



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

CENTRO DE INVESTIGACIONES COSTERAS



Proyecto

***REDUCIENDO LOS RIESGOS CLIMATICOS EN LAS CUENCAS COSTERAS
VULNERABLES DE CHIAPAS: ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA
SOCIOECONÓMICA DE BASE COMUNITARIA***

**ESTUDIO SOBRE LOS
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HIDROLÓGICOS**

Dr. José Luis Arellano Monterrosas
Dra. Laura Elena Ruiz Meza

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, junio de 2016

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1. LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS HIDROLOGICOS

1.1 Sobre los servicios hidrológicos

1.2 La dinámica de los cambios de uso del suelo en las cuencas de estudio

1.2.1 Metodología de trabajo

1.2.2 Resultados

1.2.2.1 La cuenca del río Zanatenco

1.2.2.2 La cuenca del río Tiltepec

1.2.2.3 La cuenca del Riíto

1.2.3 Conclusiones

1.3 Incendios forestales

1.3.1 Metodología de trabajo

1.3.2 Los incendios forestales en las cuencas de estudio

1.3.3 Conclusiones

1.4 Pérdida de suelo por erosión hídrica

1.4.1 Metodología de trabajo: La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

1.4.1.1 Factor R

1.4.1.2 Factor K

1.4.1.3 Factor LS

1.4.1.4 Factor CP

1.4.2 Erosión Hídrica Potencial (EHP)

1.4.3 Erosión Hídrica Actual (EHA)

1.4.4 Azolvamiento de cauces y cuerpos de agua

1.4.5 Conclusiones

2. OFERTA Y DEMANDA DE AGUA

2.1 Oferta de agua: Disponibilidad del agua

2.1.1 Precipitación

2.1.2 Aguas superficiales: Escurrimiento superficial

2.1.2.1 Escurrimiento superficial registrado

2.1.2.2 Escurrimiento superficial estimado

2.1.3 Aguas subterráneas

2.2 La demanda del agua: Los usos del agua

2.2.1 Uso agrícola

2.2.2 Uso público urbano

2.2.3 Uso pecuario

2.3 Conclusiones

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de investigación “Reduciendo los riesgos climáticos en las cuencas costeras vulnerables de Chiapas: adaptación y resiliencia socioecológica de base comunitaria”, tiene como objetivo analizar el papel de los servicios ecosistémicos más relevantes para garantizar el bienestar humano en la capacidad de adaptación y resiliencia socioambiental frente a los efectos de la variabilidad climática en las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto a fin de generar propuestas y recomendaciones para incidir en políticas y estrategias que articulen la gestión integrada de cuencas con las gestión de riesgos, ambas estrechamente relacionadas.

En este marco, en una primera etapa de proyecto se realizaron dos estudios necesarios para el análisis de la problemática en la zona de estudio: el estudio sobre caracterización climatológica, variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos; y el presente estudio sobre los servicios ecosistémicos hidrológicos. Para ambos, se consideró como zona de estudio la integrada por las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto, ubicadas en la Región Istmo-Costa de Chiapas, y en la denominada Región Hidrológica 23 Costa de Chiapas, región particularmente vulnerable al impacto de eventos hidrometeorológicos extremos como inundaciones, sequías e incendios.

El estudio sobre servicios ecosistémicos hidrológicos comprende dos capítulos: los procesos de degradación de los recursos naturales y su relación con los servicios ecosistémicos hidrológicos y el estudio sobre la oferta y la demanda de agua en las cuencas de estudio. Se analiza la dinámica de los cambios de uso del suelo y vegetación en las cuencas de estudio para los años 1985, 1993, 2002, 2007 y 2011; la deforestación y los cambios de uso del suelo asociados a los incendios forestales.

Los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal inciden en la susceptibilidad del proceso de degradación y erosión hídrica, por lo que se realiza una estimación de la pérdida de suelo para las cuencas de estudio en los mismos años con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS) adaptada a las condiciones de la Sierra Madre de Chiapas. Se analiza el proceso de erosión-sedimentación con la componente de azolvamiento de cauces y cuerpos de agua que incrementan la vulnerabilidad a desbordamientos e inundaciones en las poblaciones rivereñas y de la parte baja de las cuencas, con impactos en la producción agropecuaria y pesquera de la región.

Finalmente, mediante la aplicación de la ecuación del balance hidrológico, se estudia la relación entre la oferta y la demanda de agua, tanto superficial como subterránea, en cada una de las cuencas de estudio y en cada uno de los usos del agua: agrícola, público urbano y pecuario.

1. LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES Y LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS HIDROLOGICOS

1.1 Los servicios ecosistémicos hidrológicos

Actualmente los recursos naturales se encuentran gravemente afectados por las actividades humanas, en particular por el cambio de uso del suelo, la degradación de cuencas, la destrucción de manglares, la pérdida de la biodiversidad y la contaminación ambiental. Aunado a lo anterior, se proyecta que el cambio climático genere alteraciones en la composición y funcionamiento de los sistemas naturales, lo que afectaría la provisión de los servicios ecosistémicos (SEMARNAT, 2012).

Para Metzger *et al.*, (2006), los ecosistemas terrestres proveen una serie de servicios vitales a la gente y la sociedad tales como la biodiversidad, alimentos, fibras, recursos hídricos, secuestro de carbono y recreación.

Los servicios ecosistémicos son definidos como todos aquellos beneficios que de los ecosistemas obtiene la población humana para su bienestar y desarrollo, como son la producción de oxígeno, la captura de bióxido de carbono, la fertilidad de los suelos y su retención en los ecosistemas, los polinizadores de plantas útiles para consumo humano, la provisión de agua y el amortiguamiento del impacto por lluvias extremas, entre otros (Challenger, CONABIO e INE, citados por SEMARNAT, 2012).

De esta forma, las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto proveen los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte (Cuadro 1).

Los servicios hidrológicos que las cuencas, como ecosistemas complejos proveen, corresponden a los de provisión con el suministro de agua y de regulación, como lo es la regulación de las relaciones lluvia-escurrimiento para el control de inundaciones y la protección costera. Asimismo, los servicios hidrológicos proveen identidad, legado cultural y sentido de pertenencia a los pueblos que la comparten (Balvanera, 2012).

Los cambios y variaciones en los patrones de precipitación ya están afectando los servicios ecosistémicos y la disponibilidad de recursos hídricos. Sin embargo, el sistema hidrológico está respondiendo no solo a cambios en el clima y el régimen de lluvias, sino también de manera muy significativa a las actividades humanas tales como la deforestación, la urbanización y el uso excesivo de las reservas de agua (Magaña, *et al.*, 2004).

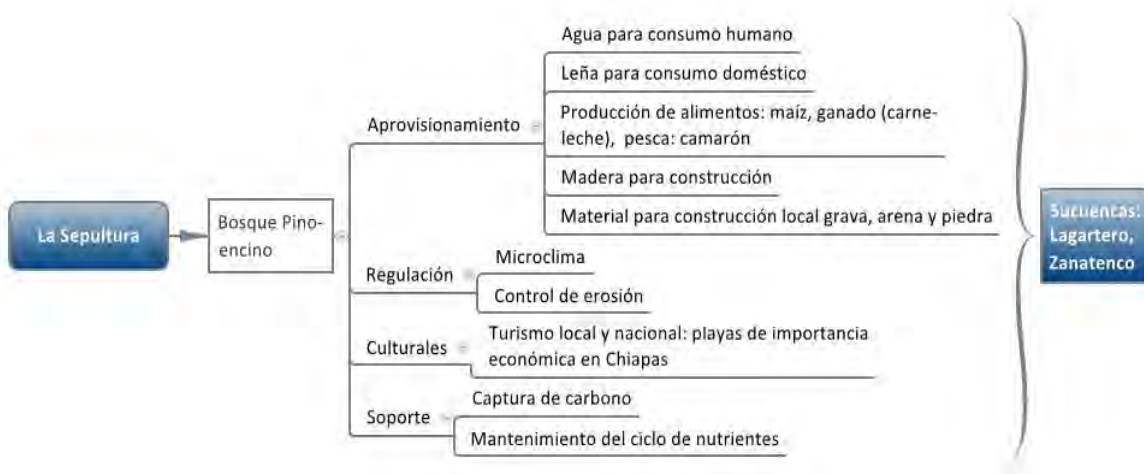
Cuadro 1. Servicios ecosistémicos en las subcuencas Lagartero, Zanatenco de la Vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas - Región Istmo-Costa.

Tipo de servicio ecosistémico	Servicios ecosistémicos provistos
Aprovisionamiento	Agua para consumo humano Leña para consumo doméstico Producción de alimentos: maíz, ganado –carne-leche, pesca: camarón Madera para construcción Material para construcción local grava, arena y piedra
Regulación	Microclima Control de erosión
Culturales	Turismo local y nacional: playas de importancia económica en Chiapas
Soporte	Captura de carbono Mantenimiento del ciclo de nutrientes

Fuente: Conservación Internacional (2012).

En su estudio sobre la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos y los cambios de uso del suelo en Europa, Metzger *et al.*, (2006) consideran que la capacidad futura de los ecosistemas terrestres para proveer éstos servicios está determinada por cambios en las características socioeconómicas de la sociedad, cambios en el uso del suelo, en la biodiversidad, en la composición atmosférica y cambios en el clima.

Figura 1. Servicio ecosistémicos dañados con el paso del Huracán Stan en las cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco, Chiapas



Fuente: Conservación Internacional (2012).

Los eventos hidrometeorológicos extremos también tienen impactos en los servicios ecosistémicos que proveen las cuencas; por ejemplo, los bosques de pino-encino de las cuencas de Lagartero y Zanatenco proveen: aprovisionamiento (producción de agua para consumo humano, de leña, alimentos y materiales de construcción), regulación (microclima, control de erosión), culturales (afluencia turística en playas del Mar Muerto como los de la cuenca del Riíto) y, de soporte (en los ciclos de carbono y nutrientes), según se muestra en la Figura 1.

Sobre los servicios ecosistémicos que las cuencas de México proveen, Balvanera y Cotler (2007) concluyen que los servicios ecosistémicos están declinando a tasas aceleradas y son fundamentales para un gran número de pobladores, como los de las pesquerías tropicales o los servicios asociados a la regulación del impacto de eventos hidrometeorológicos extremos; servicios ecosistémicos como los que proveen las cuencas de estudio en la región Istmo-Costa de Chiapas.

Por ejemplo, en la cuenca del río Huehuetán, Chiapas, para los usos del suelo en 1990 y noviembre de 2005 (antes y después del impacto del Huracán *Stan*), Juárez *et al.* (2007) obtienen prácticamente los mismos escurrimientos máximos con las lluvias extremas del *Stan* (2,566 m³/s y 2,544 m³/s respectivamente). Lo anterior, debido al servicio ecosistémico de regulación o efecto amortiguador a las lluvias extremas de la cobertura vegetal que provee la cuenca, con un 82% de su área cubierta de bosques, selvas y café bajo sombra (Arellano, 2012).

1.2 La dinámica de los cambios de uso del suelo en las cuencas de estudio

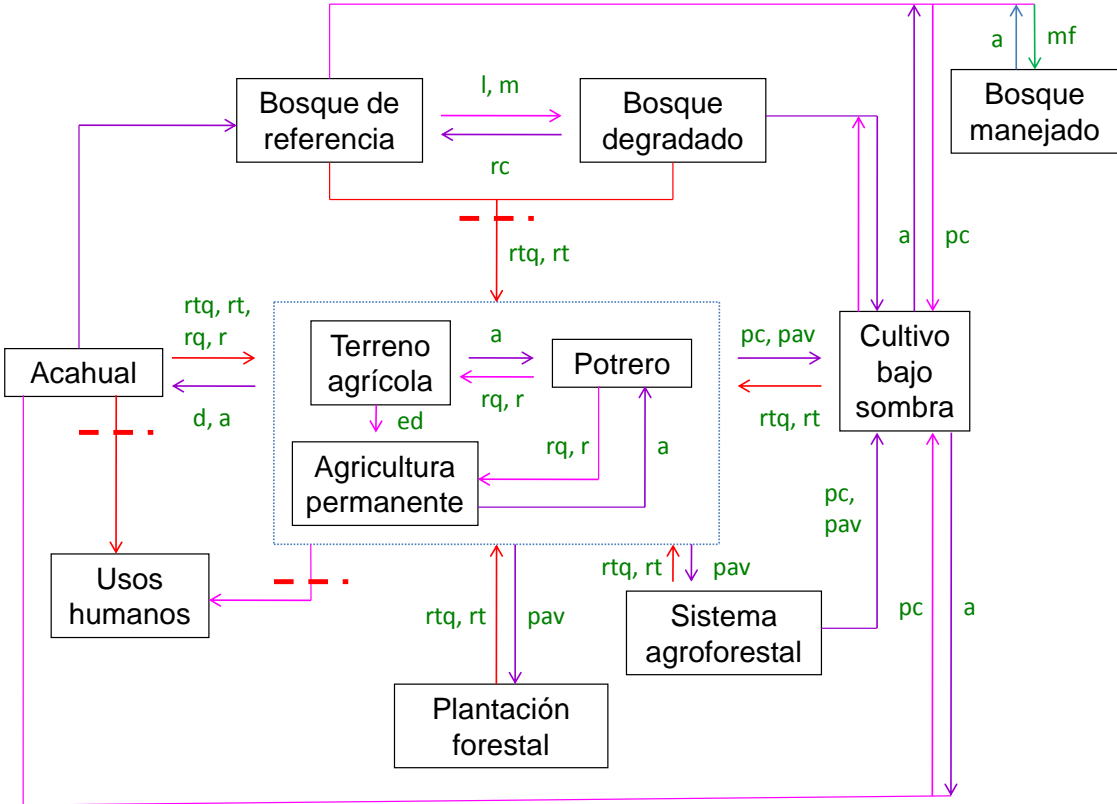
En la Sierra Madre de Chiapas, las formas de apropiación de los recursos naturales determinan la dinámica de los cambios de uso del suelo en las cuencas de estudio. Según se muestra en la Figura 2, un área de bosque nativo puede transformarse en un bosque degradado debido a un aprovechamiento excesivo de leña y madera o bien mediante sistemas de cultivo de roza-tumba y quema, año y vez, o roza y quema, abrirse a áreas para cultivos anuales que después se pueden transformar -según el grado de intensificación- a acahuales, áreas de potrero, café bajo sombra, huertos de frutales o sistemas agroforestales (Arellano, 1994; Conservación Internacional, 2012).

Sobre la dinámica de uso del suelo en la región Istmo-Costa, particularmente en la cuenca del Mar Muerto, Lucero *et al.* (1994), destacan la fuerte polarización de la actividad ganadera en la región al representar en 1992 un 27.2% la superficie dedicada a actividades ganaderas (pastizales cultivados e inducidos) frente a un 3.8% de la superficie dedicada a la agricultura (maíz, maíz-frijol, mango-limón, cacao y, otros) en toda la cuenca (4,724 Km²).

El proceso de expansión de la ganadería en la región Istmo-Costa de Chiapas, comenzó a extenderse en tierras que eran aptas para fines forestales y agrícolas; a finales del siglo XX, la actividad ganadera se abrió paso a través del desmonte en áreas de selvas altas y medianas, tanto en la llanura aluvial como en la sierra.

Este expansionismo fue alentado por políticas estatales de fomento a la actividad ganadera como la Ley Ganadera del Estado de Chiapas promulgada en 1961 mediante la cual se otorgaron certificados de inafectabilidad a los grandes propietarios ganaderos (Fernández y Tarrio citados por Lucero et al., 1994). De esta forma, en 1990 entre los municipios de Arriaga, Tonalá y Pijijiapan, la superficie de agostadero cubría 301,300 hectáreas y sostenía 420,000 cabezas de ganado por lo que aportaría cerca del 15% del ganado a nivel estatal (Lucero et al., op. cit.).

Figura 2. La dinámica del cambio de uso del suelo en la Sierra Madre de Chiapas.



Fuente: Conservación Internacional (2012).

1.2.1 Metodología de trabajo

Para estudiar el efecto de la dinámica en el uso del suelo de las cuencas de estudio en las relaciones lluvia-escurrimiento y erosión hídrica-sedimentación, se utilizarán datos de uso del suelo en diferentes décadas representativas: 1980, 1990, 2000 y 2010 (Juárez, et al., 2010; Cano et al., 2014).

Según la información cartográfica digital disponible y en base a la información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000 elaborada por INEGI, se utilizaron los siguientes cubrimientos: Serie I elaborada entre 1979 y 1991, Serie II entre 1993 y 1999, Serie III entre 2002 y 2005, Serie IV entre 2006 y 2010 y Serie V entre 2011 y 2013. Las fechas de referencia para cada Serie son las siguientes: Serie I 1985, Serie II 1993 y, Serie V 2011 (INEGI, 2015a).

Debido a las adecuaciones al sistema de clasificación de uso del suelo y vegetación de las series I, II y III de INEGI (2009), particularmente del pastizal cultivado (considerado en la categoría genérica de pastizal en las Series I y II), ya que en la Serie III se especifica como pastizal cultivado. Asimismo, asimismo, en el caso de las diferentes combinaciones en los tipos de agricultura de temporal, particularmente para los años 2002 y 2007, se utilizaron para éstos años los planos de uso del suelo y vegetación elaborados por INEGI y modificados por la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) a partir de las Serie III 2002 y, la Serie IV 2007.

De esta forma, se agruparon las clasificaciones de uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto según la guía para la interpretación de cartografía de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 de INEGI (2009) en los siguientes años de referencia: 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011 para el estudio de la dinámica del uso del suelo en cada cuenca.

De esta forma, para los años 1985, 1993 y, 2011 se utilizó la cartografía digital de INEGI y para los años 2007 y, 2011 la cartografía de uso de suelo y vegetación elaborada por INEGI y modificada por CONABIO consultada en el Portal de Geoinformación de CONABIO <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. La referencia y el URL para cada mapa de uso de suelo y vegetación de INEGI, se muestra en el apartado de cartografía consultada.

Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcView, se utilizaron los archivos magnéticos de la información de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250,000 elaborada por INEGI para cada una de las cuencas de estudio para los años 1985, 1993 y, 2011; y los modificados por CONABIO para los años 2002 y, 2007. En todos los planos de uso del suelo y vegetación de cada año y cuenca así como los de cambios de uso del suelo entre periodos en cada cuenca, se calculó el área de cada categoría.

Para el análisis de los usos del suelo y vegetación por cada año de estudio (1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011), se utilizaron las categorías indicadas en la guía para la interpretación de la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación de INEGI (2015a).

En general, los tipos de uso del suelo y vegetación de las cuencas de estudio siguen un patrón geográfico relacionado con la altitud, particularmente en el área de influencia de la REBISE (Cuadro 2).

Cuadro 2. Los tipos de vegetación según su gradiente altitudinal en el área de influencia de la Reserva de la Biósfera de La Sepultura, Chiapas

Tipo de vegetación	Altitud (msnm)
Selva mediana y baja perennifolia	1,400-1,200
Selva alta y mediana subcaducifolia	400-850
Selva alta o mediana subperennifolia	1,000-1,400
Selva baja caducifolia	300-800
Sabanas	100-300
Pinares	300-1,500
Encinares	700-1,500
Bosque caducifolio	1,200-1,500
Bosque mesófilo de montaña o matorral de niebla	2,400
Vegetación secundaria	300-1,200

Fuente: CONANP (1999).

En el análisis de los cambios de usos del suelo entre periodos (1985-1993, 1993-2002, 2002-2007, 2007-2011), se consideraron las siguientes categorías:

Permanencia de uso: incluyen las clases que no sufrieron cambios en el periodo, que permanece el mismo uso del suelo; por ejemplo: pastizal cultivado, pastizal inducido, agricultura de temporal y asentamientos humanos.

Cambio entre uso: son aquellas áreas que cambiaron el uso del suelo; por ejemplo, de agricultura de temporal a pastizal y viceversa, incluye las áreas que se transformaron a asentamientos humanos.

Deforestación hacia pastizal cultivado: incluye los bosques y selvas que se transformaron a pastizal cultivado.

Deforestación hacia pastizal inducido: incluye los bosques y selvas que se transformaron a pastizal inducido.

Permanencia de bosque mesófilo: Son áreas de bosque mesófilo que no cambiaron de uso en el periodo.

Permanencia de selvas medianas subperennifolia: son áreas de selvas medianas subperennifolia que no sufrieron cambio en el periodo.

Recuperación de selvas mediana subperennifolia: incluye las áreas de pastizales y agricultura de temporal que se transformaron a selvas medianas (acahuales).

Deforestación de manglar: son los manglares que se transformaron a áreas de agricultura de temporal o pastizal.

Permanencia de manglar: Son las áreas de manglar que no cambiaron de uso en el periodo.

1.2.2 Resultados

1.2.2.1 Cuenca del río Zanatenco

Debido a su ubicación geográfica, las categorías de uso del suelo y vegetación entre Tiltepec y Zanatenco son diferentes; la cuenca del río Tiltepec es más diversa en tipos de vegetación. Por ejemplo, la cuenca del río Zanatenco no cuenta con bosque de encino y pino, bosque de pino encino, sabana, selva baja caducifolia y selva mediana subcaducifolia, comunidades vegetales y florísticas que si se presentan en la cuenca del río Tiltepec.

