REBITRI	65
Anexo 2. Formato de caracterización de los tramos de ríos muestreados.....	69
Anexo 3. Descripción de los tramos muestreados en campo.....	70
Anexo 4. Valores de precipitación total mensual captados por las estaciones climatológicas 7037 “Finca Cuxtepeques”, 7054 “Finca Prusia” y 7390 “Cacaluta”.....	81
Anexo 5. Coeficientes de escurrimiento superficial parcial y ponderado por microcuenca.....	84
Anexo 6. Fotografías de los tramos muestreados en campo.....	86

## ***1. Introducción***

### ***1.1 Presentación***

El presente Trabajo Fin de Máster se realiza con fundamento en el Real Decreto 1393/2007 con fecha a 29 de octubre del Reino de España (Boletín Oficial del Estado, 2007), el cual establece y ordena las enseñanzas universitarias oficiales y que indica en el capítulo IV “Enseñanzas universitarias oficiales de Máster”, artículo 15, punto 3 que *“Éstas enseñanzas concluirán con la elaboración y defensa pública de un trabajo de fin de Máster, que tendrá entre 6 y 30 créditos”*, lo anterior, para obtener el grado de Máster en Restauración de Ecosistemas impartido y coordinado por la Universidad de Alcalá de Henares en su Programa Oficial de Posgrado en Ecología, en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Rey Juan Carlos para la promoción 2007-2009.

Este trabajo ha sido desarrollado en el estado de Chiapas, México, amparado bajo el “Convenio de cooperación educativa entre la Universidad de Alcalá de Henares y El Colegio de la Frontera Sur (en adelante UAH y ECOSUR, respectivamente) para el desarrollo del programa de posgrado en ecología” con fecha al 1 de octubre del 2008, que obra en los expedientes de la UAH y ECOSUR, y cuya duración de la participación del alumno en este convenio fue del 1 de octubre al 31 de diciembre del 2008, dando paso posteriormente a esta fecha, la oportunidad de escribir esta memoria.

Así mismo, el presente estudio se ha elaborado en el marco del proyecto “Diversificación y restauración de paisajes transformados en comunidades de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (en adelante REBITRI), Chiapas, México, componente 1: Estrategia de restauración”, coordinado y ejecutado por Biodiversidad: Conservación y Restauración, A. C. (en adelante BICORES, A. C.), con sede en la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, y cuyo proyecto en este primer componente, ha sido financiado por el Fondo para la Conservación El Triunfo.

En este contexto, el estudio se centra sobre la estrategia para la restauración de ríos y riberas, que como primer paso y aportación de mi persona, he optado por hacer una caracterización y diagnóstico de los mismos, especialmente dentro de los márgenes de la REBITRI, así como analizar su zona de influencia debido a que la reserva se encuentra ubicada en la parte más alta del estado de Chiapas.



La necesidad de hacer un análisis sobre los ríos de la zona, parte de la premisa que en los últimos años han incrementado su anchura a causa de la carga de agua dejada principalmente por dos eventos meteorológicos, los huracanes “Mitch” y “Stan” de 1998 y 2005, respectivamente, provocando pérdidas humanas y económicas en el área, así como en todo el estado de Chiapas, en otros estados de México e incluso en países de Centroamérica, entre los que se pueden destacar Belice, Honduras, Nicaragua, El Salvador y Guatemala. Debido a lo anterior, la pregunta formulada a partir de esto es ¿El comportamiento y dinamismo de los ríos en la REBITRI es normal en función de sus atributos geomorfológicos, hidrológicos y biológicos?

Esta memoria ha sido elaborada con metodología científica, siguiendo las fases metodológicas para realizar el presente trabajo. Se incluye un prediagnóstico con base en la construcción de un Sistema de Información Geográfica (SIG), del cual se parte para definir los criterios de visitas y prospección de los ríos con mayor potencial de degradación, para posteriormente realizar las visitas a terreno con la finalidad de caracterizar *in situ* los tramos de ríos y que en conjunto con la información hidrométrica, física, biológica y socioeconómica, se da un diagnóstico integral de la situación de dichos ríos.

Finalmente y a partir de lo anterior, se pueden establecer las estrategias de restauración hidrológica en la REBITRI que incluya la problemática forestal y de movimientos de tierras provocados por deslaves no recurrentes, para lo cual BIOCORES A. C., en conjunto con otros actores, como instituciones gubernamentales y no gubernamentales, instituciones educativas, personas físicas o morales, entre otros, será el organismo responsable de proponer un documento final sobre la situación ecológica de esta reserva con la finalidad de plantear una restauración de forma integral y holística.

## ***1.2 Marco conceptual y contexto***

Para hacer una caracterización y diagnóstico sobre cualquier ecosistema o algún atributo de éste con la finalidad de realizar prácticas de restauración ecológica, es indispensable conocer, comprender y aplicar los conceptos que tienen que ver con ello de manera correcta. Para lo cual, la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER, por sus siglas en inglés), ha publicado en el 2004 una serie de principios sobre este tópico, y que de acuerdo con este trabajo, son necesarios sean repasados algunos de ellos:

- Restauración Ecológica. Proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido.
- Ecosistema. Es una unidad que consta de la biota que existe en una zona determinada (flora, fauna y microorganismos), el ambiente que la sostiene y las interacciones entre éstos.

Los términos degradación, daño, destrucción y transformación, según la misma SER, representan desviaciones de lo normal o del estado deseado de un ecosistema intacto. Por lo que los definen como:

- Degradación. Proceso que en el cual existen cambios graduales o sutiles que reducen la integridad y la salud ecológica de un ecosistema.
- Daño. Se refiere a cambios obvios o agudos en un ecosistema, mientras que,
- Ecosistema destruido. Es aquel cuando la degradación o el daño elimina toda la vida macroscópica y, por lo general, también arruina el ambiente físico.
- Transformación. Conversión de un ecosistema en otro tipo de ecosistema o uso de la tierra.

Por otro lado, existen otros términos o conceptos definidos por la SER que sirven como actores para describir el estado ecológico de un ecosistema, por lo que a continuación se enuncian:

- Resistencia. Describe la capacidad de un ecosistema en mantener sus atributos estructurales y funcionales al verse enfrentado con estrés y perturbaciones (éstos últimos definidos como procesos dinámicos que generan impactos sobre un ecosistema).

- Resiliencia. Capacidad de un ecosistema de recobrar los atributos estructurales y funcionales que han sufrido daño debido a estrés o perturbaciones.
- Estabilidad. Describe al ecosistema que tiene la capacidad de mantener determinada trayectoria a pesar del estrés, denotando un equilibrio dinámico, más no un estancamiento.
- Integridad del ecosistema. Estado o condición que demuestra la biodiversidad característica de referencia, tales como composición de especies y la estructura de la comunidad, y tiene plena capacidad de sostener el funcionamiento normal del ecosistema.
- Salud del ecosistema. Estado o condición en la cual los atributos dinámicos se expresan dentro de valores “normales” de actividad en relación a su fase ecológica de desarrollo.

Así, de acuerdo a los conceptos anteriores, es posible identificar el rumbo que tiene la trayectoria ecológica, definida por la SER como aquella que describe la ruta de desarrollo de un ecosistema a través del tiempo.

En lo concerniente a ecosistemas riparios, Rosgen (2006) menciona que los efectos sobre los ríos tras la construcción de caminos, cambios en la vegetación riparia, la extracción de gravas u otros materiales del lecho del río, entre otras acciones del hombre, han cambiado significativamente los regímenes de caudales y sedimentos, así como la frontera de las condiciones asociadas con los sistemas en ríos estables (funciones físicas y biológicas de los mismos).

Por lo tanto, la caracterización de los ríos realizada en campo y la recopilación de información hidrométrica, física, biológica y socioeconómica, se realizó con el objetivo de identificar los atributos geomorfológicos y dinámicos de los ecosistemas (**de acuerdo con Rosgen, 2006**), mismos que incluyen a las interacciones entre los organismos y a las interacciones entre los organismos y su medio ambiente (**procesos ecológicos o funciones de los ecosistemas**, según la SER). Por lo anterior, el presente trabajo parte de la premisa que **“en función de los aspectos geomorfológicos y dinámicos de los ríos, recopilados en las visitas de campo y de información existente sobre ellos, se determinará la integridad del ecosistema fluvial”**.

Por otra parte, los procesos de degradación, daño, destrucción o transformación de ecosistemas que envuelven ríos y riberas puede ser debido a diversos factores, incluyendo factores ecológicos o ambientales con los que se pueden ver alterados los procesos llevados a cabo en el ambiente y que comprometen la integridad y funcionamiento del ecosistema, así como de factores sociales en los que la incidencia humana sobre las infraestructuras (vías de comunicación, bienes inmuebles, comunidades enteras, etc) puede comprometer y poner en riesgo la integridad y bienestar del mismo ecosistema fluvial. En ambos casos, además de poner en riesgo al ecosistema tras eventos anormales de lluvias y crecidas de los ríos, también los pobladores locales o transeúntes dentro de los márgenes de la reserva se pueden ver afectados debido a que la perturbación que afecta el cauce le impide una capacidad de resiliencia al mismo para minimizar los impactos.

De acuerdo a lo anterior, el análisis como preámbulo a una restauración hidrológica en ríos y riberas debe contener una caracterización y diagnóstico de carácter integral, considerando aspectos ambientales (físicos y biológicos) así como los sociales (principales actividades económicas, régimen de propiedad en los márgenes de los cauces, núcleos de población, etc.), que permitan examinar detallada y objetivamente la necesidad de hacer restauración ecológica (ya que la REBITRI tiene el máximo grado de conservación en México y en el mundo, siendo uno de los 531 que pertenecen a esta categoría en 105 países, UNESCO, 2007), o bien, de actividades de prevención de desastres en infraestructuras humanas que con frecuencia pueden representar la pérdida de capital importante para células familiares, considerando siempre acciones “a favor de la corriente” para evitar desviar la trayectoria ecológica de los ecosistemas en general.

Dada la dimensión y ubicación de la reserva, dentro y fuera de los límites de la misma se encuentran dos de las tres regiones hidrográficas presentes en el estado de Chiapas, 1. La del Grijalva – Usumacinta (en la vertiente de la Depresión Central del estado) en la que se encuentran como principales cuencas de influencia de la reserva: La Angostura, El Dorado, Cuxtepec, Santa Catarina y Cajetal; y 2. La de la Costa (vertiente del Pacífico) cuyas principales cuencas son Pijijiapan, Coapa, Margaritas, Novillero, San Nicolás, Cacaluta y Cintalapa (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca - SEMARNAP, 1998).

En la primer etapa del análisis a manera de prediagnóstico (a nivel de toda la REBITRI y su zona de influencia), la información recopilada y posteriormente generada se centra en aquellos sitios, tramos, zonas o segmentos de ríos con probabilidad a ensancharse, de inundar o afectar las infraestructuras de las zonas aledañas en función de la pendiente a lo largo de los

cauces, la precipitación, el régimen de caudal o volumen medio anual escurrido, la geomorfología del río, tipo de roca, vías de comunicación, núcleos de población, tipo de sustrato / suelo, entre otros. Esto en virtud de encontrar aquellos tramos con “potencial” de degradación a nivel de cuenca (s) y mismos que adquieren “prioridad” en su análisis a nivel de tramo.

Tras lo anterior, cabe resaltar la diferencia entre los conceptos potencial y prioridad en este estudio. Con el término “prioridad” se busca definir y clasificar en zonas geográficas del área de estudio, la importancia de los atributos de las variables incluidas en el análisis en distintas categorías (alto, medio o bajo), en función del riesgo que impliquen en el sitio y de acuerdo a los objetivos planteados. Una vez conjugadas y cruzadas las categorías en diferentes grados de prioridad tras el análisis geográfico, se obtendrán zonas que de acuerdo a la influencia de las variables, puedan ser “potenciales” y representen características ambientales o sociales que puedan implicar algún riesgo en la pérdida o reducción de uno a más servicios ambientales en el ecosistema fluvial, es decir, degradación. De esta forma, con el uso de plataformas como los SIG se pueden obtener mapas que expresen gráficamente zonas con diferentes grados de “degradación potencial” y en base a ello se seleccionaron los tramos concretos para su análisis e inspección en campo para detectar si existe presente algún tipo de degradación que afecte la resiliencia o resistencia del ecosistema impidiendo su recuperación, o bien, determinar si el mismo se encuentra estable.

Posteriormente, ya identificadas las zonas de riesgo de degradación por los eventos ambientales y por la incidencia humana, y como segunda etapa para la caracterización y diagnóstico de los ríos en la REBITRI y su zona de influencia, ahora a nivel de tramo o segmento de río, se reconoció *in situ* el tipo de degradación ambiental (si existen procesos de incisión, canalización, acumulación de sedimentos excesivos, cambio del uso y cubierta de suelo a los márgenes de los cauces o de la geomorfología misma del río, etc) que pudieran representar la puesta en riesgo de la integridad y funcionamiento del ecosistema y/o de infraestructuras cercanas representando un riesgo a los bienes o vidas humanas.

Finalmente, tras la conclusión de las etapas predecesoras, se realizó un diagnóstico sobre los tramos de los ríos visitados en campo, mismo que sirve a manera piloto para continuar con el trabajo en busca de caracterizar todos los ríos de la REBITRI y su zona de influencia, para posteriormente definir las estrategias de restauración ecológica más apropiadas para la situación particular de éstos.

### ***1.3 Antecedentes***

En las dos últimas décadas el crecimiento de la población y el establecimiento de asentamientos urbanos con su infraestructura y equipamiento en el estado de Chiapas, ha promovido el proceso de deforestación y el avance de la frontera agropecuaria en suelos no aptos para tales actividades; procesos que han sido factores de vulnerabilidad ante eventos climáticos de alta precipitación, los cuales han ocasionado impactos ambientales, productivos y sociales (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas / CONACYT – COCYTECH, 2008).

Prueba de esto se presentó en el año 2005 cuando el huracán Stan (sexto ciclón de ese año) tocó tierra chiapaneca y puso nueva marca respecto al máximo número de ciclones que tocaron tierra en esta región (1999 – 5 ciclones). En aquel momento las regiones económicas del estado más afectadas fueron la Sierra y el Soconusco, mientras que la Frailesca e Istmo – Costa tuvieron afectaciones parciales, y en menor grado las regiones Centro, Altos, Fronteriza y Selva (CONACYT – COCYTECH, 2008).

En estas regiones se concentraron afectaciones en el rubro social con el 75% de las localidades inundadas y el 88% de la población afectada, esto en su mayor medida debido al desbordamiento de 98 ríos, afectando directamente a 510 mil personas de 499 localidades, de las cuales el 92% son rurales y el 99% presentan alta y muy alta marginalidad. El desbordamiento de estos ríos y el deslave de cerros inducidos por la alta precipitación, su acumulación y escurrimiento, provocaron un daño en 588 caminos que representan una longitud total afectada de 5,586.7 km. En materia agropecuaria, fueron afectados 122 mil productores y casi 307 mil hectáreas dedicadas a la actividad agrícola, pecuaria y pesquera (CONACYT – COCYTECH, 2008).

De acuerdo con el Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos de América (NHC por sus siglas en inglés – Pasch y Roberts, 2006), este fenómeno meteorológico dejó un total de 11,291.37 mm de precipitación en territorio nacional del 1 al 5 de octubre del 2005.

No obstante, no hace mucho tiempo otro evento meteorológico golpeó el territorio nacional con proporciones similares, aunque en este caso es indudable que la parte más afectada se encuentra en otros países centroamericanos como Honduras y Nicaragua, entre otros. Se trata del huracán Mitch que en 1998 alcanzó y sostuvo por 5 días a su paso por Centroamérica y Chiapas la categoría 5 según la escala de Saffir – Simpson. Este huracán

según los datos del NHC (Guiney y Lawrence, 1999), llegó a ser el causante de más de 9,000 muertes a causa de los fuertes vientos e inundaciones en todos los países donde tocó tierra.

En Chiapas, las regiones de Mapastepec, Pijijiapan y Tapachula fueron las mayormente afectadas, registrando una precipitación de 650, 627 y 403 mm, respectivamente. Por otra parte, al oeste de la Sierra Madre de Chiapas se registró una medición por parte de la estación meteorológica La Esperanza con un valor similar, llegando a los 1,100 mm de precipitación, todo esto en el mes anterior en el que “Mitch” llegó a Chiapas, por lo que la saturación de agua y humedad en el ambiente era alta para entonces. Para el estado y de manera no oficial, este fenómeno llegó a ser el causante de más de 1,000 muertes (Richter, 2000).

Esta devastación provocada por el huracán Mitch en la región denominada “El Soconusco” (punta sur del estado de Chiapas), también puede estar ligada a otros factores, tales como: 1) la actividad ciclónica entre julio y noviembre de 1998 que puede ser atribuida al fenómeno del Niño, cuya tendencia fue el incremento de la temperatura en la superficie de los mares en los trópicos y subtropicos al comienzo del año; 2) a dos fuertes terremotos, el primero el 8 de enero con una magnitud de 6.3 en la escala de Richter, y el segundo el 22 de febrero con magnitud de 5.5 en la misma escala, ambos en 1998 y con epicentro cercano a la frontera con Guatemala, éstos pudieron sutilmente causar la formación de grietas en las rocas, así como cambios en la estructura del suelo, lo que puede causar una reacción aumentando el drenaje y causando deslaves; 3) la captación de agua de varios ríos de montaña aceleró el drenaje de la misma hacia aguas abajo dejando severas inundaciones particularmente en dos ríos, el Novillero y Huixtla, donde una comunidad entera quedó sepultada bajo tres metros de sedimentos; 4) la deforestación en las zonas de captación de agua en alta montaña, lo que provee de condiciones idóneas para la erosión de laderas y ríos, además de sedimentación excesiva aguas abajo; y 5) asentamientos humanos localizados a lo largo de las riberas, en llanuras de inundación o sitios en donde tras eventos de precipitación extrema son ocupados por el agua circundante en el río (Richter, 2000).

Respecto a lo anterior, es importante denotar la importancia que tienen la cobertura vegetal y la cubierta del suelo como actores que proporcionan heterogeneidad al paisaje, reteniendo y captando el escurrimiento de agua en las laderas de influencia a los cauces de los ríos (Tongway y Hindley, 2004). En la misma fuente se describen los procedimientos para el monitoreo y evaluación de paisajes en el “Análisis de la función del paisaje” (LFA por sus siglas en inglés) y para lo cual, se menciona como fundamental la cobertura vegetal existente en un paisaje, mostrando que cuanto más densa y heterogénea sea ésta (incluyendo la capa

orgánica en el suelo y semillas), el escurrimiento de agua será más lento hacia el final de la ladera, debido a que representa mayor obstáculo la heterogeneidad existente para el mismo. Por lo tanto, en paisajes con un estado alto de funcionalidad, el suelo, agua y nutrientes (en conjunto denominados recursos) son fuertemente conservados dentro del paisaje y usados en el interior del ecosistema. Por el contrario, en paisajes con un estatus bajo de funcionalidad, la tendencia existente es el de perder y no retener los recursos.

Por otra parte y con referencia a las inundaciones, a menudo son relacionadas con la falta de cobertura vegetal en las partes altas de las cuencas donde es captada el agua. Sin embargo, Bradshaw *et al* (2007) menciona la compleja interacción de factores como la variación en la lluvia, la elevación y distancia a la que se encuentra la costa, la zona de captación de agua, profundidad del suelo, el grado de disturbios o perturbaciones en el monte y el suelo, la fertilidad de este último y como su importancia relativa varía ampliamente entre sitios, por lo que es necesario un proceso de investigación para entender los efectos de la remoción de la vegetación en la frecuencia e intensidad de las inundaciones. Además, la relación entre las tasas de evapotranspiración y la lluvia contribuyen aún más a la complejidad de un sitio específico para estimar el riesgo de inundación.

En sitios donde no existe perturbación y los ríos funcionan con normalidad, éstos son en gran medida los actores más dominantes que conducen fuerzas de erosión y sedimentación en el paisaje dando heterogeneidad al mismo. Esta interacción contribuye en gran medida como el factor formador del paisaje, donde la dinámica de estos procesos conllevan a un constante escenario de cambio de valles profundos y planicies de inundación con formación de dunas, islas y bosques. Estos procesos hidrogeomorfológicos crean un mosaico cambiante de diferentes etapas sucesionales, un mosaico de agua (tramos trenzados de ríos), suelo desnudo, así como de vegetación pionera hasta bosques maduros que proveen de hábitat para diferentes especies (Rohde, 2004).

De acuerdo con Li y Reynolds *et al* (1995), citado por Parsons *et al* (2005), la heterogeneidad puede ser cuantificada y comparada usando índices de paisaje que midan aspectos de composición y configuración de los elementos que lo conforman. En este sentido, índices de composición como el de diversidad de Shannon (*Shannon Diversity Index*), así como los de configuración, como la superficie del paisaje analizado y de cada componente (*Class area*), la forma media del área para cada componente (*Mean Shape Index*) y el tamaño medio del componente (*Mean Patch Size*) son herramientas para cuantificar y describir la



heterogeneidad del paisaje (Elkie *et al*, 1999; McGarigal y Marks, 1995; Shumaker, 1996; Mora-Lucas *et al*, s/f; Rohde, 2004).

Como parte de la heterogeneidad del paisaje ripario, sus componentes geomorfológicos son de gran importancia debido a que proveen de una caracterización que integra la forma del suelo y características fluviales de la morfología del valle con la descarga del canal, así como su patrón, forma y dimensión (Rosgen, 1994). El mismo autor en 1996, propone el uso de un índice para determinar el grado de sinuosidad de un río, de esta forma es posible conocer el grado de dinamismo presente en él a través del tiempo. Éste podría ser considerado como un índice de configuración, solo que el componente medido en él es de tipo lineal.

Además de la importancia de los componentes geomorfológicos de un río y de su sinuosidad como atributos que definen en conjunto la caracterización del mismo, tanto Rosgen (1994) como González del Tanago y García de Jalón (2007), concuerdan en la importancia de conocer y describir el perfil longitudinal, ya que sirve como la base para romper la corriente alcanzando categorías de pendiente que reflejan el perfil morfológico. Igualmente consideran el perfil transversal de los ríos, que podría indicar un río estrecho y profundo, o bien, uno poco profundo o superficial y de gran anchura.

Con relación a la información de las subcuencas en la zona del presente trabajo, es preciso mencionar que la correspondiente al río Cintalapa cuenta con un Ordenamiento Ecológico del Territorio elaborado por el Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A. C. (IDESMAC, 2007), en el cual se menciona que para la cuenca alta (300 – 3000 msnm - zona de la cuenca ubicada en el área de estudio para este trabajo) existe un alto porcentaje de erosión hídrica, mostrando una estimación de 10 – 50 ton/ha/año, además menciona que en esta parte de la cuenca la pérdida de suelo ocurre por gravedad en las áreas fragmentadas a lo largo del cauce del arroyo Agua Caliente y del río Cintalapa, donde la erosión ronda de 50 a 200 ton/ha/año, mientras que donde se cultivan productos temporales y semitemporales, el nivel de erosión supera las 200 ton/ha/año.

En el mismo documento, se menciona que la cuenca entera del río Cintalapa forma parte del Programa de Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad – CONABIO. Por una parte, la cuenca alta es una zona de captación hidrológica importante y presenta una diversidad ecosistémica alta, contiene en ella parte de dos Reservas de la Biósfera, El Triunfo y La Encrucijada, por lo que se circunscribe a dicho programa como una Región Terrestre

Prioritaria (RTP). Además a lo anterior, también se encuentra adscrita esta cuenca como una Región Hidrológica Prioritaria ante la CONABIO (IDESMAC, 2007).

Sin embargo, la zona presenta diversos conflictos en relación a los cuerpos de agua, por tanto y a decir de la fuente, hace falta la planeación del represamiento y desvío de los ríos, controlar el crecimiento de la acuicultura para evitar daños al manglar y a las poblaciones naturales que lo habitan, así como tratar de solucionar los conflictos en la concesión de pesca (IDESMAC, 2007).

Por último en lo concerniente a esta cuenca, en el mismo Ordenamiento Ecológico del Territorio en su apartado “Plan de Manejo de la cuenca del río Cintalapa”, se realiza una zonificación incluyendo unidades para la protección (8,314.09 ha), conservación (19,858.78 ha), restauración (1,993.42 ha) y de aprovechamiento (28,565.15 ha), cada una con diferentes actividades plenamente identificadas en la superficie de cada unidad para regular la sostenibilidad y funcionamiento de los ecosistemas, así como de las actividades que en ellos se llevan a cabo (IDESMAC, 2007).