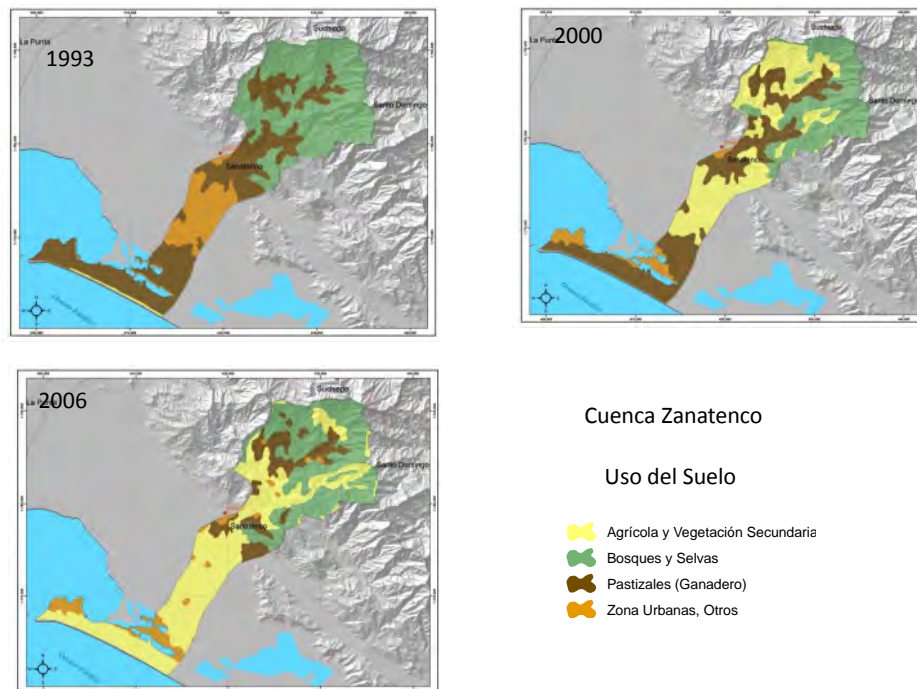
En el estudio de cambios de uso del suelo para los periodo de 1993, 2000 y 2006 (antes y después de las inundaciones de 1998 y 2005), realizado por Conservación Internacional (2012) en las cuencas de los ríos Lagartero y Zanatenco dentro del proyecto ECOSECHAS,¹ se obtienen las siguientes tendencias generales: las áreas para agricultura y vegetación secundaria así como la de otros usos (zonas urbanas) muestran una tendencia creciente, mientras que las áreas de bosques y selvas muestran una tendencia decreciente (Figuras 3 y 4).

En el Cuadro 3 y las Figuras 6, 7, 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos en las tendencias y variaciones de los usos del suelo en la cuenca del río Zanatenco para los siguientes años de estudio: 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011.

La superficie de bosque mesófilo de montaña se mantiene constante durante todo el periodo de estudio (1985-2011), representando un 6.8% debido a que éste tipo de vegetación se ubica en la parte alta de la cuenca, prácticamente en el parteaguas, dentro de la zona núcleo de la Reserva de la Biósfera de La Sepultura (REBISE).

¹ ECOSECHAS: Proyecto Integración de Esfuerzos para la Conservación de los Servicios Ecosistémicos y Biodiversidad a Escala de Micro-Cuenca en Chiapas, México, es una colaboración entre CI, el Gobierno del Estado de Chiapas a través de la Secretaría de Medio Ambiente, Vivienda e Historia Natural (SEMAVIHN) y la Comisión Forestal Sustentable del Estado de Chiapas (COFOSECH); el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con el financiamiento del Global Environmental Facility (GEF) a través del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), fondos propios de CI y fondos públicos de los gobiernos federal y estatal. Los objetivos Generales del proyecto son (1) Contribuir a la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en México y (2) Integrar esfuerzos de conservación de biodiversidad dentro del manejo de recursos naturales a nivel micro-cuenca por medio de la inserción de consideraciones de servicios ecosistémicos en la toma de decisiones de la región Sierra-Costa de Chiapas, México.

Figura 3. Mapas de uso suelo en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas para los años 1993, 2000 y 2006

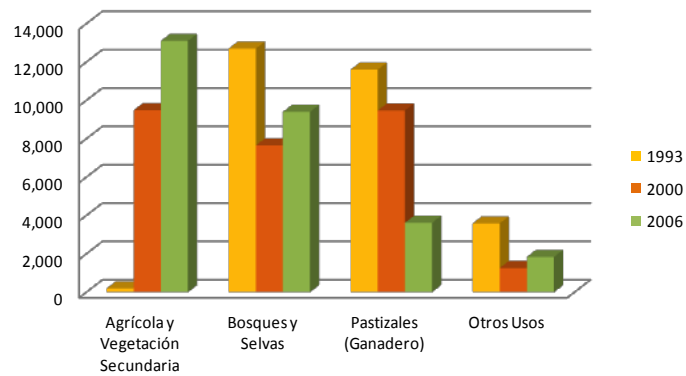


Fuente: Conservación Internacional (2012).

Para el municipio de Tonalá, CONAFOR (2014) reporta una superficie de bosque mesófilo de montaña primaria de 4,801.84 hectáreas ubicados a lo largo del parteaguas de la Sierra Madre de Chiapas; de 826.16 hectáreas de bosques primarios de pino encino; de 63,149.11 hectáreas de selvas altas y medianas secundarias y; de 383.72 hectáreas de selva baja caducifolia secundaria.

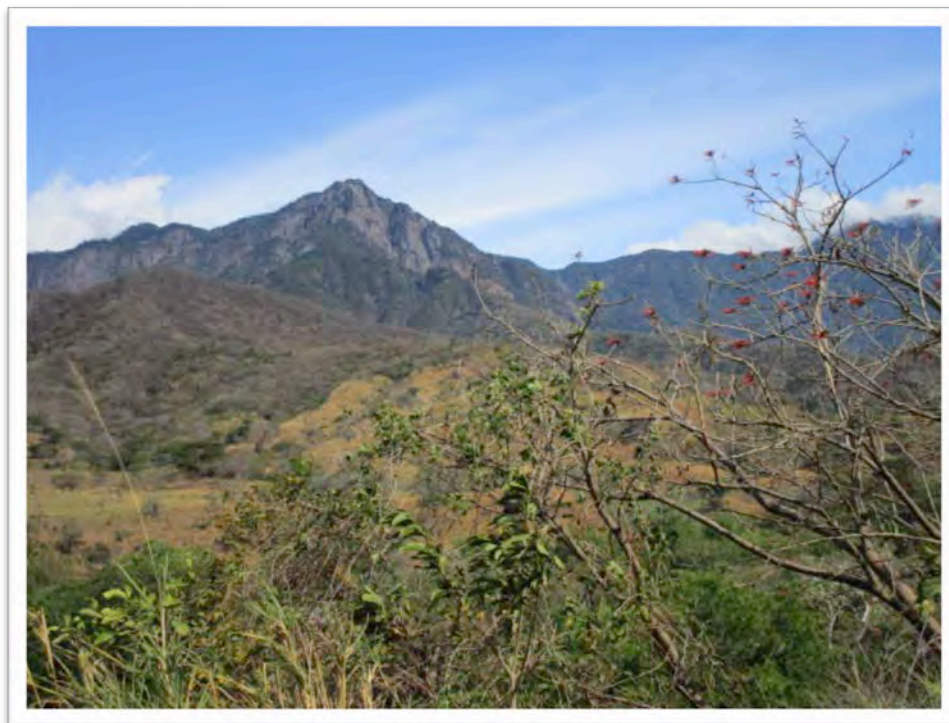
En la cuenca del río Zanatenco, la superficie con selva mediana sub-perennifolia disminuyó del 51.4% al 39.8% durante todo el periodo de estudio (1985-2011) debido a que la mayor parte de este tipo de vegetación se ubica en la zona de amortiguamiento de la REBISE, en un área susceptible de incendios forestales y quemas agrícolas provenientes de la planicie costera y lomeríos de la Vertiente del Pacífico de la Sierra Madre (Figura 5).

Figura 4.- Comportamiento del uso del suelo (hectáreas) en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas.



Fuente: Conservación Internacional (2012).

Figura 5. Vegetación de selva mediana sub-perennifolia en la cuenca media del río Zanatenco, Chiapas.



Para el periodo de 2000 a 2006, la superficie de bosques y selvas mostró un incremento de 7,652 a 9,406 hectáreas, debido a la incorporación de las categorías de uso del suelo y vegetación de bosque de mesófilo y coníferas bajo el concepto genérico de bosques y selvas (SEMAHN, citada por Conservación Internacional, 2012). Estas variaciones son resultado de las adecuaciones al sistema de clasificación de Uso del Suelo y Vegetación que realizó INEGI (2009) para la selva baja caducifolia en las Series I y II así como de la vegetación secundaria de selva baja caducifolia en la Serie III.

Cuadro 3. Usos del suelo para diferentes periodos en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985-2011).

Uso del Suelo	1985		1993		2002		2007		2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Agricultura de temporal	141.1	0.6	3,467.7	15.0	3,791.6	16.4	2,937.3	12.7	2,777.7	12.0
Asentamientos humanos	71.7	0.3	71.7	0.3	71.7	0.3	71.7	0.3	71.7	0.3
Bosque mesófilo de montaña	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8
Manglar	150.2	0.7	0.7	0.0	0.7	0.0	0.7	0.0	0.7	0.0
Pastizal cultivado	7,145.6	31.0	5,053.7	21.9	3,116.1	13.5	3,553.6	15.4	3,713.2	16.1
Pastizal inducido	2,134.5	9.3	2,660.3	11.5	4,983.0	21.6	5,779.7	25.1	5,758.8	25.0
Selva mediana sub-perennifolia	11,860.9	51.4	10,250.1	44.4	9,541.2	41.4	9,161.2	39.7	9,182.1	39.8
Totales:	23,067.5	100.0	23,067.5	100.0	23,067.5	100.0	23,067.5	100.0	23,067.5	100.0

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la superficie dedicada a la agricultura de temporal presenta durante el periodo de 1985 a 2007 un incremento significativo del 0.6 al 12.7% para posteriormente tener un pequeño abatimiento al 12.0% en 2011.

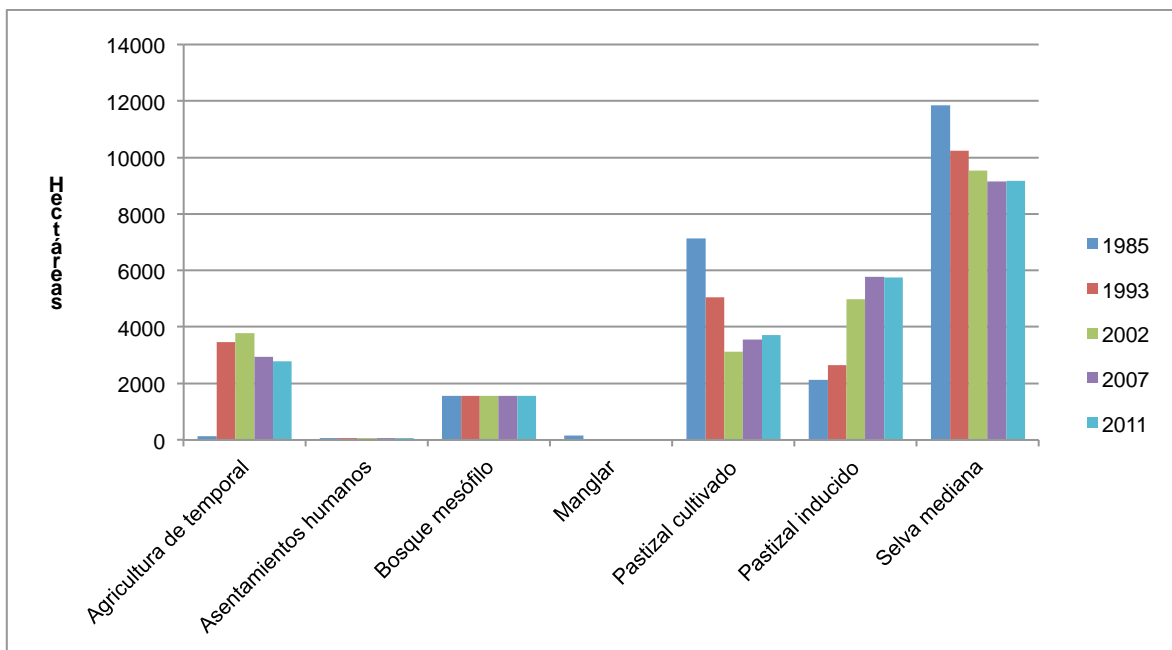
La superficie dedicada a la ganadería en la región cuenca comprende tanto pastizales cultivados como inducidos. Los pastos inducidos son aquellos que provienen de la sucesión vegetal de especies nativas de pastos después de un incendio o quema mientras que los cultivados corresponden a aquellos pastizales establecidos o sembrados para tal fin con especies forrajeras como potreros.

En la cuenca del río Zanatenco, la superficie dedicada a actividades ganaderas es la más significativa en todo el periodo de estudio, representando hasta el 40% de la superficie de la cuenca, un promedio de 11,800 hectáreas, en contraste con las 2,700 hectáreas dedicadas a la agricultura de temporal (12%) según se muestra en el Cuadro 3. La cuenca del río Zanatenco, es un ejemplo típico del proceso de ganaderización de la región Istmo-Costa, particularmente de la cuenca del Mar Muerto (Lucero *et al.*, 1994).

Durante todo el periodo de estudio (1985-2011), no se reporta superficie con cuerpos de agua en la zona de humedal de la cuenca, por lo que se presume un abatimiento y secado previo de lagunas y cuerpos de agua. Según fotografías

aéreas y visitas de campo en la región, Tovilla (citado por Contreras *et al.*, 1994) reporta que la laguna del Mar Muerto ha sufrido una reducción significativa de extensiones de manglar y áreas de humedal de 1945 a 1982.

Figura 6. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985-2011).



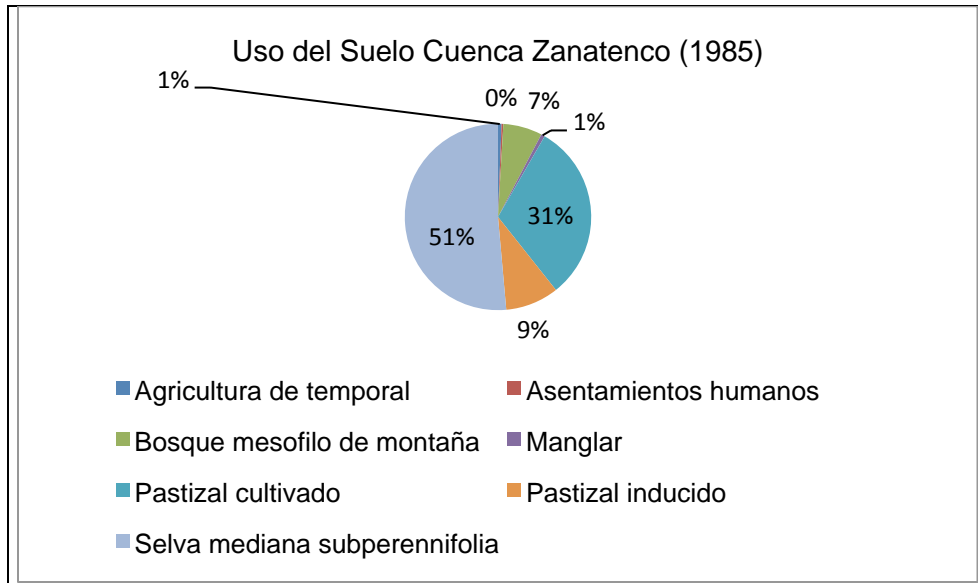
Fuente: Elaboración propia.

En 1985 se reportan 150 hectáreas de manglar (0.7%); sin embargo, de 1993 a 2011 la superficie de manglar disminuye significativamente y permanece constante, representando únicamente 0.7 hectáreas de la superficie de la cuenca.

La superficie dedicada a los asentamientos humanos permanece constante durante el periodo de estudio (1985-2011), representando un 0.3%.

Para la cuenca del río Zanatenco, Trujillo (1998) reporta para una superficie total de la cuenca de 344.00 Km² los siguientes usos del suelo: agrícola 4.8%, ganadero 64.7%, forestal 28.9% y otros usos 1.6%. Donde el uso ganadero esta sobrestimado según lo obtenido en el presente estudio para el año 2002.

Figura 7. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985).



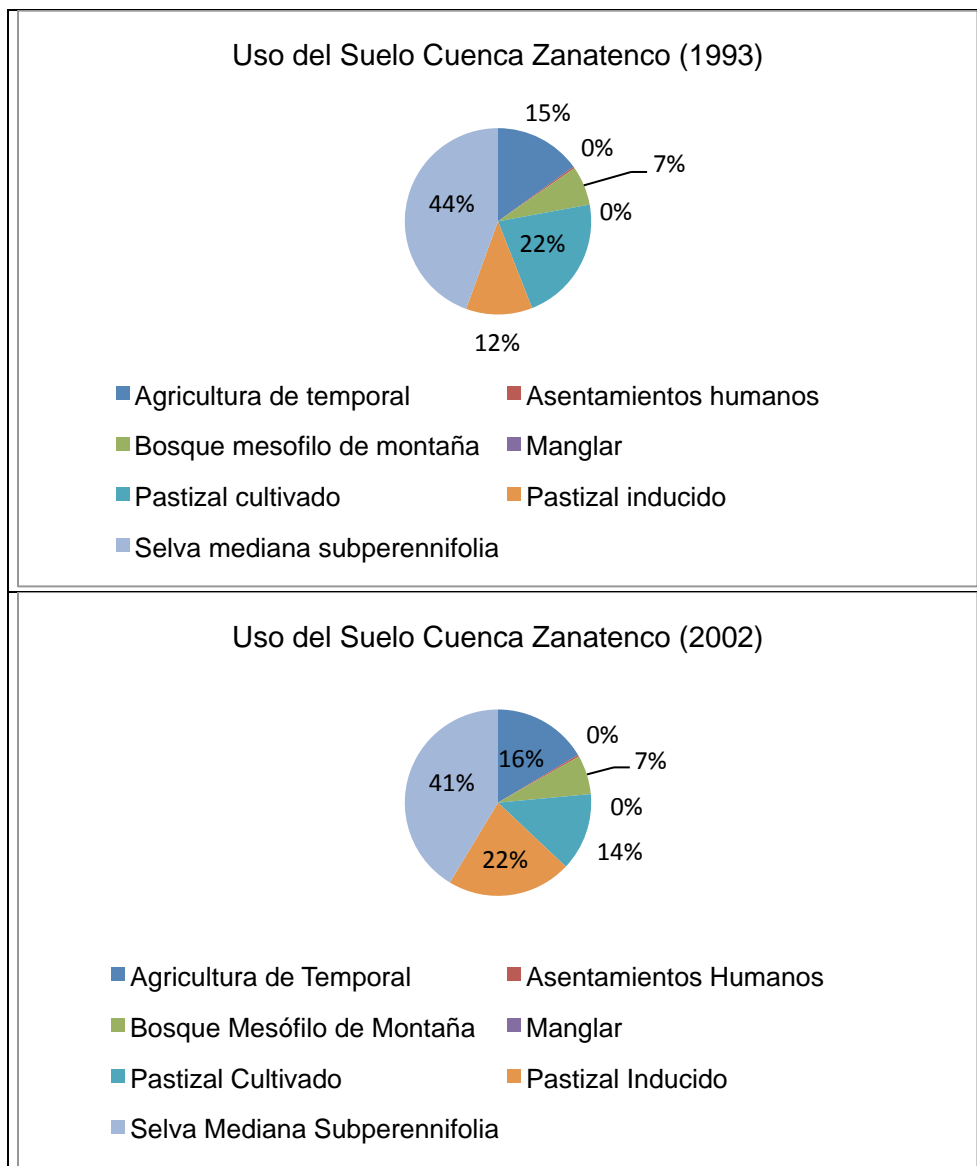
Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, Conservación Internacional (2012), reporta de 1993 a 2000 que en la cuenca del río Zanatenco se tiene un abatimiento de la superficie de zona urbana y otros usos debido probablemente al impacto de la contingencia hidrometeorológica de septiembre de 1998 así como al proceso de secado de los cuerpos de agua. Asimismo, reporta que de 2000 a 2006 se incrementó la superficie de otros usos debido al proceso de urbanización de la cuenca (Cuadro 4).

En el Plan de Gestión Integral de la cuenca del río Zanatenco (CONAGUA, *et al.* 2009), se presentaban en 2003 los siguientes usos del suelo: Agrícola 7,949 hectáreas (20%); ganadero 16,703 hectáreas (42%); bosques y selvas 12,153 hectáreas (30%); asentamientos humanos 1,101 hectáreas (3%) y manglares 751 hectáreas (2%). Resultados que son análogos a los obtenidos en el presente estudio para el año 2002 en superficie agrícola y ganadera (Figura 8).

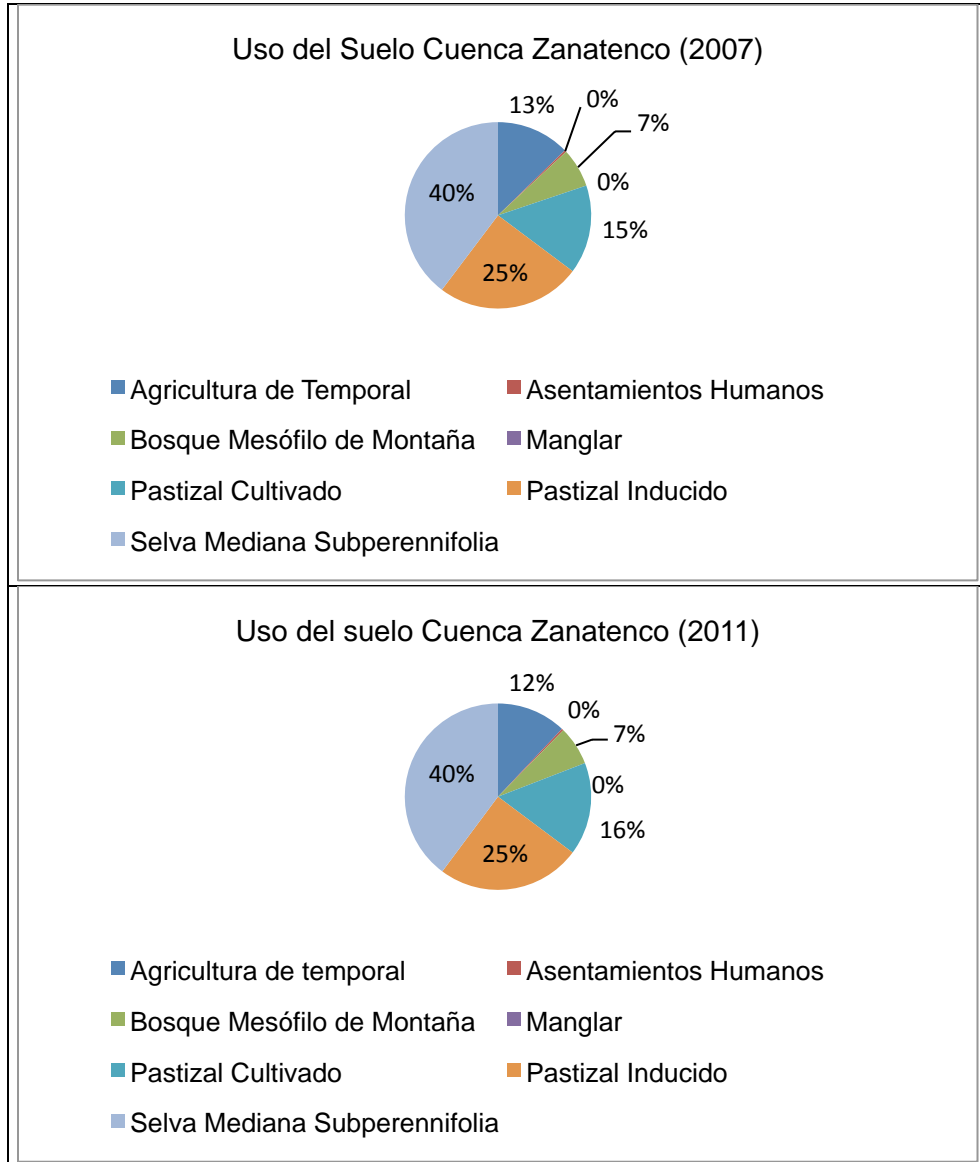
Respecto a los cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985-2011) que se muestran en el Cuadro 5, se obtiene que permanecen constantes durante todo el periodo de estudio los usos del suelo de bosque mesófilo de montaña, manglar y casi constante o con poca variación, la de selva mediana subperennifolia de 1993 a 2011.