Con referencia a la unidad de restauración, esta zonificada en dos grandes rubros, uno que contempla la reforestación con fines de equilibrio ambiental, y el segundo contempla la restauración para fines productivos. Para ambas situaciones se hacen recomendaciones como realizar dicha actividad siempre y cuando las zonas tengan condiciones forestales, pero que carezca de cobertura arbórea, en pendientes entre 10° y 45°, utilizando especies de árboles y arbustos nativos, establecer vinculación entre los diferentes actores (pobladores, autoridades gubernamentales, empresa, etc) para desarrollar estrategias y técnicas de manejo adecuadas, definir y buscar corredores biológicos, contar con un programa de manejo autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para aquellos casos de producción forestal, y promover el establecimiento de plantaciones forestales maderables y no maderables (IDESMAC, 2007).

Por lo que respecta a la subcuenca Cuxtepeques, de acuerdo con información proporcionada por la Gerencia de la misma (SEMARNAT, s/f), en el Plan de Manejo Integral de la parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques se mencionan los diversos tipos de degradación que enfrenta, en donde a pesar de tener un grado de conservación alto (254.02 km<sup>2</sup> – 41.66% del total de la superficie de la cuenca), el proceso de degradación que mayor área afecta en la zona es la erosión hídrica reflejada en la pérdida de la capa superficial del suelo asociada con canalillos y cárcavas, que representa un 18.76% (114.41 km<sup>2</sup>) del total

de la cuenca provocada por cambios en el uso del suelo y la falta de planes de manejo en el mismo. Otros procesos de degradación que se destacan por la superficie que ocupan, son: la pérdida de suelo también por erosión hídrica, asociada con la introducción de actividades ganaderas y una alta deforestación ocupando el 7.5% (45.74 km<sup>2</sup>) del total del cuenca, el referido a terrenos estables donde el hombre ha establecido plantaciones de tipo permanente, mismos que representan el 5.71% (34.81 km<sup>2</sup>) de la superficie en cuestión, y finalmente, también por erosión hídrica ocasionada por la explotación de la tierra con fines de ganadería y por la deforestación en zonas de ladera, éstos últimos considerados graves por la dificultad de la zona para recuperarla (5.22% - 31.86 km<sup>2</sup>).

Además, en el mismo Plan de Manejo se estimaron las escorrentías medias de cada microcuenca que conforma la subcuenca Cuxtepeques por medio de la metodología de las Curvas Numéricas propuesta por el Servicio de Conservación de los Suelos (SCS) de los Estados Unidos de América, obteniendo que para la microcuenca El Zapote el volumen medio escurrido es de 48,840,087.6 m<sup>3</sup>, para la Cuxtepeques media es de 45,877,878.4 m<sup>3</sup>, para El Naranja fue de 38,792,551 m<sup>3</sup>, para la Cuxtepeques alta 30,692,726.1 m<sup>3</sup>, para El Plan es de 53,166,597.9 m<sup>3</sup> y para El Negrito 23,291,069.1 m<sup>3</sup>, siendo la escorrentía media para el total de la cuenca 240,660,910.1 m<sup>3</sup> (SEMARNAT, s/f).

La relevancia de esta información estriba en que la microcuenca El Zapote presenta el mayor valor de escorrentía media ponderada (Q = 538.2), la cual está asociada con la zona de mayor degradación. Salvo la microcuenca anterior y la Cuxtepeques media, el resto de las microcuencas presentan buenas condiciones hidrológicas resultado de una mayor cobertura vegetal que disminuye la degradación del suelo y con ello un menor acarreo de sedimentos. Por último, dicho Plan de Manejo concluye que en esta cuenca el tiempo de concentración de las avenidas es corto, por lo que es de esperarse una gran cantidad de escurrimientos con alta cantidad de energía y capacidad de transporte de sedimentos al tiempo después de un evento de lluvia (SEMARNAT, s/f).

Debido a lo anterior, en este Plan de Manejo se plantean programas y políticas a mediano y largo plazo que incluyen diferentes ejes estratégicos, entre los que destaca para la finalidad de este estudio, la restauración ecológica en la subcuenca Cuxtepeques con el fin de proteger los recursos naturales, en donde el escenario ideal es el establecimiento de obras de conservación de los suelos, así como del hábitat para la flora y la fauna, para lo cual estas actividades deberán considerarse y aplicar de forma integral. Tras lo anterior, se destacan las actividades de reforestación para subsanar la carencia de cobertura vegetal, además de los

problemas de erosión de suelos, mejorando así la capacidad de infiltración de agua, deteniendo los escurrimientos que causan la erosión y propiciando el hábitat para la fauna silvestre (SEMARNAT, s/f).

Por último, es de gran importancia señalar que la información hidrométrica recopilada de las estaciones de aforo localizadas en los ríos, forma parte indispensable para la caracterización de los mismos. Estas estaciones proveen de información como magnitud, duración, temporalidad, frecuencia y tasa de cambio de los caudales diarios circundantes en los ríos objeto de estudio (González del Tanago y García de Jalón, 2007; SEMARNAT, 2007). Sin embargo, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad (CONAGUA y CFE, 2008), la información hidrométrica existente más cercana con relación a la microcuenca Prusia y las pertenecientes a la subcuenca Cuxtepeques y cuenca del Cintalapa, existen solo hasta las décadas de los años 60's o 70's del siglo pasado.

## ***1.4 Objetivos***

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

Caracterizar los ríos de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (REBITRI) y su zona de influencia en el estado de Chiapas, México.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Construir una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar y localizar sitios con degradación potencial en los ríos de la REBITRI y su área de influencia.
- Caracterizar geomorfológicamente mediante perfiles longitudinales y transversales, además del tipo de valle de influencia, río, formas del lecho, sustrato, granulometría, así como la vegetación y uso del suelo a través de visitas a campo sobre los tramos de ríos seleccionados mediante el SIG implementado.
- Realizar un análisis del paisaje sobre los tramos visitados en terreno para determinar el grado de heterogeneidad de los componentes del ecosistema ripario.
- Estimar la escurrentía media anual de los ríos visitados en campo en al menos los últimos 20 años para conocer su tendencia como caracterización hidrológica.
- Diagnosticar el estado de los tramos de ríos visitados en campo de la REBITRI y su zona de influencia.

## ***2. Material y Métodos***

### ***2.1 Ubicación y delimitación del área de estudio***

#### ***2.1.1 Prediagnóstico***

Para el prediagnóstico (construcción del SIG), se tomaron en cuenta los márgenes de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, localizada en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas, México, entre las coordenadas geográficas 15°24'26" y 15°57'02" de latitud norte y 92°34'04" y 93°12'42" de longitud oeste. Cuenta con una superficie total de 119,177 ha divididas en 5 zonas núcleo (El Triunfo, Ovando, Cuxtepec, El Venado y La Angostura – 25,763 has) y una de amortiguamiento (93,458.41 has). Abarca parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villacorzo y Siltepec, comprendidos en las regiones económicas Frailesca, Sierra, Istmo, Costa y Soconusco (SEMARNAP, 1998).

Sin embargo, de acuerdo con la finalidad de este trabajo, el SIG incorpora una zona de influencia debido al escurrimiento de los ríos y a las condiciones vegetales que en ella habitan. Dado lo anterior, dicha delimitación se realizó bajo dos preceptos. 1) Realizar este análisis con la misma dimensión en superficie de acuerdo al proyecto “Diversificación y restauración de paisajes transformados en comunidades de la REBITRI, Chiapas, México, componente 1: Estrategia de restauración”, coordinado y ejecutado por BICORES, A. C., responsable del mismo; y 2) con la finalidad de eliminar del análisis las partes bajas contiguas a la costa del Pacífico de Chiapas localizada al suroeste de la reserva, así mismo las partes bajas al noreste de la REBITRI que llegan a una depresión importante situada en el centro del estado. Éstas, fuera del interés por parte de la fuente financiadora del proyecto en general.

Por lo tanto, la delimitación del zona de estudio para la construcción del SIG comprende una superficie más extensa que la REBITRI, quedando a este nivel del estudio de la siguiente forma: desde la cota de los 200 msnm al suroeste de la reserva y hasta los 700 msnm al noreste de la misma, siendo la extensión de la superficie de análisis de 563,740.7 has (figura 1), anexándose a los municipios antes mencionados, los de Chicomuselo, Escuintla, Huixtla, Motozintla, Tonalá y Villa Comaltitlan.

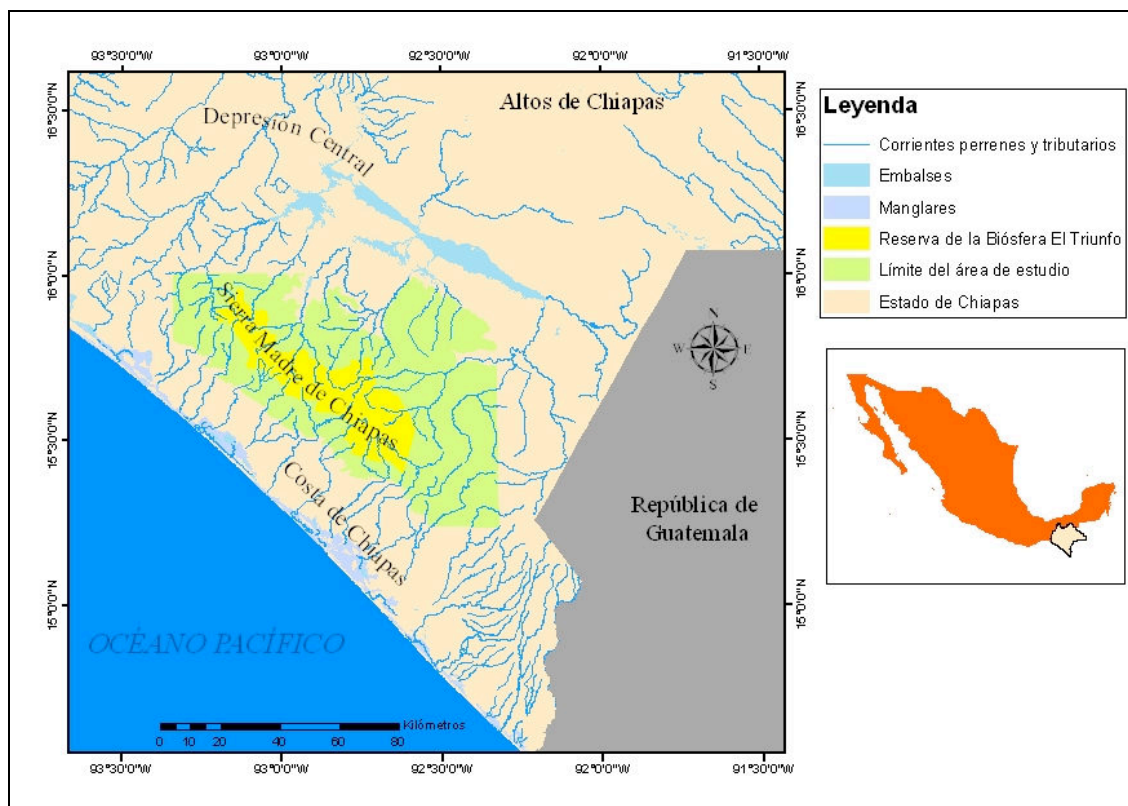


Figura 1. Localización del área de estudio.

### 2.1.2 Ubicación de los tramos visitados en campo tras el análisis SIG

Posteriormente a la construcción y análisis SIG, se ubicaron para la prospección y caracterización en campo 5 tramos de ríos, 1) Prusia, 2) El Plan, 3) Cuxtepeques, 4) Negrito, y 5) El Rosario, ubicados en los municipios de Ángel Albino Corzo (1), La Concordia (2, 3 y 4) y Acacoyagua (5). Éstos, fueron el objeto de estudio en el resto del análisis realizado en el presente trabajo (tabla 1 y figura 3).

Tabla 1. Tramos de ríos muestreados y caracterizados en campo. Refiérase al anexo 6 para ver fotografías.

Microcuenca	Fecha de muestreo	Coordenadas UTM WGS84 de ubicación	Longitud de tramo (m)	Municipio
Río Prusia	15 / oct	X 522054, Y 1737333	2,380	Ángel Albino Corzo
Río El Plan	22 / oct	X 498656, Y 1746379	820	La Concordia
Río Cuxtepeques	23 / oct	X 503524, Y 1739245	10,240	La Concordia
Río Negrito	23 / oct	X 503063, Y 1752837	820	La Concordia
Río El Rosario	2 / dic	X 538566, Y 1710115	1,575	Acacoyagua

## ***2.2 Descripción del área de estudio***

### ***2.2.1 Medio Natural***

#### ***2.2.1.1 Clima***

Los climas que se presentan en el área general de estudio y de acuerdo con la clasificación de Koeppen, modificada por García (1987) son: semicálido húmedo con abundante lluvias en verano A(C)m(w), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano Am(w), cálido subhúmedo con lluvias en verano Aw2(w), templado húmedo con abundantes lluvias en verano C(m)(w) y templado subhúmedo con lluvias en verano C(w2)(w) (Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística – El Colegio de la Frontera Sur / LAIGE – ECOSUR, 2008a).

Dentro del municipio Ángel Albino Corzo cuya extensión territorial es de 1,749.81 km<sup>2</sup>, los climas presentes son el (A)C(m)(w) abarcando el 55.41% de la superficie municipal; Aw2(w) el 32.12% y el 12.47% de C(m)(w). El clima de influencia en el tramo del río Prusia localizado en este municipio es Aw2(w) y A(C)m(w). En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 9°C a los 21°C, mientras que la máxima promedio oscila entre 18°C y 33°C. La precipitación media fluctúa entre los 1400 mm y los 2600 mm. En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 9°C a 15°C y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 33°C. La precipitación media en estos meses va de los 100 mm a 300 mm (LAIGE – ECOSUR, 2008a; Secretaría de planeación y desarrollo sustentable - SPDS, 2006).

Por lo que respecta al clima presente en el municipio de La Concordia (superficie de 1,112.90 km<sup>2</sup>), éstos son Aw2(w) abarcando el 82.85% de la superficie municipal; (A)C(m)(w) semicálido húmedo con lluvias en verano, el 15.10% de la misma superficie; C(m)(w) el 1.80% y el 0.25% de C(w2)(w). El clima de influencia para los 3 tramos de ríos muestreados en este municipio es Aw2(w). En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 9°C a los 21°C, mientras que la máxima promedio oscila entre 21°C y 34.5°C. La precipitación en estos meses fluctúa entre los 1000 mm y los 2600 mm. En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 9°C a 18°C y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 33°C, mientras que la precipitación media va de los 50 mm a 250 mm (LAIGE – ECOSUR, 2008a; SPDS, 2006).



Con relación a los climas del municipio de Acacoyagua (191.3 km<sup>2</sup>), se encuentran presentes Am(w) representado con el 71.68% de la superficie municipal; (A)C(m)(w) con el 23.61% y 4.71% de C(m)(w), siendo los dos primeros los de influencia para el tramo muestreado del río El Rosario. En los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio va de los 9°C a los 18°C, mientras que la máxima promedio oscila entre 18°C y 34.5°C. La precipitación media en estos meses fluctúa entre los 2300 mm y los 3000 mm. En el periodo de noviembre - abril, la temperatura mínima promedio va de 18°C a 22.5°C, y la máxima promedio fluctúa entre 18°C y 33°C, variando la precipitación media de los 150 mm a 350 mm (LAIGE – ECOSUR, 2008a; SPDS, 2006).

### ***2.2.1.2 Fisiografía***

El área de estudio en general pertenece a la provincia fisiográfica Tierras Altas de Chiapas – Guatemala, específicamente a la subprovincia Sierra de Chiapas. Ésta es una cadena montañosa que se extiende en dirección noroeste – sureste y que de acuerdo a la posición de sus laderas, se distinguen las vertientes del Pacífico y de la Depresión Central del estado. Ambas vertientes tienen tres tipos de relieves: 1) crestas alargadas (por arriba de los 2,000 msnm), b) macizo montañoso, de pendientes fuertes a escarpadas entre los 1,000 y 2,000 msnm, y c) laderas con pendientes de moderadas a fuertes (bajo el límite de los 1,000 msnm) (SEMARNAP, 1998), éstos últimos, donde se encuentran inmersos los tramos visitados en campo.

### ***2.2.1.3 Geología***

Los tipos de rocas en el área de estudio general son: rocas ígneas intrusivas (61.89%), rocas sedimentarias (32.25%), rocas metamórficas (4.59%) y rocas ígneas extrusivas (0.88%). De manera más específica se tiene el granito (61.2%), limonita (19.59%), caliza (12.38%), complejo metamórfico (2.76%), esquisto (1.22%), tonalita (0.69%), gneis (0.61%), toba (0.41%) y el 1% restante lo componen suelo aluvial, conglomerado, toba intermedia y lutita (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

En el municipio de Ángel Albino Corzo y con respecto a su superficie, la corteza terrestre está formada por rocas sedimentarias (limolita que abarca el 44.20% y caliza el 30.22%); rocas ígneas intrusivas con el 20.62% (granito); suelo aluvial el 4.39% y rocas ígneas extrusivas (andesita el 0.30%; toba intermedia el 0.25% y toba ácida que ocupa el

0.02%) (Secretaría de planeación y desarrollo sustentable, 2006). El río Prusia concretamente se encuentra situado sobre rocas calizas y granito (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

La corteza terrestre del municipio La Condordia está compuesta por: rocas ígneas intrusivas (granito) que abarca el 34.66%; rocas sedimentarias (limolita el 30.43%; caliza el 21.45% y conglomerado el 0.17%); suelo aluvial el 9.12%; rocas ígneas extrusivas (andesita) el 3.77% y rocas metamórficas (gnéis) que ocupa el 0.04% de la superficie municipal (Secretaría de planeación y desarrollo sustentable, 2006). Los tramos de río situados dentro de este municipio, están sobre rocas ígneas intrusivas (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

Por su parte, el municipio de Acacoyagua está formado por roca ígnea intrusiva (granito el 79.49% y tonalita el 0.69%); suelo aluvial el 15.54%; roca metamórfica (gnéis) el 3.70% y rocas sedimentarias (conglomerado) que ocupa el 0.58% (SPDS, 2006). El tramo del río El Rosario muestreado en este municipio, se sitúa sobre rocas ígneas intrusivas (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

#### ***2.2.1.4 Edafología***

En cuanto a los tipos de suelo dominantes, el área general de estudio está conformada principalmente por litosol (27.11%), cambisol eútrico (24.13%), acrisol húmico (19.10%), acrisol plántico (11.96%), acrisol órtico (7.9%), feozem háplico (4.76%), luvisol órtico (1.49%), regosol eútrico (1.25%), luvisol crómico (1.13%) y el 1% restante se divide entre cambisol cálcico, fluvisol dístrico, andosol húmico, cambisol crómico, cambisol dístrico, cambisol férrilico, fluvisol éútrico y regosol dístrico (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

La mayor parte del tramo recorrido en el río Prusia se encuentra sobre acrisol plántico con gran cantidad de arcilla caolinítica en el subsuelo. Sin embargo, los extremos del tramo muestreado se encuentran sobre suelo de tipo cambisol eútrico de textura fina. Por su parte, el tramo muestreado del río El Plan, se presenta en su totalidad sobre acrisol plántico con similares características al tramo descrito anteriormente (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

En cuanto al tramo recorrido en el río Cuxtepeques, éste presenta suelos del tipo fluvisol eútrico y litosol con textura media y acrisol plántico de textura fina. Por lo que respecta al tramo muestreado del río Negrito, se presentan suelos del tipo acrisol plántico y fluvisol eútrico, con textura fina y media, respectivamente. Por último, con relación al tramo muestreado en el río El Rosario, el tipo de suelo sobre el cual está asentado es feozem háplico de textura media (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

### **2.2.1.5 Hidrología**

Sobre el aspecto hidrológico, la REBITRI se encuentra enclavada en el parteaguas de la Sierra Madre de Chiapas, donde se encuentran las fronteras de dos regiones hidrográficas; 1) la Grijalva – Usumacinta que vierte sus aguas al Golfo de México; y 2) la Costa de Chiapas que discurre hacia el océano Pacífico (SEMARNAP, 1998).

La microcuenca del río Prusia es de tipo exorreica, pertenece a la cuenca del río Grijalva y descarga sus aguas en el río Jaltenango, mismo que río abajo desagua sobre la hidroeléctrica Belisario Domínguez, mejor conocida como “Presa la Angostura”, ubicada en la depresión central del estado de Chiapas al paso del río Grijalva. El río Prusia tiene una longitud total de 12,535.24 km y la longitud combinada de todos los afluentes y tributarios que descargan sus aguas en él es de 76, 414.97 km (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

Por su parte, las microcuencas de los ríos El Plan, Negrito y Cuxtepeques son de tipo exorreicas que descargan sus aguas una sobre otra, respectivamente, formando parte del complejo de la subcuenca denominada Cuxtepeques y que integra la cuenca del río Grijalva en su parte Alta. A diferencia del río descrito en el párrafo anterior, la Cuxtepeques descarga sus aguas primeramente en la presa José López Portillo (El Portillo) antes de alcanzar el vaso de la presa La Angostura. El agua almacenada en la presa El Portillo se utiliza para cultivo en el distrito de riego no. 101 Cuxtepeques que tiene un potencial de aprox. 10,000 ha, aunque actualmente se aprovechan menos de 4,000 ha (Fideicomiso de Riesgo Compartido – FIRCO, 2007).

La longitud total de la microcuenca El Plan (incluyendo afluentes) es de 120.84 km, mientras que la del cauce del río El Plan es de aprox. 18.97 km en un intervalo altitudinal que inicia a una elevación de aprox. 1,800 msnm desembocando en el río El Negrito a 850 msnm. El tramo muestreado del río Cuxtepeques pertenece a la microcuenca Alta, misma que se extiende 10,085.9 ha y cuyo cauce principal tiene 17,963 km de longitud, existiendo en él una variación altitudinal aproximada de 1,700 a 800 msnm. Por lo que respecta al tramo recorrido en el río Negrito, éste pertenece a la microcuenca que lleva ese mismo nombre y cuya longitud total de cauce conteniendo los afluentes es de 100.91 km, mientras que la del cauce principal es de 15.4 km. Esta microcuenca se presenta en un rango de elevación que va de los 1,800 a los 850 msnm (LAIGE – ECOSUR. 2008a; FIRCO, 2007).

Sobre el tramo de muestreo en el río El Rosario, la microcuenca que lleva el mismo nombre es de tipo exorreica, discurre de noroeste - sureste y a una altura aproximada de 600 msnm se une a la subcuenca del río Cacaluta, donde a partir de ahí la descarga desciende en dirección norte – sur hacia la cuenca del río Cintalapa y posteriormente a la costa Pacífico de Chiapas (IDESMAC, 2007). El cauce principal de la microcuenca tiene una longitud total de 9,828.29 km, mientras que la longitud total todos los afluentes que descargan en la misma es de 49,059.91 km (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

### **2.2.1.6 Flora**

A nivel del área de estudio, comprendida por 563,740.7 has, los tipos de vegetación presentes y su respectivo porcentaje en orden de representatividad son: vegetación secundaria (35.40%), bosque de coníferas (18.02%), bosque mesófilo de montaña (17.48%), agricultura de temporal (12.66%), pastizales y herbazales (11.30%), pastizal cultivado (2.54%), selvas húmedas y subhúmedas (2.19%), bosques deciduos (0.23%), selvas secas (0.16%), agricultura de riego (0.001%) y el resto corresponde a zonas urbanas (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

Rzedowski (2006) en su obra “Vegetación de México”, reconoce para la reserva y su zona de influencia básicamente dos formaciones de comunidades vegetales por su gran extensión en el área, el bosque mesófilo de montaña y el bosque de coníferas y de *Quercus* que persisten en altitudes de los 1,000 a los 2,700 msnm y en presencia de precipitaciones que oscilan entre los 1,500 y 3,000 mm anuales. En menor medida y con posiblemente poca influencia en las zonas cercanas al área de influencia de la reserva, están distribuidas las comunidades vegetales de bosque tropical caducifolio y bosque tropical perennifolio.

El bosque mesófilo de montaña tiene como hábitat más frecuente las regiones con relieve accidentado y laderas de pendiente pronunciadas. A menudo desciende hasta las orillas de los arroyos y sobre sustrato de calizas con topografía kárstica, además de laderas de cerros andesíticos, basálticos, tobas, granitos, gneis y muchos otros tipos de roca. Los suelos en los que se presenta esta formación vegetal suelen ser someros o profundos, amarillos, rojos o negruzcos, con abundancia de materia orgánica en los horizontes superiores, con pH de 4 a 6, de textura arenosa a arcillosa y húmedos todo el año (Rzedowski, 2006).