Figura 8. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985 y 2002).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (2007 y 2011).



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Cambio de uso del suelo de 1993 a 2006 en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas.

Uso del suelo	Superficie (ha)		
	1993	2000	2006
Agrícola y pastizal cultivado	9,418	11,492	13,183
Bosques y selvas	12,703	7,652	9,406
Vegetación secundaria y pastizales nativos	2,389	7,477	3,538
Zona urbana, otros usos	3,590	1,264	1,844
Totales:	28,099	27,884	27,970

Fuente: Conservación Internacional (2012).

Destacan los cambios de uso del suelo hacia pastizal cultivado de 1985 a 1993 en 3,420 hectáreas y hacia pastizal inducido de 1985 a 2007 con 479, 930 y, 387 hectáreas en los periodos de 1985-1993, 1993-2002 y 2002-2007, respectivamente para un acumulado de 1,796.2 hectáreas. De esta forma, se han transformado de 1985 a 2011 de selva mediana a pastizal cultivado o inducido (uso ganadero) un total 3,155.1 hectáreas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1985-2011).

Categorías de cambio de uso del suelo	1985-93		1993-2002		2002-2007		2007-2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cambio entre usos	3,420.3	14.8	2,041.3	8.8	1,271.7	5.5	159.6	0.7
Deforestación hacia pastizal cultivado	1,358.9	5.9	0	0	0	0	0	0
Deforestación hacia pastizal inducido	478.9	2.1	930.0	4.0	387.3	1.7	0	0
Permanencia de bosque mesófilo	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8	1,563.3	6.8
Permanencia de manglar	0.7	0.0	0.7	0.0	0.7	0.0	0.7	0.0
Permanencia de selva mediana subperennifolia	10,172.7	44.1	9,320.1	40.4	9,153.9	39.7	9,161.2	39.7
Permanencia de uso	5,995.4	26.0	8,991.0	39.0	10,683.3	46.3	12,161.9	52.7
Recuperación de selva mediana subperennifolia	77.5	0.3	221.1	1.0	7.3	0.0	20.9	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Otro cambio significativo en la cuenca del río Zanatenco es el de áreas de pastizal cultivado a agricultura de temporal de 3,350 hectáreas de 1985 a 1993 (casi el 97% de la superficie dedicada a la agricultura de temporal en 1993), mientras que de 1993 a 2002 se transformaron 375 hectáreas, de 2002 a 2007, se incrementaron a 854 hectáreas y de 2007 a 2011 únicamente 160 hectáreas.

La deforestación de selva mediana subperennifolia a pastizal inducido fue de 930 hectáreas de 1993 a 2002 y de 387 hectáreas de 2002 a 2007. Por otra parte, se transformaron de pastizal cultivado a inducido 1,613 hectáreas de 1993 a 2002 y de 417 hectáreas de 2002 a 2007 (Cuadro 5).

Finalmente, de 2002 a 2007 se transformaron terrenos con agricultura de temporal a pastizales cultivados en 854 hectáreas y se regeneraron 20 hectáreas de selva mediana subperennifolia (se *acahualo* el pastizal inducido).

1.2.2.2 Cuenca del río Tiltepec

Según el Plan de Gestión Integral en la cuenca del río Tiltepec (CONAGUA, *et al.* 2012), en la cuenca del río Tiltepec, los principales usos del suelo tienen un origen antrópico en la cuenca baja y media: los pastizales cultivados e inducidos, la agricultura de temporal y las áreas de sabana representan el 47.3%, 1.4%, 4.2% y el 15.2% respectivamente. Por otra parte, en la parte media y alta de la cuenca (que representa el área de captación de los servicios hidrológicos de la cuenca), dominan las áreas de bosque mesófilo de montaña (2.7%), y pino-encino (4.2%) así como las áreas de selva mediana subperennifolia (20.0%) y baja caducifolia (3.3%).

En el Cuadro 6 y las Figuras 10, 11, 12 y, 13 se muestran de manera gráfica las tendencias y variaciones de los usos del suelo en la cuenca del río Tiltepec para cada año del periodo de estudio: 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011.

Considerando para la cuenca del río Tiltepec una superficie de 38,338 hectáreas, Gellida *et al.* (2012), reportan para la misma Serie IV y año 2007, una superficie de bosque mesófilo de montaña de 1,029.4 hectáreas (el 2.7% de la cuenca). Esta superficie esta sobrestimada, debido a que según se muestra en el Cuadro 29, la superficie de bosque mesófilo de montaña se mantiene casi constante durante el periodo de estudio de 1985 a 2011, debido a que este tipo de vegetación se ubica en la parte alta de la cuenca y se ubica dentro de la zona núcleo de la REBISE, con cerca de 850 hectáreas (el 3.5% de las 24,306 hectáreas de cuenca propia).

La superficie de bosques de pino-encino y encino pino permanecen casi constantes durante el periodo de 1985 a 2011, representando alrededor del 0.2% y 7.0% (con 60 y 1,700 hectáreas respectivamente), debido principalmente a que se ubican tanto en la zona núcleo como en la de amortiguamiento de la REBISE. Por su parte Gellida *et al.* (2012) reportan para 2007 una superficie de bosque encino-pino de 61 hectáreas y de pino-encino de 1,594 hectáreas, superficie que prácticamente corresponde a la reportada en el presente estudio.

De 1985 a 2002, no se reporta superficie de selva mediana sub-caducifolia en la cuenca debido a las adecuaciones en el sistema de clasificación de uso del suelo y vegetación de INEGI (2009), por lo que en 2011 únicamente se reportan en este estudio 6.3 hectáreas. Tanto en el Plan de Gestión Integral del río Tiltepec

(CONAGUA *et al.*, 2012), como en el estudio de Gellida *et al.* (2012), se reportan para 2007 una superficie de selva mediana sub-caducifolia de 23.3 hectáreas.

Cuadro 6. Usos del suelo para diferentes periodos en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (1978-2011).

Uso del Suelo	1985		1993		2002		2007		2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Agricultura de temporal	0.0	0.0	2,348.0	9.7	1,759.0	7.2	1,612.4	6.6	1,612.3	6.6
Áreas desprovistas de vegetación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2	0.1	24.2	0.1
Asentamientos humanos	108.8	0.4	108.8	0.4	108.8	0.4	108.8	0.4	108.8	0.4
Bosque de encino-pino	50.3	0.2	50.3	0.2	50.3	0.2	50.3	0.2	50.3	0.2
Bosque de pino-encino	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6
Bosque mesófilo de montaña	754.2	3.1	754.2	3.1	754.2	3.1	754.2	3.1	754.2	3.1
Manglar	308.2	1.3	142.1	0.6	138.3	0.6	100.4	0.4	100.9	0.4
Pastizal cultivado	7,191.5	29.6	6,613.5	27.2	7,257.8	29.9	7,598.1	31.3	7,598.3	31.3
Sabana	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5
Selva baja caducifolia	1,304.9	5.4	201.7	0.8	150.9	0.6	150.9	0.6	150.9	0.6
Selva mediana sub-caducifolia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0
Selva mediana sub-perennifolia	8,488.9	34.9	7,988.2	32.9	7,987.5	32.9	7,807.1	32.1	7,800.8	32.1
Totales:	24,304.3	100.0	24,304.3	100.0	24,304.3	100.0	24,280.2	100.0	24,280.3	100.0

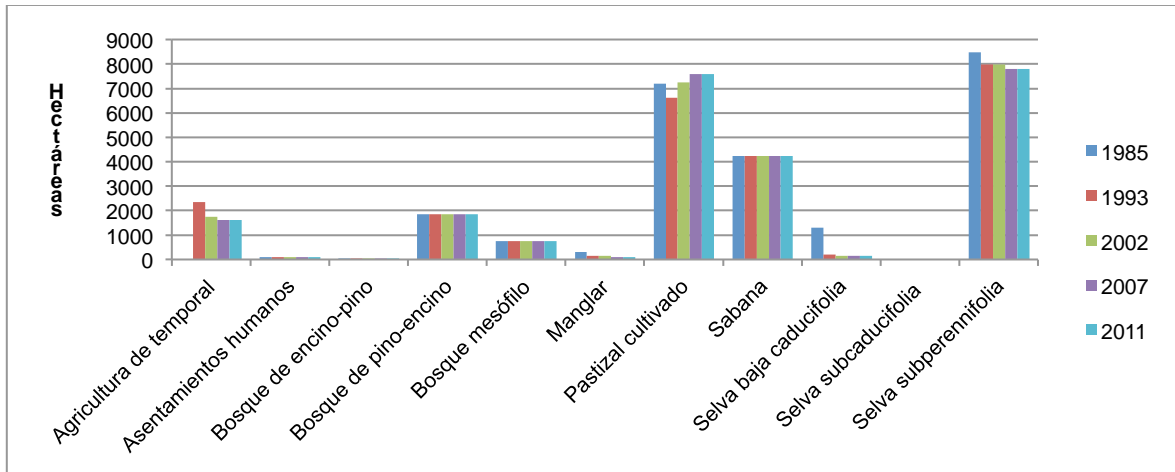
Fuente: Elaboración propia.

La superficie de selva mediana sub-perennifolia se mantiene casi constante durante todo el periodo de estudio (1985-2011) con poco menos de 8 mil hectáreas. Tanto en el Plan de Gestión Integral del río Tiltepec (CONAGUA *et al.*, 2012), como en el estudio de Gellida *et al.* (2012), se reportan para 2007 una superficie de selva mediana sub-perennifolia de 7,677.5 hectáreas, resultados que guardan proporción con los obtenidos en este trabajo.

Las áreas con vegetación de sabana, permanecen casi constantes durante el periodo de estudio representando un 19% de la superficie de la cuenca con 4,700 hectáreas en promedio. Por su parte Gellida *et al.* (2012) reportan una superficie de sabana de 5,830.6 hectáreas, superior al reportado en este trabajo debido a que los autores consideraron una mayor superficie de la cuenca media-baja y baja del río Tiltepec, en áreas donde se ubica la vegetación de sabana.

La superficie de selva baja caducifolia se abate significativamente de 1985 al 2002 al pasar de 1,305 hectáreas a 151 hectáreas en 17 años, para permanecer con ésta superficie hasta el año de 2011. Gellida *et al.* (*op. cit.*), reportan en su estudio una superficie de selva baja caducifolia de 1,256 hectáreas debido a que consideraron una mayor superficie de la cuenca baja del río Tiltepec.

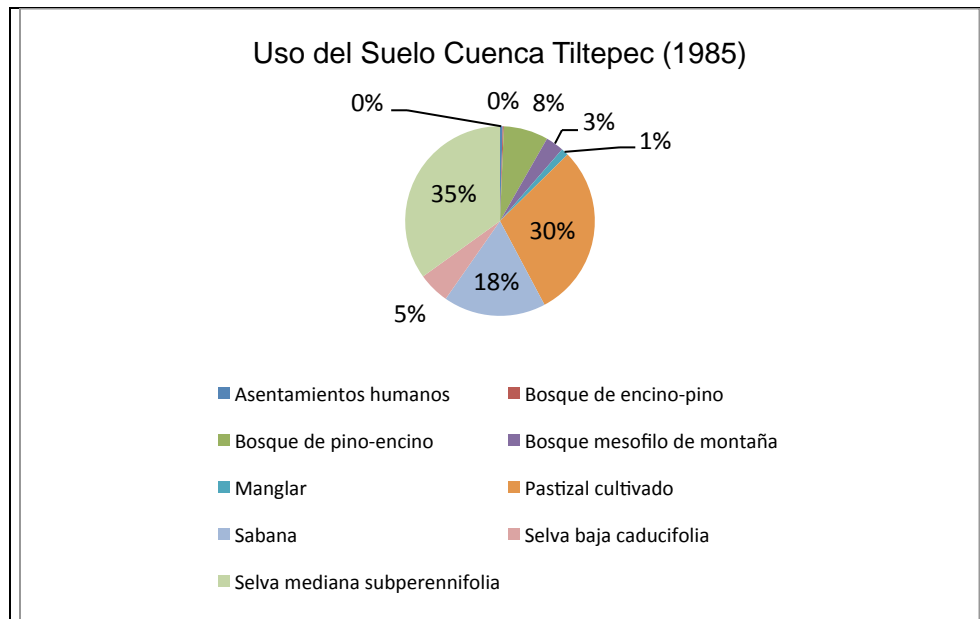
Figura 10. Cambios de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas de 1985 a 2011.



Fuente: Elaboración propia.

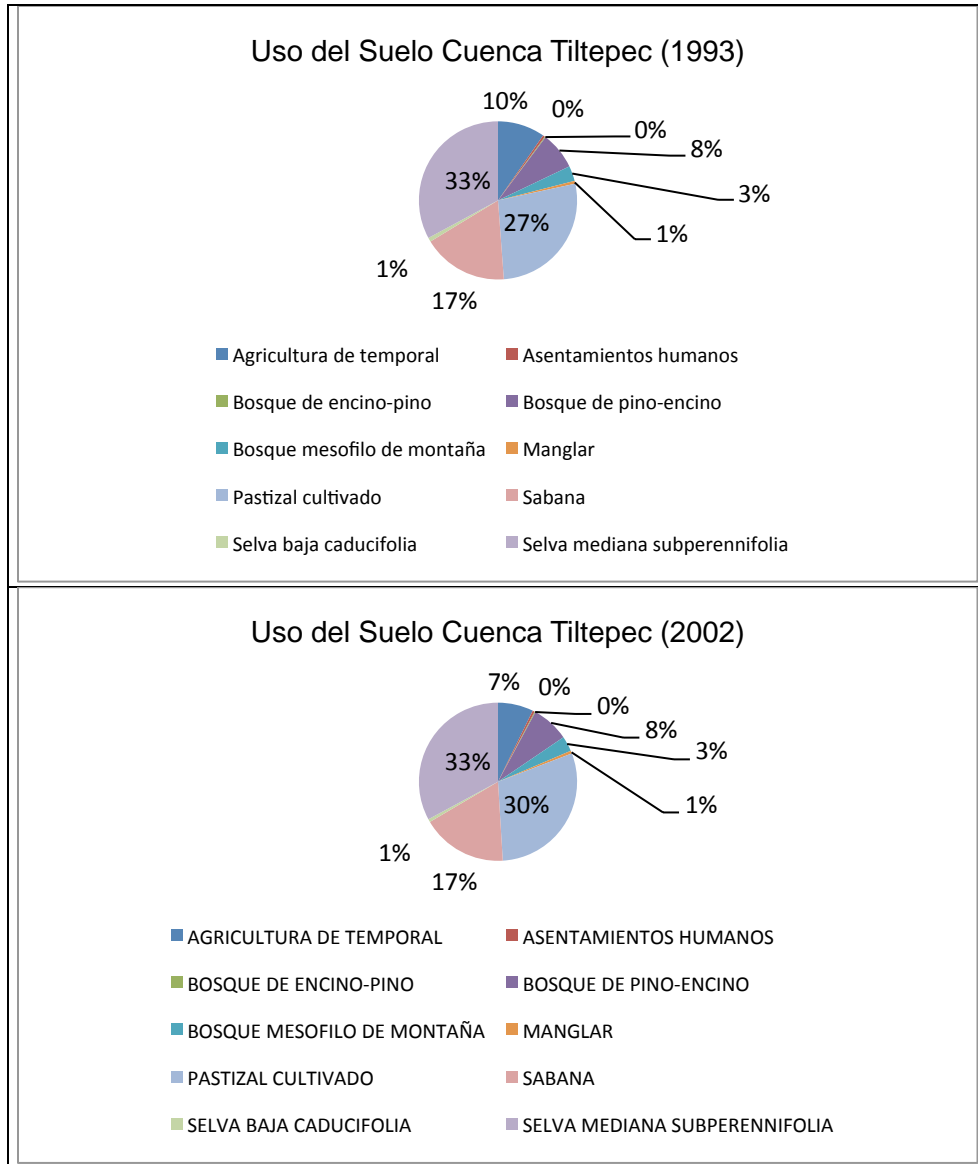
Por otra parte, la superficie dedicada a la agricultura de temporal presenta durante el periodo de 1993 a 2011 un decremento significativo al pasar del 9.7% al 6.6%. Para el año 2007 Gellida *et al.* (2012) reportan en su estudio prácticamente la misma superficie: 1,612.4 hectáreas.

Figura 11. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (1985).



Fuente: Elaboración propia.

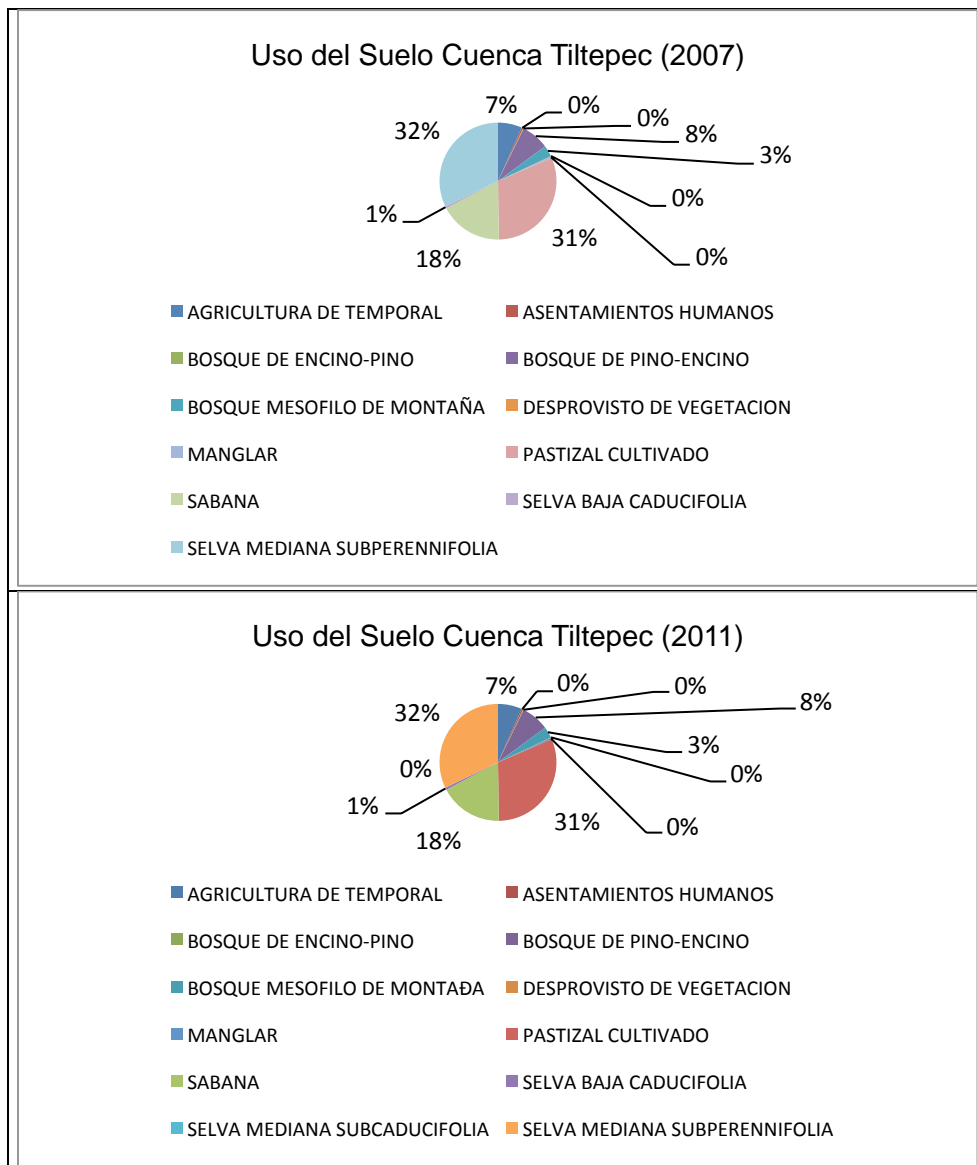
Figura 12. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (1993 y 2002).



Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca del río Tiltepec durante el periodo de estudio (1985-2011) no se reporta superficie de pastizales inducidos, únicamente de pastizales cultivados. Al igual que la cuenca del río Zanatenco, en la cuenca del río Tiltepec, la superficie dedicada a la ganadería es dominante en todo el periodo de estudio, representando casi el 30% de la superficie total de la cuenca, en contraste con el 6% dedicado a la agricultura de temporal (Cuadro 6).

Figura 13. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (2007 y 2011).



Fuente: Elaboración propia.

Al considerar una mayor superficie de la cuenca media-baja y baja del río Tiltepec, Gellida *et al.* (2012) reportan para 2007 una superficie mayor de pastizales cultivados (18,117.5 hectáreas); sin embargo, reportan pastizales inducidos en 549.2 hectáreas.

Las cuencas de los ríos Zanatenco y Tiltepec son también parte del proceso de ganaderización de la cuenca del Mar Muerto y la región Istmo-Costa.

En la cuenca las áreas de manglar se abatieron de 1985 a 2002 y desde entonces al 2011 permanece casi constante con el 0.4%.

La superficie de los cuerpos de agua en la cuenca del río Tiltepec es nula. Por su parte, las áreas con asentamientos humanos es constante en todo el periodo (1985-2011), representando un 0.4% de la superficie de la cuenca.

Es importante observar que a partir de 2007-2011 aparecen en la cuenca áreas desprovistas de vegetación en áreas impactadas por incendios forestales, quemas agropecuarias y/o degradadas por procesos de erosión hídrica en 24.2 hectáreas (Cuadro 6).

Los cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del río Tiltepec de 1985 a 2011 se muestran en el Cuadro 7. Permanecen constantes o con poca variación durante el periodo de estudio, los usos del suelo de bosque mesófilo de montaña, bosques de pino-encino y encino-pino, selva mediana subperennifolia, sabana y manglar.

Cuadro 7. Cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (1985-2011).

Categorías de cambio de uso del suelo	1985-93		1993-2002		2002-2007		2007-2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cambio entre usos	2,271.7	9.3	1,296.1	5.3	170.8	0.7	0.3	0.0
Deforestación hacia agricultura de temporal	76.3	0.3	3.7	0.0	0	0	0	0
Deforestación hacia pastizal cultivado	1,776.0	7.3	93.4	0.4	222.1	0.9	0	0
Permanencia de bosque de encino-pino	50.3	0.2	50.3	0.2	50.3	0.2	50.3	0.2
Permanencia de bosque de pino-encino	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6	1,849.0	7.6
Permanencia de bosque mesófilo	754.2	3.1	754.2	3.1	754.2	3.1	754.2	3.1
Permanencia de manglar	142.1	0.6	138.3	0.6	100.9	0.4	100.9	0.4
Permanencia de sabana	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5	4,248.5	17.5
Permanencia de selva baja caducifolia	119.4	0.5	108.4	0.4	150.9	0.6	150.9	0.6
Permanencia de selva mediana subperennifolia	7,988.2	32.9	7,987.5	32.9	7,802.9	32.1	7,807.1	32.1
Permanencia de uso	4,946.2	20.4	7,731.7	31.8	8,950.6	36.8	9,343.2	38.4
Recuperación de selva baja caducifolia	82.3	0.3	42.5	0.2	0	0	0	0
Recuperación de selva mediana subperennifolia	0	0	0	0	4.2	0.0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En la dinámica del cambio de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, destaca la deforestación para el establecimiento de 1,776 hectáreas de pastizal cultivado de 1985 a 1993; de 93.4 hectáreas de 1993 a 2002 y; de 222.1 hectáreas de 2002 a 2007 para un total acumulado de 2,391.5 hectáreas transformadas de bosques y selvas a pastizales de 1985 a 2011 (Cuadro 7).

1.2.2.3 Cuenca del Riíto

En la cuenca del Riíto aparecen tipos de vegetación propias de los humedales de la Planicie costera de Chiapas y Oaxaca (Contreras *et al.*, 1994).

En el Cuadro 8 y las Figuras 13, 14 15 y, 16 se muestran de manera gráfica las tendencias y variaciones de los usos del suelo en la cuenca del Riíto para cada año el periodo de estudio: 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011.

En la cuenca del Riíto se presentaban en 1985 tipos de vegetación de dunas costeras, selva baja caducifolia, palmar y manglares en 276.4, 179.3, 225.5 y 2,768.7 hectáreas respectivamente; vegetación que posteriormente fue disminuyendo a lo largo del periodo de estudio. En el caso de la selva baja caducifolia y el palmar incluso desaparecieron totalmente, las dunas costeras solo aparecen en la cuenca hasta el año 1993 con 110 hectáreas (Cuadro 8, Figura 13).

Cuadro 8. Usos del suelo para diferentes periodos en la cuenca del río Riíto, Chiapas (1985-2011).

Uso del Suelo	1985		1993		2002		2007		2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Agricultura de temporal	133.8	0.8	2,595.5	14.7	2,068.9	11.7	1,660.1	9.4	1,374.3	7.8
Asentamientos humanos	799.2	4.5	799.2	4.5	799.2	4.5	799.2	4.5	799.2	4.5
Cuerpos de agua	857.2	4.9	857.2	4.9	857.2	4.9	857.2	4.9	857.2	4.9
Manglar	2,768.7	15.7	1,837.8	10.4	1,837.8	10.4	1,837.8	10.4	1,929.3	11.0
Palmar	225.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pastizal cultivado	10,423.2	59.2	10,919.5	60.9	11,356.3	64.5	11,893.9	67.5	12,088.1	68.7
Pastizal inducido	128.4	0.7	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0
Selva baja caducifolia	179.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Selva mediana sub-perennifolia	1,815.6	10.3	688.0	3.9	687.7	3.9	558.8	3.2	558.8	3.2
Vegetación de dunas costeras	276.4	1.6	110.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totales:	17,607.3	100.0	17,608.1	100.0	17,608.2	100.0	17,608.1	100.0	17,608.0	100.0

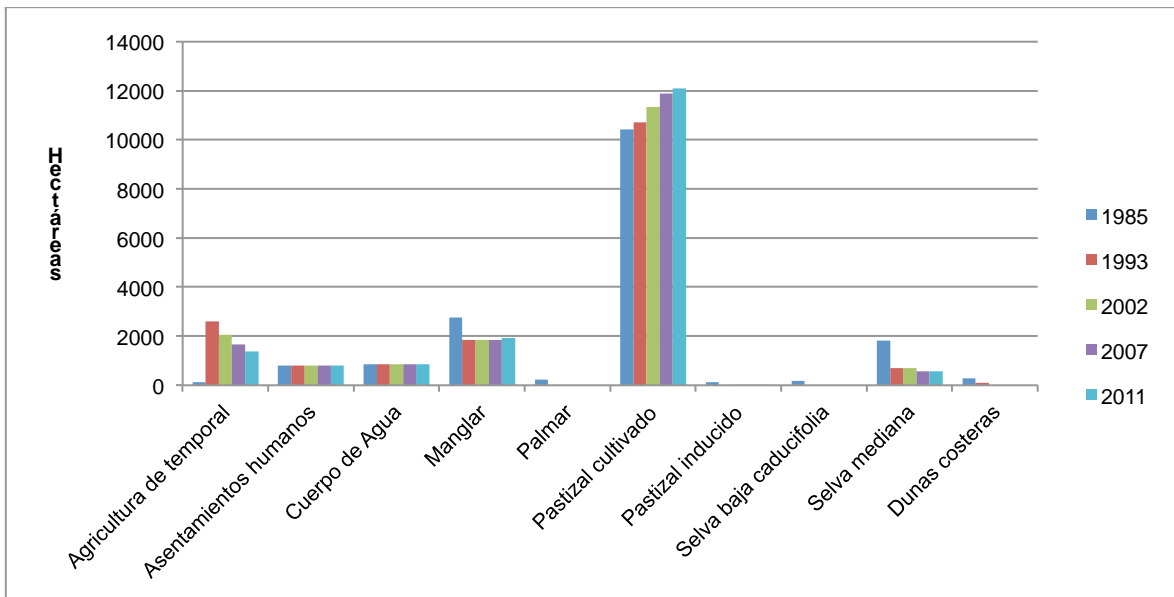
Fuente: Elaboración propia.

Para el municipio de Tonalá CONAFOR (2014) reporta la siguiente superficie de vegetación costera: Manglar primario en 3,810.18 hectáreas; manglar secundario en 7,209.78 hectáreas; pastizal halófilo en 49.23 hectáreas y; palmar inducido en 156.71 hectáreas. Superficies que guardan proporción con la reportada en el presente estudio para la cuenca del Riíto.

Al igual que en las cuencas del río Zanatenco y Tiltepec, en la cuenca del Riíto, como en toda la cuenca del Mar Muerto, es particularmente significativa la superficie dedicada a la ganadería con una superficie promedio de 11 mil hectáreas de pastizal cultivado, mismas que representan un 62.3%; es decir, casi

dos terceras partes del área de la cuenca del Riíto están dedicadas a la ganadería.

Figura 13. Cambios de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Riíto, Chiapas de 1985 a 2011.



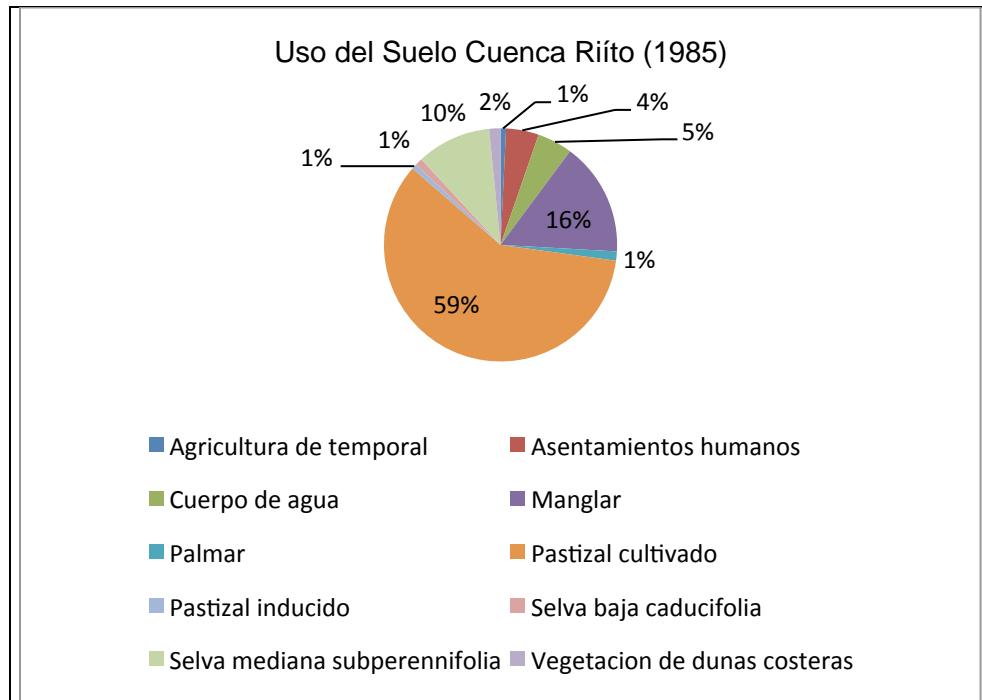
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la cuenca se ubica en la planicie costera y el humedal, el área de los cuerpos de agua se mantiene constante a lo largo del periodo de estudio (1985-2011) representando en promedio 4.9%. La superficie de manglar disminuyó de 1985 a 1993 al pasar del 15.7% al 10.4%, para finalmente permanecer constante durante el periodo.

Según Tovilla (citado por Contreras *et al.*, 1994) y Tovilla (2005) la laguna del Mar Muerto como muchas otras a lo largo de la Costa de Chiapas, han sufrido una reducción significativa de extensiones de manglar y áreas de humedal.

En su estudio sobre el impacto del huracán Joan en las costas del Caribe de Nicaragua en 1988, Vandermeer *et al.* (2000) reportan que el patrón de distribución de individuos y especies después del impacto del huracán difiere mucho del que se presenta después de un simple aclareo o aprovechamiento debido a la competencia entre especies de árboles tropicales que se establece después del impacto del huracán y favorece la diversidad. Es probable que en la planicie costera del Mar Muerto se presente un efecto análogo en la regeneración y la diversidad de especies de árboles tropicales después del impacto de un huracán como el *Bárbara* de 2013, un estudio sobre este aspecto sería pertinente.

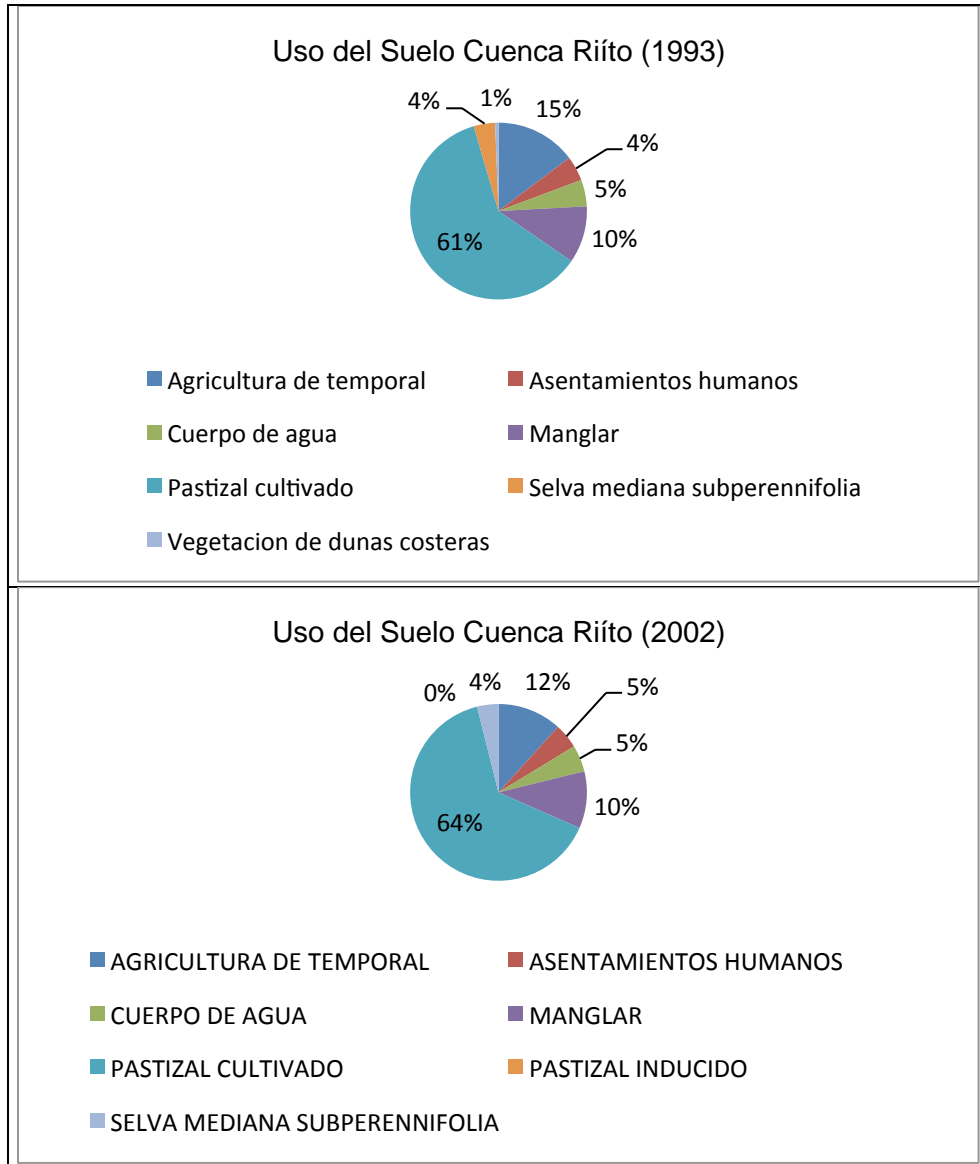
Figura 14. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del Riíto, Chiapas (1985).



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, por ejemplo la construcción de la carretera Tonalá a Cabeza de Toro ha provocado alteraciones en el flujo hídrico de las áreas de inundación de la zona, lo cual ha causado que la vegetación acuática no pueda desarrollarse, ocasionando que en el estero El Capulín la población de manglar se encuentre disminuida. La disminución del manglar en la cuenca del Riíto también está relacionada a su explotación en prácticas acuícolas así como para la obtención de materiales de construcción y leña (Lucero *et al.*, 1994).

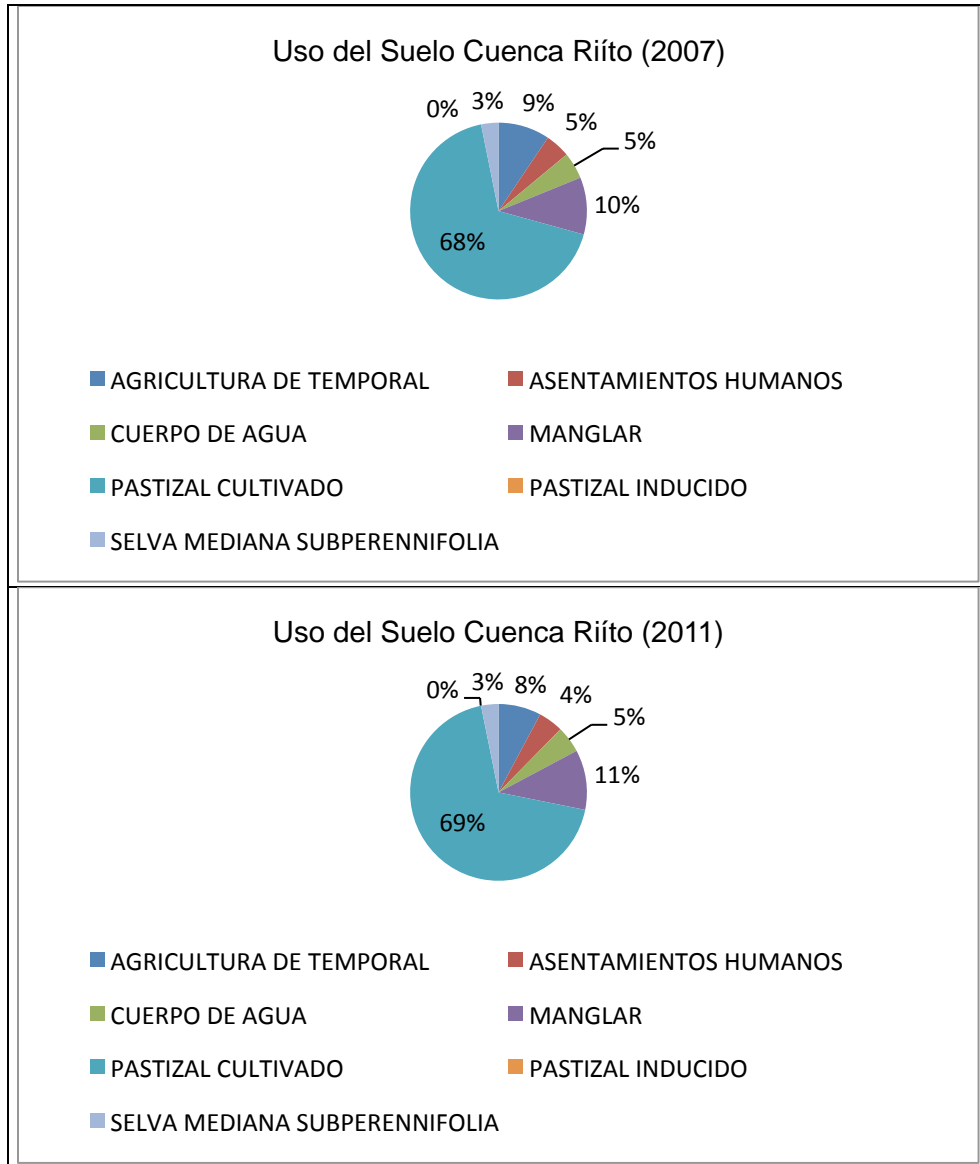
Figura 15. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del Riíto, Chiapas (1985 a 2002).



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, durante todo el periodo de estudio, la superficie dedicada a los asentamientos humanos permanece constante con 799 hectáreas que representan un 4.5% de la cuenca. Es importante anotar que muchos de los asentamientos humanos se ubican en áreas inundables.

Figura 16. Uso del suelo y vegetación en la cuenca del Riíto, Chiapas (2007 y 2011).



Fuente: Elaboración propia.

Los cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del Riíto de 1985 a 2011 se muestran en el Cuadro 9. Durante todo el periodo de estudio permanecen constantes o con poca variación, los usos del suelo de selva mediana subperennifolia, manglar y cuerpos de agua.

En la dinámica del cambio de uso del suelo y vegetación en la cuenca del Riíto, donde destaca la deforestación para el establecimiento de 2,455 hectáreas de

pastizal cultivado de 1985 a 1993, de 110 hectáreas de 1993 a 2002 y de 129 hectáreas de 2002 a 2007 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos para la cuenca del Riíto, Chiapas (1985-2011).

Categorías de cambio de uso del suelo	1985-93		1993-2002		2002-2007		2007-2011	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cambio entre usos	2,468.8	14.0	942.8	5.4	450.0	2.6	285.8	1.6
Deforestación hacia agricultura de temporal	174.7	1.0	0	0	0	0	0	0
Deforestación hacia pastizal cultivado	2,454.9	13.9	110.6	0.6	128.9	0.7	0	0
Permanencia de manglar	1,837.8	10.4	1,837.8	10.4	1,837.8	10.4	1,837.8	10.4
Recuperación de manglar	0	0	0	0	0	0	91.6	0.5
Permanencia de selva mediana subperennifolia	688.0	3.9	687.7	3.9	558.8	3.2	558.8	3.2
Permanencia de uso	9,015.9	51.2	13,171.5	74.8	13,774.8	78.2	13,976.3	79.4
Permanencia de vegetación de dunas costeras	110.2	0.6	0	0	0	0	0	0
Cuerpo de agua	857.9	4.9	857.9	4.9	857.9	4.9	857.9	4.9

Fuente: Elaboración propia.

En los Anexos de este trabajo, se muestran los Planos de uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto para cada uno de los años del periodo de estudio: 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011.

Se muestran también en los Anexos, los Planos de cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto para cada uno de los siguientes periodos: 1985-1993; 1993-2002; 2002-2007; y; 2007-2011.

1.2.3 Conclusiones

Las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto proveen en mayor o menor grado los servicios ecosistémicos hidrológicos de aprovisionamiento con el suministro de agua y de regulación de las relaciones lluvia-escurrimiento y, de protección para el control de erosión hídrica e inundaciones.