Este tipo de formación fisonómicamente es un bosque denso con alturas que rondan de los 15 a los 30 metros (aunque algunos árboles alcanzan tallas de 60 m), los diámetros

pueden alcanzar 2 m, siendo lo normal de 30 a 50 centímetros y la comunidad incluye árboles perennifolios y de hoja decidua. Entre los árboles más comunes y de excelente calidad maderable se encuentran los *Quercus sp*, *Juglans sp*, *Dalbergia sp*, *Podocarpus sp*, *Liquidambar sp*, etc. (Rzedowski, 2006).

Por lo común se presentan varios estratos arbóreos, además de uno o dos arbustivos, en tanto que el estrato herbáceo normalmente es escaso en bosques bien conservados, aunque su desarrollo en claro puede llegar a ser muy diversificado con pteridofitas. Entre las trepadoras leñosas se encuentran frecuentemente ejemplares de los géneros *Archibaccharis*, *Celastrus*, *Clematis* y *Gelsemium*, entre otros. En cuanto a las epífitas abundan los líquenes, musgos y pteridofitas, además de fanerógamas de las familias Piperaceae, Bromeliaceae y Orchidaceae (Rzedowski, 2006).

De las angiospermas en esta formación vegetal, las familias mejor representadas son Orchidaceae, Compositae, Rubiaceae, Melastomataceae y Leguminosae. Por las gimnospermas son comunes los géneros *Pinus*, *Podocarpus* y *Abies*, además de diversas cicadáceas como *Ceratozamia*, *Dioon* y *Zamia*. De las pteridofitas destacan especies de los géneros *Lycopodium* y *Selaginella*, así como de las familias Hymenophyllaceae y Cyatheaceae (Rzedowski, 2006).

En lo que es el estudio florístico más detallado en la zona, Long y Heath (1991), en el polígono I de la reserva concerniente a la zona núcleo “El Triunfo”, de las 8,248 especies registradas en el estado de Chiapas por Breedlove (1981), encontraron 751 especies de 407 géneros representando 138 familias. En este trabajo se identificaron 7 comunidades clímax y una comunidad secundaria, reconociendo las siguientes asociaciones vegetales: 1) *Gaultheria-Ugni-Vaccinium*; 2) *Quercus-Matudaea-Hedyosmum-Dendropanax*; 3) *Liquidambar-Quercus-Pinus*; 4) *Cupressus-Pinus*; 5) *Ficus-Coccoloba-Dipholis-Sapium*; 6) *Garcinia-Inga-Desmopsis*; 7) bosque de *Quercus salicifolia*; y 8) áreas abiertas de bosque secundario. En dicho estudio y aunque concluyen que su listado es preliminar, citan que de las formaciones vegetales identificadas en el polígono I de la REBITRI, 3 grupos de comunidades vegetales contienen 558 especies de 331 géneros en 126 familias representadas por el bosque mesófilo de montaña (esto de acuerdo a la clasificación propuesta por Rzedowski, 2006).

De acuerdo al Programa de Manejo de la REBITRI (SEMARNAP, 1998), atendiendo a la clasificación de Breedlove (1981) y dentro de los límites de la misma, se reconocen 10

tipos de vegetación: 1) matorral perennifolio de neblina, 2) bosque lluvioso de montaña, 3) bosque perennifolio de neblina, 4) bosque lluvioso de montaña baja, 5) bosque estacional perennifolio, 6) bosque de pino-encino-liquidámbar, 7) bosque de pino-encino, 8) bosque de galería o ripario, 9) selva baja caducifolia, y 10) comunidades secundarias arbóreas y arbustivas (ver anexo 1 para la composición de especies por comunidad vegetal)

### **2.2.1.7 Fauna**

De acuerdo al Programa de Manejo para la REBITRI (SEMARNAP, 1998), existen en la misma 548 especies de vertebrados terrestres, lo cual representa el 45% de los reportados para Chiapas y el 22% de México (Espinoza *et al*, en prensa). En cuanto a anfibios se refiere, se han reportado 22 especies (23% de lo reportado en Chiapas y el 7.5% del país), de reptiles se presentan 63 especies (32% de Chiapas y el 9% del país), en tanto que de mamíferos se han registrado 112 especies (56% para el estado, equivalente al 23% a nivel nacional).

Según la misma fuente (SEMARNAP, 1998) y en lo concerniente a la ictiofauna, hay una especie nativa de la familia Characidae y otra de Cichlidae, dos de Cyprinodontidae y dos de Poeciliidae. En cuanto a las aves, es el grupo mayormente diverso en la reserva, habiendo en ella 390 especies (56% de Chiapas y 37% a nivel nacional). Por otra parte, la reserva alberga 13 especies de vertebrados endémicos de México, 7 de Chiapas y 3 endémicas de la Sierra Madre (Espinoza, *et al*, en prensa), además de que 135 especies de las que habitan en la REBITRI se encuentran bajo algún régimen de protección (Diario Oficial de la Federación – DOF, 1994).

Entre el listado de especies que se mencionan en el Programa de Manejo de la reserva (SEMARNAP, 1998) y del Programa de Manejo Integral de la parte Alta y Media de la Subcuenca del río Cuxtepeques (SEMARNAT, s/f), destacan por orden taxonómico en aves los Trogoniformes por el quetzal (*Pharomachrus mocinno*), Galliriformes por el pavón (*Oreophasis derbianus*), el pajuil (*Penelopina nigra*), la chachalaca ventriblanca (*Ortalis leucogaster*), el hocofaisán (*Crax rubra*) y la cojolita (*Penelope purpurascens*). De los Passeriformes la tångara alas azules (*Tangara cabanisi*), el chupahuevo (*Campylorhynchus chiapensis*), la chara de niebla (*Cyanolyca pumilo*), el rascador barbiamarillo (*Atlapetes gutturalis*), el rascadorcito patillado (*Melozone biarcuatum*) y el rascadorcito orejiblanco (*Melozone leucotis*). De los Psittaciformes el periquito serrano (*Bolborhynchus lineola*), el loro de nuca amarilla (*Amazona auripalliata*) y el loro cabeza azul (*Amazona farinosa*), Apodiformes el colibrí enano sureño (*Atthis ellioti*), de los Piciformes el pájaro callejero

(*Bucco macrorhynchus*), Coraciiformes el momoto goriazul (*Asphata gularis*), de los Stringiformes el búho serrano (*Strix fulvenscens*), Accipitriformes el águila elegante (*Spizaetus ornatus*), el águila vientriblanca (*Spizaetus melanoleucus*) y el águila tirana (*Spizaetus tyrannus*), y de los Ciconiiformes el zopilote rey (*Sarcoramphus papa*).

Por lo que respecta a los mamíferos se pueden mencionar de los Primates el mono araña (*Ateles geoffroyi*), del orden Perissodactyla el tapir (*Tapirus bairdii*), Didelphoidia el tlacuache (*Marmosa mexicana*), Chiroptera el murciélago (*Balantiopteryx plicata*), Xenarthra el oso hormiguero arborícola (*Tamandua mexicana*), Carnivora el jaguar (*Panthera onca*), el puma (*Puma concolor*), el ocelote (*Leopardus pardalis*), el grisón (*Galictis vittata*), el viejo de monte (*Eira barbara*) y la nutria (*Lutra longicaudis*) (SEMARNAP, 1998; SEMARNAT, s/f).

En cuanto a los reptiles, está presente para la reserva la salamandra del cerro Ovando (*Dendrotriton xolocalcae*) del orden Caudata, además de el dragoncillo verde (*Abronia matudae*) por parte del orden Squamata (SEMARNAP, 1998; SEMARNAT, s/f).

Con relación a los invertebrados, éste es el grupo menos estudiado en la reserva, reportando para la misma un listado de 588 especies de lepidópteros diurnos que según De la Maza y De la Maza (1993) representan el 49% de las conocidas para Chiapas.

### **2.2.2 Medio Socioeconómico**

La siguiente información se presenta a nivel municipal, con la finalidad de dar una perspectiva general respecto a la zona y la incidencia por actividades humanas desarrolladas en los alrededores de los tramos visitados en campo.

La población total donde se encuentran ubicados los tramos objeto de muestreo es de 28,883 habitantes para el municipio Ángel Albino Corzo, mientras que para La Concordia es de 40,189 y para Acacoyagua de 14,653 habitantes. En todos los municipios se presenta mayor incidencia de población rural que urbana y la población indígena esta ligeramente representada en cada uno (tabla 2).



Tabla 2. Población por municipio. Fuente: SPDS, 2006.

Características de la población	Ángel Albino Corzo	La Concordia	Acacoyagua
	Habitantes	Habitantes	Habitantes
Población total	28,883	40,189	14,653
Población urbana	12,746	9,774	6,625
Población rural	16,137	30,415	8,028
Grupo de edad de 15 a 64 años	13,423	26,611	8,194
Población indígena	859	3,020	56
<sup>1</sup> PEA activa	7,132	11,869	4,304
PEA inactiva	7,185	14,792	4,992
PEA sector primario	4,255	8,825	2,594
PEA sector secundario	729	781	462
PEA sector terciario	1,988	2,009	1,107
PEA sin ingresos	1,718	3,465	1,004
PEA con ingresos de 0-1 salario mínimo	2,619	5,068	1,369
PEA con ingresos de 1-2 salarios mínimos	1,397	1,916	1,167
PEA trabajadores agropecuarios	4,263	8,785	2,566
PEA artesanos y obreros	620	661	339
PEA comerciantes y dependientes	570	448	300

Los principales tipos de vegetación y uso del suelo, de acuerdo a la superficie total de cada municipio, en el referente a Ángel Albino Corzo y por orden de importancia, son el bosque de pino-encino (33.56%), el bosque de coníferas (21.89%) y la agricultura de temporal (20.88%). Por lo que respecta al municipio de La Concordia, éstos son la vegetación secundaria (21.13%), el bosque de coníferas (20.45%) y la agricultura de temporal (15.52%). Por su parte, en el municipio de Acacoyagua son la vegetación secundaria (50.55%), el pastizal cultivado (22.25%) y el pastizal inducido (15.55%) (tabla 3).

Tabla 3. Aprovechamiento y uso del suelo por municipio. Fuente: SPDS, 2006.

Vegetación y Uso del Suelo	Ángel Albino Corzo (1,749.81 km <sup>2</sup> )	La Concordia (1,112.90 km <sup>2</sup> )	Acacoyagua (191.3 km <sup>2</sup> )
	%	%	%
Agricultura de temporal	20.88	15.52	0.94
Agricultura de riego	0.00	3.95	0.00
Pastizal cultivado	9.96	9.17	22.25
Pastizal y herbazal (pastizal inducido)	3.53	8.86	15.55

<sup>1</sup> Población Económicamente Activa



Bosque de pino-encino	33.56	0.00	0.00
Bosque de coníferas	21.89	20.45	1.38
Bosque Mesófilo	8.52	12.39	7.20
Bosque Deciduo	1.30	0.58	0.00
Selva seca	0.00	1.93	0.00
Selva húmeda y subhúmeda	0.00	1.05	1.68
Vegetación secundaria	0.00	21.13	50.55
Zona urbana	0.36	0.29	0.44

En el sector primario es común en los tres municipios la práctica de ganadería de bovinos, porcinos, equinos, ovinos y de aves, además de que el tipo de agricultura mayormente practicada es la de temporal, siendo el maíz y frijol el común denominador en todos y en menor medida, existe la práctica de cultivos perennes (tabla 4).

Tabla 4. Características del sector primario por municipio. Fuente: SPDS, 2006.

Sector primario	Ángel Albino Corzo	La Concordia	Acacoyagua
Especies para ganadería por orden de importancia	Aves, porcinos, bovinos, equinos y ovinos	Bovinos, porcinos, ovinos, equinos y aves	Bovinos, aves, porcinos, ovinos y equinos
Superficie total agricultura (ha)	15,403.00	31,155.25	10,348
Tipo de agricultura practicada	Temporal 100%	Temporal 94.77%	Temporal 100%
	Riego 0.00%	Riego 5.23%.	Riego 0.00%.
Cultivos cíclicos por orden de importancia	Maíz y frijol	Maíz, frijol, sandía, sorgo y tomate rojo	Maíz, frijol, arroz palay, sorgo, sandía y ajonjolí
Superficie total de cultivos cíclicos (ha)	4,995.00	23,513.00	2,403.00
Cultivos perennes por orden de importancia	Café, naranja y limón	Café, papaya, mango, naranja y limón	Pastos y praderas en verde, café, mango, cacao, palma africana y aguacate
Superficie total de cultivos perennes (ha)	10,408.00	7,642.25	7,945.00

Por último, los tipos de tenencia de la tierra que ocupan la mayoría de la superficie en los municipios son el privado y el federal, mientras que se pueden destacar los ejidos como modalidades de tenencia de la tierra compartida en el municipio de La Concordia (49) con relación a los de Acacoyagua y Ángel Albino Corzo (16 y 14, respectivamente) (tabla 5).

Tabla 5. Características de los núcleos agrarios por municipio. Fuente: SPDS, 2006.

Núcleos agrarios	Ángel Albino Corzo	La Concordia	Acacoyagua
Número de Ejidos	14	49	16
Número de Comunidades Agrarias	0	0	1
Superficie total (ha)	59,953.54	133,042.99	20,572.66
% Núcleos parcelados	0.03	17.38	25.73
% Asentamientos humanos	0.13	0.34	0.58
% Uso común	35.13	10.41	0.34
% Otros tipos de tenencia	64.71	71.88	73.35

### **2.2.3 Normativa para la restauración**

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente reformada y publicada en el Diario Oficial de la Federación (2007) se cita a través de su Título Primero “Disposiciones generales”, Capítulo IV “Instrumentos de la política ambiental”, Sección I “Planeación ambiental” y Artículo 18, que *El gobierno federal promoverá la participación de los distintos grupos sociales en la elaboración de los programas que tengan por objeto la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente según a lo establecido en la misma Ley y a las demás aplicables.*

En orden a lo anterior, la dirección de la reserva es regulada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y de acuerdo al Programa de Manejo de la REBITRI (instrumento de gestión para la misma – SEMARNAP, 1998), establece que dentro de los límites de la reserva y en función de su estado de conservación, solo es posible realizar actividades de restauración de manera activa en la zona de amortiguamiento. En el mismo documento se establecen las normas de uso a seguir, en las cuales se comenta que la restauración con fines productivos está permitida, siempre y cuando no signifique mayor deterioro de las condiciones naturales. Además se menciona que serán compatibles las actividades científicas y técnicas con la restauración productiva con la finalidad de implementar los estudios que se requieran a corto plazo para la recuperación de estas áreas.

Fe de lo anterior, se indica en el Anexo 2, Capítulo II “De permisos y autorizaciones”, regla 24, *El establecimiento y operación de viveros con fines de reforestación o restauración, promovidos por ejidos o pequeños propietarios, serán autorizados solo en la zona de amortiguamiento de la Reserva, previo cumplimiento de los requisitos establecidos por la SEMARNAP (SEMARNAP, 1998).*

## 2.3 Metodología

### 2.3.1 Construcción del SIG

La construcción de un SIG sobre el área de estudio en general, se realizó con la finalidad de hacer un prediagnóstico de la situación actual definiendo áreas con diferentes grados de degradación potencial (alto, medio o bajo) en la REBITRI y su zona de influencia.

Las capas utilizadas para el SIG fueron: 1) Modelo Digital de Elevación (MDE - LAIGE – ECOSUR, 2008b), 2) isoyetas de noviembre a abril, 3) isoyetas de mayo a octubre, 4) número de días con lluvia de noviembre a abril, 5) número de días con lluvia de mayo a octubre, 6) áreas naturales protegidas, 7) líneas eléctricas, 8) red de caminos, 9) núcleos de población, y 10) red hidrológica (LAIGE – ECOSUR, 2008a – tabla 6).

Tabla 6. Formato y escala de las capas temáticas trabajadas.

<b>Archivo</b>	<b>Formato</b>	<b>Escala</b>
Isoyetas de noviembre – abril	Vectorial	1 : 250,000
Isoyetas de mayo – octubre	Vectorial	1 : 250,000
Número de días con lluvia de noviembre – abril	Vectorial	1 : 250,000
Número de días con lluvia de mayo – octubre	Vectorial	1 : 250,000
Áreas Naturales Protegidas	Vectorial	1 : 250,000
Núcleos de población al 2000	Vectorial	1 : 250,000
Red hidrológica	Vectorial	1 : 250,000 y 1 : 50,000
Líneas eléctricas	Vectorial	1 : 50,000
Caminos	Vectorial	1 : 50,000
Modelo Digital de Elevación (MDE)	Raster	25 m / pixel

Posteriormente se procedió a homogenizar la proyección de todas las capas facilitadas, siendo la proyección de trabajo la Universal Transversal de Mercator en Datum WGS84 y Zona 15N, zona correspondiente al área de estudio.

### 2.3.1.1 Limitación de la zona de análisis

Se limitó la zona de análisis tomando como modelo una imagen creada por BIOCORES A. C. (2008) como parte del proyecto general que representa la Densidad de Vegetación. A partir de dicha imagen se digitalizó un polígono en formato *shapefile* de ESRI ArcView GIS 3.3 y en seguida se cortaron a este límite de análisis el resto de las capas utilizadas para este trabajo cuyo formato es vectorial.

### 2.3.1.2 Digitalización y establecimiento de criterios

A continuación se derivó la pendiente en grados del MDE y se reclasificó dicha capa en función del riesgo a inundaciones (rango de 0° a 10° = prioridad alta, de 11° a 30° = media y >31° = baja) categorizado según un Valor Numérico (VN - alta = 3, media = 2 y baja = 1). Esta categorización se estableció en base al supuesto que a menor pendiente la energía del cauce del río tiende a disiparse haciendo más sinuoso al mismo (González del Tanago y García de Jalón, 2007) y que tras una importante avenida de agua, el mencionado riesgo incrementa, así como acelerarse los procesos de erosión y sedimentación. Posteriormente se vectorizó la capa en formato *shapefile* y se cortó al margen al límite de la zona de análisis al igual que el resto de las capas utilizadas.

Así como la pendiente es una variable de gran peso para este análisis, la precipitación cumple un papel clave, ya que a mayor precipitación en el área límite de estudio, mayor será el caudal de los ríos, guardando una relación directa con el incremento de riesgo de inundaciones en las zonas críticas derivadas de las pendientes. Por lo que la categorización establecida en las capas de isoyetas fue: a) noviembre – abril: rango de 300 – 600 mm = prioridad alta (VN = 3), de 150 – 299 mm = media (VN = 2), y de 75 – 149 mm = baja (VN = 1); y b) mayo – octubre: >2,600 mm = alta (VN = 3), de 1,700 a 2,599 mm = media (VN = 2), y de 1,200 a 1,699 = baja (VN = 1). Además de lo anterior, se consideró la variable “días de lluvia por periodo”, ya que representa un valor de igual consideración, por lo que esta capa temática fue clasificada de acuerdo a la tabla 7.

Tabla 7. Criterio de clasificación para los días por periodo de lluvias.

Días por periodo de lluvias					
Noviembre-Abril			Mayo-Octubre		
Rango	Prioridad	VN	Rango	Prioridad	VN
30 – 59	Media	2	>90	Alta	3
0 – 29	Baja	1	60 – 89	Media	2

En lo concerniente a las Áreas Naturales Protegidas en la zona de análisis y particularmente las zonas núcleo y amortiguamiento de “El Triunfo”, el criterio establecido está en función de las zonas donde de acuerdo al Programa de Manejo para la reserva puedan ser llevadas a cabo acciones de restauración activa (SEMARNAP, 1998). No obstante, se consideró prudente no sacar del análisis las zonas núcleo debido a su estado de conservación, por lo que su prioridad es baja. Así este criterio considera la posibilidad de encontrar que mediante las variables de índole social puedan localizarse sitios de alto potencial de degradación, en cuyo caso se podría estudiar la posibilidad de aplicar una restauración de tipo pasiva (tabla 8):

Tabla 8. Criterio de clasificación para las distintas zonas de la REBITRI.

<b>Reserva de la Biósfera “El Triunfo”</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Prioridad</b>	<b>VN</b>
Zona de amortiguamiento	Alta	3
Zona núcleo La Angostura	Baja	1
Zona núcleo El Venado	Baja	1
Zona núcleo Cuxtepec	Baja	1
Zona núcleo El Triunfo	Baja	1
Zona núcleo Ovando	Baja	1

En lo que se refiere a la existencia de otras Áreas Naturales Protegidas, existen dos contiguas a la REBITRI (La Concordia y Zaragoza, y La Frailesca), ambas de orden estatal. Éstas fueron tomadas en consideración dentro de la clasificación de prioridades en la zona de análisis como superficies de terreno de alta prioridad (VN = 3), ya que en ellas primordialmente las labores de restauración no están restringidas como en el caso de “El Triunfo”.

Dado que las restantes capas (variables) son de tipo puntuales o lineales, se procedió a crear un buffer de 1 km de radio a cada una de ellas con la finalidad de poder expresar mediante una superficie de área la incidencia humana incluyéndola en la zona del análisis, tomando en consideración que por ser una Reserva de la Biósfera, el grado de perturbación en los ecosistemas en general, y fluviales en particular, estará directamente relacionado con la cercanía de las infraestructuras humanas y la incidencia de la gente en las mismas.

En la variable con referencia a los núcleos de población, una vez establecido su buffer se procedió a clasificar esta capa tanto en prioridad como en su valor numérico, en función del número de habitantes por localidad. Las tres clases establecidas para este análisis fueron: de

956 – 2,398 hab. = prioridad alta (VN = 3), de 216 – 955 = media (VN = 2), y de 1 – 215 = baja (VN = 1).

La información temática referente a las infraestructuras, es la que concierne a la capa de líneas eléctricas y a la de vías de comunicación expresadas en la capa de caminos. En ambos casos, se determinó su clasificación de acuerdo a sus tablas de atributos, su transitabilidad y concurrencia (por tipo de infraestructura en las vías de comunicación) (tabla 9):

Tabla 9. Clasificación dada para las infraestructuras.

<b>Infraestructura</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Prioridad</b>	<b>VN</b>
Línea de alta tensión	Alta	3
Carretera pavimentada de más de dos carriles	Alta	3
Carretera pavimentada de un carril	Alta	3
Puentes	Alta	3
Terracería transitable todo el año	Alta	3
Línea de baja tensión	Media	2
Pista aérea	Media	2
Calle	Media	2
Brecha	Media	2
Línea eléctrica <sup>2</sup>	Baja	1
Vereda	Baja	1

Previo al análisis de todas las capas y de acuerdo a los criterios antes establecidos, se uniformizaron las mismas en relación a la superficie del área de estudio. En la tabla de atributos de las capas referentes al polígono de la reserva, otras ANP's, núcleos de población, líneas eléctricas y caminos, se agregó a la clasificación (alta, media o baja) una categoría más, denominada “no apta” con valor numérico de cero y que corresponde a la superficie restante dada la homogenización con respecto al límite del área de estudio.

Para las capas buffer (núcleos de población, líneas eléctricas y caminos), se crearon capas nuevas para cada una de sus categorías, posteriormente se unieron por separado al límite del área de estudio, solucionando así la homogenización de superficie previo al análisis evitando la interferencia de una categoría con la otra de la misma variable. En la tabla de atributos de las capas resultantes, la superficie de diferencia entre cada categoría de cada

<sup>2</sup> Se asume que está sin definir el grado de tensión eléctrica.

variable con relación al límite del área de estudio fue igualmente clasificada como “no apta” con valor numérico de cero.

Finalmente se rasterizó cada capa creada para enseguida realizar el análisis.

### 2.3.1.3 Análisis y clasificación final

El análisis y cruzamiento de las capas fue el correspondiente a la metodología de la Sumatoria Lineal Ponderada por ser sencillo, intuitivo y fácil de implementar. En él, la obtención del nivel de adecuación a cada categoría se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada variable por su peso (Gómez Delgado y Barredo Cano, 2005).

Para lo anterior, se utilizó el módulo de la extensión Spatial Analyst Tool – Overlay – Weighted Sum del SIG ESRI ArcMap 9.2, donde a través de la figura 2, se expone la lógica aritmética de los pesos ponderados ingresados en el análisis.