En la cuenca del río Zanatenco, para el periodo de estudio (1985-2011), la superficie con selva mediana sub-perennifolia disminuyo del 51.4% al 39.8% debido a que la mayor parte de este tipo de vegetación se ubica en una área susceptible de incendios forestales y quemas agrícolas para cambio de uso del suelo. La superficie dedicada a la ganadería en la cuenca, representa hasta el 40% (en promedio 11,800 hectáreas durante el periodo de estudio), en contraste con las 2,700 hectáreas dedicadas a la agricultura de temporal (12%).

Respecto a los cambios de uso del suelo y vegetación entre periodos, se obtienen los siguientes resultados: permanecen constantes durante todo el periodo los usos del suelo de bosque mesófilo de montaña, manglar y casi constante o con poca variación, la de selva mediana subperennifolia de 1993 a 2011. De 1985 a 1993, se deforestaron 1,358.9 hectáreas para transformarlas a pastizal cultivado. Por otra parte, la deforestación de selva mediana subperennifolia a pastizal inducido fue de 478.9 hectáreas de 1985 a 1993, de 930 hectáreas de 1993 a 2002 y de 387 hectáreas de 2002 a 2007. De esta forma, de 1985 a 2011 se han transformado de selva mediana a pastizal cultivado o inducido (uso ganadero) un total 3,155.1 hectáreas. La superficie dedicada a la agricultura de temporal presenta (durante el periodo de 1993 a 2011) un decremento del 9.7% al 6.6%.

En la cuenca del río Tiltepec durante el periodo de estudio, no se reporta superficie de pastizales inducidos, únicamente de pastizales cultivados. Al igual que la cuenca del río Zanatenco, la superficie dedicada a la ganadería es dominante en todo el periodo de estudio, representando casi el 30% de la superficie total de la cuenca, en contraste con el 6% dedicado a la agricultura de temporal. Las áreas de manglar se abatieron de 1985 a 2002. De 1985 a 2011, permanecen constantes o con poca variación los usos del suelo de bosque mesófilo de montaña, bosques de pino-encino y encino-pino, selva mediana subperennifolia, sabana y manglar. En la dinámica del cambio de uso del suelo y vegetación en la cuenca del río Tiltepec, destaca la deforestación para el establecimiento de 1,776 hectáreas de pastizal cultivado de 1985 a 1993; de 93.4 hectáreas de 1993 a 2002 y; de 222.1 hectáreas de 2002 a 2007; para un total acumulado de 2,391.5 hectáreas transformadas de selva baja caducifolia principalmente a pastizales de 1985 a 2011.

En la cuenca del Riíto se presentaban en 1985 tipos de vegetación de dunas costeras, selva baja caducifolia, palmar y manglares en 276.4, 179.3, 225.5 y 2,768.7 hectáreas respectivamente; vegetación que posteriormente fue disminuyendo a lo largo del periodo de estudio. Debido a que la cuenca del Riíto se ubica en la planicie costera y el humedal, el área de los cuerpos de agua se mantiene constante a lo largo del periodo de estudio representando en promedio 4.9%. La superficie de manglar disminuyó de 1985 a 1993 al pasar del 15.7% al 10.4%. En la dinámica del cambio de uso del suelo y vegetación en la cuenca, destaca la deforestación para el establecimiento de 2,455 hectáreas de pastizal cultivado de 1985 a 1993, de 110 hectáreas de 1993 a 2002 y de 129 hectáreas de 2002 a 2007, para un total acumulado de 2,694 hectáreas transformadas en pastizales de 1985 a 2007.

Al igual que en las cuencas del río Zanatenco y Tiltepec, en la cuenca del Riíto, como en toda la cuenca del Mar Muerto, es particularmente significativa la superficie dedicada a la ganadería con una superficie promedio en el periodo de estudio (1985 a 2011) de 11 mil hectáreas de pastizal cultivado, mismas que representan un 62.3%; es decir, casi dos terceras partes del área de la cuenca del Riíto están dedicadas a la ganadería.

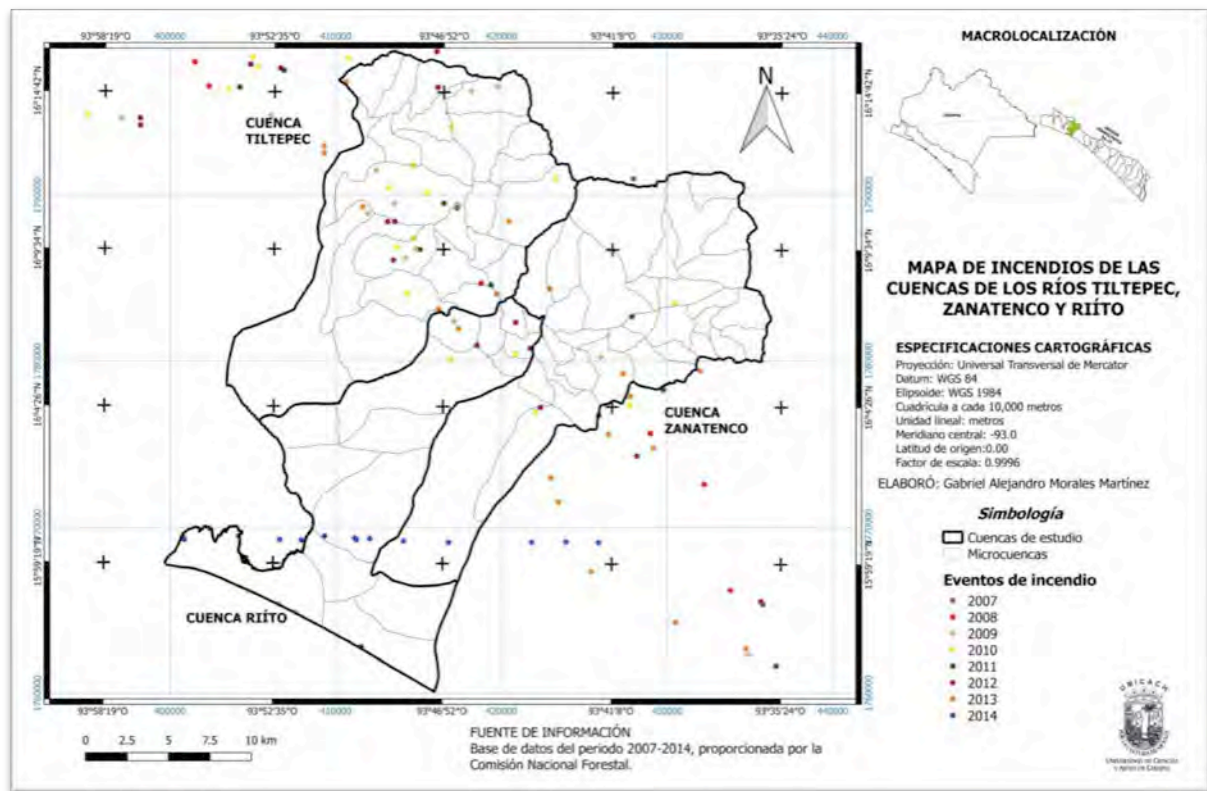
Para las cuencas de Zanatenco, Tiltepec y Riíto se deforestaron de 1985 a 2011 en total 3,155; 2392 y; 2,694 hectáreas respectivamente de bosques y/o selvas para transformarlas en pastizales. El periodo de 1985-1993 fue es de mayor intensidad en el cambio de uso del suelo con la deforestación para uso ganadero, transformándose respectivamente en cada cuenca el 58.3%, 74.3% y, 91.1% respectivamente de todo el periodo.

1.3 Incendios forestales

1.3.1 Metodología

Mediante el análisis de la base de datos geo-referenciada sobre incendios forestales en el Municipio de Tonalá, Chiapas proporcionada por la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para el periodo de 2007 a 2014, se obtienen los resultados de la superficie afectada por incendios forestales para cada una de las cuencas de estudio (Cuadros 10, 11 y 12).

Figura 17. Incendios forestales en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas (2007-2014).



Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Los incendios forestales en las cuencas de estudio

Según los resultados del Cuadro 10 en la cuenca del río Tiltepec los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2012 y 2013 con 1,341 y 926 hectáreas respectivamente. De la superficie afectada en 2012, 509 hectáreas fueron de arbustos y matorrales y; 832 hectáreas fueron de vegetación herbácea. En 2013 se afectaron 813 hectáreas de hojarasca, 111 hectáreas de vegetación herbácea y 2 hectáreas de arbolado.

Cuadro 10. Superficie afectada por incendios forestales en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas (2007-2014).

Año	Número de incendios	Superficie afectada por incendios forestales (hectáreas)					
		Pastizales	Arbustos y matorrales	Arbolada	Hojarasca	Herbáceo	Total
2014	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	5	0.0	0.0	2.0	813.0	111.0	926.0
2012	4	0.0	509.0	0.0	0.0	832.0	1,341.0
2011	3	63.3	5.0	0.0	0.0	0.0	68.3
2010	8	175.0	32.0	0.0	0.0	0.0	207.0
2009	8	101.0	98.0	0.0	0.0	0.0	199.0
2008	1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0
2007	1	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.0

Fuente: Elaboración propia.

Durante el periodo de registro de 2007 a 2014, los años de mayor impacto de incendios forestales en la cuenca del río Tiltepec fueron 2010 y 2013. Tanto el 2010 como el 2013 fueron a durante su temporada de estiaje años con presencia del fenómeno de El Niño y durante el verano con presencia de La Niña, ambos años están considerados como de los más lluviosos en la región.

Cuadro 11. Superficie afectada por incendios forestales en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (2007-2014).

Año	Número de incendios	Superficie afectada por incendios forestales (hectáreas)					
		Pastizales	Arbustos y matorrales	Arbolada	Hojarasca	Herbáceo	Total
2014	2	0.0	6.0	0.0	11.0	0.0	17.0
2013	2	0.0	0.0	0.0	46.0	0.0	46.0
2012	1	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	3.0
2011	1	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	7.0
2010	2	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	6.5
2009	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	2	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	8.5
2007	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

Para el mismo periodo de estudio (2007-2014), la cuenca del río Zanatenco ha tenido una menor superficie afectada por incendios forestales que la cuenca del río Tiltepec. En la cuenca del río Zanatenco, los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2013 y 2014 con 46 y 17 hectáreas respectivamente. De la superficie afectada en 2013, las 46 hectáreas fueron de

hojarasca y en 2014 se afectaron 11 hectáreas de hojarasca y 6 hectáreas de arbustos y matorrales (Cuadro 11).

Cuadro 12. Superficie afectada por incendios forestales en la cuenca del Riíto, Chiapas (2007-2014).

Año	Número de incendios	Superficie afectada por incendios forestales (hectáreas)					
		Pastizales	Arbustos y matorrales	Arbolada	Hojarasca	Herbáceo	Total
2014	6	0.0	0.0	0.0	47.0	17.0	64.0
2013	1	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0
2012	3	0.0	19.0	0.0	0.0	0.0	19.0
2011	1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2010	2	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	8.0
2009	3	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	18.0
2008	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca del Riíto, los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2014 y 2012 con 64 y 19 hectáreas respectivamente. De la superficie afectada en 2014, 47 hectáreas fueron de hojarasca y 17 de vegetación herbácea. En 2012 se afectaron 19 hectáreas de arbustos y matorrales (Cuadro 12).

Cuadro 13. Superficie afectada por incendios forestales en los Municipios de Arriaga y Tonalá, Chiapas.

Año	Número de incendios	Superficie afectada por incendios forestales (hectáreas)				
		Pastizales	Arbustos y matorrales	Arbolada	Herbáceo	Total
2012	20	0.0	580.5	5.0	840.0	1,425.5
2011	12	22.0	54.0	0.0	0.0	76.0
2010	25	230.0	161.0	7.0	0.0	398.0
2009	32	522.0	278.0	0.0	0.0	800.0
2008	29	88.0	134.0	0.0	0.0	222.0

Fuente: Arellano (2013).

Para los Municipios de Arriaga y Tonalá, de 2008 a 2012, se presentaron poco más de 23 incendios al año con una superficie promedio anual afectada de 584 hectáreas (Cuadro 13). Asimismo, los años con mayor superficie afectada por incendios forestales corresponden a los años 2012 y 2009 con 1,425 y 800 hectáreas respectivamente. De la superficie afectada éstos años, la mayor parte

corresponde a vegetación herbácea (58.9%) en el 2012 y a pastizales (65.25%) en el 2009 (Arellano, 2013).

En el incendio forestal originado por quemas agrícolas que se presentó del 22 de abril al 1 de mayo de 2012 en el paraje de La Tigrilla, municipio de Tonalá afectó 1,300 hectáreas (900 hectáreas de herbáceas y 500 hectáreas de matorrales y arbustos), con una estimación de 69,207 toneladas de emisión de CO₂ equivalente a la atmósfera (Arellano, 2013).²



Figura 18. Incendio en un terreno de pastizal en la cuenca del río Riíto, Chiapas.

Las condiciones meteorológicas y el ingreso del Frente Frio No. 19 en la región el 03 de enero de 2013, con vientos fuertes, con rachas superiores a los 80 km/h favorecieron que se presentara un incendio ubicado en el kilómetro 12 de la Autopista Arriaga – Ocozocoautla. El incendio presentó afectaciones en 20 hectáreas de arbolado adulto, pino y encino y 60 hectáreas de pasto, el incendio avanzó hacia la REBISE (Protección Civil Municipio de Tonalá, Chiapas).

² El cambio de uso del suelo por incendios forestales es el principal sector emisor de los Gases de Efecto Invernadero en Chiapas. En el año 2005 representó un 57.46% con 16,181,357 toneladas de CO₂ equivalente (Gobierno del estado de Chiapas *et al.*, 2011:54).



Figura 19. Incendio en un humedal rodeado de pastizal en la cuenca del río Riíto, Chiapas.

En el Cuadro 14 se muestran los registros históricos de los incendios forestales ocurridos en la Reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE) de 1997-2015. De esta forma, durante éste periodo de registro han presentado un total de 681 incendios con un promedio de 3,030 hectáreas afectadas por incendio y una superficie acumulada afectada de 116,439.01 hectáreas; de las cuales, la mayor parte (78.82%), 91,782.39 hectáreas corresponden a bosques de pino-encino (BPE) y bosques mesófilos de montaña (BMM) y 14,293.18 hectáreas (12.28%) de selva baja caducifolia (SBC), selva mediana subcaducifolia (SMsC) y vegetación de sabana (VS) y, 10,363.44 hectáreas a matorrales y arbustos (8.9%).

Los años con mayor afectación de incendios forestales en la REBISE en el periodo 1997-2015 han sido los años de 1997 con 14,895 hectáreas afectadas y, 1998 con 37,336 hectáreas afectadas. Periodo que coincide con la presencia del fenómeno de El Niño 1997-1998.

Cuadro 14. Estadística histórica de los incendios forestales ocurridos en la Reserva de la Biosfera La Sepultura (Fuente: REBISE, febrero de 2016).

Año	No. De Incendio	Superficie forestal afectada (ha)					Tipo de incendio (%)	
		Total	Promedio/Incendio	B P-E	SBC-SMsC-VS	Otros (Matorrales y arbustos)	Superficial	De copa
				BMM				
1997	27	14,895.00	551.60	13,388.00	1,507.00	0.00	100.0	0.0
1998	52	37,336.00	718.00	27,141.00	6,850.00	3,345.00	80.0	20.0
1999	35	2,360.00	67.43	1,414.00	163.00	783.00	99.0	1.0
2000	35	10,695.50	305.59	8,207.00	159.50	2,329.00	99.0	1.0
2001	62	7,043.50	113.60	6,411.50	305.00	327.00	95.0	5.0
2002	35	5,170.00	147.71	4,561.00	384.00	225.00	95.0	5.0
2003	34	6,925.00	203.68	5,580.00	1,245.00	100.00	97.0	3.0
2004	25	1,980.50	79.22	1,827.00	148.50	5.00	100.0	0.0
2005	30	3,716.00	75.17	3,513.00	183.00	20.00	89.6	10.4
2006	34	2,077.50	61.10	1,669.50	71.00	337.00	97.0	3.0
2007	44	3,852.00	87.55	3,406.00	151.25	294.75	91.0	9.0
2008	34	3,925.40	115.45	2,222.51	307.5	1395.39	100.0	0.0
2009	35	2,901.30	82.89	2,091.57	52.93	756.80	97.1	2.9
2010	38	1,420.75	37.38	1,028.75	62.00	330.00	100.0	0.0
2011	33	1,510.62	45.78	1,489.32	7.10	14.10	99.3	0.7
2012	27	4,475.2	165.70	3,656.50	803.00	15.70	100.0	0.0
2013	41	4,516.04	110.15	2,723.64	1,792.40	0.00	99.0	1.0
2014	11	407.70	37.00	300.00	80.00	27.70	100.0	0.0
2015	49	1,231.00	25.12	1,152.10	2.00	58.00	100.0	0.0
TOTAL	681	116,439.01	3,030.12	91,782.39	14,293.18	10,363.44		

Fuente: Elaboración propia.

La sequía de 1997 y parte de 1998 fue tan grave que se presentaron enormes pérdidas en la agricultura y se presentó un record en la incidencia de incendios forestales (Magaña, *et al.*, 2004).

Según Gobierno del estado de Chiapas, *et al.*, (2010), el fenómeno de El Niño de 1998 fue el evento climático más severo del periodo 1982-2000 en Chiapas, evento que provocó un incremento significativo de las temperaturas máximas y el déficit de precipitación que ocasionó una gran cantidad de incendios forestales con impactos en 198,808 hectáreas en el estado de Chiapas.

Los cambios en la cobertura vegetal provocados por los incendios forestales y cambios de uso del suelo a sistemas de cultivo más intensivos en los terrenos del área de influencia de la cuenca media-alta y alta de los ríos Tiltepec y Zanatenco provocan mayores riesgos de pérdida de suelo por erosión hídrica, de deslizamientos y una mayor concentración de escurrimientos superficiales; es decir, mayores riesgos de inundación.



Figura 20. Quema agrícola en un terreno de la cuenca del Riíto, Chiapas.

1.3.3 Conclusiones

La cuenca del río Tiltepec es la más afectada de las tres por los incendios forestales. Los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2012 y 2013 con 1,341 y 926 hectáreas respectivamente. De la superficie afectada en 2012, 509 hectáreas fueron de arbustos y matorrales y 832 hectáreas fueron de vegetación herbácea. En 2013 se afectaron 813 hectáreas de hojarasca, 111 hectáreas de vegetación herbácea y 2 hectáreas de arbolado. Estos incendios forestales están asociados a las condiciones de sequía del fenómeno de El Niño en la región durante los años 2010 y 2013.

La cuenca del río Zanatenco ha tenido una menor superficie afectada por incendios forestales que la cuenca del río Tiltepec. Los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2013 y 2014 con solo 46 y 17 hectáreas respectivamente.

En la cuenca del Riíto, los años con mayor superficie total afectada con incendios forestales fueron 2014 y 2012 con 64 y 19 hectáreas respectivamente.

Para los Municipios de Arriaga y Tonalá, de 2008 a 2012, se presentaron poco más de 23 incendios forestales al año con una superficie promedio anual afectada de 584 hectáreas. Los años con mayor superficie afectada corresponden a los años 2012 y 2009 con 1,425 y 800 hectáreas respectivamente. Destacan por su magnitud e impacto, los incendios del 22 de abril al 1 de mayo de 2012 en el paraje de La Tigrilla, municipio de Tonalá que afectó 1,300 hectáreas (900 hectáreas de herbáceas y 500 hectáreas de matorrales y arbustos), así como el provocado por los vientos fuertes del Frente Frio No. 19 ocurrido el 03 de enero de 2013 que afectó 20 hectáreas de arbolado adulto, pino y encino y 60 hectáreas de pasto y que avanzó hacia la Reserva de la Biósfera de La Sepultura (REBISE).

Los años con mayor afectación de incendios forestales en la REBISE en el periodo 1997-2015 han sido los años de 1997 con 14,895 hectáreas afectadas y, 1998 con 37,336 hectáreas afectadas. Periodo que coincide con la presencia del fenómeno de El Niño 1997-1998.

El fenómeno de El Niño de 1998 fue el evento climático más severo del periodo 1982-2000 en Chiapas, que provocó un incremento significativo de las temperaturas máximas y el déficit de precipitación que contribuyó a una mayor incidencia de incendios forestales con impactos en 198,808 hectáreas en todo el estado de Chiapas.

Los cambios en la cobertura vegetal provocados por los incendios forestales y cambios de uso del suelo a sistemas de cultivo más intensivos en la cuenca media-alta y alta se presentaron en los siguientes periodos: de 1985 a 1993 y de 2012 a 2013 en la cuenca del río Tiltepec; de 1993 a 2002 para la cuenca del río Zanatenco y de 1985 a 1993 para la cuenca del Riíto. Durante estos periodos en cada cuenca, se provocaron mayores riesgos de pérdida de suelo por erosión hídrica, de deslizamientos y una mayor concentración del volumen de escurrimientos superficiales; es decir, mayores riesgos de deslizamientos e inundaciones ante los eventos de lluvias extremas ocurridos durante esos periodos.

1.4 Pérdida de suelo por erosión hídrica

Para estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y su relación con los cambios de uso del suelo en las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto, en los diferentes escenarios de uso del suelo y vegetación de los años de 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) adaptado por Arellano (1994, 2012, 2013) a las condiciones de las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas.

1.4.1 Metodología de trabajo: La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

La pérdida de suelo por erosión hídrica se estimó mediante la aplicación del modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo EUPS (o USLE por sus siglas en inglés) desarrollada originalmente por Wischmeier y Smith en 1978 (Arellano, 1994, 2005; Montes *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2012; Castro, 2013):

$$EHA = R * K * LS * CP \quad [1]$$

Dónde EHA es la pérdida de suelo por erosión hídrica actual ($Mg \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); R es el factor de erosividad de la lluvia ($MJ \text{ mm ha h}^{-1}$); K es el factor de erodabilidad del suelo (Ton/Ha/MJ/mm); LS es el factor topográfico longitud-pendiente (adimensional); CP es el factor de uso del suelo y prácticas de conservación (adimensional).

Para la aplicación de la EUPS en Chiapas, Arellano (1994, 2005) utilizó la técnica de “álgebra de mapas”, generando un plano por cada variable y operando la ecuación [1] para la estimación de la pérdida de suelo en cada celda de la cuenca de estudio con la multiplicación de cada una de los factores R, K, LS, y CP (Pérez *et al.*, 2012) con uso del Map Calculator, herramienta del programa ArcView 3.2.

1.4.1.1 Factor R

Representa la energía potencial de los eventos de lluvia. Baumann y Arellano (2003), proponen la ecuación [2] para la estimación del factor R en la Sierra Madre de Chiapas en función de la precipitación media anual (P) en mm:

$$R = 14.523 P - 6601 \quad [2]$$

Donde P para la estación climatológica de Tonalá la precipitación media anual de 1,723.8 mm para el periodo 1961-2013.

1.4.1.2 Factor K

Representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. El valor de K fue determinado mediante el mapa de edafología escala 1:250,000 elaborado por INEGI (1985) según la unidad de suelo dominante y su textura según el Cuadro 15.

1.4.1.3 Factor LS

El efecto de la topografía sobre la erosión hídrica está representado por la combinación de los factores de longitud (L) y pendiente (S). El factor combinado LS afecta significativamente la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica (Rivera-Toral *et al.*, 2012). Para determinar el factor LS se procedió a construir un Modelo Digital de Elevación del terreno (MDE) utilizando el programa ArcView 3.2 mediante las curvas de nivel de cada cuenca. Con uso del MDE de las cuencas de estudio (Figura 21), se obtuvo un Plano de rangos de Pendientes con el cual se procedió a obtener los valores promedio de LS con uso de las ecuaciones propuestas por Pérez *et al.*, (2013) empleando la extensión Terrain Analysis. Valores altos de LS están asociados a terrenos con pendientes más pronunciadas en la cuenca media y alta, mientras que valores bajos de LS se presentan en la planicie costera de la cuenca.

Cuadro 15. Valores de K según el tipo de suelo en la Sierra Madre de Chiapas.

Suelo	Textura	Valor de K
Regosol	Media	0.040
Regosol	Media	0.040
Cambisol	Gruesa	0.026
Regosol	Media	0.040
Cambisol	Media	0.040
Litosol	Media	0.020
Litosol	Media	0.020
Cambisol	Media	0.040
Cambisol	Media	0.040
Cambisol	Media	0.040
Solonchak	Fina	0.013
Cambisol	Media	0.040

Fuente: Arellano (2015).

1.4.1.4 Factor CP

El factor de uso de suelo C, comprende las diferentes condiciones de cobertura vegetal y uso del suelo. A menor cobertura vegetal, menor protección del suelo ante el impacto de las gotas de lluvia en terrenos sin protección vegetal o “terrenos desnudos”. Se utilizaron los Planos de uso del suelo y vegetación, obtenidos en

este estudio para cada de años: 1985, 1993, 2001, 2007 y, 2011, para cada una de las cuencas de estudio y con la aplicación de los valores de C propuestos por Arellano (2005) para la Sierra Madre de Chiapas (Cuadro 16).

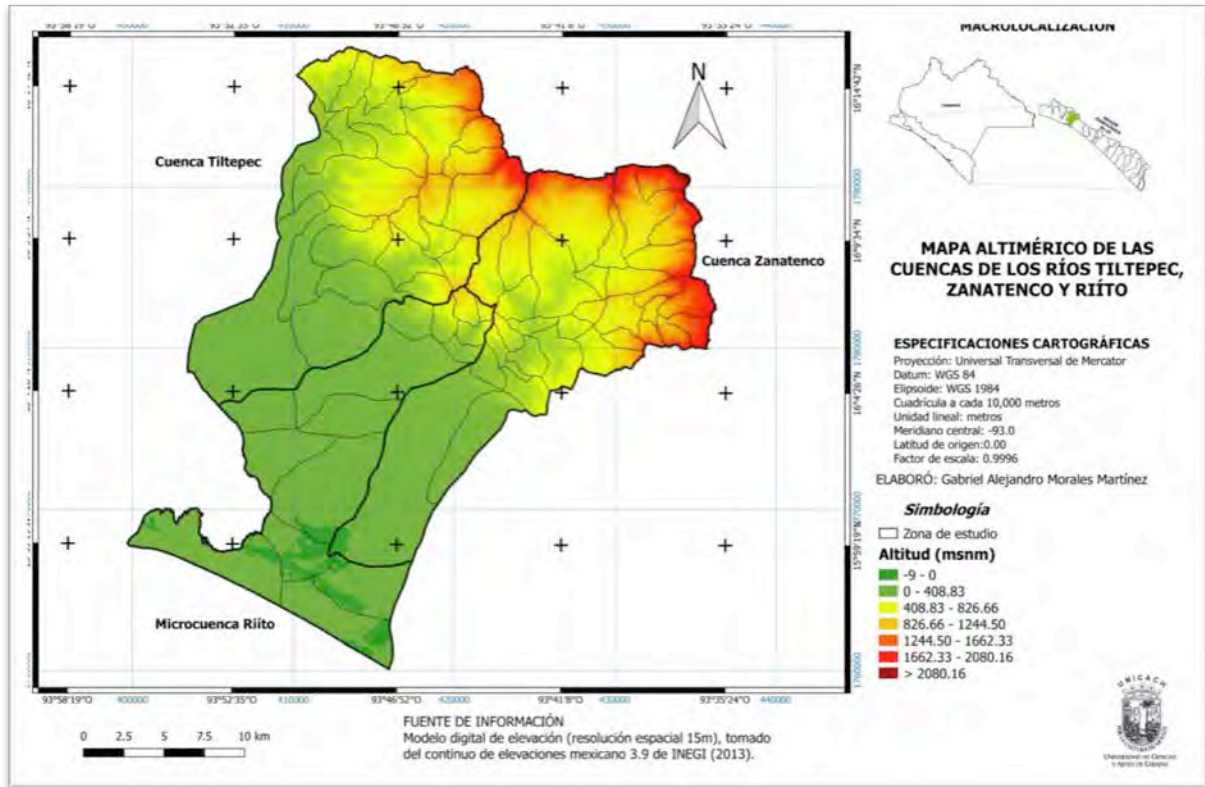
Cuadro 16. Factor C según la vegetación y uso de suelo en la Sierra Madre de Chiapas).

Vegetación y/o uso del suelo	C
Agricultura de Temporal	0.750
Asentamientos Humanos	0.000
Bosque de Encino-pino	0.010
Bosque de Pino-encino	0.010
Bosque Mesófilo de Montaña	0.010
Manglar	0.100
Pastizal Cultivado	0.010
pastizal Inducido	0.025
Sabana	0.540
Selva baja caducifolia	0.500
Selva mediana sub-caducifolia	0.450
Selva mediana sub-perennifolia	0.450
Sin vegetación aparente	0.000

Fuente: Arellano (2005).

Con uso del programa ArcView 3.2, se opera el factor C en la EUPS. El valor de P considera el efecto de las prácticas de manejo y conservación de suelo y agua en el terreno. Para los propósitos de este estudio $P=1.0$; es decir, no se consideró el efecto de P.

Figura 21. Mapa altimétrico de las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.



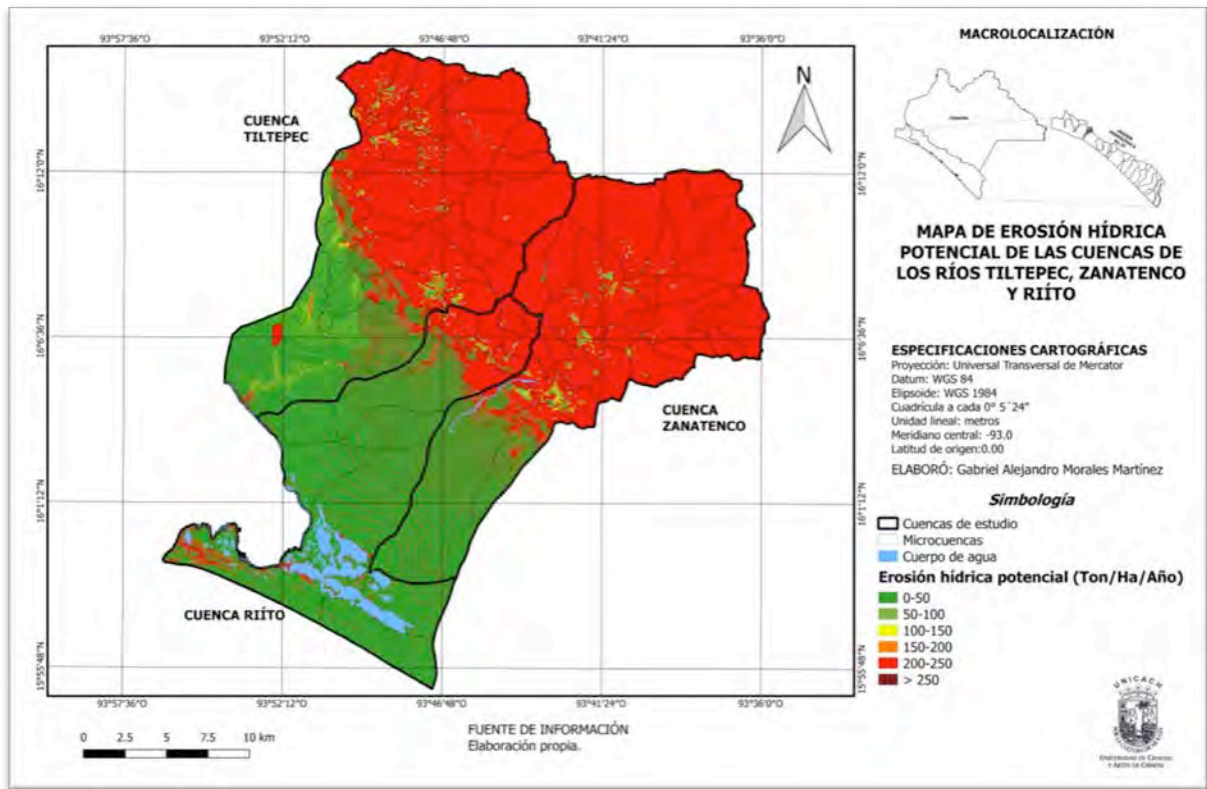
Fuente: Elaboración propia.

1.4.2 Erosión Hídrica Potencial (EHP)

Los resultados obtenidos en la aplicación de la ecuación [1] de la EUPS en cada una de las cuencas de estudio para la estimación de la Erosión Hídrica Potencial (EHP), se muestran en el Cuadro 17.

Para cada una de las tres cuencas de estudio, la EHP con pérdidas de suelo extremas (mayores de 200 Ton/Ha/año) es la que representa la mayor parte del territorio con el 55.19%, seguido de la EHP con bajas tasas de pérdida de suelo (menores a 50 Ton/Ha/año) con el 36.09% (Cuadro 17).

Figura 22. Erosión Hídrica Potencial (EHP) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.

Según se muestra en la Figura 22, las áreas con EHP extremas se ubican en los terrenos escarpados de la Sierra Madre de Chiapas principalmente por el efecto de la pendiente, el factor LS es muy importante en la estimación de la EHP (Rivera-Toral *et al.* 2012) y la textura arenosa de los suelos (factor K). Por otra parte, las áreas con bajas tasas de pérdida de suelo se ubican en la planicie costera también por efecto de las pendientes muy suaves en la llanura de inundación con suelos de origen aluvial.

Mientras las áreas con EHP extremas con pérdidas de suelo mayores de 200 Ton/Ha/año, representan el 71.46% de la cuenca del río Zanatenco y el 63.58% de la cuenca del río Tiltepec debido a que las partes altas de las cuencas se ubican en la Sierra Madre, en la cuenca del Riíto (ubicada mayoritariamente en la planicie costera), las áreas con bajas tasas de pérdida de suelo (menores a 50 Ton/Ha/año) representan el 71.23% (Cuadro 17).

Cuadro 17. Erosión Hídrica Potencial (EHP) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	6079.901	4839.230	12560.382	23479.512	36.09
50.0 - 100.0	497.959	198.750	108.907	805.617	1.24
100.0 - 150.0	1229.024	649.034	546.973	2425.030	3.73
150.0 - 200.0	510.395	401.109	118.111	1029.615	1.58
200.0 - 250.0	540.340	505.888	368.188	1414.415	2.17
> 200.0	15464.935	16511.506	3931.372	35907.813	55.19
Totales	24322.554	23105.517	17633.932	65062.002	100.00

Fuente: Elaboración propia.

1.4.3 Erosión Hídrica Actual (EHA)

A partir del plano de EHP (Figura 22) y para cada uno de los escenarios de usos del suelo y vegetación de los años 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011 se operaron algebraicamente los valores de C del Cuadro 16 en la EUPS para la obtención de la erosión hídrica actual (EHA) para cada año de estudio y cuenca (Figuras 23, 24, 25, 26 y, 27).

Debido a que no se dispone de estaciones climatológicas en la parte alta de las cuencas, no fue posible obtener una mejor caracterización de la variabilidad geográfica de la erosividad de la lluvia (factor R). Sin embargo, con la aplicación de la ecuación [2] propuesta por Baumann y Arellano (2003) fue posible la estimación del factor R. Debido a que uno de los propósitos de este estudio es comprender el efecto del cambio de uso del suelo en la erosión hídrica y los servicios hidrológicos que proveen las cuencas de estudio, se consideró mantener constante la precipitación anual durante el periodo de estudio, usando el valor promedio de precipitación anual (factor R) y variar el factor C.

Los rangos de pérdida de suelo por erosión hídrica se agruparon en seis clases: baja, media, considerable, alta, muy alta, y extrema, según se muestra en cada uno de los cuadros de EHA.

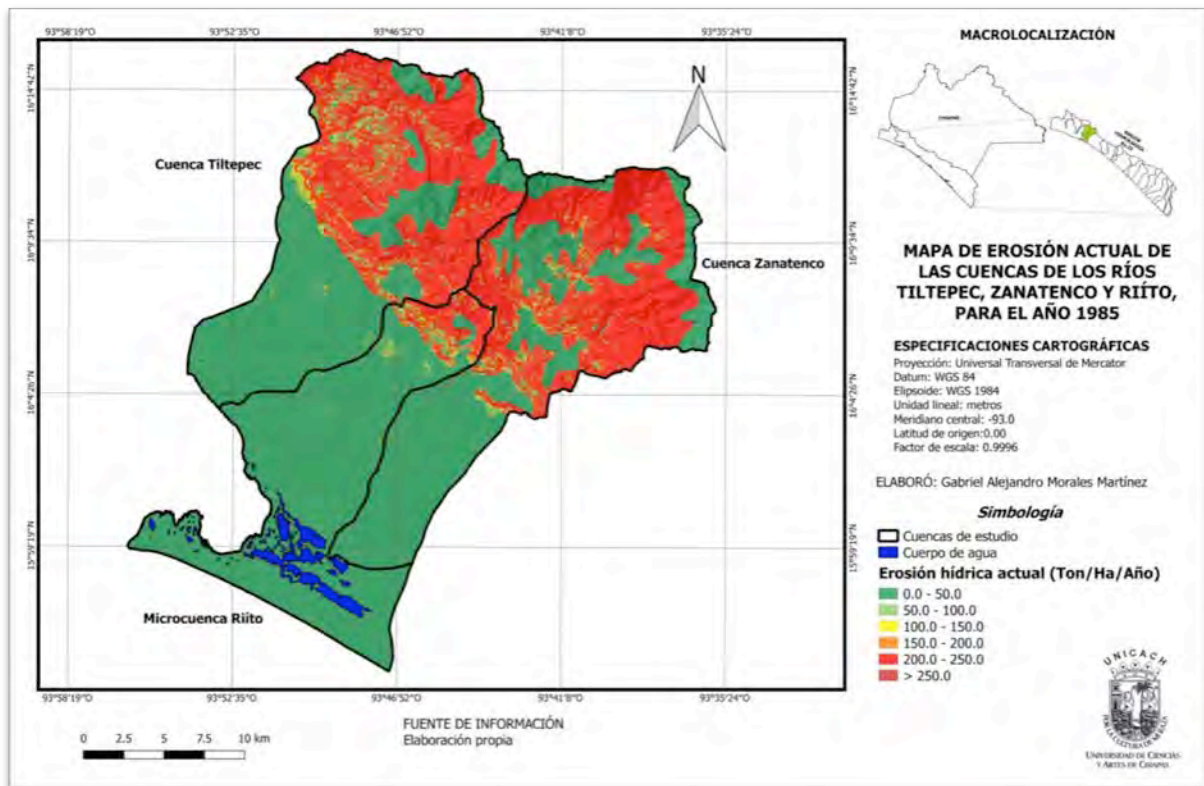
Los resultados de EHA para los años 1985, 1993, 2002, 2007 y, 2011 se muestran en los Cuadros 18, 19, 20, 21 y, 22 para cada cuenca de estudio y clase de pérdida de suelo.

En el plano de EHA de Chiapas obtenido por Arellano (1994), mediante la aplicación de la EUPS con el procedimiento de álgebra de mapas de cada uno de los parámetros de la EUPS a escala 1:250,000, para el área de influencia de las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto, se presenta un 55% del área de las

cuencas una erosión hídrica extrema, un 10% alta y un 35% moderada. Las mayores tasas de pérdida de suelo se presentan en las microcuencas de la parte media y alta de las cuencas ubicadas en la Sierra Madre.

En todos los años de estudio en las tres cuencas, los mayores porcentajes de área corresponden a las tasas de pérdida de suelo menores a 50 Ton/Ha/año (cerca de un 60%) en la planicie costera, seguidas por las de erosión extrema con pérdidas de suelo mayores a 250 Ton/Ha/año (alrededor del 30%) en terrenos escarpados de la Sierra Madre. Las tasas de pérdida de suelo de 50 a 250 Ton/Ha/año son siempre menores (mas menos el 10%) y se ubican según su grado de pendiente, en terrenos ondulados en laderas con pendientes de suaves a moderadas o en pequeños valles inter-montanos en áreas con persistencia de incendios forestales.

Figura 23. Erosión Hídrica Actual (EHA) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas (1985).



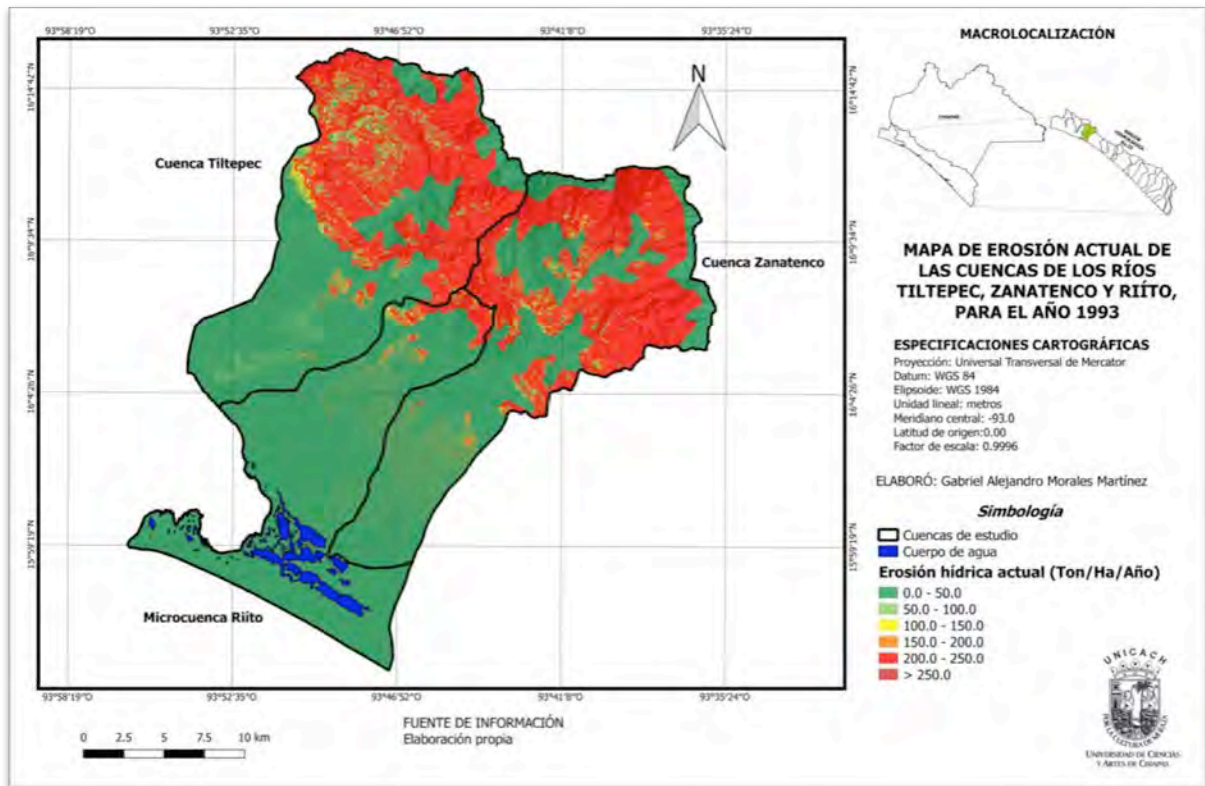
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18. Erosión Hídrica Actual (EHA) para el uso del suelo de 1985 en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	11,630.887	11,422.028	15,296.074	38,348.988	58.94
50.0 - 100.0	851.223	560.776	765.296	2,177.295	3.35
100.0 - 150.0	653.989	440.894	208.201	1,303.084	2.00
150.0 - 200.0	689.751	498.426	157.472	1,345.649	2.07
200.0 - 250.0	607.147	504.578	131.670	1,243.395	1.91
> 250.0	9,889.557	9,678.817	1,075.218	20,643.593	31.73
Totales	24,322.554	23,105.517	17,633.932	65,062.003	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Erosión Hídrica Actual (EHA) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y Riíto, Chiapas (1993).