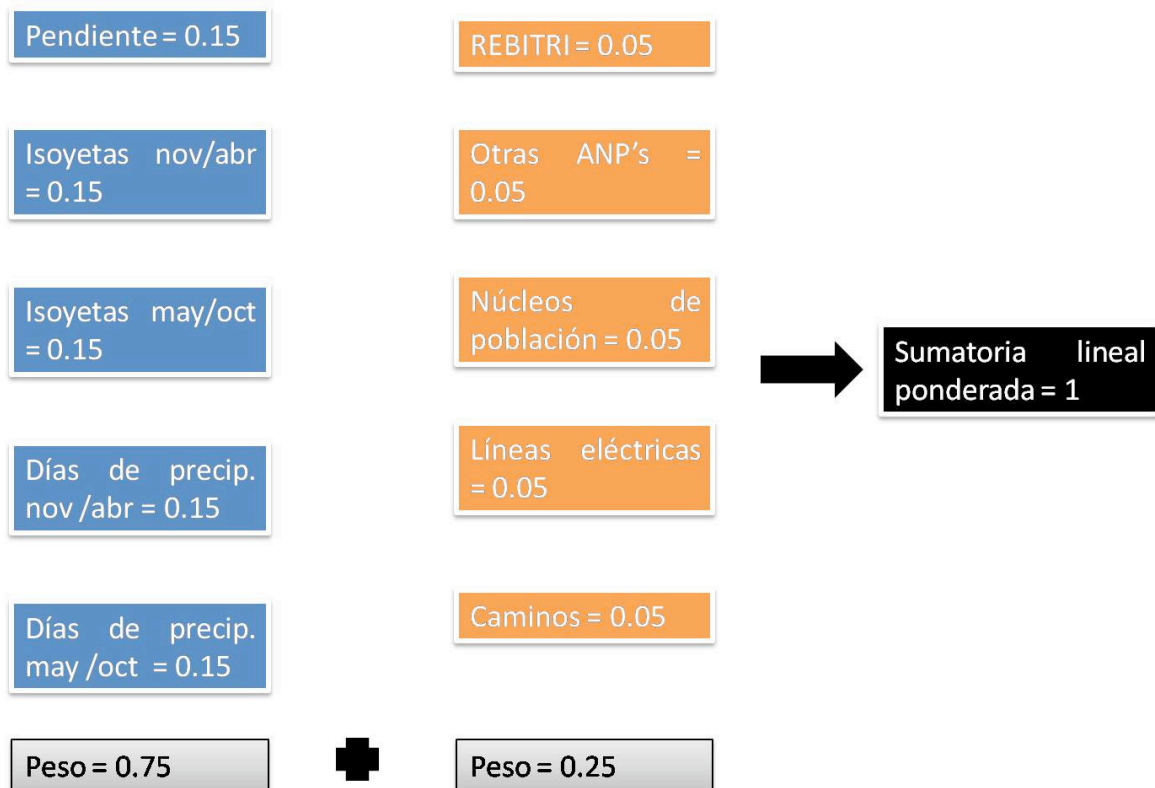


Figura 2. Pesos ponderados para cada una de las capas.

El resultado del análisis en el modelo fue un mapa de tipo raster que se reclasifica en tres grados distintos (alto, medio o bajo), mismos que muestran la degradación potencial

existente en el área de análisis por factores ambientales o sociales. Sobre este mapa se sobre puso la capa del polígono de la reserva, además de la red hidrológica (LAIGE – ECOSUR, 2008a) para concretar los ríos y tramos de muestreo en campo y su posterior caracterización con la finalidad de definir las estrategias de restauración en ellos dentro de los límites de la REBITRI y en su zona de influencia.

### ***2.3.2 Visita y caracterización de los ríos en campo***

Posteriormente a la construcción y análisis SIG, se realizó la visita para la prospección y caracterización en campo de 5 tramos de ríos, 1) Prusia, 2) El Plan, 3) Cuxtepeques, 4) Negrito, y 5) El Rosario. La selección de los tramos de ríos para su muestreo se realizó con base en los diferentes criterios que a continuación se enuncian:

- De acuerdo al resultado del prediagnóstico cuya fuente de análisis se realizó en el SIG, donde quedaron definidos los sitios con diferentes grados de degradación potencial, alto, medio y bajo, siendo el grado alto, y salvo casos excepcionales el grado medio, los de prioridad para su prospección en terreno.
- Acorde a lo señalado en un taller de expertos realizado por BIOCORES A. C. para mostrar los avances del proyecto en general y contexto del cual parte este estudio, donde fue mostrado el mapa resultado del prediagnóstico y que a su juicio por la experiencia y conocimiento de la zona, se consideraron para su priorización los tramos de los ríos mayormente impactados.
- Disponibilidad de personal de la dirección administrativa de la REBITRI.
- A la coincidencia con las salidas al campo por parte del equipo de BIOCORES A. C.
- Y por último, en función del tiempo disponible para la realización de este trabajo (octubre – diciembre de 2008).

El equipo utilizado en campo para los recorridos realizados en los tramos de ríos muestreados lo comprenden: GPS marca Garmin modelo GPSMap 60CSx, clinómetro marca Suunto modelo PM-5/360PC, formato de caracterización de los tramos de ríos muestreados (anexo 2), libreta de campo y lápiz/bolígrafo.

La información recopilada de cada tramo muestreado fue: fecha de reconocimiento, nombre de quién lo realiza, nombre de cuenca, subcuenca y río, coordenadas y altura sobre el nivel del mar de inicio y término del recorrido, población e infraestructuras cercanas al cauce,



tipo de uso del suelo observado contiguo al tramo, pendiente de laderas de influencia, pendiente del cauce al inicio y final del tramo, anchura del cauce y vegetación de orillas y riberas.

Asimismo, si existe heterogeneidad en el paisaje fluvial, calidad, degradación y posible afectación a infraestructuras humanas percibida del mismo, además de observaciones adicionales.

Por otra parte, la siguiente información recopilada se realizó de acuerdo a la clasificación de González del Tanago y García de Jalón (2007): tipo de valle, cauce, sustrato, granulometría, formas del lecho y si existe formación de dunas.

Por último, la información referente a la caracterización de los tramos muestreados recabada en escritorio fue el gradiente altitudinal comprendido de inicio a final de los mismos con la finalidad de obtener el perfil longitudinal de cada uno. Dicha altitud, debido a que el altímetro incorporado al GPS no es del todo confiable si no se calibra con la altitud exacta en al menos un punto en el tramo muestreado (Garmin, 2007), fue obtenida de las cartas topográficas impresas de Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) D15B21 “Samuel León Brindis” (río Prusia y parte del Cuxtepeques), D15A19 “Ignacio Zaragoza”, D15B11 “Jaltenango de la Paz” (río Negrito y parte del Cuxtepeques) y D15B32 “Escuintla”.

### ***2.3.3 Análisis de los componentes del ecosistema ripario***

Para el análisis diacrónico se obtuvieron imágenes en las que se muestran los tramos objetos de estudio y visitados en campo, mediante las cuales se realizó el trazado en planta que consiste en sobreponer la digitalización de los componentes del ecosistema ripario de un año de análisis con otro. De esta forma, el análisis completo permite explicar la presencia de restos de bosque de ribera en zonas actualmente alejadas del cauce, la erosión permanente del río sobre uno de los márgenes de cultivos agrícolas, la frecuencia de inundaciones en determinadas áreas urbanizadas, etc. (González del Tanago y García de Jalón, 2007).

Para lo anterior, se utilizaron las ortofotos digitales georreferenciadas históricas escala 1:20,000 de INEGI D15B11 cuadrante “D” para el estudio del río Negrito y parte del Cuxtepeques, D15A19 cuadrante “F” para el río El Plan y D15B32 cuadrante “A” para el río El Rosario, todas ellas con una resolución de 2 metros por pixel. Con relación a la fuente base de las ortofotos digitales antes mencionadas, ésta es de fotografías aéreas escala 1:75,000

tomadas en febrero para la D15B11D y abril de 1996 para D15A19F y D15B32A. En tanto que, los tramos referentes a los ríos Prusia y parte del Cuxtepeques, se adquirieron en fotografías aéreas en escala 1:37,500 tomadas en enero de 1996 y pertenecientes a la línea de vuelo 442 y 439, respectivamente. Dichas fotografías aéreas fueron escaneadas para tener una versión digital de éstas y posteriormente se les dio referencia espacial mediante los programas de ESRI ArcView GIS 3.3 y ArcMap 9.2, que como en el resto del trabajo, es Universal Transversal de Mercator (UTM) y datum WGS84.

Para las imágenes concernientes a fechas recientes, fue utilizado el programa en su versión libre Google Earth 4.0 en donde para la zona muestra ortofotos digitales del año 2007. Una vez identificado el tramo del río objeto de estudio en dicho programa, se guardó la imagen en formato JPG para enseguida mediante los programas de ESRI darle georreferenciación.

Posteriormente y de acuerdo a las imágenes que captan en diferentes momentos los tramos de ríos muestreados en campo, se procedió a realizar la digitalización de los diversos componentes de los ecosistemas riparios tanto en 1996 como en 2007, esto mediante las herramientas de los programas de ESRI. Para cada par de archivos digitalizados se utilizó la misma superficie de análisis y que comprende los márgenes del tramo en cuestión, además de la longitud del segmento de río hasta un punto donde en ambas imágenes el valle cierra y las condiciones del tramo son diferentes. Por lo tanto, la digitalización de los tramos se extiende más allá de las coordenadas de inicio y final del mismo durante el muestreo de campo.

Finalmente, se obtuvieron diversos índices para cada digitalización de los componentes de los ecosistemas riparios en ambos años mediante la extensión *Patch Analyst 2.2* de ESRI ArcView GIS 3.3 en su módulo *Spatial Statistics*. Como índices de configuración se obtuvieron: 1) superficie del paisaje analizado y de cada componente fotointerpretado, 2) índice de la forma media del área para cada componente (IFMC) y del paisaje en general, 3) tamaño medio del componente del ecosistema (TMC) y del paisaje; y como índice de composición se obtuvo, 4) índice de diversidad de Shannon (IDS) que en este caso analiza la diversidad de todos los componentes del ecosistema en el paisaje entero de análisis (Elkie *et al*, 1999). Como un 5to. índice se obtuvo de forma manual el concerniente a la sinuosidad (IS) del cauce y/o canal con agua de cada tramo en ambos años de análisis, con la finalidad de conocer el grado de dinamismo presente a lo largo del tiempo en los tramos muestreados. Esto se logró aplicando una sencilla fórmula en donde dicho índice es determinado por la división entre la longitud sinuosa del elemento entre la longitud del valle en estudio (Rosgen,

1996), que en este caso es una línea recta desde el punto de inicio al punto final del paisaje analizado.

La aplicación y comprensión integral de todos estos índices en su conjunto funcionan como herramienta para analizar el dinamismo del ecosistema ripario y que faculta al diagnóstico de cada tramo de forma cuantitativa para la toma de decisiones en materia de restauración.

### ***2.3.4 Estimación de la escorrentía en las microcuencas***

Debido a la imperante necesidad de conocer la tendencia a través de los años de los caudales circundantes o escorrentía media de las microcuencas sobre las que se encuentran los tramos visitados en campo para complementar su caracterización y posterior diagnóstico (González del Tanago y García de Jalón, 2007), a que penden totalmente de la precipitación por estar ubicados en la parte alta de la sierra (zona de captación de agua), a la carencia de información actualizada (CONAGUA y CFE, 2008), o manera como se requiere para el presente trabajo (SEMARNAT, s/f), se estimaron para las mismas las escorrentías medias anuales por espacio de 21 años (1987 – 2007) para poder observar su tendencia dentro de este periodo.

Para lo anterior, se utilizó la metodología propuesta por Martínez Ménez (2005), en la cual se usa la siguiente ecuación:

$$V_m = C P_m A (10) \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde,  $V_m$  = Volumen medio escurrido ( $m^3$ ),  $A$  = área de la microcuenca (ha),  $C$  = coeficiente de escurrimiento (adimensional),  $P_m$  = precipitación media (mm) y 10 = factor de conversión a  $m^3$ .

El área de la microcuenca fue obtenida digitalizando la superficie comprendida por la misma en el MDE (LAIGE – ECOSUR, 2008b), sobre puesta en él la capa temática de la red hidrológica (LAIGE – ECOSUR, 2008a).

Con relación al coeficiente de escurrimiento, su valor se obtuvo de la tabla 10 en función al tipo de textura del suelo, vegetación y pendientes (LAIGE – ECOSUR, 2008ab) determinando el área parcial de cada uno sobre la microcuenca y calculando su promedio ponderado para finalmente utilizar ese valor en la ecuación.

Tabla 10. Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al uso del suelo y su textura, así como la pendiente del terreno, de acuerdo con Martínez Ménez (2005).

Uso del suelo y pendiente del terreno	Textura del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Pendiente de 0°-2.9°	0.10	0.30	0.40
Pendiente de 3°-5.7°	0.25	0.35	0.50
Pendiente $\geq$ 5.8°)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Pendiente de 0°-2.9°	0.10	0.30	0.40
Pendiente de 3°-5.7°	0.16	0.36	0.55
Pendiente $\geq$ 5.8°	0.22	0.42	0.60
Terrenos cultivados			
Pendiente de 0°-2.9°	0.30	0.50	0.60
Pendiente de 3°-5.7°	0.40	0.60	0.70
Pendiente $\geq$ 5.8°	0.52	0.72	0.82

La precipitación máxima mensual se obtuvo de las estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua 7054 “Finca Prusia” localizada en la misma finca y que sirvió para los cálculos de la microcuenca del río Prusia, 7037 “Finca Cuxtepeques” ubicada en la finca del mismo nombre y que está situada al inicio del tramo muestreado del río Cuxtepeques. Los datos de la estación 7037 fueron utilizados para el cálculo de las microcuencas El Plan y Negrito, además de la Cuxtepeques. Por último, de la estación climatológica 7390 “Cacaluta” para lo que respecta al tramo muestreado del río El Rosario (CONAGUA, 2008) (anexo 4).

### 3. Resultados

#### 3.1 Prediagnóstico (SIG)

El mapa resultado del SIG muestra la zona de estudio según su grado de degradación potencial (figura 3), en el cual la superficie con mayor grado del mismo se presenta en el sureste de la REBITRI contiguo a la zona núcleo "Ovando" que tiene un grado medio. En tanto que, en el resto de las zonas núcleo de la reserva figura un grado bajo.



Figura 3. Mapa de degradación potencial en la REBITRI y su área de influencia para la restauración hidrológica.

### 3.2 Caracterización de los tramos de ríos visitados en campo

De acuerdo al tipo de valle, todos los tramos de muestreo presentan uno estrecho en forma de U, salvo en secciones específicas de cada uno en las que por un lado, tiende a estrecharse aún más llegando a ser en forma de V, como en algunos otros que hay zonas que el mismo se abre extensamente (figura 4).

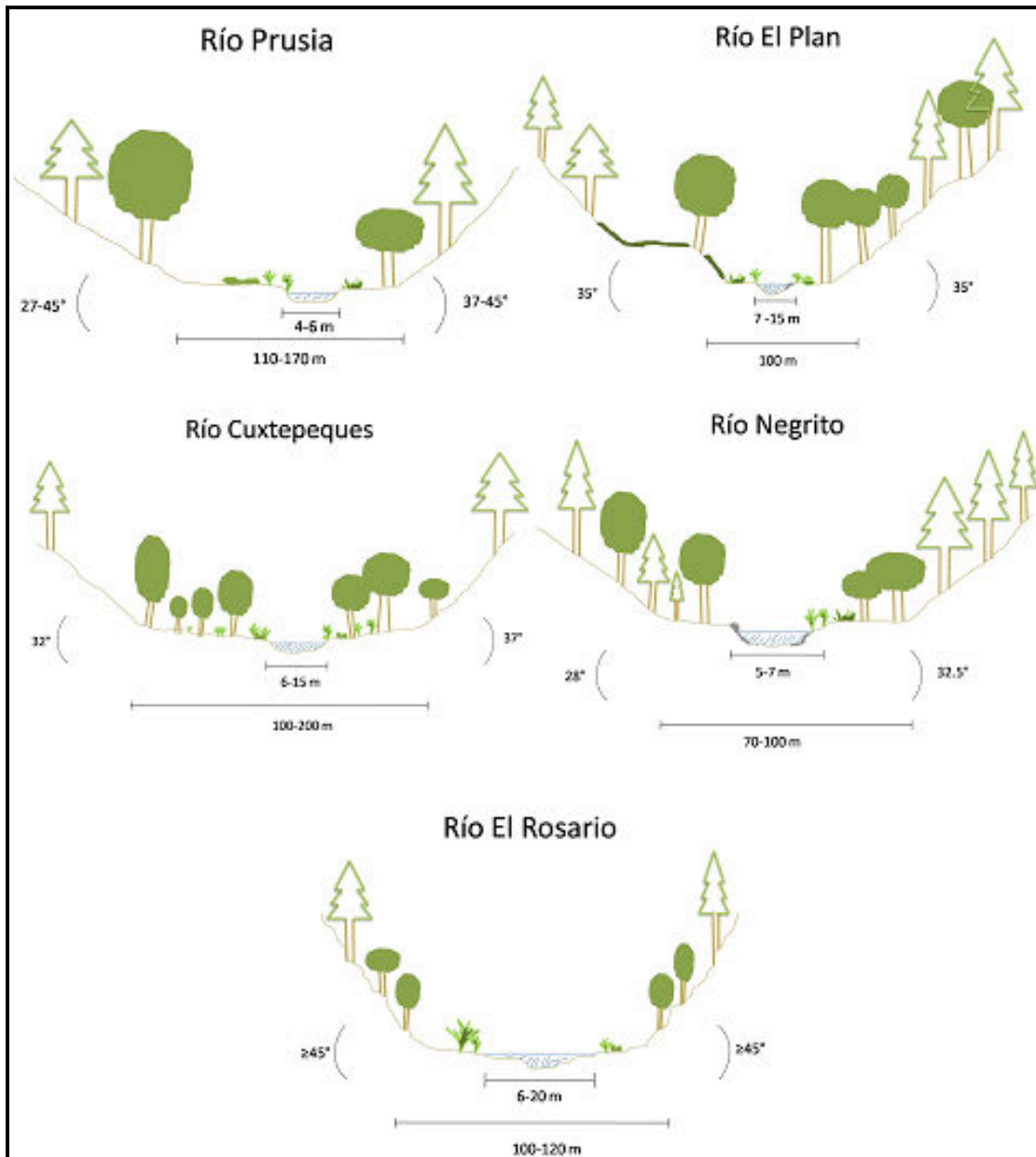


Figura 4. Perfiles transversales de los tramos de ríos muestreados en campo.

Por lo que respecta a los perfiles longitudinales (figura 5), en general todos los tramos de muestreo se encuentran dentro de un rango de elevación que varía de los 728 a los 1,150 msnm y cuyas longitudes de cada uno son igualmente variables (820 a 10,240 m).

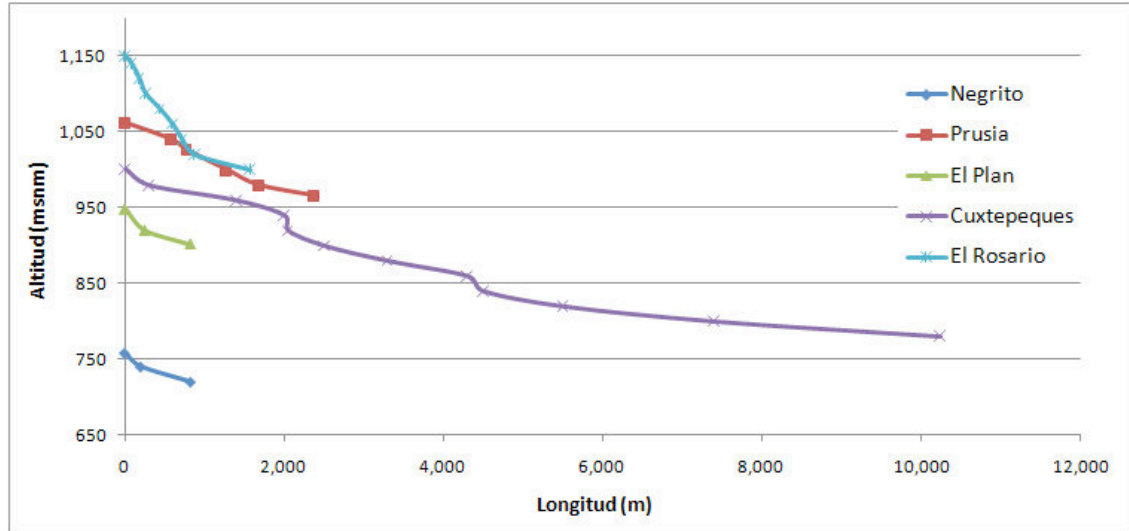


Figura 5. Gráficas de perfiles longitudinales en los tramos de ríos muestreados.

En todos los tramos de estudio muestreados existen infraestructuras cercanas, el uso del suelo es mayoritariamente bosque, áreas de pastoreo y cafetales cuya calidad percibida del paisaje fluvial va de regular a buena, habiéndose encontrado en todos los casos erosión en las orillas del cauce. Éste último en todos es de montaña, salvo el del río El Rosario que en algunas partes es de torrente de alta montaña y el del río Cuxtepeques que en partes de presenta de piedemonte. El sustrato es  $\geq 6$  cm de diámetro con formas del lecho entre saltos y pozas, rápidos continuos y rápidos y remansos (tabla 11).



Tabla 11. Resumen de características encontradas en cada tramo durante su muestreo. Para ver descripción en extenso y fotografías, refiérase a los anexos 3 y 6, respectivamente.

Atributo	Tramo del río muestreado			
	Prusia	El Plan	Cuxtepeques	El Negrito
Población de infraestructuras cercanas	Ejido Siete de Octubre y Finca Prusia. Puente p/vehículos, camino, casas y construcciones abandonadas	Fincas “Las Nubes” y “El Plan”. Puente p/vehículos y fincas (casas y construcciones abandonadas)	Finca Cuxtepec y ranchería 30 de Agosto. Puentes p/vehículos y personas, bodegas y construcciones	Nuevo Paraíso. Puente p/vehículos y tubería de agua
Uso del suelo observado	Bosque, cafetales, cultivo de maíz y pastoreo	Bosque, cafetales y áreas de pastoreo	Bosque, cafetales y áreas de pastoreo	Bosque y áreas de pastoreo
Vegetación observada	Bosque pino – encino, <i>Platanus mexicana</i> , herbáceas y huertos frutales.	Bosque pino – encino, <i>Platanus mexicana</i> , fresno, ficus y herbáceas.	Bosque pino – encino, <i>Platanus mexicana</i> , sauces, ficus, arbustivas y herbáceas	Bosque pino – encino, vainilla, ficus, sauces, capulín y mulatos
Pendiente de laderas de influencia	27° – 45° y 37° – 45° / 51% – 100% y 75.7% – 100%	35° / 70% en ambas	32° y 37° / 62.5% y 75.7%	28° y 32.5° / 53.2% y 63.5%
Pendiente media del cauce	2° / -3.7%	3° / -5.2%	1.8° / -3%	1.5° / -2.7%
Anchura del cauce	Cauce 4 – 6 m	Cauce 7 – 15 m	Cauce 6 – 15 m.	Cauce 5 – 7 m.
Tipo de valle	Estrecho en forma de U (entre tipo 1-C y 2)	Estrecho en forma de U (entre tipo 1-C y 2)	Estrecho en forma de U (tipo 2)	Estrecho en forma de U (tipo 1-C)
Tipo de cauce	Río de montaña	Río de montaña	Río de montaña (mayoría) y de piedemonte	Río de montaña
				Construcciones del ejido Rosario Zacatonal
				Bosque, cafetal, cultivos de maíz y áreas de pastoreo
				<i>Ulmus mexicana</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Cecropia sp.</i> , <i>Cordia alliodora</i> , <i>Ficus labrata</i> y <i>F. sp.</i>
				≥45° / ≥100% en ambas
				4.7° / -8.5%
				Cauce 6 – 20 m.
				Estrecho en forma de U (entre tipo 1-A y 1-C)
				Entre torrente de alta montaña y río de montaña



Atributo	Tramo del río muestreado				
	Prusia	El Plan	Cuxtepeques	El Negrito	El Rosario
Tipo de sustrato	Aluvial y poco coluvial	Aluvial y coluvial y roca madre expuesta	Aluvial, coluvial y roca madre expuesta	Cohesivo, coluvial y aluvial	Aluvial y coluvial
Granulometría	Guijarros y algunos cantos rodados	De guijarros hasta grandes bloques y cantos rodados	De guijarros hasta grandes bloques y cantos rodados	De guijarros hasta grandes bloques y cantos rodados	Hasta grandes bloques y cantos rodados
Formas del lecho	Rápidos continuos	Transición de saltos y pozas a rápidos continuos	Rápidos continuos y rápidos y remansos	Transición de saltos y pozas a rápidos continuos	Transición de saltos y pozas a rápidos continuos
Formación de dunas	No	No	No	No	No
Paisaje fluvial (heterogeneidad, degradación percibidas)	Bueno	Regular	Buena	Buena	Regular
Degradación percibida	Erosión en las orillas	Erosión en las orillas	Erosión en orillas y leve proceso de incisión lateral	Erosión en las orillas	Se denotó erosión en las orillas
Otras observaciones	-	Existen amplias zonas deforestadas	Existen amplias zonas deforestadas. Existe una barrera de gavión en un talud lateral. Se denotó una muy buena regeneración de la vegetación en el interior del cauce.	El cauce se encuentra protegido por bosque en un margen de 30 m aprox. a cada lado del mismo, a partir de ahí existen amplias zonas de pastoreo	Buena proporción de laderas deforestadas

### ***3.3 Análisis del paisaje y trazado en planta***

De acuerdo a las imágenes analizadas para los tramos de ríos de estudio, los ecosistemas riparios en 1996 incluyen de 3 a 6 componentes en el paisaje (bosque, ladera deforestada, zona de pastoreo, cauce, canal con agua, e infraestructuras). Sin embargo, en algunos casos no fue posible diferenciar plenamente el cauce del canal con agua debido al dosel de la vegetación, por lo que en éstos, la digitalización se realizó como un único componente que incluye ambos (El Plan, El Negrito y El Rosario). Por su parte, para el 2007, los ecosistemas riparios incluyen de 4 a 6 componentes en sus paisajes, estando en todos ellos, plenamente diferenciados el cauce del canal con agua, por lo que son tratados por separado en el análisis. Otros componentes digitalizados para este año son: bosque, ladera deforestada, zona de pastoreo e infraestructuras (figuras 6, 8, 10, 12 y 14).