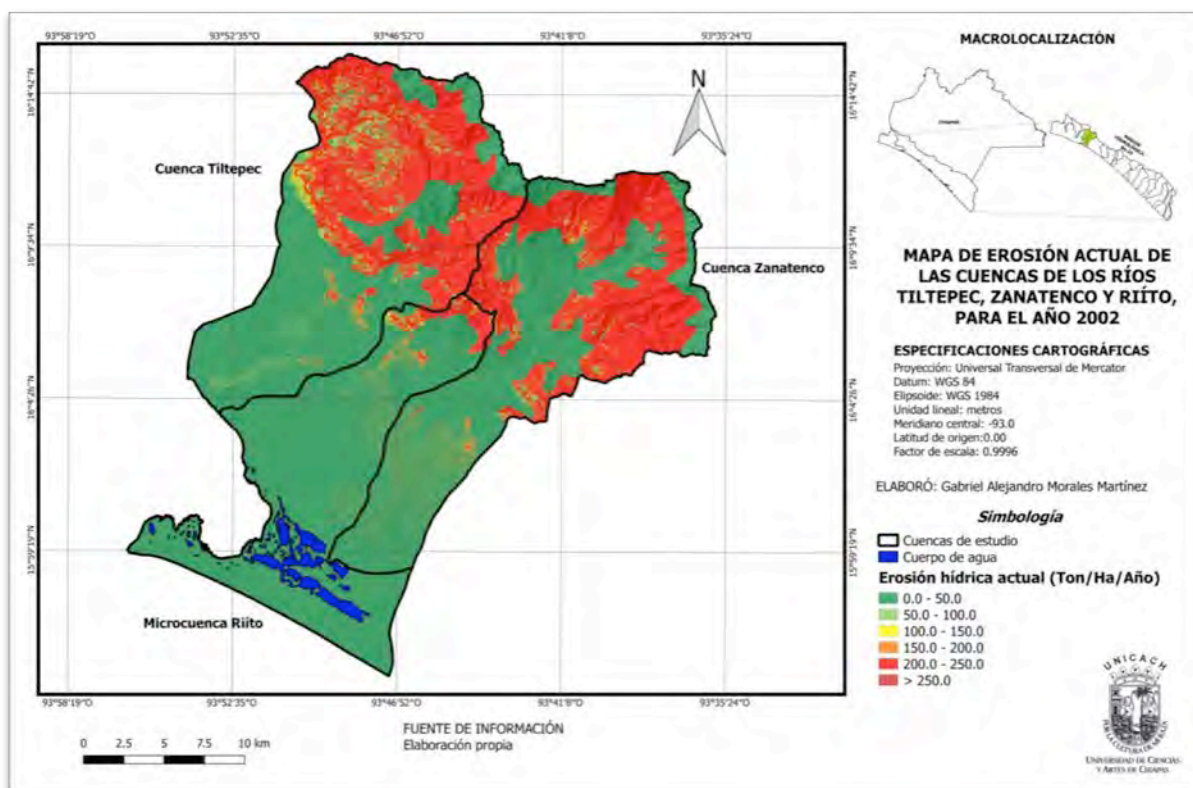
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19. Erosión Hídrica Actual (EHA) para el uso del suelo de 1993 en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	11,597.009	11,856.875	16,329.116	39,783.000	61.15
50.0 - 100.0	869.326	620.674	206.315	1,696.315	2.61
100.0 - 150.0	723.497	351.396	79.010	1,153.903	1.77
150.0 - 200.0	722.545	538.092	165.943	1,426.581	2.19
200.0 - 250.0	641.463	603.387	200.804	1,445.653	2.22
> 250.0	9,768.714	9135.093	652.744	19,556.551	30.06
Totales	24,322.554	23,105.517	17,633.932	65,062.003	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Erosión Hídrica Actual (EHA) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y Riíto, Chiapas (2002).



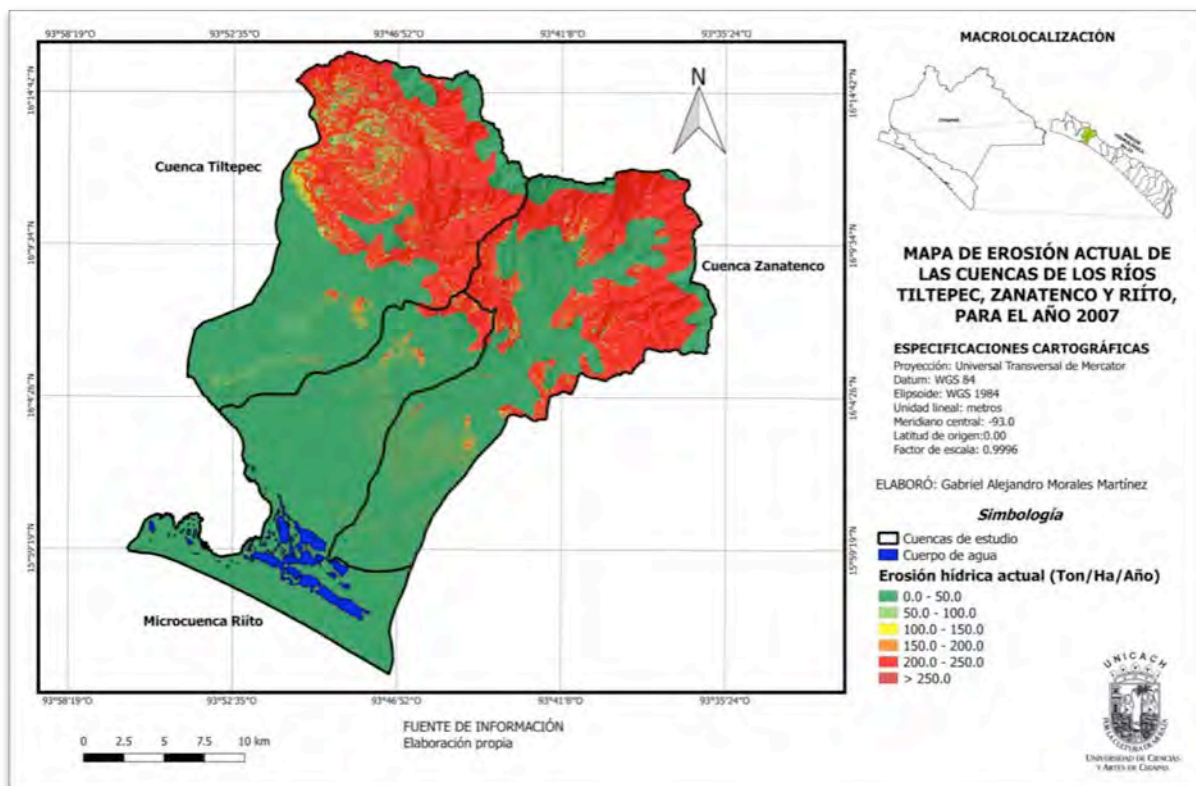
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Erosión Hídrica Actual (EHA) para el uso del suelo de 2002 en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	11,716.772	12,873.030	16,338.882	4,0928.684	62.91
50.0 - 100.0	845.605	551.914	208.710	1,606.229	2.47
100.0 - 150.0	717.589	262.274	79.983	1,059.846	1.63
150.0 - 200.0	741.200	442.021	159.669	1,342.890	2.06
200.0 - 250.0	666.812	520.337	186.259	1,373.408	2.11
> 250.0	9,634.578	8,455.941	660.429	18,750.947	28.82
Totales	24,322.554	23,105.517	17,633.932	65,062.003	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Erosión Hídrica Actual (EHA) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y Riíto, Chiapas (2007).



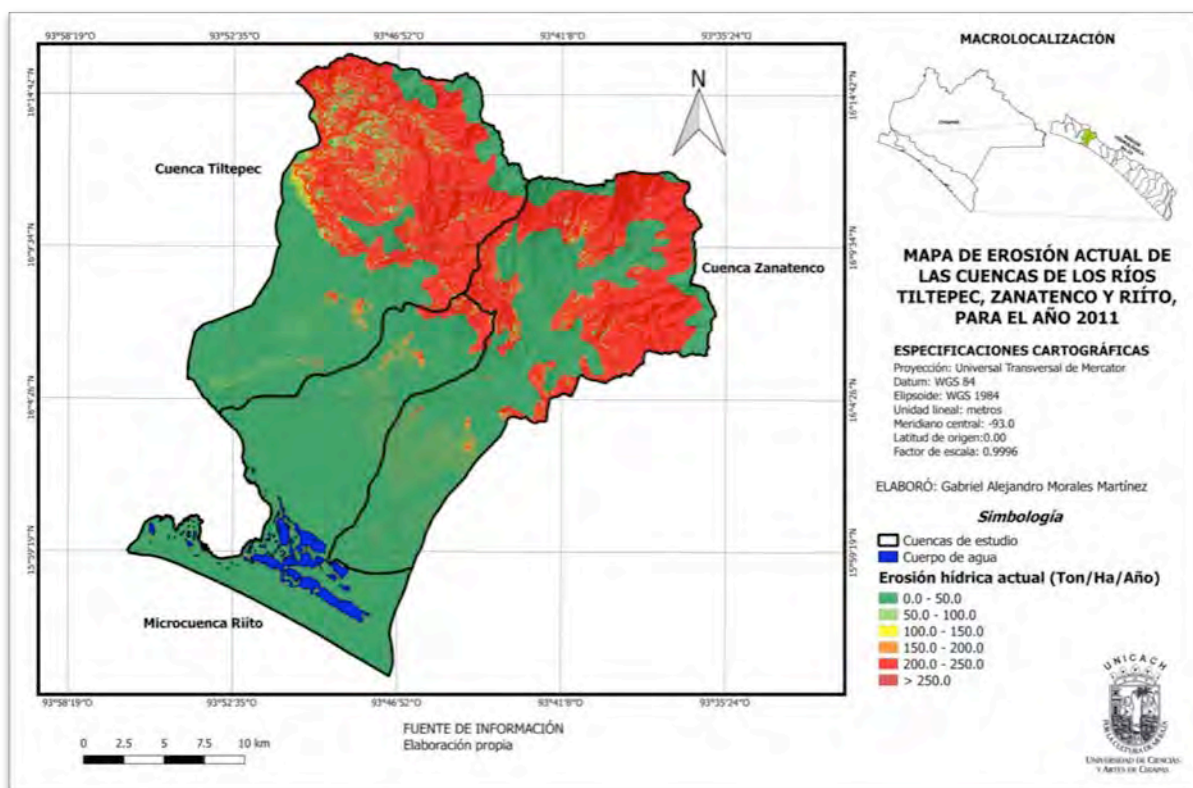
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Erosión Hídrica Actual (EHA) para el uso del suelo de 2007 en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	11,326.738	13,028.534	16,608.627	40,963.899	62.96
50.0 - 100.0	797.232	470.821	167.528	1,435.581	2.21
100.0 - 150.0	694.298	223.502	41.949	959.750	1.48
150.0 - 200.0	706.405	387.627	116.896	1,210.928	1.86
200.0 - 250.0	637.637	457.570	145.680	1,240.886	1.91
> 250.0	10,160.243	8,537.462	553.253	19,250.958	29.59
Totales	24,322.554	23,105.517	17,633.932	65,062.003	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Erosión Hídrica Actual (EHA) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y Riíto, Chiapas (2011).



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22. Erosión Hídrica Actual (EHA) para el uso del suelo de 2011 en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Tasas de erosión (Ton/Ha/Año)	Superficie (ha)			Totales	
	Tiltepec	Zanatenco	Riíto	Hectáreas	%
0.0 - 50.0	11,350.544	13,033.901	16,608.278	4,0992.723	63.01
50.0 - 100.0	787.266	467.025	175.730	1,430.021	2.20
100.0 - 150.0	692.500	222.793	43.044	958.338	1.47
150.0 - 200.0	704.716	384.720	112.264	1,201.701	1.85
200.0 - 250.0	636.767	453.262	135.936	1,225.966	1.88
> 250.0	10,150.760	8,543.816	558.679	19,253.254	29.59
Totales	24,322.554	23,105.517	17,633.932	65,062.003	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Las cuencas que mostraron mayor superficie con erosión extrema (mayores a 250 Ton/Ha/año) fueron las que se ubican en mayor parte en la Sierra Madre como Tiltepec y Zanatenco; con un máximo del 41.77% en 2007 (Cuadro 21) y un 41.89% en 1985 respectivamente (Cuadro 18). Por otra parte, la cuenca con mayor superficie con pérdidas de suelo menores de 50 Ton/Ha/año es Riíto con el 94.19% en 2007 (Cuadro 21) debido a su pendiente muy suave y condiciones de suelo

En general, las áreas con tasas de pérdida de suelo menores a 50 Ton/Ha/año presentan una tendencia creciente de 1985 (58.94%) al 2011 (63.01%) en terrenos ubicados principalmente en la planicie costera (Cuadros 18 y 22). Por otra parte, las áreas con erosión extrema con pérdidas de suelo mayores a 250 Ton/Ha/año presentan un abatimiento de 1985 a 2002 al pasar del 31.73% al 28.82% (Cuadros 18 y 20) debido al proceso de resiliencia natural y sucesión vegetal después del impacto del fenómeno hidrometeorológico de septiembre de 1998, para posteriormente incrementarse hasta el 29.59% en 2011 (Cuadro 22).

Las áreas con mayores tasas de pérdida de suelo corresponden a las áreas con deforestación para cambio de uso del suelo de selva media a pastizal, particularmente durante el periodo de 1985 a 1993 (Figura 24).

Un ejemplo del efecto de la cobertura arbórea en la erosión hídrica y los servicios hidrológicos lo reportan Cano *et al.* (2014) en la cuenca del río Lirquén en Chile donde una mayor superficie con plantaciones adultas proporcionan una mayor capacidad de intercepción del impacto erosivo de la lluvia y un mayor almacenamiento de la humedad en el suelo, lo cual se traduce en un menor volumen de escurrimiento superficial y un mayor aporte de agua al acuífero.

En su estudio sobre el patrón de lluvias en la Costa de Chiapas, Escalante (2006) reporta que las lluvias erosivas (mayores a 10 mm) en la estación Tonalá

presentan una tendencia histórica decreciente mientras que las lluvias no erosivas (menores a 10 mm) presentan una tendencia creciente. Lo anterior debido a que únicamente analizo datos anteriores a 1998 y por tanto no incluyó los años lluviosos posteriores. Sin embargo, el autor reconoce que el potencial de erosión e inundaciones se ha incrementado en la Costa de Chiapas como en el caso de los eventos hidrometeorológicos extremos de 1998 y 2005.

Para Tiscareño *et al.* (1991), existe un patrón en el incremento de la erosión hídrica conforme las regiones agroecológicas son más secas, lo cual indica que el fenómeno de El Niño (como el del periodo 1997-1998), afecta de manera significativa a las regiones con mayor grado de degradación del suelo por erosión hídrica.

En la cuenca del río Zanatenco, Torres *et al.*, (2002) estiman mediante la aplicación del modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) que un 57% de la cuenca presenta erosión hídrica baja, un 35.12% erosión moderada y un 12.3% erosión alta. Resultados que son análogos a los obtenidos en el presente estudio para 2002 donde la cuenca del río Zanatenco presenta un 55.71% con baja erosión y un 36.6% con erosión extrema (Cuadro 20).

Para la cuenca del río Tiltepec, Arellano (2013) estima que la Erosión Hídrica Actual (EHA), varían de 86 a 770 Ton/Ha/año. La mayor parte de la cuenca (un 66.69 %) presenta valores de EHA con valores menores de 50 Ton/Ha/año, ubicadas fundamentalmente en la planicie costera. Un 33.31 % de la cuenca presenta valores de pérdida de suelo mayores a 50 Ton/Ha/año ubicados principalmente en los terrenos ondulados y de ladera de las partes medias y bajas de la cuenca (Cuadro 23).

Cuadro 23. Erosión hídrica actual en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas.

Tipo	Rango Ton/Ha/año	Clasificación	%	Hectáreas
1	0 - 50	Baja	66.69	25,567.61
2	50 - 100	Media	2.22	851.10
3	100 - 150	Considerable	4.44	1,702.21
4	150 - 200	Alta	6.66	2,553.31
5	200 - 250	Muy alta	8.88	3,404.42
6	> 250	Extrema	11.11	4,259.35
Totales :			100.00	38,338.00

Fuente: Arellano (2013).

Los resultados obtenidos por Arellano (2013) son diferentes con los obtenidos en este trabajo para la cuenca del río Tiltepec debido a que Arellano (*op. cit.*) considero una mayor área de la cuenca en la planicie costera al incorporar otros ríos tributarios que descargan directamente al Mar Muerto. En la cuenca del río

Tiltepec delimitada en el presente estudio, en el año 2011 un 46.67% de la cuenca presenta baja erosión y un 41.74% presenta erosión extrema (Cuadro 22).

Después del impacto del huracán *Bárbara* en la región Istmo-Costa de Chiapas el 29 de mayo de 2013, Conservación Internacional (2013) elaboró una evaluación del impacto del huracán en el ámbito de la Reserva de la Biósfera de la Sepultura (REBISE). Mediante la aplicación de la EUPS, reporta que antes del impacto del huracán, un 32.28% del territorio de la REBISE (54,007 hectáreas), presentaba una clase de EHA extrema (con pérdidas de suelo mayores a 500 Ton/Ha/año); después del impacto del huracán, un 43.88% de la REBISE (73,414 hectáreas), presentaba una erosión extrema; es decir, el impacto del huracán incrementó en 19,407 hectáreas la erosión hídrica extrema.

Asimismo, para las áreas impactadas por el Huracán *Bárbara*, Conservación Internacional (*op. cit.*), jerarquiza las áreas de intervención para su rehabilitación hidrológico-forestal en las cuencas de la región Istmo-Costa: 12,044 hectáreas para el río Lagartero, 42,889 hectáreas para el río Tiltepec, 20,205 hectáreas para el río Zanatenco y 40,709 hectáreas para el río Coapa.

Ante las alteraciones del ciclo hidrológico regional provocadas por el cambio climático global que se manifiesta en una mayor frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia extremos, asociada a la pérdida de la cobertura vegetal por los cambios de uso del suelo e incendios forestales y, la ausencia de prácticas de conservación del suelo y agua, derivan en mayores riesgos de erosión hídrica y sedimentación así como una creciente vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones en las cuencas de estudio.

En los Planes de Manejo de las cuencas de los ríos Zanatenco y Tiltepec (CONAGUA, *et al.*, 2009; 2012), así como en la aplicación de las Tarjetas de Evaluación en las cuencas de los ríos Zanatenco y Lagartero (CONAGUA, *et al.*, 2010a; 2010b), diagnósticos y estudios regionales (De la Fuente *et al.*, 2010) o en las cuencas de los ríos Zanatenco, Lagartero y Coapa (Trujillo, 1998; Cruz, 2007; Imbach y Steinvorth, 2015), se hace referencia a la problemática de la deforestación, los incendios forestales y la erosión hídrica en las cuencas de la región.

1.4.4 Azolvamiento de cauces y cuerpos de agua

Como se vio anteriormente, el proceso de erosión-sedimentación de las cuencas costeras es por su condición fisiográfica, es de rápida respuesta hidrológica y de régimen torrencial. La parte alta y media alta de las cuencas (ubicadas en la zona de la Sierra Madre) es el área de aporte de gran cantidad de sedimentos que finalmente se depositan en los cauces y cuerpos de agua según su granulometría en la planicie aluvial de la Costa de Chiapas (Arellano, 2012).

Mediante la aplicación de la EUPS en el modelo SWAT, Torres *et al.*, (2002) estiman para la cuenca del río Zanatenco una tasa de producción de sedimentos a la salida de la cuenca de 0.152 Ton/Ha.

Aplicando esta tasa de producción de sedimentos a las áreas de las cuencas de estudio, se estima un volumen medio anual de sedimentos depositados en la descarga de cada cuenca de 5,827 toneladas para la cuenca del río Zanatenco, de 3,697 toneladas para la cuenca del río Tiltepec y de 2,680 toneladas para la cuenca del Riíto.

Mediante la simulación de escenarios y con uso del modelo SWAT, Imbach y Ulloa (2014), reportan para la cuenca del río Pijijiapan para la condición actual de uso del suelo y vegetación sin prácticas de conservación del suelo y agua, una producción mensual de sedimentos a la salida de la cuenca de casi 140 mil toneladas. Bajo un uso intensivo de la cuenca se producirían al mes a la salida de la cuenca 150 mil toneladas. Bajo el escenario de la cuenca con prácticas de conservación del suelo y agua y de restauración de la vegetación se obtendría una producción mensual de sedimentos a la salida de la cuenca menor a 25 mil toneladas. Las microcuencas de la parte alta de la cuenca ubicadas en la Reserva de la Biósfera de El Triunfo (REBITRI) aportan la menor cantidad de sedimentos. Entonces, la vegetación natural de estas áreas tiene un importante aporte en el control de sedimentos que finalmente se depositan en la parte baja de la cuenca.

Una condición similar se presenta en las microcuencas de las partes altas de las cuencas de los ríos Tiltepec y Zanatenco que se ubican en la REBISE y que también proveen de este valioso servicio ecosistémico de protección y control de sedimentos.

En el tramo del río Zanatenco comprendido de la Ciudad de Tonalá a su descarga, el cauce del río está totalmente azolvado, de tal forma que antes de la temporada de lluvias, protección civil municipal realiza año con año de manera preventiva trabajos de desazolve en el río.

Después de una contingencia hidrometeorológica se realizan como trabajos de reconstrucción con recursos del FONDEN la limpieza y el desazolve de tramos críticos de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto; sin embargo, no se realizan trabajos de restauración hidrológica forestal de las áreas impactadas con las lluvias extremas en las cuencas de aporte.

Finalmente, los sedimentos de grano fino provenientes de las partes altas de la Sierra Madre se depositan en los humedales y lagunas de la planicie costera, provocara una menor profundidad de las lagunas con un incremento significativo de la temperatura del agua que abatirá significativamente la pesca. Asimismo, provocara procesos de turbulencia que harán que los contaminantes atrapados tiempo atrás (residuos de plaguicidas, fertilizantes, aguas residuales, entre otros) en los sedimentos del fondo se reincorporen al cuerpo de agua de la laguna con

su sobrecarga de nutrientes, condición que favorece el desarrollo del fitoplancton y los procesos de eutroficación (Tovilla, 2005; Espinoza y Barba, 2013).