Por lo que respecta a los índices obtenidos de configuración, superficie, tamaño medio e índice de la forma media de cada componente, así como del paisaje en general, el índice de diversidad de Shannon (índice de composición – medido a nivel de paisaje) y el índice de sinuosidad, todos ellos varían en menor o mayor grado, mostrando como el ecosistema ripario es cambiante en el periodo de análisis (1996 a 2007 – ver tabla 12).

Debido a lo anterior, en todos los trazados en planta de cada tramo se denota variación, así como en todos sus componentes. Esta visión permite denotar de manera gráfica cuanto varía cada uno en el mismo periodo de tiempo analizado (figuras 7, 9, 11, 13 y 15).

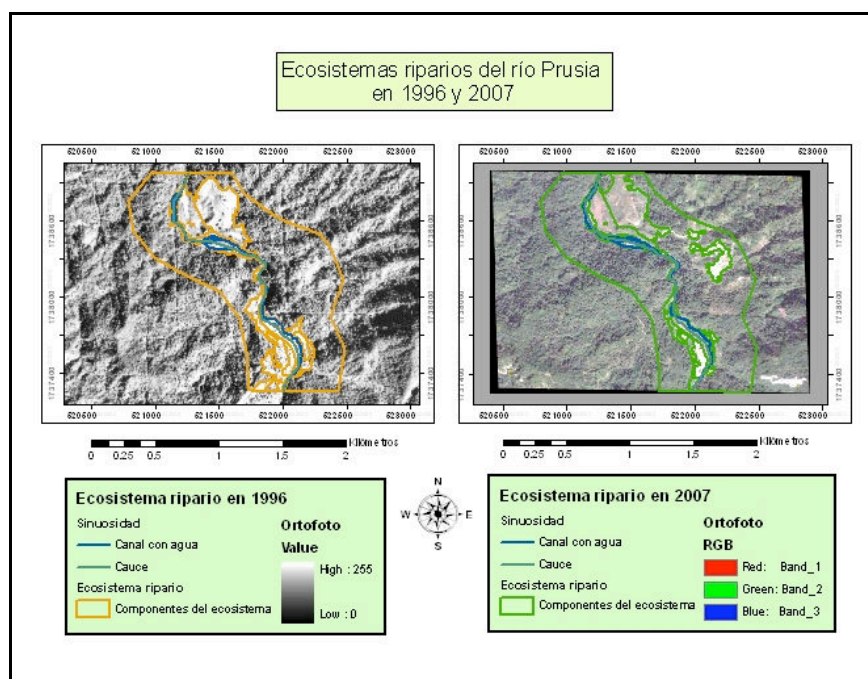


Figura 6. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Prusia.

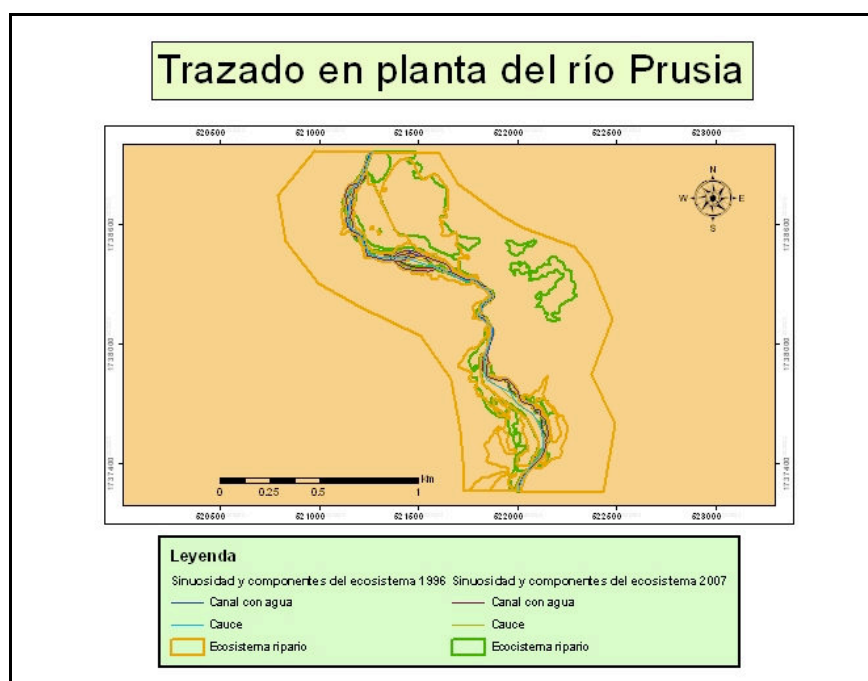


Figura 7. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Prusia.

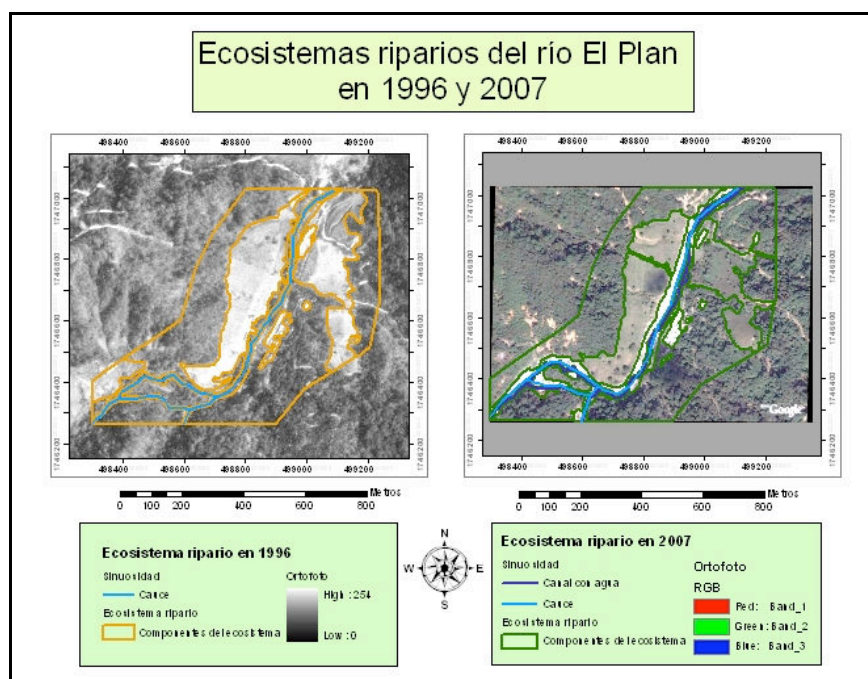


Figura 8. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río El Plan.



Figura 9. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río El Plan.

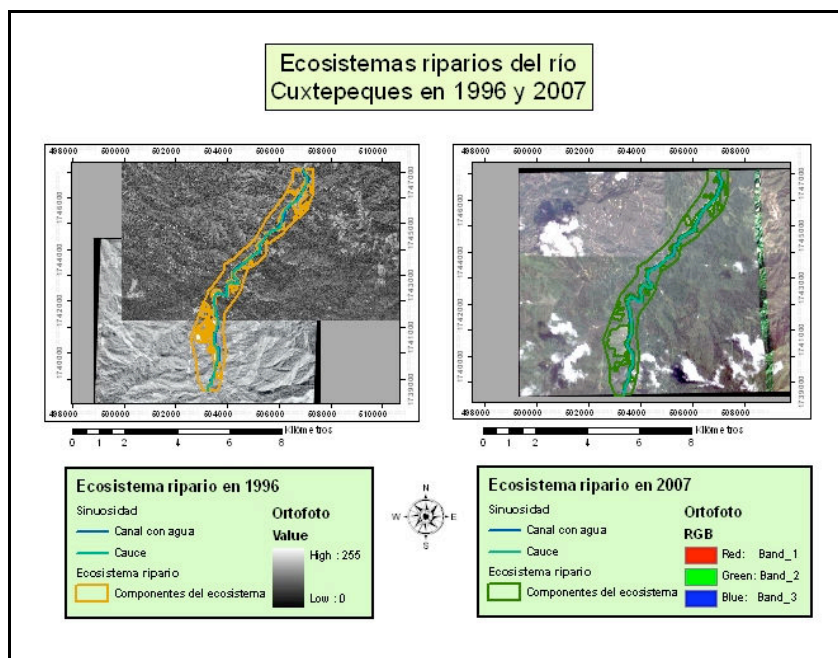


Figura 10. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Cuxtepeques.

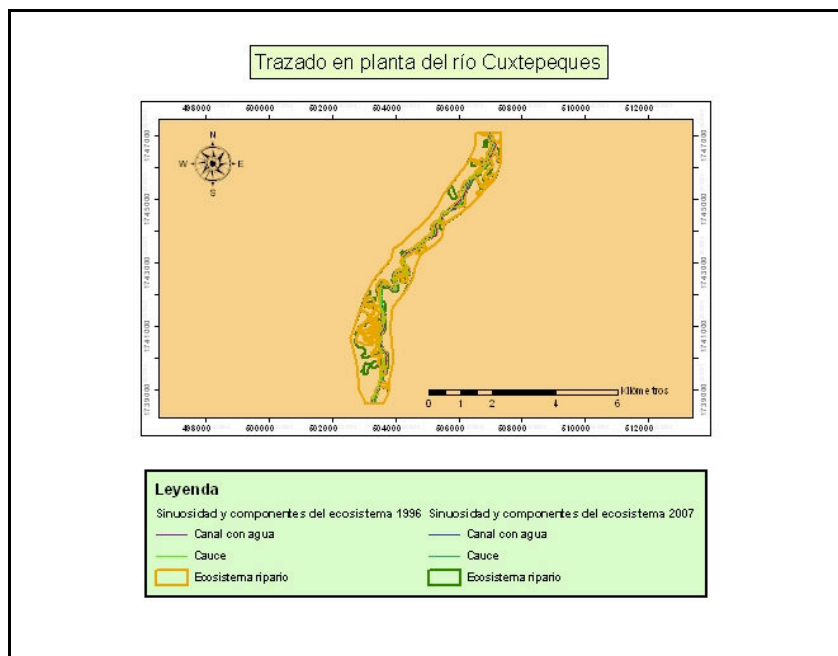


Figura 11. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Cuxtepeques.



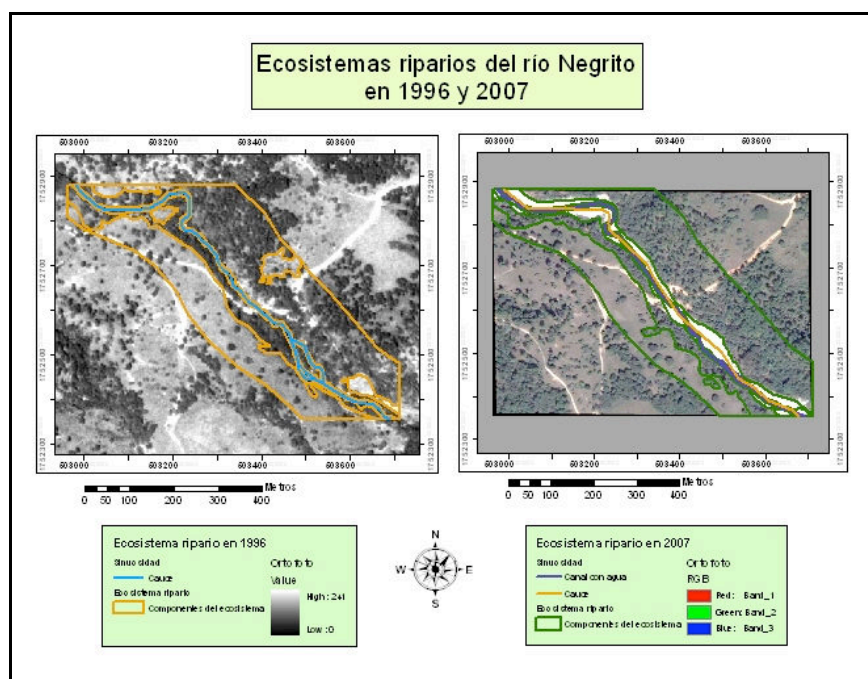


Figura 12. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río Negrito.

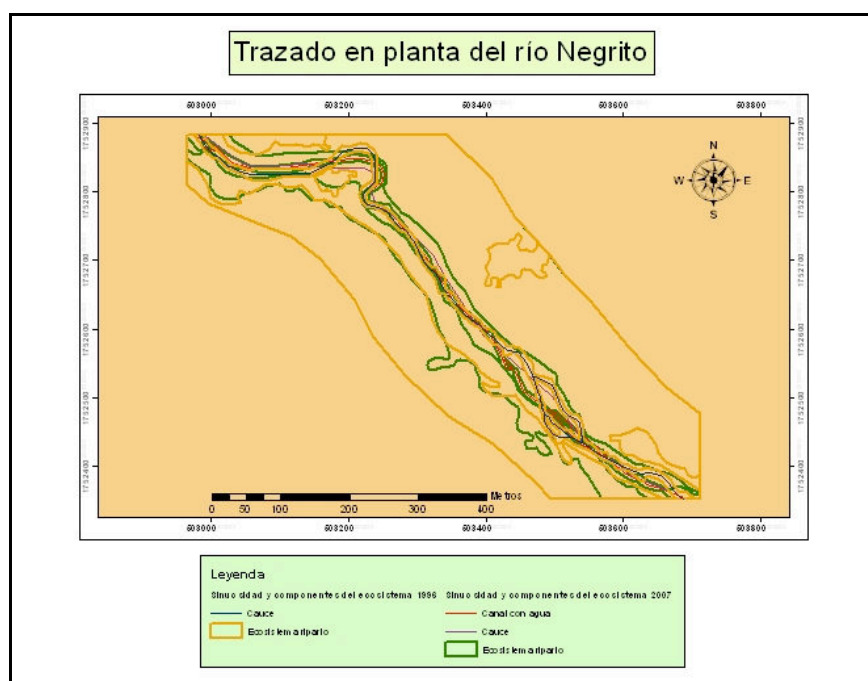


Figura 13. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río Negrito.

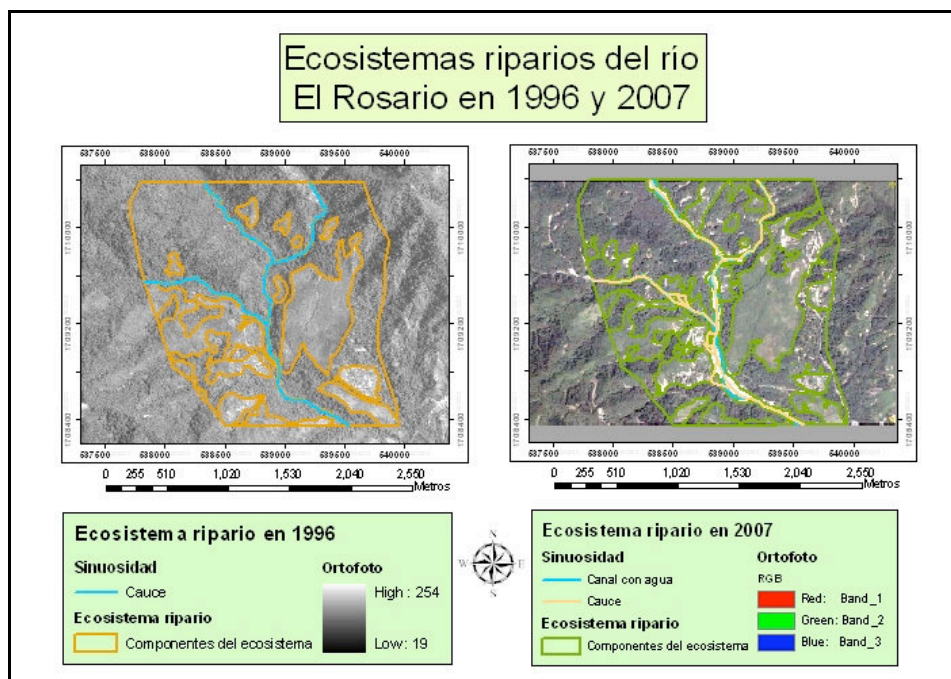


Figura 14. Componentes fluviales y del ecosistema contiguo al cauce en el río El Rosario.

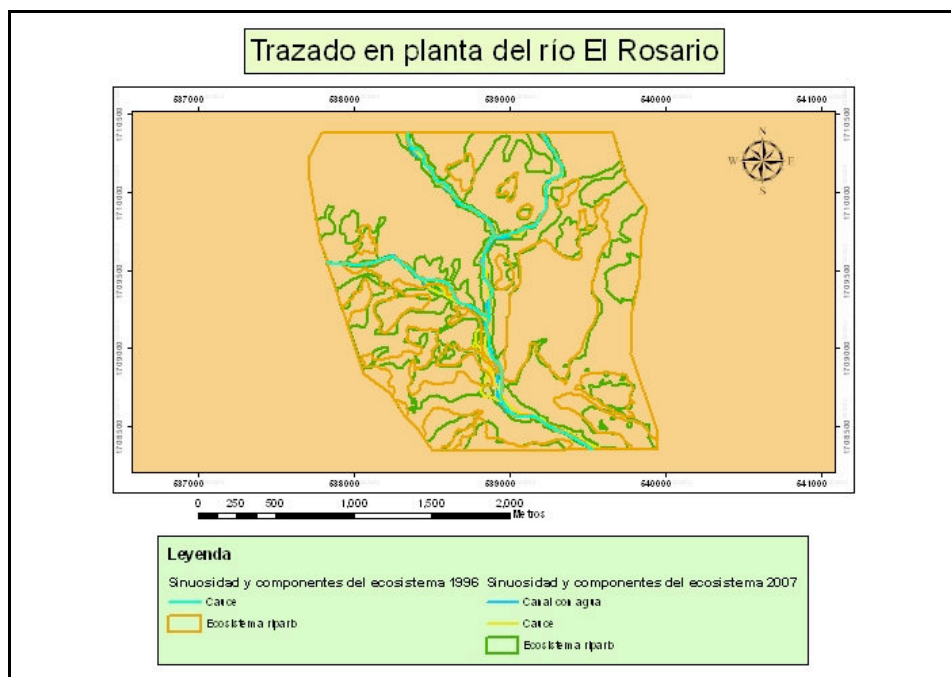


Figura 15. Sobre posición de los componentes digitalizados en el ecosistema ripario del río El Rosario.

Tabla 12. Índices obtenidos para los componentes del ecosistema en todos los tramos de los ríos muestreados en campo.

<b>Río Prusia</b>					
<b>Componente del paisaje</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b><sup>3</sup>TMC (ha)</b>	<b><sup>4</sup>IFMC</b>	<b><sup>5</sup>IDS</b>	<b><sup>6</sup>IS</b>
<b>1996</b>					
<b>Bosque</b>	123.6395	41.2132	1.7532	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	22.5838	7.5279	2.8420	-	-
<b>Zona de pastoreo</b>	5.5412	5.5412	1.3670	-	-
<b>Cauce</b>	9.3660	1.1707	3.1189	-	1.335
<b>Canal con agua</b>	2.0624	2.0624	12.0147	-	1.902
<b>Infraestructura</b>	2.8055	0.4676	1.1947	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>165.9984</b>	<b>7.5454</b>	<b>2.6949</b>	<b>1.5691</b>	-
<b>2007</b>					
<b>Bosque</b>	126.1796	42.0599	1.7279	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	15.6403	7.8201	2.5145	-	-
<b>Zona de pastoreo</b>	6.8284	6.8284	2.1357	-	-
<b>Cauce</b>	7.7378	0.8598	2.6473	-	1.305
<b>Canal con agua</b>	1.9765	1.9765	12.3181	-	1.908
<b>Infraestructura</b>	7.6357	0.6942	1.4023	-	-
<b>Paisaje entero</b>	165.9984	6.1481	2.3673	1.6442	-
<b>Río El Plan</b>					
<b>1996</b>					
<b>Bosque</b>	29.1383	5.8277	2.0965	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	15.3228	5.1076	1.7399	-	-
<b>Cauce - canal con agua</b>	2.0124	2.0124	6.0783	-	1.57
<b>Infraestructura de finca</b>	0.9137	0.1523	1.2205	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>47.3872</b>	<b>3.1591</b>	<b>1.9402</b>	<b>1.1329</b>	-
<b>2007</b>					
<b>Bosque</b>	28.3584	4.7264	1.6886	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	12.0812	6.0406	2.1843	-	-
<b>Cauce</b>	4.7500	4.7500	8.5930	-	1.53
<b>Canal con agua</b>	1.5844	1.5844	8.1418	-	1.89
<b>Infraestructura de finca</b>	0.6133	0.0767	1.1253	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>47.3874</b>	<b>2.6326</b>	<b>2.2354</b>	<b>1.4334</b>	-
<b>Río Cuxtepeques</b>					
<b>1996</b>					
<b>Bosque</b>	682.4182	75.8242	1.9585	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	116.3519	11.6352	2.0299	-	-
<b>Cauce</b>	82.1326	41.0663	9.3825	-	1.208
<b>Canal con agua</b>	11.3129	11.3129	17.6189	-	1.260

<sup>3</sup> Tamaño medio del componente

<sup>4</sup> Índice de la forma media del componente

<sup>5</sup> Índice de diversidad de Shannon

<sup>6</sup> Índice de sinuosidad



<b>Infraestructura</b>	4.1324	2.0662	1.3046	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>896.3481</b>	<b>37.3478</b>	<b>3.2049</b>	<b>1.3583</b>	-
<b>2007</b>					
<b>Bosque</b>	640.8688	213.6229	2.9758	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	166.1953	11.8711	1.6627	-	-
<b>Cauce</b>	66.6756	33.3378	9.8957	-	1.200
<b>Canal con agua</b>	16.2459	16.2459	14.0643	-	1.209
<b>Infraestructura</b>	6.3596	0.9085	1.0988	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>896.3451</b>	<b>33.1980</b>	<b>2.7316</b>	<b>1.3853</b>	-
<b>Río Negrito</b>					
<b>1996</b>					
<b>Bosque</b>	11.0122	11.0122	4.1516	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	6.5261	1.3052	1.6790	-	-
<b>Cauce – canal con agua</b>	1.1301	1.1301	5.8523	-	1.39
<b>Paisaje entero</b>	<b>18.6684</b>	<b>2.6669</b>	<b>2.6284</b>	<b>1.0425</b>	-
<b>2007</b>					
<b>Bosque</b>	10.6213	5.3107	2.5092	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	4.8391	4.8391	2.1922	-	-
<b>Cauce</b>	2.3375	2.3375	7.0549	-	1.06
<b>Canal con agua</b>	0.8705	0.8705	6.3514	-	1.35
<b>Paisaje entero</b>	<b>18.6684</b>	<b>3.7337</b>	<b>4.1234</b>	<b>1.3318</b>	-
<b>Río El Rosario</b>					
<b>1996</b>					
<b>Bosque</b>	260.1562	32.5195	2.0740	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	107.8017	8.9835	1.4921	-	-
<b>Cauce - canal con agua</b>	3.5169	3.5169	13.2828	-	2.1
<b>Infraestructura</b>	6.5200	6.5200	1.1691	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>377.9948</b>	<b>17.1816</b>	<b>2.2250</b>	<b>1.0590</b>	-
<b>2007</b>					
<b>Bosque</b>	217.8167	12.8127	1.6563	-	-
<b>Ladera deforestada</b>	133.1707	8.8780	1.6402	-	-
<b>Cauce</b>	20.4180	5.1045	6.0194	-	2.59
<b>Canal con agua</b>	2.7901	2.7901	14.7998	-	2.07
<b>Infraestructura</b>	3.7993	0.3799	1.0970	-	-
<b>Paisaje entero</b>	<b>377.9948</b>	<b>8.0424</b>	<b>2.1832</b>	<b>1.3513</b>	-

### 3.4 Escorrentía media anual de las microcuencas

Como producto del cálculo de la escorrentía media anual por el espacio de tiempo considerado (1987 – 2007), se obtuvo para la microcuenca del río Prusia una tendencia positiva de la misma. Para las microcuencas de El Plan, Cuxtepeques y Negroito, la tendencia general es negativa. Por su parte, la tendencia de la microcuenca del río El Rosario permanece estable (figura 16). Por otra parte, es importante señalar que la escorrentía depende completamente de la precipitación.

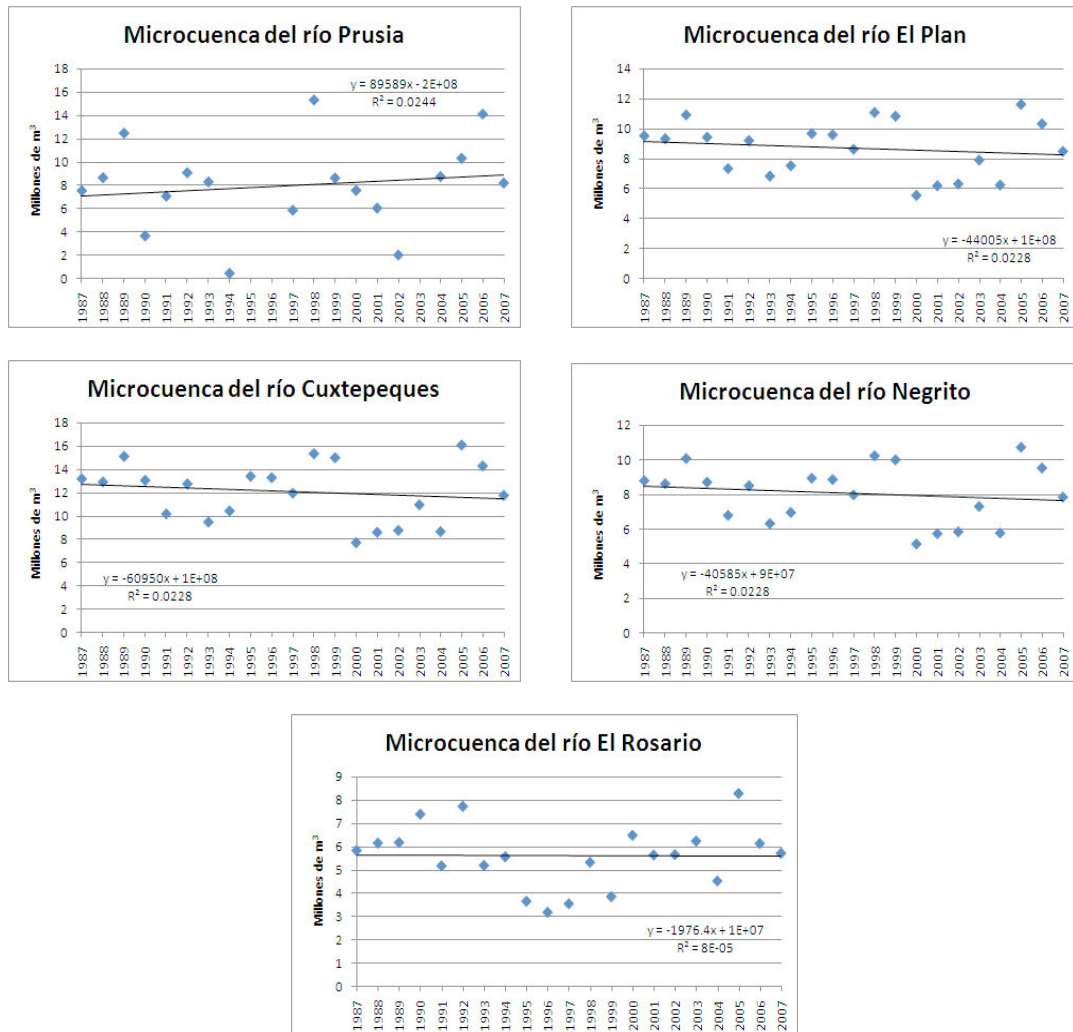


Figura 16. Volumen medio anual de la escorrentía superficial y su tendencia en las microcuencas analizadas. Para ver los valores de precipitación, así como de coeficientes de escurrimientos parciales y ponderados, refiérase a los anexos 4 y 5, respectivamente.

### ***3.5 Diagnóstico del estado de los ríos visitados en la REBITRI y su zona de influencia***

El comportamiento de los tramos estudiados fue respuesta de la precipitación y escorrentía del agua a través de las laderas, siendo en el caso concreto del río El Rosario, la falta de cobertura vegetal arbórea (laderas deforestadas), la textura del suelo y la pendiente longitudinal del cauce, las responsables del aumento en la superficie del mismo.

La presión antropogénica indirectamente jugó un papel muy importante. El cambio de uso en el suelo y falta de cobertura vegetal, disminuyó la captación y retención de agua. Tras grandes eventos pluviométricos la tasa de cambio en los caudales fue demasiado abrupta y por ello, los ríos reclamaron el espacio necesario para mantener su equilibrio hidráulico y con él, de erosión y sedimentación. Este equilibrio geomorfológico se denotó en los tramos de los ríos analizados a pesar de eventos de precipitación extrema como los huracanes Mitch y Stan que se presentaron dentro del periodo de análisis del paisaje, y para lo cual el bosque sirvió como un medio captador y retenedor del agua.

El tramo analizado del río Cuxtepeques presentó una disminución de superficie del bosque, que aumentó su tamaño medio y fue aún más irregular. La ladera deforestada aumentó en superficie y permaneció relativamente estable en cuanto a su tamaño medio, disminuyendo además en su forma (siendo más regular). Tras lo anterior, el cauce disminuye en superficie, aumentando solamente el canal con agua y permaneciendo el índice de sinuosidad muy parecido. La explicación de esto se debe a que en este río, a pesar de tener una textura media en el suelo como el río El Rosario, a diferencia de este último tiene menor pendiente longitudinal, por lo que aumentó la superficie del canal con agua trayendo consigo la aportación de sedimentos en el cauce. Esto permitió la regeneración de la vegetación en el mismo, evitando ésta la pérdida mayor de suelo.

Por lo que respecta a los tramos de los ríos Prusia, El Plan y Negrito, son igualmente de menor pendiente longitudinal que El Rosario. A diferencia de éste y del río Cuxtepeques, y a pesar de la falta de cobertura vegetal en sus alrededores, la textura del suelo es fina y la erosión en laderas y cauce es mayor, debido a que la escorrentía del agua tiende a bajar de las laderas más rápido y en mayor cantidad. Lo anterior se denota en el incremento de superficie del cauce en los tramos de los ríos El Plan y Negrito, teniendo una forma media más irregular

y permaneciendo la sinuosidad del cauce relativamente estable, mientras que la del canal con agua se incrementa.

Por su parte, el tramo del río Prusia aumenta superficie en bosque, disminuyendo el área de ladera deforestada y como respuesta a esto, el cauce y el canal con agua disminuyen también en superficie ocupada, permaneciendo su sinuosidad de manera estable.

#### **4. Discusión**

El proceso de deforestación y el avance de actividades agropecuarias están relacionados con el crecimiento de la población y el establecimiento de sus infraestructuras, tal y como se menciona en un reciente informe del gobierno del estado de Chiapas (CONACYT – COCYTECH, 2008). De acuerdo con la misma fuente, con Pasch y Roberts (2006), Guiney y Lawrence (1999) y Richter (2000), éstos son factores de vulnerabilidad ante eventos climáticos de alta precipitación que han ocasionado grandes impactos ambientales, productivos y sociales a causa de las inundaciones y crecidas de los ríos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio y con lo mencionado por Parsons *et al* (2005), Shumaker (1996) y Mora-Lucas *et al* (s/f), los índices del paisaje de composición y configuración, son herramientas que proporcionaron de manera cuantificable el comportamiento de los elementos del paisaje identificados y por ende su heterogeneidad. La homogenización en los terrenos contiguos a los cauces al aumentar la superficie de laderas deforestadas, así como la disminución en superficie, tamaño y forma media del bosque, son factores que crean vulnerabilidad ante las crecidas de los ríos e inundaciones provocadas por los mismos (Elkie *et al*, 1999; McGarigal y Marks, 1995). Las laderas de influencia a los cauces se erosionan en mayor o menor medida debido al agua escurrida por la precipitación, cuyos sedimentos son transportados a éstos modificando la energía hidráulica de los ríos en virtud de encontrar el equilibrio entre el caudal circundante, la erosión y sedimentación presente en ellos (Rohde, 2004; Rosgen, 1994).

Entre los factores analizados para definir las áreas de mayor vulnerabilidad frente a la crecida de los ríos e inundaciones en eventos de precipitación extrema, es el cambio de uso en el suelo al presentarse deforestación en las laderas de influencia a los cauces de los ríos y la falta de cobertura vegetal arbórea. La deforestación propicia las condiciones de erosión en estas áreas, así como en los ríos y su sedimentación excesiva aguas abajo (Richter, 2000; Tongway y Hindley, 2004).

El incremento desmedido de sólidos en suspensión genera problemas de azolvamiento en los ríos de baja pendiente longitudinal y concretamente en los embalses aguas abajo como El Portillo y La Angostura por el lado de la vertiente de la Depresión Central del estado, además de la Reserva de La Biósfera La Encrucijada por la vertiente hacia la costa del Pacífico.

Lo anterior representa pérdidas económicas, sociales y ambientales de gran índole, ya que la presa El Portillo sirve para abastecer a 10,000 ha de terrenos potencialmente cultivables en el distrito de riego 101 “Cuxtepeques” (FIRCO, 2007) siendo la fuente de ingresos para la población que subsiste del sector primario. Por su parte, la importancia que tiene el buen funcionamiento de la presa Belisario Domínguez “La Angostura” estriba en que ésta sirve como una fuente primaria de retención de agua en la cuenca del río Grijalva (uno de los más caudalosos de México) para prevenir de inundaciones en la parte baja del estado de Tabasco (SEMARNAP, 1998), además de la importancia en la generación de energía hidroeléctrica, que pertenece a la Región Hidrológica – Administrativa XI Frontera Sur y que para el 2006 declaró un volumen de agua concesionado de 77,246 hm<sup>3</sup>, generando a nivel de región una tercera parte de este tipo de energía (238.2 millones de pesos – CONAGUA, 2007).

Por lo que respeta a la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, el azolvamiento de sus lagunas y manglares representa una pérdida en el hábitat de especies como tortugas, aves y sobre todo peces y camarones, para los cuales su pesca constituye un insumo de gran importancia para las localidades que en esta reserva se encuentran (SEMARNAP, 1999).

No obstante, el comportamiento de los tramos de ríos analizados no solo responde a los eventos de precipitación extrema y a la falta de cobertura vegetal arbórea, la complejidad incluye interacción de más factores (Bradshaw *et al*, 2007). En este caso de estudio, la pendiente longitudinal de los cauces, el tipo de suelo y su textura a los márgenes de los ríos, tienen que ver en gran medida en el reclamo de espacio de los tramos debido a la necesidad de regular y disipar la energía hidráulica que los caudales circundantes llevan y que se ve reflejado en la dinámica de los procesos de erosión y sedimentación dentro de los cauces.

Con relación a lo citado por IDESMAC (2007), si bien existe una relación entre la erosión hídrica presente en la cuenca del río Cintalapa, el cambio de uso del suelo, así como su textura y pendiente del tramo en el cauce del río El Rosario muestreado, la solución al conflicto en relación a los cuerpos de agua no es el represamiento y desvío de los ríos. Actuaciones de esta índole representarían un gran trastorno en atributos como magnitud, duración, temporalidad, frecuencia y tasa de cambio en los caudales circundantes (González del Tanago y García de Jalón, 2007; SEMARNAT, 2007). Las consecuencias finales serían conflictos biológicos de las especies de flora y fauna acuática que en ellos habitan, ya que dependen de los atributos de los caudales antes mencionados para su reproducción y

dispersión. Además, se presentarían cambios geomorfológicos en los ríos debido a la modificación de estos atributos que penden del régimen pluvial y que actualmente brindan el equilibrio hidráulico en el cauce.

En cambio, se debe hacer uso en la gestión del Plan de Manejo en esta cuenca, mismo que destina 1,993.42 ha para la restauración (IDESMAC, 2007), siendo una decisión más acertada hacer campañas de reforestación y evitar el cambio de uso en el suelo al margen de los ríos para que el escurrimiento de agua en los mismos sea gradual. Es también necesario realizar talleres con las comunidades para crear conciencia sobre el espacio que necesitan los ríos y no establecerse contiguos a éstos, modificando el uso del suelo al margen de los mismos. Además, se requiere de ejecutar obras de conservación en el resto de la zonificación realizada en dicho documento (unidades de protección, conservación y aprovechamiento), particularmente en sitios en los que actualmente se están desarrollando actividades de aprovechamiento que propicien lo anterior.

En lo concerniente a la subcuenca Cuxtepeques y los tipos de degradación presentes en ella de acuerdo al Plan de Manejo Integral de la parte Alta y Media de la misma (SEMARNAT, s/f), los resultados en este análisis arrojan que el cambio de uso en el suelo es soportado por los tramos estudiados pertenecientes a esta subcuenca (El Plan, Cuxtepeques y Negrito), modificando el cauce su geomorfología como resultado de la escorrentía en las laderas, trayendo consigo sedimentos que son redistribuidos dentro del mismo.

En cuanto a la escorrentía media anual calculada por la misma fuente (SEMARNAT, s/f), la obtenida en el presente trabajo fue más conservadora de acuerdo al método propuesto por Martínez Ménez (2005). Esto se debe a la diferencia entre los métodos de cálculo. Sin embargo, la importancia de la obtención de dichos valores radica en saber la tendencia a mayor escala de tiempo (por lo menos 20 años). Las tendencias obtenidas fueron variables (Prusia = tendencia positiva, El Plan, Cuxtepeques y Negrito = tendencia negativa, y El Rosario = tendencia estable) y que por estar sujetos los ríos de la zona a la precipitación, tienen un régimen de escorrentía de carácter pluvial.

## **5. Conclusiones**

Se realizó la caracterización de tramos de los ríos Prusia, Cuxtepeques y El Rosario dentro de los límites de la REBITRI y de El Plan y Negrito en el área de influencia de la misma. Todos los casos estudiados se caracterizaron como valles estrechos en forma de U, entre los tipos 1-A, 1-C y 2, siendo el tipo de cauce el de montaña para todos a excepción del tramo en el río El Rosario que en partes se presentó además como torrente de alta montaña y en el Cuxtepeques en el que hay presencia de piedemonte, por lo que el tipo de sustrato presente es de granulometría gruesa ( $\geq 6$  cm de diámetro), formas del lecho de saltos y pozas, rápidos continuos y rápidos y remansos, con paisaje fluvial en buenas condiciones en general, a pesar de denotar erosión en los cauces. Esta clasificación coherente con la propuesta por González del Tanago y García de Jalón (2007).

El SIG implementado tuvo un resultado acertado de acuerdo a las condiciones en campo encontradas durante los muestreos de los tramos. Demostró ser una herramienta eficaz en la definición de sitios con mayor degradación potencial redirigiendo los esfuerzos de muestreo.

Los índices obtenidos de composición y configuración dieron la facultad de cuantificar el grado de heterogeneidad en el paisaje ripario mediante la superficie de los componentes del ecosistema encontrados, su tamaño y forma media, además de su diversidad y sinuosidad. Los resultados en dichos índices, además de la caracterización realizada en campo y la información recopilada sobre el medio natural y social, permitieron explicar los cambios en la geomorfología de los tramos objetos de estudio y de los problemas que éstos padecen, mismos que fundamentalmente son a raíz de un desequilibrio en la relación entre la erosión – sedimentación por la falta de cobertura vegetal arbórea.

La estimación de la escorrentía media anual realizada de acuerdo al método descrito por Martínez Ménez (2005), sirvió para denotar su tendencia por un periodo de 21 años en las microcuencas. A pesar de ello, los resultados obtenidos fueron muy conservadores, siendo menores que las microcuencas donde ya existía este cálculo. Esta escorrentía depende totalmente de la precipitación en la zona.



## **6. Recomendaciones**

- Al ser este trabajo una caracterización y diagnóstico de tramos en los ríos de la REBITRI y su área de influencia, se considera pertinente que con anterioridad a cualquier acción con fines de restauración sobre el resto de los ríos de la reserva, se continúen realizando muestreos sobre aquellos sitios con potencial de degradación definidos mediante el SIG construido para este estudio con el fin de caracterizarlos y hacer un diagnóstico con base en ello y a la situación particular de cada río o tramo en concreto.
- Sobre los tramos objeto de estudio y sus microcuencas, es prudente realizar obras de conservación de los suelos, así como reforestar en al menos el margen contiguo al cauce de los ríos y evitar el cambio de uso del suelo. Todas estas actuaciones deberán tener como objetivo principal evitar cambios en la geomorfología de los tramos como producto de la escorrentía, erosión y transporte de sedimentos que modifican la carga de los mismos y el caudal en los ríos.
- En sitios desprovistos de vegetación arbórea con posibilidad de reforestar, se recomienda implementar programas de reforestación con el objetivo principal de protección como principal medida para interceptar el escurrimiento superficial reduciendo así el volumen y la velocidad del mismo, propiciando la infiltración de agua en el suelo y reduciendo la erosión hídrica de las laderas contiguas a los cauces.
- En los sitios desprovistos de vegetación arbórea destinados como áreas de pastoreo o cultivos de anuales y donde no exista la posibilidad de reforestar, se recomienda como una obra para la conservación de suelos, la construcción de terrazas a nivel. Esto solo donde las condiciones de terreno lo permitan (pendiente inferior de 15°), con la finalidad de interceptar el escurrimiento y reducir la erosión hídrica en las laderas.

Todas las actuaciones de restauración de la cobertura vegetal y conservación de suelos deberán hacerse atendiendo a lo recomendado por BIOCORES A.C., institución responsable para definir las estrategias de restauración en la REBITRI.

## ***7. Agradecimientos***

A Fundación Carolina por la adjudicación de una beca para cursar el Máster, a la dirección del mismo, así como a la Universidad de Alcalá de Henares y al resto de universidades de la comunidad de Madrid implicadas en el desarrollo de este programa oficial de posgrado, por brindarme la oportunidad de seguir preparándome académicamente. Sin duda la experiencia aportará muchísimo no solo en el desarrollo de mi vida profesional, sino también en el aspecto personal.

A ECOSUR y BIOCORES A. C. por permitirme la posibilidad de realizar este practicum y trabajo fin de Máster en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, colaborando en el proyecto “Diversificación y restauración de paisajes transformados en comunidades de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México, componente 1: Estrategia de restauración”, así como al Fondo para la Conservación El Triunfo por brindarme apoyo económico los meses durante la realización de este trabajo.

A los Dres. Diego García de Jalón Lastra y Neptalí Ramírez Marcial por fungir como tutores académico e institucional, respectivamente, cuyas aportaciones en el presente trabajo han sido fundamentales para la realización del mismo.

A la M. en C. Pilar Saldaña del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, al Ing. Oscar Orantes de la Gerencia de Cuencas Río Cuxtepeques y al Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE) de ECOSUR, quienes me proporcionaron información de gran valor para el análisis del presente trabajo.

A mi esposa, Jessica Valero Padilla, por estar siempre a mi lado a pesar de la distancia y cuyos consejos y apoyo me sirvieron muchísimo en momentos de desconcierto.

A mi familia quienes me apoyaron incondicionalmente en mis decisiones.

A todos mis compañeros carolinos y del Máster, así como al profesorado involucrado en él por permitirme vivir la experiencia en España conociéndolos compartiendo sus conocimientos conmigo.

## **8. Bibliografía**

- Bachem C.U. y R.C Rojas. 1994. Contribución al estudio ecológico de la vegetación en la región de La Frailesca, Chiapas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. México. 184 p.
- BIOCORES, A.C. 2008. Densidad de vegetación de la REBITRI y su zona de influencia. Imagen en formato raster a 25 metros por pixel. Información proporcionada por BIOCORES, A.C.
- Bradshaw C.J.A., N.S. Sodhi, K.S.H. Peh y B.W. Brook. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13, 2379 - 2395.
- Breedlove D.E. 1981. Introduction to the flora of Chiapas. *Flora of Chiapas*, California Academy of Sciences, USA. 34 p.
- . 1993. Introducción a la flora de Chiapas. *Lecturas Chiapanecas* Num. 6. Traducción Mario González E. Gobierno del Estado de Chiapas, México. p. 291-356.
- Boletín Oficial del Estado. 2007. 18770 Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Ministerio de Educación y Ciencia. BOE núm. 260. España. p. 44,037 - 44,048.
- CONAGUA. 2007. Estadísticas del agua en México, 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2da. Reimpresión. México. 263 p.
- . 2008. Estaciones climatológicas 7037 “Finca Cuxtepeques”, 7054 “Finca Prusia” y 7390 “Cacaluta”. Información proporcionada por la CONAGUA.
- CONAGUA y CFE. 2008. Estaciones hidrométricas en el estado de Chiapas. Información proporcionada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- CONACYT – COCYTECH. 2008. Zonas afectadas por el huracán Stan en las regiones Istmo – Costa, Sierra y Soconusco (investigación para su ordenamiento). ECOSUR, CONACYT – COCYTECH, Gobierno del estado de Chiapas, UNICACH, CONANP e IDESMAC. 1ra. Edición. México. 340 p.

- De la Maza, R. y J. de la Maza. 1993. Mariposas de Chiapas. Gobierno del Estado de Chiapas. 223 p.
- Diario Oficial de la Federación. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994. Tomo CDLXXXVIII, núm 10, p.2, Sección 1. México, D.F. Lunes 16 de mayo de 1994.
- . 2007. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Última reforma a la Ley. 98 p.
- Elkie P.C., R.S. Rempel y A.P. Carr. 1999. Patch analyst user’s manual: A tool for quantifying landscape structure. Northwest Science and Technology. Ontario. Canada. 28 p.
- Espinoza M., E.P. González, H. Nuñez, R. Luna, E. Cruz, G. Cartas, C. Tejeda, A. Hernández, C. Guichard y M. Álvarez. En prensa. Listado de especies de vertebrados terrestres de la Reserva de la Biósfera El Triunfo. Instituto de Historia Natural, México.
- FIRCO. 2007. Planes rectores de producción y conservación de las microcuencas “El Plan”, Cuxtepeques y Negrito. Fideicomiso de Riesgo Compartido – Municipio de La Concordia, Chiapas. México. Información proporcionada por la Gerencia de Cuencas Río Cuxtepeques. 43, 35 y 28 p, respectivamente.
- García E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4ª Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 217 p.
- Garmin. 2007. GPSMAP 60CSx with sensors and maps. Owner’s manual. Garmin International Inc. U.S.A. 105 p.
- Gómez Delgado M. y J.I. Barredo Cano. 2005. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. 2da. Edición. RA-MA Editorial. Madrid, España. 279 p.

- González del Tanago M. y D. García de Jalón. 2007. Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Ministerio de medio ambiente. España. 318 p.
- Guiney J.L. y M.B. Lawrence. 1999. Preliminary report “Hurricane Mitch”. National Hurricane Center. USA. Fecha y hora de consulta, 13 de enero de 2009, 22:42 hrs. Sitio Web: <http://www.nhc.noaa.gov/1998mitch.html>
- IDESMAC. 2007. Ordenamiento ecológico del territorio para la cuenca del río Cintalapa. Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamerica A. C. – Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas – El Colegio de la Frontera Sur. México. 144 p.
- Koeppen. W. 1948. Climatología. Fondo de cultura económica. México, D. F. 478 p.
- LAIGE – ECOSUR. 2008a. Capas temáticas del medio natural y social en el estado de Chiapas. Fecha de consulta: Septiembre de 2008. Sitio Web: <http://200.23.34.25/>
- LAIGE – ECOSUR. 2008b. Modelo Digital de Elevación para la zona de la Reserva de la Biósfera El Triunfo y su área de influencia. Información proporcionada por BIOCORES A. C. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. México.
- Long A. y M. Heath. 1991. Flora of the El Triunfo biosphere reserve, Chiapas, México: A preliminar floristic inventory and the plant communities of polygon I. Anales del instituto de Biología, UNAM. Serie Botánica, 62 (2): 133-172.
- Martínez Ménez M. 2005. Estimación de variables hidrológicas. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural A. C. (INCA Rural). Colegio de Posgraduados. México. Presentación ppt. 26 p.
- McGarigal K. y B.J. Marks. 1995. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland Or: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station; General technical report PNW-GTR-351.
- Miranda F. 1952. La vegetación de Chiapas. 2 vols. Ediciones del Gobierno del Estado de Chiapas, México. 324 p.

- . 1957. Vegetación de la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas. Lecturas Chiapanecas Num. 6. Gobierno del Estado de Chiapas, México. p. 79-101.
- Mora-Lucas M., S. González-Ávila y L. Carrero-Díez. s/f. Análisis de cambios en el paisaje en el P. N. de las Hoces del río Duratón. Colección Naturaleza y Medio Ambiente. Caja Segovia, Obra Social y Cultural. XVII Premio de Medio Ambiente. España. 60 p.
- Parsons, M., C.A. McLoughlin, K.A. Kotschy, K.H. Rogers y M.W. Rountree. 2005. The effects of extreme floods on the biophysical heterogeneity of river landscapes. *Front. Ecol. Environ.* 9: 487-494.
- Pasch, R.J. y D.P. Roberts. 2006. Tropical cyclone report "Harricane Stan". National Hurricane Center. USA. 12 pp. Fecha y hora de consulta, 13 de enero de 2009, 22:15 hrs. Sitio web: [http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL202005\\_Stan.pdf](http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL202005_Stan.pdf)
- Richter, M. 2000. The ecological crisis in Chiapas: A case study from Central America. *Mountain Research and Development.* 332-339.
- Rohde, S. 2004. River restoration: Potential and limitations to re-establish riparian landscapes. Assessment and planning. Thesis for the degree of Doctor of Sciences. University of Hanover. Germany. 133 p.
- Rosgen D.L. 1994. A stream classification system. *Catena.* 22: 169-199.
- . 1996. Field survey procedures for characterization of river morphology. Fecha y hora de consulta: 12 de octubre de 2008, 13:12 hrs. Sitio Web: [http://www.wildlandhydrology.com/html/references\\_.html](http://www.wildlandhydrology.com/html/references_.html)
- . 2006. River restoration using a geomorphic approach for natural channel design. Proceedings of the eighth federal interagency sedimentation conference (8thFISC). Reno, NV. USA. 394-401.
- Rzedowski J. 2006. Vegetación de México. 1ra Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 504 p.

- Society for Ecological Restoration (SER) International, Grupo de trabajo sobre ciencia y política. 2004. Principios de SER internacional sobre restauración ecológica. [www.ser.org](http://www.ser.org) y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- SEMARNAT. 2007. Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México. Instituto Mexicano de tecnología del Agua – Alianza WWF/FGRA-PHI/UNESCO – SEMARNAT. Primera edición. México. 174 p.
- s/f. Plan de Manejo Integral de la parte Alta y Media de la Subcuenca del Río Cuxtepeques. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Autónoma de Chapingo. Información proporcionada por la Gerencia de Cuencas Río Cuxtepeques. 293 p.
- SEMARNAP. 1998. Programa de manejo de la reserva de la biósfera El Triunfo. 1ra. Edición. Instituto Nacional de Ecología. México. 109 p.
- 1999. Programa de manejo para la reserva de la biósfera La Encrucijada. 1ra Edición. Instituto Nacional de Ecología, México. 184 p.
- SPDS. 2006. Perfiles Municipales. Gobierno del Estado de Chiapas. Administración 2006-2012. Fecha y hora de consulta: 16 de enero de 2009, 15:23 hrs. Sitio Web: <http://www.chiapas.gob.mx/municipios/>
- Shumaker, N.H. 1996. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology* 77 : 1210-25.
- Tongway D.J. y N.L. Hindley. 2004. Landscape function analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes. CSIRO Sustainable Ecosystems. Australia. 82 p.
- UNESCO. 2007. Biosphere reserves. Fecha y hora de consulta, 13 de enero de 2009, 17:10 hrs. Sitio Web: [http://portal.unesco.org/science/en/ev.phpURL\\_ID=4801&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/science/en/ev.phpURL_ID=4801&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)

## 9. Anexos

### **Anexo 1. Descripción de la composición de especies arbóreas en la REBITRI**

Composición de especies leñosas dentro de los límites de la REBITRI de acuerdo al Programa de Manejo (SEMARNAP, 1998) y a la clasificación de Breedlove (1981):

- Matorral perennifolio de neblina. Presente en los picos de las montañas más altas expuesto a fuertes vientos e inmerso en densa neblina y cuya comunidad está dominada por *Gaultheria acuminata*, *Ugni myricoides* y *Vaccinium matudae*, asociadas a *Spherospermum majus*, *Chusquea sp.*, *Cochlidium rostratum*, *Hymenophyllum sp.*, *Elaphoglossum peltatum*, *Pleopeltis macrocarpa* var. *trichophora*, *P. loriceum*, *Thelypteris oligocarpa*, entre otras (Long y Health, 1991).
- Bosque lluvioso de montaña y bosque perennifolio de neblina. El primero está entre los 900 y 2,200 msnm y en pendientes pronunciadas, mientras que el segundo está entre los 1,900 y 3,200 msnm. Esta comunidad vegetal está dominada por *Quercus oocarpa*, *Q. sapotifolia*, *Q. crispifolia*, *Matudaea trinervia* y *Dendropanax populifolius*, asociadas a *Perrottetia longistylis*, *Ocotea chiapensis*, *Morus sp.* y *Trophis cuspidata*, entre otras. En su estrato medio domina *Hedyosmun mexicanum* y aparecen más especies como *Conostegia volcanalis*, *Weinmannia pinnata*, *Eugenia chiapensis*, *Podocarpus matudaea*, *Ilex belizensis*, etc. Entre los arbustos y árboles de talla pequeña, las compuestas piperáceas, rubiáceas y solanáceas se encuentran bien representadas. Los helechos arborescentes más abundantes son *Alsophila salvinii*, *Cyathea fulva* y *C. aldecrenata* (Long y Health, 1991).
- Bosque lluvioso de montaña baja. Se desarrolla en laderas y fisonómicamente se caracteriza por tener un dosel continuo de 25 a 45 m de altura y posee un estrato arbóreo inferior. Como especies dominantes se pueden mencionar a *Terminalia amazonia*, *Aspidosperma megalocarpon*, *Calophyllum brasiliense*, *Ficus crassiuscula*, *Myroxylon balsamum*, *Tetrorchidium rotundatum*, *Vatairea lundelli* y *Bursera simaruba*, en tanto que en los estratos inferiores aparecen *Alchornea latifolia*, *Coccoloba escuintlensis*, *Croton guatemalensis*, *Cupania glabra*, *Cymbopetalum pendeliflorum*, *Erythroxylon tabascense* y *Faramea occidentalis*, entre otras. En lo referente a la vegetación arbustiva y herbácea, abundan palmas del género *Chamaedorea* y especies de las familias Rubiaceae, Acanthaceae, Melastomataceae, Piperaceae y Araceae (Miranda, 1957). De acuerdo a las comunidades vegetales descritas por Long y Heath (1991), este bosque



pertenece a las descritas como *Garcinia-Inga-Desmopsis* y *Ficus-Coccoloba-Dipholis-Sapium*.

- Bosque estacional perennifolio. Constituye una formación de transición que va desde el bosque tropical lluvioso y el bosque lluvioso de montaña baja hasta selva baja caducifolia. Fisonómicamente puede presentar uno o dos estratos con dosel discontinuo con alguna proporción de de árboles caducifolios y una altura que alcanza de los 25 a 35 m. De los árboles de mayor talla son frecuentes *Albizia caribaea*, *A. longepedata*, *Andira inermis*, *Astronium graveolens*, *Bursera simaruba*, *B. grandifolia*, *Calycophyllum candidissimum*, *Calophyllum brasiliense*, *Cedrela mexicana*, *Ceiba pentandra*, *Chlorophora tinctoria* y *Couepia poliandra*, entre otras. Con relación a los árboles de talla inferior a los 10 m se encuentran *Desmopsis lanceolata*, *Carica cauliflora*, *Critonia morifolia*, *Cnidioscolus spp.*, *Chrysophyllum mexicanum*, *Trichilla spp.*, *Amyris chiapensis* y *Ardisia escallonioides*. Sobre el estrato arbustivo están ejemplares de las familias Acanthaceae, Compositae, Piperaceae, Rubiaceae y Solanaceae (Miranda, 1957; Bachem y Rojas, 1994).
- Bosque de pino-encino-liquidámbar. Presenta asociaciones muy diversas con muchas especies de árboles caducifolios y subcaducifolios entre los 1,300 y 1,700 msnm con un dosel superior continuo dominado por árboles de 15 a 35 m destacándose *Liquidambar styraciflua*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra suaveolens*, *Cornus disciflora*, *Quercus candicans*, *Q. oocarpa*, *Q. segoviensis* y *Trophis mexicana*, entre otros (Breedlove, 1993). En su estrato medio se encuentran árboles de 6 a 12 m de altura como *Vernonia polypleura*, *Vaccinium leucanthum*, *Nectandra reticulata*, *Ardisia siltepecana*, *Parathesis chiapensis*, *Rapanea myricoides* y *Phoebe siltepecana*, mientras que en el estrato arbustivo del sotobosque destacan *Aphelandra gigantiflora*, *Baccharis trinervis*, *Bocconia gracilis*, *Cestrum guatemalensis* var. *gracile*, *Miconia desmantha*, *Piper pseudo-lindenii* y *Ceratozamia matudae* (Long y Heath, 1991).
- Bosque de pino-encino. Se caracteriza por ser una formación abierta con pocas especies arbóreas en las que predominan los pinos y encinos, además de pequeñas poblaciones bien localizadas de *Cupressus lusitanica*. De acuerdo a lo descrito en su obra por Long y Heath (1991), en el polígono de la zona núcleo I (El Triunfo), se encuentra bien representada una comunidad de *Cupressus-Pinus* cuyas especies principales son *Cupressus lusitanica* y *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* con alturas que rondan de los 25 a 30 m, dosel discontinuo y por debajo de éste, especies como *Ilex liebmanni*, *Clethra*

*suaveolens*, *Clusia guatemalensis*, *C. salvinii*, *Verbesina apleura*, *Vernonia polypleura*, *Rhacoma standleyi*, *Cojoba donnell-smithii*, *C. matudae*, *Quercus lancifolia*, *Saurauia matudae* y más. Bachem y Rojas (1994) en la cercanía de la Finca Cuxtepec describieron la asociación de baja densidad pero con dosel cerrado de *Quercus duratifolia*-*Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* a una altitud aproximada a los 1,700 msnm, mientras que para la proximidad de la reserva y alrededor de una altitud de 1,820 msnm, los mismos autores han reportado una asociación de *Quercus magnoliaefolia* como una comunidad densa de dosel abierto que alcanza los 20 m de altura y cuyas principales especies presentes, además de la ya mencionada, son *Q. salicifolia*, *Cornus disciflora* y *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai*, en tanto que en su dosel más bajo (2-12 m) *Temstroemia tepezapote* y *Diphysa floribunda*.

- Bosque de galería o ripario. Vegetación que se presenta en los márgenes de los arroyos que descienden hacia la vertiente interior y en altitudes cercanas a los 1,500 msnm localizada hacia la mitad noroeste de la reserva, en las inmediaciones de las fincas Cabañas, Santa Cruz, Cuxtepeques y Catarina. Esta formación permanece en alturas entre los 10 a los 25 m, alcanzando algunos árboles hasta los 50 m, tiene un sotobosque muy denso y forman rodales puros. Las especies del dosel más comunes son *Platanus mexicana*, *Fraxinus chiapensis*, *Populus arizonica*, *Taxodium mucronatum*, *Alnus acuminata*, *Cornus excelsa*, *Cuphea hyssopifolia*, *Salix spp.*, etc (Miranda, 1952; y Breedlove, 1981).
- Selva baja caducifolia. Para este tipo de vegetación se describen dos asociaciones en localidades próximas a la sierra en el municipio de Villa Corzo (Bachem y Rojas, 1994), la primera se trata de una asociación *Luehea candida*-*Lafoesia puniceifolia* a una altitud de 700 msnm que se caracteriza por tener un solo estrato arbóreo con un dosel muy cerrado y que alcanza los 12 m de altura (*Aphelandra deppeana*, *Stemmadenia obovata*, *Cordia alliodora*, *Bursera simaruba*, *B. bipinnata*, *Byrsonima crassifolia*, *Guazuma ulmifolia* y *Styrax argenteus*), con excepción de algunos individuos como *Lafoesia puniceifolia*, *Calycophyllum candidissimum* y *Lonchocarpus rugosus* que llegan a los 20 m. Mientras que la segunda asociación se trata de *Vermonia pallens*-*Xylosma chloranthum* situada a 800 msnm en donde se presenta un solo estrato arbóreo con dosel casi cerrado y alturas de 2 a 15 m, las especies encontradas pueden ser *Bursera simaruba*, *Cochlospermum vitifolium*, *Eugenia sp.*, *E. capuli*, *Calycophyllum candidissimum*, *Spondias sp.*, *Diphysa robinoides*, *Tabebuia rosea*, *Cedrela odorata* y *Acacia mayana*, en tanto que en su sotobosque está dominado por herbáceas entre las que se encuentran

*Ruellia inundata*, *Trixis chiapensis*, *Lasiacis ruscifolia*, *Combretum argenteum* y *Ampelocissus acapulcensis*.

- Comunidades secundarias arbóreas y arbustivas. En este tipo de formación, el Programa de Manejo para la reserva pretende identificar superficies donde originalmente se encontraba bosque y éste ha sido talado para realizar actividades productivas de tipo agropecuario y para la obtención de leña y carbón. Estas superficies están ocupadas por cultivos, pastizales y vegetación secundaria en diferentes estadios de regeneración.

**Anexo 2. Formato de caracterización de los tramos de ríos muestreados**

Fecha de reconocimiento:		
Nombre de quien lo realiza:		
Nombre de la cuenca, subcuenca y río:		
Coordenadas y proyección:	Inicio:	Final:
Población más cercana al cauce:		
Infraestructuras cercanas al cauce:		
Tipo de uso del suelo contiguo al cauce:		
Tipo de valle:	Pendiente de laderas:	
Tipo de cauce:	Anchura del cauce:	
Pendiente del cauce:	Inicio:	Final:
Tipo de sustrato:	Granulometría:	
Formas del lecho:	Existe formación de dunas:	
Vegetación de orillas y riberas:		
Heterogeneidad en el paisaje fluvial:	Que calidad de paisaje se percibe:	

Se percibe degradación en el ecosistema fluvial (lecho, orilla o taludes laterales – incisión, erosión remontante, sedimentación, colmatación):

Se percibe la posible afectación a infraestructuras humanas:

Observaciones adicionales:

### ***Anexo 3. Descripción de los tramos muestreados en campo***

#### **Río Prusia**

Este río se encuentra ubicado en la región hidrográfica del Grijalva – Usumasinta, dentro de la subcuenca del río Jaltenango. En este río se visitaron dos sitios, 1. Al margen de la Finca Prusia; y 2. Al margen del Ejido Siete de Octubre, ambos pertenecientes al municipio de Ángel Albino Corzo. Este par de tramos debido a que están separados por alrededor de 650 metros, se analizarán en adelante como un solo tramo para una longitud total del mismo de 2,380 metros cuyas coordenadas UTM de inicio del tramo son X 522054; Y 1737333 situada dicha localización a una altura de 1,062 msnm, en tanto que las coordenadas UTM del final del tramo son X 521261; Y 1738938 cuyo punto se encuentra a 966 msnm.

Este tramo de río a la altura de la Finca Prusia, se presenta un valle relativamente estrecho en forma de U, donde la anchura máxima del valle es de 110 m, en el cual, al momento de la visita el agua discurría por el cauce a una anchura de 4 m y teniendo una pendiente en longitudinal del mismo de 3°. Las laderas de influencia en el valle son en general de alrededor de 45° por lo que la sinuosidad del cauce está directamente relacionada a la del valle. Debido a lo anterior, el tipo de cauce es de un río de montaña, presenta sustratos de tipo coluvial y aluvial teniendo como formas de lecho rápidos continuos y por lo que en conjunto, la configuración granulométrica es de tipo de guijarros y cantos rodados (6 – 50 cm de diámetro), provocando poca estabilidad del suelo y en las orillas, ya que la granulometría permite el movimiento del sustrato, dando permeabilidad a las mismas, razón por la que existe erosión hídrica en los taludes laterales del cauce, lo que ha provocado afectaciones a infraestructuras humanas cercanas al mismo debido a derrumbes propios del tipo de material y a la cercanía de las construcciones en las que no se respetó un margen considerable entre el cauce del río y éstas. Entre otras construcciones a lo largo del cauce, también hay un par de puentes de concreto.

La vegetación presente dentro del cauce en aquellos sitios que no están inundados es en su extensa mayoría herbácea, con escasa presencia de vegetación arbórea. Sin embargo, a los márgenes del mismo, la vegetación es la típica presente en la zona entre la que destacan los pinos, encinos y corchos (*Platanus mexicana*), por lo que la heterogeneidad y calidad en el paisaje fluvial es buena. En las inmediaciones del cauce y como actividad de traspatio por parte de los habitantes de la finca, hay algunos huertos familiares con árboles frutales para consumo propio, no así en las laderas de influencia al mismo, que hay zonas de cafetales.

Posteriormente río abajo de la finca Prusia, el mismo pasa por alrededor de 650 m en un valle de tipo V con pendientes de laderas superiores a  $45^\circ$  y mayor pendiente longitudinal (con alrededor de  $10^\circ$ ) por lo que la forma del cauce es de torrente de alta montaña. Los materiales en esta parte del tramo son grandes bloques y cantos rodados formándose cascadas, saltos y pozas, además de algunos rápidos continuos. En esta sección del tramo, las orillas son estables, con controles rocosos y extensamente cubiertas por vegetación.

Tras pasar por el valle estrecho descrito en el párrafo anterior y hacia aguas abajo, el río vuelve a abrir a la altura del Ejido Siete de Octubre en un valle ahora un poco más extenso que el concerniente al descrito en la finca Prusia. Este valle tiene forma de U y en su ladera este tiene como generalidad una inclinación de  $27^\circ$ , en tanto que la ladera oeste ronda los  $37^\circ$ , la pendiente del cauce en este tramo y hasta el final del mismo se reduce a  $1^\circ$  siendo un río de montaña con una anchura máxima de valle que ronda los 170 m, 6 m de anchura en el cauce llevando agua. Sin embargo, hacia el final del tramo, este se hace trezado debido a múltiples cauces. El tipo de sustrato en su mayoría es aluvial, aunque también persiste poco coluvial, siendo la granulometría guijarros en su mayoría (6 – 25 cm) y algunos cantos rodados (25 – 50 cm), resultando en formas de lecho rápidos continuos. Debido a esta configuración, se mantiene la inestabilidad en las orillas y en el lecho, propia del tipo de sustrato.

Con relación a la vegetación, se mantiene el bosque típico de la zona en donde destacan igualmente las especies descritas anteriormente. Como uso del suelo, la extensa mayoría al margen del río es bosque, aunque existe una milpa de maíz en una parte de la ladera este cercana al mismo. Además, existe una extensa zona dentro del cauce que es utilizada como área de pastoreo, aunque se vio poca carga animal.

## Río El Plan

Su visita en campo se realizó el día 22 de octubre del 2008. Este tramo pertenece a la región hidrográfica Grijalva – Usumasinta, cuenca del Grijalva y subcuenca del Cuxtepeques. Se encuentra ubicado en el municipio de La Concordia cuyas poblaciones más cercanas al mismo son las fincas “El Plan” y “Las Nubes”. El punto de inicio de este tramo es en las coordenadas UTM X 498656; Y 1746379 a 948 msnm, en tanto que, el punto de término de muestreo es en las coordenadas UTM X 499043; Y 1747004 ubicadas a 902msnm. En total, el tramo de muestreo en el río El Plan es de 820 m de longitud.

Este tramo se presenta en un valle en forma de U de montaña media cuyas laderas de influencia tienen pendientes por lo general de 35°, estando la sinuosidad del cauce totalmente relacionada con la sinuosidad del valle. El tipo de cauce es el de un río de montaña, en donde se registraron un total de 3° en promedio de pendiente longitudinal al cauce y una anchura total del ecosistema fluvial es de 100 m, en tanto que la del cauce es de 15 m, pero al momento de la visita, el mismo tenía una anchura de 7 m con agua. El tipo de sustrato en su mayoría era aluvial, aunque también había coluvial y roca madre expuesta. La granulometría presente fue de grandes bloques, cantos rodados y guijarros (de 6 cm de diámetro a más de 50 cm). Las formas del lecho encontradas en el tramo fue una transición entre saltos y pozas y rápidos continuos, por lo que fueron encontradas ambos tipos. Existe permeabilidad en las orillas y en el lecho del cauce y la erosión hídrica es la propia de acuerdo al tipo de materiales.

Esta configuración del tramo le confiere poca estabilidad al cauce, ya que por el tipo de valle de influencia y de sustrato, es normal que las rocas (salvo la roca madre expuesta) por el escurrimiento y más aún tras una importante avenida de agua, se redistribuyan hacia río abajo y lleguen materiales de río arriba. Dado lo anterior, lo único estable en el lecho y en las orillas del cauce, son aquellos sitios donde se encuentra la roca madre expuesta.

La vegetación de las orillas y de la ribera es la característica de la zona, existiendo presencia dominante de pinos, encinos, *Platanus mexicana*, fresno y ficus, además de pasto nativo dentro del cauce y en las orillas del mismo. En cuanto a la ictiofauna presente en el tramo, los habitantes de la finca mencionan la presencia de filitos o bagres, y aunque en menor cantidad, truchas y mojarras. La heterogeneidad en el paisaje fluvial es regular debido a la falta de vegetación arbórea en las laderas de influencia al cauce, además dentro del mismo existe poca presencia de este mismo tipo de vegetación, estando esta marginada a las

orillas, mientras que dentro del mismo y como se describió líneas arriba, son las herbáceas las que tienen mayor presencia. Dado lo anterior, la calidad del paisaje percibida es regular.

Las infraestructuras cercanas al cauce son caminos, un puente de concreto, construcciones abandonadas por su cercanía al cauce y las casas de las fincas que están relativamente cercanas al mismo. El tipo de uso del suelo contiguo al cauce es el de bosque de la región, pastoreo en las zonas deforestadas y el de actividades cafetaleras propias de las fincas presentes en el tramo.

La degradación percibida en el ecosistema fluvial está dada por dos factores: 1) por en medio del cauce y contiguo a la finca “Las Nubes” cruza por en medio del mismo un camino, aunque la concurrencia en el cruce de vehículos es mínima debido a que solo los habitantes de la finca son los que cruzan de un lado al otro del cauce. Sin embargo, en caso de que los vehículos presenten fallas de tipo mecánicas, podrían producir contaminación por combustible, aceite o algún otro contaminante. La compactación en el camino que cruza el cauce a través del peso de los vehículos, se considera que no es de gran importancia, debido a que la concurrencia del paso con los mismos es baja y que el tipo de materiales presentes en el lecho del cauce es de materiales gruesos. 2) En la ladera Nw existe una buena parte deforestada y da la impresión que el suelo no es rocoso como para impedir el crecimiento de la vegetación. La única vegetación presente en esta zona es herbácea, razón por la cual los habitantes de las fincas la utilizan como área de pastoreo para ganado vacuno utilizado para consumo propio (tanto para la finca “Las Nubes”, como para “El Plan” – teniendo ambas el mismo propietario), por lo que la carga de ganado no es elevada. La importancia de lo anterior estriba en que, a pesar de no ver señales de degradación activa y de importancia hidrológica, tras una importante avenida de agua en el cauce y existiendo un importante porcentaje de humedad, podrían existir deslaves contiguos al cauce ocasionando la pérdida de suelo fértil a causa de la falta de cobertura vegetal arbórea que posea raíces que faculten la fijación del suelo a manera de protección al mismo como consecuencia a un proceso de incisión lateral.



## **Río Cuxtepeques**

El tramo de muestreo realizado en este río, pertenece de igual forma a la subcuenca del mismo nombre, de la región hidrográfica Grijalva –Usumasinta y cuenca del Grijalva, tiene como principales poblaciones a la Finca Cuxtepec y la Ranchería 30 de Agosto, ambas dentro del municipio de La Concordia. El recorrido del tramo muestreado comienza en las coordenadas UTM X 503524; Y 1739245 a una altitud de 1,002 msnm y concluye en el puente que lleva a la población Plan de la Libertad en la coordenada UTM X 507112; Y 1746620 cuya altura es de 796 msnm. La longitud total del tramo recorrido durante su muestreo es de 10, 240 m.

El valle de influencia sobre el cauce en este tramo en general es de montaña media en forma de U, y su relieve e hidrología de las laderas ejerce en ciertos puntos del mismo influencia sobre la morfología del cauce, aunque en otros la sinuosidad del mismo es a causa de los procesos fluviales dando la posibilidad de una redistribución de sedimentos debido a una lejanía de las laderas de influencia como resultado de un valle aún más amplio. Las laderas de influencia sobre el cauce por lo general son de 32° y 37° (oeste y este, respectivamente). El tipo de cauce es de un río de montaña con segmentos rectos, y en algunas otras zonas llega a ser de tramos altos o piedemonte con segmentos sinuosos y meandriformes. La pendiente longitudinal promedio del cauce es de 1.8°, la anchura del ecosistema fluvial en algunos sitios supera los 200 m, siendo lo común alrededor de los 100, la anchura del canal con agua al momento de la visita fue de 6 m y sin agua supera los 15 m.

El tipo de sustrato en su mayoría es aluvial y al comienzo del recorrido se encontraron grandes bloques y cantos rodados. Su granulometría es de grandes bloques, cantos rodados y guijarros (de 6 cm de diámetro a más de 50 cm), aunque en algunas zonas (sobre todo al comienzo del tramo) también hay roca madre expuesta.

Debido al tipo de valle de influencia, a las laderas, la energía hidráulica y al tipo de sustrato, en general se permite una redistribución de sedimentos propios de procesos fluviales, las formas del lecho encontradas básicamente son de dos tipos: 1) existe la formación de rápidos continuos en donde los sedimentos son de menor tamaño que la profundidad de las aguas, así como 2) de rápidos y remansos que aparecen gradualmente aguas abajo y el tamaño de sustratos aluviales va disminuyendo comenzando a existir una asociación entre la forma del lecho y la sinuosidad del cauce, acumulándose en los rápidos los materiales más gruesos, mientras que los finos permanecen en los remansos y donde la

distancia entre dos rápidos consecutivos ronda los 50 m. A lo largo del tramo aparecen, lo que aguas arriba serían llanuras de inundación levemente definidas, aguas abajo del tramo y conforme a la amplitud del valle van apareciendo llanuras de inundación bien definidas.

Se observó permeabilidad del lecho y lateral al cauce, de acuerdo al tipo de sustrato presente en todo el tramo recorrido, así como estabilidad del mismo, tomando en consideración que lo estable en este tipo de ríos, es que exista una constante redistribución de sedimentos que permitan el dinamismo fluvial en virtud de que por el mismo proceso, el río tiende a disipar energía.

En cuanto a la vegetación en las orillas y riberas del cauce, se encuentra el bosque típico de la zona. Entre las especies que destacan se encuentran, los pinos, encinos, *Platanus mexicana*, sauces, ficus, algunas arbustivas y pastos nativos. Por lo que la heterogeneidad percibida del paisaje fluvial y la calidad del mismo es buena.

Entre las infraestructuras que se pueden ver afectadas por el cauce existen puentes para vehículos, puentes colgantes para personas, bodegas, casas y una barrera de contención de gavión construida en la curvatura de un meandro en el que justo por encima pasa un camino para vehículos. A causa de dicha barrera de contención y en contraparte conforme a donde la corriente choca saliendo del paso de esta barrera, se denota un leve proceso de erosión lateral en el cauce en lo que podría llamarse como un “leve proceso de incisión lateral” donde un árbol con fuste alrededor de 50 cm de diámetro y altura aproximada de 18 m está inclinado en alrededor de 2°. Sin embargo, otros fustes también al margen del cauce están completamente rectos, implicando esto que dicha inclinación en el fuste, no sea necesariamente sea por un proceso de incisión resultado de erosión lateral propio del tipo de sustrato y que afecte al ecosistema y funcionamiento fluvial.

Otro signo de degradación notado durante el recorrido, es que contiguo al cauce existen zonas deforestadas cuyo uso del suelo es como pastoreo por parte del ganado criado para consumo de la finca o de los pobladores aledaños. Estos sitios están completamente cubiertos por pasto nativo, por lo que no se denotó una carga de sedimentos desmedida en el cauce a causa de la transportación de los mismos desde las laderas desprovistas de vegetación arbórea. Sin embargo, esto podría representar deslaves y pérdida de suelo fértil en momentos con gran carga de agua en el cauce y donde la humedad del ambiente y del suelo contribuya al desprendimiento del mismo, propiciando esto una carga extraordinaria de sedimentos en el río.

Cabe destacar que de acuerdo a comentarios por expertos, pobladores de la zona y personas que conocen el área, este tramo de río se vio fuertemente afectado tras el paso del huracán “Stan”, ensanchándose el cauce más de lo que estaba, ocasionando pérdida de suelo fértil y trayendo consigo grandes bloques de rocas pertenecientes de laderas río arriba, así como la pérdida de la cubierta vegetal que estaba asociada a los márgenes del cauce. No obstante, la regeneración natural observada durante el recorrido es de gran importancia en las zonas favorables para ello, alcanzando algunos árboles de *Platanus mexicana* que han germinado y crecido tras el fenómeno meteorológico hasta 8 m de altura, además de que existen bosquetes importantes de vegetación dentro del cauce ya con alturas que rondan los 6 m.

## Río Negrito

El 23 de octubre fue realizada la visita a campo de este tramo de río también localizado en la región hidrográfica Grijalva – Usumasinta, subcuenca del Cuxtepeques a aproximadamente 5 km de Nuevo Paraíso en el municipio de La Concordia. Las coordenadas UTM del inicio del tramo son X 503063; Y 1752837 situado a 758 msnm, en tanto que las coordenadas UTM del final del tramo recorrido son X 503609; Y 1752404 a 728 msnm. La longitud total del tramo es de 820 m.

El río Negrito en este tramo se encuentra ubicado en un valle relativamente estrecho en forma de U que al llegar a la cúspide de las laderas de influencia del ecosistema fluvial, se encuentran terrenos amplios con pendiente escasa y posteriormente las laderas se inclinan de nuevo a pendientes elevadas propias de zona montañosa. Las laderas de influencia al cauce tienen una inclinación promedio de  $28^\circ$  y  $32.5^\circ$  (noreste y suroeste, respectivamente). El cauce es uno característico de río de montaña y al anchura máxima del ecosistema fluvial varía de 70 a 100 m. Al momento de la visita la carga de agua ocupaba una anchura de entre 5 y 7 m, habiendo un espacio disponible de hasta más de 10 m para el escurrimiento del agua. La pendiente longitudinal del cauce es de  $1.5^\circ$ . El tipo de sustrato presente en el tramo es de tipo cohesivo, hay presencia de roca madre expuesta, también material aluvial y menor cantidad coluvial. La granulometría presente es de grandes bloques, cantos rodados y guijarros (de 6 cm de diámetro a más de 50 cm) por lo que las formas del lecho se encuentran entre una transición de saltos y pozas y rápidos continuos.

La permeabilidad y estabilidad existente en el cauce es de tipo medio debido al tipo de sustrato presente en el tramo y a que la profundidad del lecho se encuentra en franca relación con el tipo de sustrato, siendo en algunas partes igual o poco mayor al diámetro de las rocas mas grandes (pozas) y en otras mayor a la granulometría del fondo del lecho (rápidos continuos) permitiendo un movimiento del sustrato tanto de aguas arriba del tramo como aguas abajo.

La vegetación presente en la orilla y de ribera es de bosque pino – encino destacando también arbóreas como la vainilla, ficus, sauces, capilines y mulatos. El uso del suelo contiguo al ecosistema fluvial es de áreas de pastoreo con terrenos de poca vegetación arbórea. La heterogeneidad en el ecosistema y paisaje fluvial, así como su calidad percibida, es buena tanto en sustrato como en vegetación.

Entre las infraestructuras cercanas al cauce hay un puente de concreto para vehículos y una tubería protegida por concreto mediante la cual se abastece de agua a la población más cercana (Nuevo Paraíso), produciendo a la vista una  $\frac{1}{2}$  canalización ya que se encuentra ubicada a un costado del cauce y justo por debajo de la construcción del puente y sobre roca madre expuesta. Sin embargo, no se percibió degradación en el ecosistema fluvial provocada por esta  $\frac{1}{2}$  canalización.

Por último, a pesar de existir pastoreo en los terrenos contiguos al río, la vegetación no presenta evidencias de sobre ramoneo y el suelo no se denotó compactado por la carga animal.

## Río El Rosario

El tramo de este río visitado en campo pertenece a la región hidrográfica de la Costa de Chiapas, cuenca del río Cintalapa y la población más cercana del tramo muestreado es la comunidad Rosario Zacatonal a aproximadamente 100 metros al margen del mismo en el municipio de Acacoyagua. Las coordenadas UTM de inicio y término del tramo de río muestreado son X 538566; Y 1710115 a 1,150 msnm y X 539026; Y 1708785 a 1,000 msnm, respectivamente. La longitud total del tramo muestreado es de 1,575 m.

El tramo de muestreo en este río se encuentra en un valle en forma de U con una anchura máxima de 120 m y cuyas laderas de influencia tienen una inclinación en general igual o mayor de 45° (este y oeste). El cauce presente en este tramo es una transición entre el de torrente de alta montaña y de río de montaña, con una pendiente longitudinal promedio de 4.7°, una anchura máxima de hasta 20 m y al momento de la visita el canal con agua presentó una anchura de 6 m en general. El tipo de sustrato encontrado es de tipo aluvial y coluvial, la granulometría encontrada fue de grandes bloques y cantos rodados existiendo una configuración en las formas del lecho entre saltos y pozas y rápidos continuos.

De acuerdo al tipo de materiales presentes en el tramo, existe permeabilidad en el lecho estando los mismos sujetos a una redistribución de sedimentos a causa de la corriente y de la profundidad, misma que era igual o mayor a éstos en el canal con agua.

Entre las especies de vegetación identificadas al margen del tramo se pueden mencionar *Ulmus mexicana*, *Ficus sp.*, *F. labrata*, *Bursera simaruba*, *Cecropia sp.* y *Cordia alliodora*, entre otras. Sin embargo, en partes de las laderas contiguas al cauce (en algunos sitios de manera extensa) existe un uso del suelo agrícola encontrándose algunas milpas y cafetales, además de pastoreo en algunas otras zonas.

La heterogeneidad y calidad percibida del paisaje fluvial se considera buena en cuanto a sustrato. No obstante, la del uso del suelo en las laderas de influencia, como se menciona en el párrafo anterior, se denota un tanto homogénea al existir amplias zonas desprovistas de vegetación natural.

Entre las infraestructuras cercanas al cauce del río en este tramo visitado cabe mencionar un puente colgante que se encuentra derribado. Sin embargo, a decir de los habitantes de la comunidad, dicho puente fue derribado por el viento y no por alguna avenida de agua en el río. En cuanto a las casas habitación de la comunidad, éstas se encuentran

relativamente a salvo de alguna avenida de agua ya que están a por lo menos 100 m de distancia del cauce sobre una de las laderas de influencia.

Cabe señalar que no existe forma de llegar hasta la comunidad en vehículo automotor ya que el mismo río lo impide, llegando el camino de terracería hasta el cauce en el lado opuesto a la comunidad.

Por último, cabe señalar que en a lo largo del tramo visitado se incorporan dos tributarios del río El Rosario, mismos que en la digitalización de los componentes del ecosistema para realizar el trazado en planta y para la obtención de los índices utilizados fueron incluidos en el análisis, por lo que la longitud del cauce analizada llega a los 2,734 m.

**Anexo 4. Valores de precipitación total mensual captados por las estaciones climatológicas 7037 “Finca Cuxtepeques”, 7054 “Finca Prusia” y 7390 “Cacaluta”**

Estación climatológica 7037 "Finca Cuxtepeques"															
Año	Lluvia total mensual														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Acumulado	Media	Meses con registro
1987			6.5	0	88	516	434	304	500	74	3.5	9.5	1,935.5	193.6	10
1988	10.5	5.1	45.5	97.5	50.5	472	250	553.9	626.5	158.4	7.4	0	2,277.3	189.8	12
1989	0		1	41.3	174.9	364.6	444	440.9	703.7		43.6	5.5	2,219.5	222	10
1990	0	14	8.2	62	205.2	613.9	339.1	294.1	493.4	229.6	34.4	7.6	2,301.5	191.8	12
1991	0	3	0	34.4	166.4	344.5	224.5	300	273.4	426.2	15.7	5.2	1,793.3	149.4	12
1992	9.1	45.2	22.8	20.1	88.1	413.2	335.3	354.6	555.2	338.9	44.1	20.4	2,247.0	187.3	12
1993	7.1	0	28.8	3.8	43.5	202.3	252.8	370.1	402.3	329.7	25.9	1.5	1,667.8	139	12
1994	4.3	11	0	32.5	80.7	296.8	231.8	376.2	426.5	333.9	43.5	0	1,837.2	153.1	12
1995	0	0	42	77.1	119.5	424.6	497.2	411.7	547	175.6	28.1	38.8	2,361.6	196.8	12
1996	0	2.7	0.5	124.1	250.2	580.6	484.5	388.7	320.8	170.2	19	0	2,341.3	195.1	12
1997	1.2	16	26.5	96.4	249.1	267	236.9		545.4	212.5	239.5	40.5	1,931.0	175.5	11
1998	8.5	17.5	0	0	28.4	247.6	418.5	262.1	1,229.5	253.2	230.8	8.2	2,704.3	225.4	12
1999	2.3	0	0.8	16.8	153.9	403.5	552	415.1	690.8	386.5	11	10.5	2,643.2	220.3	12
2000	0.3	0.2	0	46.8	238.1	320.6		218.4	293.3	101.6	20.7	3.1	1,243.1	113	11
2001	0.2	23.7	2.5	40.9	185.1		291.5	361.7	302.3	169.7	3.2	5.9	1,386.7	126.1	11
2002	2	10.6	21.5	15	52.7	405.7		310.4	373.2	145.2	69.3	8.3	1,413.9	128.5	11
2003	0.2	0	9	0	100.8	213.3	491.8	384.6	395	216.9	113.7	4.5	1,929.8	160.8	12
2004	0	3.6	6	23			328.3	193.3	461.1	219	19.5	16.1	1,269.9	127	10
2005	10	0	17.5	46.3	156.2	486.1	350	416.5	422.9	920.3	7.7	2.2	2,835.7	236.3	12
2006	38.7	26.2	6.5	143		570.7	350.7	368.3	355.2		29.5		1,888.8	209.9	9
2007	19	1.8	0.7	126.9	93.4	198.9	365.3	438.2	429.7	384	12	3	2,072.9	172.7	12



Estación climatológica 7054 "Finca Prusia"															
Año	Lluvia total mensual												Meses con registro		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic		Acumulado	Media
1987	1.2	0	36.6	17.3	54.7	559.3	552.9	359.6	579.7	21.8	13.7		2,196.8	199.7	11
1988	20.8	8.7	36.8	18.7	116	607.8	179.1	684.6	615.1	214.8		19.4	2,521.8	229.3	11
1989				84.8	67.1	651.7	657.9	529.3	585.6	343.5	36.1	18.2	2,974.2	330.5	9
1990	0	0	1.1	18.5	0.5	0	0	0	0	337.2	68.1	741	1,166.4	97.2	
1991	1.5	4.1	5.9	31.2	158.8	318.4	304.5	358.6	341.7	665.5	51.9	5.8	2,247.9	187.3	12
1992	26.4	6.4	31.1	13.4	77.6	400.3	329.6	468.7	765.4	630.3	118.3	17.9	2,885.4	240.5	12
1993	23.1	0	47.6	2.8	77.8	382.2	239.4	620.5	564.2	457.6		0	2,415.2	219.6	11
1994	22.7	1.6											24.3	12.2	2
1997	31.6	2	15	137.6	213.5	375	273.4	101	188	196.5	266	63.9	1,863.5	155.3	12
1998	8	99	0	0	33	486.5	769.5	1,262	1,206	501	299	205	4,869.0	405.8	12
1999	56	145	10	80	107	498.5	177	289	619	683	20	59	2,743.5	228.6	12
2000	6	0	51	43	253	463	244	639	520.4	174.8	7.3	4.4	2,405.9	200.5	12
2001	5.9	8.3	0	86.7	190.8	103.9	325.4	526	392.5	259.6	6	16.2	1,921.3	160.1	12
2002	20.1	19.5	9.2	8	43.7	242	71.6	68.6	81.4	31.5	41.6	7.1	644.3	53.7	12
2003	0												0	0	1
2004	20.2	5.5	7.2	24.2	250	340.7	472.9	411.9	745.1	392.4	66.9	46.1	2,783.1	231.9	12
2005	3	12	20.1	29.6	234.1	578.3	423.3	574.5	717.2	681.7	8.1	0	3,281.9	273.5	12
2006	55	4	9	221.5	557.9	565.2	375.5	726	1,068.8	692.4	166.7	43.5	4,485.5	373.8	12
2007	55.2	0	0	243.2	244.1	291.8	433.5	467.3	508.4	352.1	11.3	0	2,606.9	217.2	12

Estación climatológica 7390 "Cacaluta"															
Año	Lluvia total mensual														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Acumulado	Media	Meses con registro
1987		0	44	12.5	91	612.2	798.2	874.8	663.4	82.7	5.1	0	3,183.9	289.4	11
1988	52.9	0	12.9	4.2	123.6	615.7	716.8	1084	729.5	216.6	99.8	4.5	3,660.5	305	12
1989	7.5	26.1	0.7	32.3	392.2	853.4	590.2	656.5	912.9	94.5	107.5	0	3,673.8	306.2	12
1990	26.4	5.3	81	283.7	563.6	612.3	677.2	694.3	606.1	780.1	63.6	0	4,393.6	366.1	12
1991	74.5	0	10.7	98.9	225.9	648.8	424.3	409.8	490.7	635.1	49.5	13	3,081.2	256.8	12
1992	34		131	17.1	346.6	740.9	635.4	439.2	1,187	500.5	170.6	7.9	4,210.2	382.7	11
1993	16.3	0	23.3	9.3	403.9	544.2	303.4	798.6	610.5	347	25.1	10.9	3,092.5	257.7	12
1994		7.5	0.4	17	445.5	574.5	364.1	386.7	651.1	550	39.2	0	3,036.0	276	11
1995	1	11.4	25.9	55.3	102.4	480.9	377.6	401.5	504	154	56.8	9.3	2,180.1	181.7	12
1996	0.9	0	0	35.6	186.2	491.5	272.5	516.5	294.4	90.5	12	2.2	1,902.3	158.5	12
1997	1.7	4.4	7.7	57.8	241.6	313.7	200.1	320.4	649.6	220.2	81.9	20.3	2,119.4	176.6	12
1998	0	0.8	0	0	88.9	673.7	496.9	658.3	664.7		322.6	0	2,905.9	264.2	11
1999	3.1	2	3.5	54.6	49.2	452.7	257	467.2	539.5	447.8	15.9	6.5	2,299.0	191.6	12
2000	0	0	1.7	4.4	862.1	489.3	586.7	631.8	521.3	378.3	60.5		3,536.1	321.5	11
2001	0	0	19.1	151.1	546.6	272.6	710.5	551.4	687.5	411	0	5.5	3,355.3	279.6	12
2002	0	10.9	0	120.6	392.9	517.5	651.5	363.4	777.5	479.4	52.3	0	3,366.0	280.5	12
2003	0	12.2	2	11	353.3	923.6	554.7	606.1	637.3	449.4	160	0	3,709.6	309.1	12
2004	4.2	0	10.1	5.3	263.7	426.7	696.2	517.8	342.9	399.2	23.1	8.4	2,697.6	224.8	12
2005	0	0	96.9	35.5	392.4	944.2	538.5	885.8	1,156.3	816.3	35.6	16.7	4,918.2	409.9	12
2006	7.2	0	8.5	65.2	236.3	585.6	824.5	458.3	633.8	630.7	158.6	40.5	3,649.2	304.1	12
2007	0	0	24.6	95.9	451.9	518.2	598.4	786.4	531.3	385.6	3.5	5.1	3,400.9	283.4	12

**Anexo 5. Coeficientes de escurrimiento superficial parcial y ponderado por microcuenca**

Microcuenca	Uso del suelo	Pendiente (°)	Textura	<sup>7</sup> C <sub>0</sub>	Superficie (ha)	<sup>8</sup> C <sub>1</sub>
Prusia Superficie 5,387.69 ha	Bosque	0 - 2.9	Fina	0.40	42.58	0.70
		3 - 5.7	Fina	0.50	69.64	
		≥5.8	Fina	0.60	2,645.37	
	Terrenos Cultivados	0 - 2.9	Fina	0.60	45.78	
		3 - 5.7	Fina	0.70	78.60	
		≥5.8	Fina	0.82	2,505.72	
El Plan Superficie 9,478.48 ha	Bosque	0 - 2.9	Media	0.30	146.54	0.52
			Fina	0.40	129.47	
		3 - 5.7	Media	0.35	239.88	
			Fina	0.50	161.71	
		≥5.8	Media	0.50	5,835.84	
			Fina	0.60	2,547.89	
	Pastizales	0 - 2.9	Media	0.30	6.98	
			Fina	0.40	10.27	
		3 - 5.7	Media	0.36	11.41	
			Fina	0.55	9.35	
		≥5.8	Media	0.42	171.42	
			Fina	0.60	98.26	
	Terrenos Cultivados	0 - 2.9	Media	0.50	11.20	
			Fina	0.60	8.81	
		3 - 5.7	Media	0.60	9.66	
			Fina	0.70	20.06	
		≥5.8	Media	0.72	21.02	
			Fina	0.82	38.71	
Cuxtepeques Superficie 11,769.99 ha	Bosque	0 - 2.9	Media	0.30	66.86	0.58
			Fina	0.40	79.18	
		3 - 5.7	Media	0.35	116.79	
			Fina	0.50	127.11	
		≥5.8	Media	0.50	5,462.97	
			Fina	0.60	2,310.51	
	Pastizales	0 - 2.9	Media	0.30	14.88	
		3 - 5.7	Media	0.36	9.99	
		≥5.8	Media	0.42	91.72	
	Terrenos Cultivados	0 - 2.9	Media	0.50	49.99	
			Fina	0.60	18.69	

<sup>7</sup> Coeficiente de escurrimiento parcial

<sup>8</sup> Coeficiente de escurrimiento ponderado

		3 - 5.7	Media	0.60	74.61				
			Fina	0.70	26.34				
		≥5.8	Media	0.72	2,933.71				
			Fina	0.82	386.64				
		Negrito Superficie 8,418.17 ha	Bosque	0 - 2.9	Media		0.30	110.09	0.54
					Fina		0.40	492.23	
3 - 5.7	Media			0.35	153.97				
	Fina			0.50	642.20				
≥5.8	Media			0.50	3,189.67				
	Fina			0.60	3,691.29				
Terrenos cultivados	0 - 2.9		Media	0.50	5.27				
			Fina	0.60	26.12				
	3 - 5.7		Media	0.60	10.39				
			Fina	0.70	25.77				
	≥5.8		Media	0.72	3.46				
			Fina	0.82	67.71				
El Rosario Superficie 3,891.89 ha	Bosque	0 - 2.9	Media	0.30	26.67	0.52			
			Fina	0.40	25.77				
		3 - 5.7	Media	0.35	71.68				
			Fina	0.50	37.69				
		≥5.8	Media	0.50	2,330.63				
			Fina	0.60	993.08				
	Pastizales	0 - 2.9	Media	0.30	8.33				
			Fina	0.40	3.68				
		3 - 5.7	Media	0.36	26.69				
			Fina	0.55	4.14				
		≥5.8	Media	0.42	276.42				
			Fina	0.60	87.11				

## ***Anexo 6. Fotografías de los tramos muestreados en campo***

### **Río Prusia**



Construcciones aledañas de la finca Prusia



Erosión lateral del cauce a la altura del Ejido Siete de Octubre

### **Río El Plan**



Tramo contiguo a las fincas Las Nubes y El Plan



Ladera deforestada al margen del cauce

### **Río Cuxtepeques**



Erosión lateral y depósito de sedimentos en el cauce del río



Meandro en el tramo muestreado



### Río Negrito



Cauce con rápidos continuos



Tubería para recoger y llevar agua al poblado de Nuevo Paraíso

### Río El Rosario



Laderas de influencia al cauce



Granulometría en el cauce de grandes bloques y cantos rodados