1.4.5 Conclusiones

Las áreas con Erosión Hídrica Potencial (EHP) extremas se ubican en los terrenos escarpados de la Sierra Madre de Chiapas principalmente por el efecto de la pendiente y la textura arenosa de los suelos. Por su parte, las áreas con bajas tasas de pérdida de suelo se ubican en la planicie costera debido a las pendientes muy suaves en la llanura de inundación con suelos de origen aluvial.

Las áreas con EHP extremas con pérdidas de suelo mayores de 200 Ton/Ha/año, representan el 71.46% de la cuenca del río Zanatenco y el 63.58% de la cuenca del río Tiltepec, áreas localizadas en las partes altas.

En la cuenca del Riíto (ubicada mayoritariamente en la planicie costera), las áreas con tasas de pérdida de suelo menores a 50 Ton/Ha/año representan el 71.23%

En todos los años de estudio en las tres cuencas, los mayores porcentajes de área corresponden a las tasas de pérdida de suelo menores a 50 Ton/Ha/año (cerca de un 60%) en la planicie costera, seguidas por las de erosión extrema con pérdidas de suelo mayores a 250 Ton/Ha/año (alrededor del 30%) en terrenos de la Sierra Madre. Las tasas de pérdida de suelo de 50 a 250 Ton/Ha/año son siempre menores (mas menos el 10%) y se ubican según su grado de pendiente, en terrenos ondulados en laderas con pendientes de suaves a moderadas o en pequeños valles inter-montanos en áreas con persistencia de incendios forestales.

En general, las áreas con tasas de pérdida de suelo menores a 50 Ton/Ha/año presentan una tendencia creciente de 1985 (58.94%) al 2011 (63.01%) en terrenos ubicados principalmente en la planicie costera. Por otra parte, las áreas con erosión extrema con pérdidas de suelo mayores a 250 Ton/Ha/año presentan un pequeño abatimiento de 1985 a 2002 al pasar del 31.73% al 28.82% debido al proceso de resiliencia natural y sucesión vegetal después del impacto del fenómeno hidrometeorológico de septiembre de 1998, para posteriormente incrementarse hasta el 29.59% en 2011.

Ante las alteraciones del ciclo hidrológico regional provocadas por la variabilidad climática que se manifiesta en una mayor frecuencia e intensidad de los eventos de lluvia extremos en la región, asociada a la pérdida de la cobertura vegetal por los cambios de uso del suelo e incendios forestales y, la ausencia de prácticas de conservación del suelo y agua, derivan en mayores riesgos de erosión hídrica y sedimentación así como una creciente vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones en las cuencas de estudio.

2. OFERTA Y DEMANDA DE AGUA

2.1 Oferta de agua: Disponibilidad del agua

2.1.1 Precipitación

La precipitación media anual en las cuencas de estudio es de 1,723.8 mm. El periodo de lluvias comprende de mayo a octubre con un promedio de 1,650.5 mm (96%) y una sequía intraestival marcada durante el mes de julio y un periodo de secas de noviembre a abril con un promedio de 73.3 mm (4%). La precipitación máxima mensual se presenta en el mes de septiembre con 416.9 mm y la mínima mensual en diciembre con 1.3 mm.

2.1.2 Aguas superficiales: Escurrimiento superficial

Los ríos de la región Istmo-Costa de la Vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas (Región Hidrológica 023 Costa de Chiapas) tienen un marcado régimen de escurrimiento entre el periodo de secas y el periodo de lluvias. Durante el periodo de secas (noviembre-abril), el gasto de escurrimiento disminuye significativamente respecto al que se presenta en la temporada de lluvias (mayo-octubre). Durante periodos de secas extremas en algunos ríos de La Costa de Chiapas como el río Zanatenco incluso no fluye agua sobre su cauce, únicamente flujo sub-superficial (denominado sub-alvio).

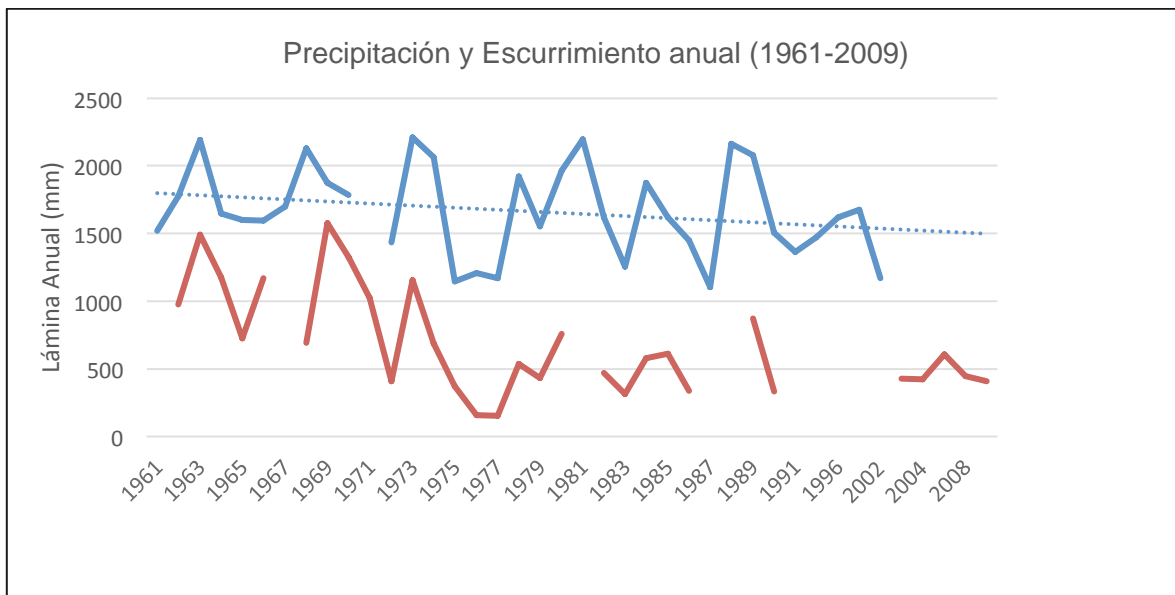
2.1.2.1 Escurrimiento superficial registrado

A partir de la información disponible de escurrimiento anual en la estación de aforo del río Zanatenco para el periodo 1962-2002 (obtenida de la base de datos BANDAS, CONAGUA, 2010b), así como de la información de precipitación anual de la estación climatológica Tonalá para el periodo 1961-2002, se obtiene la información de precipitación y escurrimiento anual (expresados en milímetros, mm) que se muestra en el Cuadro 24 y la Figura 23.

Para el periodo 1962-1990, el río Zanatenco registro un gasto medio anual de escurrimiento de 3.57 m³/s, durante la temporada de estiaje de 1.15 m³/s y en la temporada de lluvias de 6 m³/s (Baumann, 2000).

Para el periodo 1962-2009, Garniel y Carrillo citados por CONAGUA, *et al.* (2009), reportan que el río Zanatenco, registro un gasto medio anual de escurrimiento menor de 2.6 m³/s con un volumen de escurrimiento anual de 80.6 millones de m³ y un flujo base de 0.4 m³/s. Con un volumen de escurrimiento promedio anual de 11.6 millones de m³ durante la temporada de estiaje.

Figura 23. Variabilidad de la precipitación y escurrimiento anual (mm) en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1961-2009).



Fuente: Elaboración propia con los datos climatológicos colectados de la estación Tonalá e hidrométricos de la base de datos BANDAS (CONAGUA, 2010b).

Según los datos del Cuadro 24, para el periodo 1962-2009, los volúmenes anuales máximos de escurrimiento se presentaron en los años húmedos de 1969 (el año más húmedo registrado); 1963 y 1970; mientras que los años con menores volúmenes de escurrimiento anual fueron los años secos de 1990; 1983 y 1977 (el año más seco registrado). Asimismo, se estima un escurrimiento medio anual de 628.9 mm equivalente a 98.75 millones de m³, caudal que representa la disponibilidad media anual de agua en el río.

Para el río Zanatenco, Trujillo (1998), reporta un volumen anual de escurrimiento medio de 94.29 millones de m³ (600.5 mm) con valores mensuales mínimos en febrero de 0.0 a 1.45 millones de m³ (9.2 mm) y máximos en el mes de julio con valores que van de 4.96 a 100.73 millones de m³ (de 31.6 a 641.5 mm).

La variabilidad interanual tanto de la precipitación como del escurrimiento en la cuenca del río Zanatenco, muestra una buena correlación y una tendencia histórica decreciente. Es decir que los periodos de menor precipitación corresponden a los periodos de menor escurrimiento; asimismo, a mayor precipitación corresponde un mayor escurrimiento. Lo anterior muestra la confiabilidad en la serie histórica de ambos datos (Figura 23).

Por otra parte, como se analizó en el capítulo de variabilidad climática, la variabilidad del escurrimiento anual (mm) en el río Zanatenco, muestra una

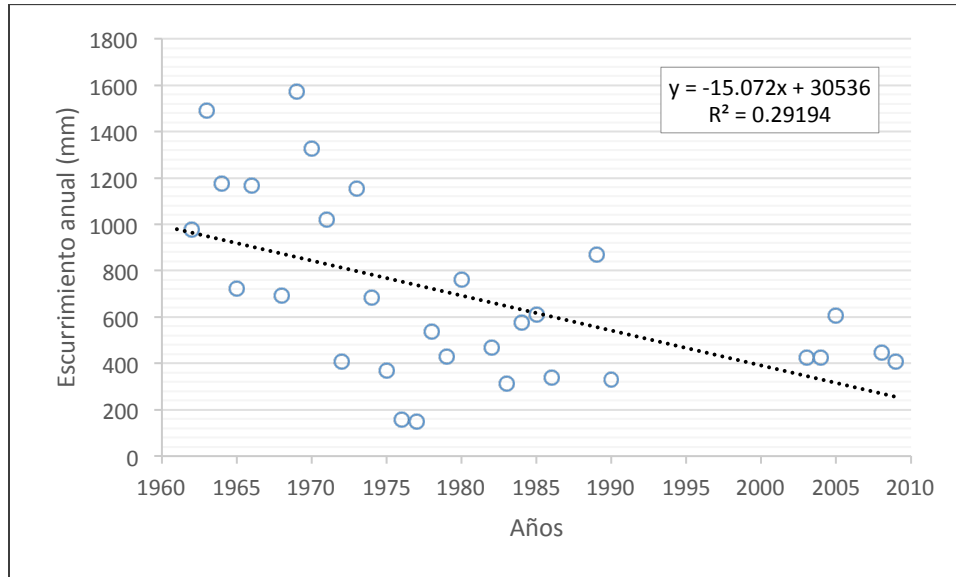
tendencia decreciente con una disminución de -15.07 mm/año, misma que equivale a una menor disponibilidad de agua en el río de 2.365 millones de m³ cada año (Figura 24).

Cuadro 24. Escurrimiento anual (mm) y Coeficiente de escurrimiento (%) en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1962-2009).

Año	Precipitación anual (mm)	Escurrimiento anual (mm)	Coeficiente de escurrimiento (%)
1961	1520.0		
1962	1772.8	977.4	55.13
1963	2191.1	1,490.5	68.02
1964	1646.2	1,172.9	71.25
1965	1598.6	724.6	45.33
1966	1597.2	1,167.2	73.08
1967	1699.2		
1968	2131.5	690.1	32.38
1969	1872.9	1,574.1	84.05
1970	1781.9	1,327.0	74.47
1971		1,021.9	
1972	1433.4	407.5	28.43
1973	2207.4	1,153.6	52.26
1974	2062.5	685.8	33.25
1975	1145.0	371.7	32.46
1976	1209.3	157.9	13.06
1977	1171.2	151.0	12.89
1978	1920.6	536.6	27.94
1979	1552.1	429.8	27.69
1980	1963.1	759.4	38.68
1981	2193.3		
1982	1620.3	470.8	29.05
1983	1254.6	311.6	24.84
1984	1871.9	577.6	30.86
1985	1617.3	611.5	37.81
1986	1450.1	337.7	23.29
1987	1101.3		
1988	2163.2		
1989	2079.5	870.1	41.84
1990	1506.4	332.9	22.10
1991	1362.6		
1992	1471.8		
1996	1617.2		
1997	1676.5		
2002	1168.1		
2003		425.6	
2004		423.7	
2005		605.0	
2008		446.5	
2009		409.8	
Mínimo	1,101.3	151.0	12.89
Medio	1,650.0	628.9	37.4
Máximo	2,207.4	1,574.1	84.0

Fuente: Elaboración propia con los datos climatológicos colectados de la estación Tonalá e hidrométricos de la base de datos BANDAS (CONAGUA, 2010b).

Figura 24. Variabilidad de la precipitación anual (mm) en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas (1961-2009).



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2.2 Escurrimiento superficial estimado

Según el Decreto de disponibilidad de agua, la sub-cuenca de Laguna Mar Muerto (con una superficie de 501.5 Km²), dispone de un volumen medio anual de escurrimiento superficial natural de 261.14 millones de m³, mismo que equivale a una lámina de escurrimiento medio anual de 521.24 mm (SEMARNAT-CONAGUA, 2007).

De esta forma, para el río Zanatenco, el escurrimiento medio anual de 628.9 mm (98.75 millones de m³) obtenido de los registros de aforo, es mayor que el escurrimiento medio anual de 521.24 mm (81.845 millones de m³) del Decreto de disponibilidad de agua de la sub-cuenca de Laguna Mar Muerto. Sin embargo, con fines de comparación en la disponibilidad de agua entre las cuencas de estudio, se considerara el valor medio estimado de 521.24 mm.

A partir de la lámina de escurrimiento media anual de 521.24 mm del Decreto de disponibilidad de agua de la sub-cuenca de Laguna Mar Muerto y considerando la superficie de cada cuenca de las cuencas de estudio, se estima la disponibilidad media de escurrimiento superficial de cada cuenca. Este volumen representa la oferta de agua superficial en cada cuenca de estudio (Cuadro 25).

Con la disponibilidad media anual de agua en la sub-cuenca de Laguna Mar Muerto de 521.24 mm y considerando una área de 383.38 Km² para la cuenca del río Tiltepec, Arellano (2013), estima un volumen medio anual de escurrimiento superficial natural de 199.63 millones de m³.

Cuadro 25. Estimación de la disponibilidad media anual de escurrimiento superficial natural en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto, Chiapas.

Cuenca	Área (Km ²)	volumen medio anual de escurrimiento superficial	
		(millones de m ³)	(%)
Tiltepec	243.2255	126.64995	37.38
Zanatenco	231.0552	120.31275	35.51
Riíto	176.3390	91.82148	27.11
Totales	650.6197	338.78418	100.00

Fuente: Elaboración propia

En las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto, el volumen medio anual estimado de escurrimiento superficial total es de 338.78418 millones de m³; de los cuales, corresponden a cada una de las cuencas el 37.38%, 35.51% y, 27.11% respectivamente (Cuadro 25).

2.1.3 Aguas subterráneas

Las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto se ubican en el acuífero 711 denominado Arriaga-Pijijiapan, el cual cuenta con una superficie de 4,141.78 Km². Según la disponibilidad de agua en el acuífero Arriaga-Pijijiapan, publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 31 de enero de 2003, se estima una disponibilidad del acuífero de 80.952208 Millones de m³ y un volumen concesionado el 31 de diciembre de 2007 de 22.553554 Millones de m³.

Considerando que el área de influencia del acuífero corresponde al área de la unidad fisiográfica de la llanura costera de cada una de las cuencas y a partir de esta información del Plano Fisiográfico del estudio climatológico, se elabora el Cuadro 26 para la estimación de la disponibilidad media anual del acuífero en las cuencas de estudio.

Según el Cuadro 26, la cuenca que más agua aporta al acuífero Arriaga-Pijijiapan (49.99%) es la cuenca del Riíto debido a que cuenta con una mayor superficie en la provincia fisiográfica de la llanura costera con 164.6421 km².

En las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto, el volumen medio anual estimado del acuífero total es de 6.436818 millones de m³; de los cuales, corresponden a cada una de las cuencas el 27.75%, 22.26% y, 49.99%

respectivamente (Cuadro 26). Entonces, debido a su condición fisiográfica en la planicie costera, la cuenca del Riíto dispone de casi la mitad de las aguas del acuífero.

Cuadro 26. Estimación de la disponibilidad media anual del acuífero en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto, Chiapas.

Cuenca	Área de la llanura costera (Km ²)	Volumen medio anual del acuífero	
		(millones de m ³)	(%)
Tiltepec	91.3863	1.786169	27.75
Zanatenco	73.3003	1.432673	22.26
Riíto	164.6421	3.217976	49.99
Totales	329.3287	6.436818	100.00

Fuente: Elaboración propia

A partir de los Cuadros 25 y 26 se elabora el Cuadro 27, el cual muestra los volúmenes promedios anuales totales de agua disponible tanto superficial como subterránea en las cuencas de estudio.

Según el Cuadro 27, las cuencas de estudio tienen una disponibilidad promedio anual de agua de 345.22098 millones de m³; de los cuales, 338.784418 millones de m³ corresponden a agua superficial (98.13%) y 6.436818 millones de m³ a aguas subterráneas (1.86%).

Cuadro 27. Volúmenes de agua superficial y subterránea disponibles medios anuales (oferta de agua) en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto Chiapas.

Cuenca	Volumen anual de agua superficial (millones m ³)	Volumen anual de agua subterránea (millones m ³)	Volumen anual total (millones m ³)
Tiltepec	126.64995	1.786169	128.43611
Zanatenco	120.31275	1.432673	121.74542
Riíto	91.82148	3.217976	95.03945
Totales	338.78418	6.436818	345.22098

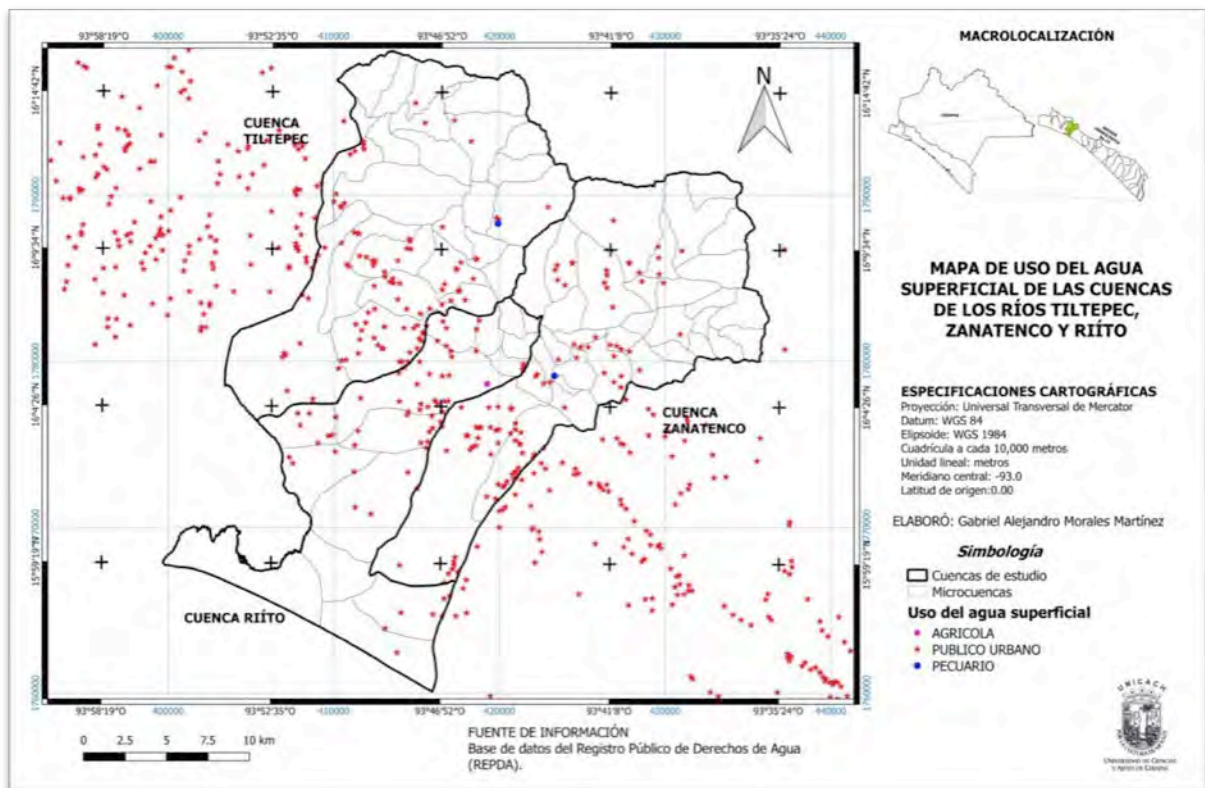
Fuente: Elaboración propia

2.2 La demanda del agua: Los usos del agua

El estudio de la demanda de agua en las cuencas de estudio se realizó mediante el análisis de la base de datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPGA, 2012) para las cuencas de estudio.

En las Figuras 25 y 26, se muestra la distribución geográfica en el ámbito territorial de cada cuenca de los aprovechamientos y usos del agua según los títulos de concesión registrados en el REPGA tanto para aguas superficiales como subterráneas.

Figura 25. Los usos del agua superficial en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.

En los Cuadro 28 y 29, se muestran los resultados obtenidos para aguas superficiales y subterráneas respectivamente. Asimismo, en el Cuadro 30 se muestran los resultados para ambas fuentes de agua.

Los usos del agua en las cuencas de estudio son los siguientes: agrícola, público urbano, pecuario. No se tienen registrados en el ámbito territorial de las cuencas, títulos de concesión para uso industrial, doméstico, servicios y acuacultura en las cuencas.

Cuadro 28. Volumen de agua superficial concesionada en las Cuencas de los ríos Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Cuenca	Uso	Volumen anual (m ³)	Volumen anual (%)
Tiltepec	Público urbano	59,225.73	1.01
	Pecuario	118.26	0.002
Zanatenco	Público urbano	5,728,578.63	97.34
	Pecuario	1,750.00	0.03
Riíto	Público urbano	7,140.90	0.12
	Agrícola	88,562.00	1.50
TOTAL		5,885,375.52	100.00

Fuente: Elaboración propia.

De las aguas superficiales en las cuencas de estudio, un 97.34% corresponde al uso público urbano en la cuenca del río Zanatenco, un 1.5% al uso agrícola en la cuenca del Riíto y, un 0.002% al uso pecuario en la cuenca del río Tiltepec.

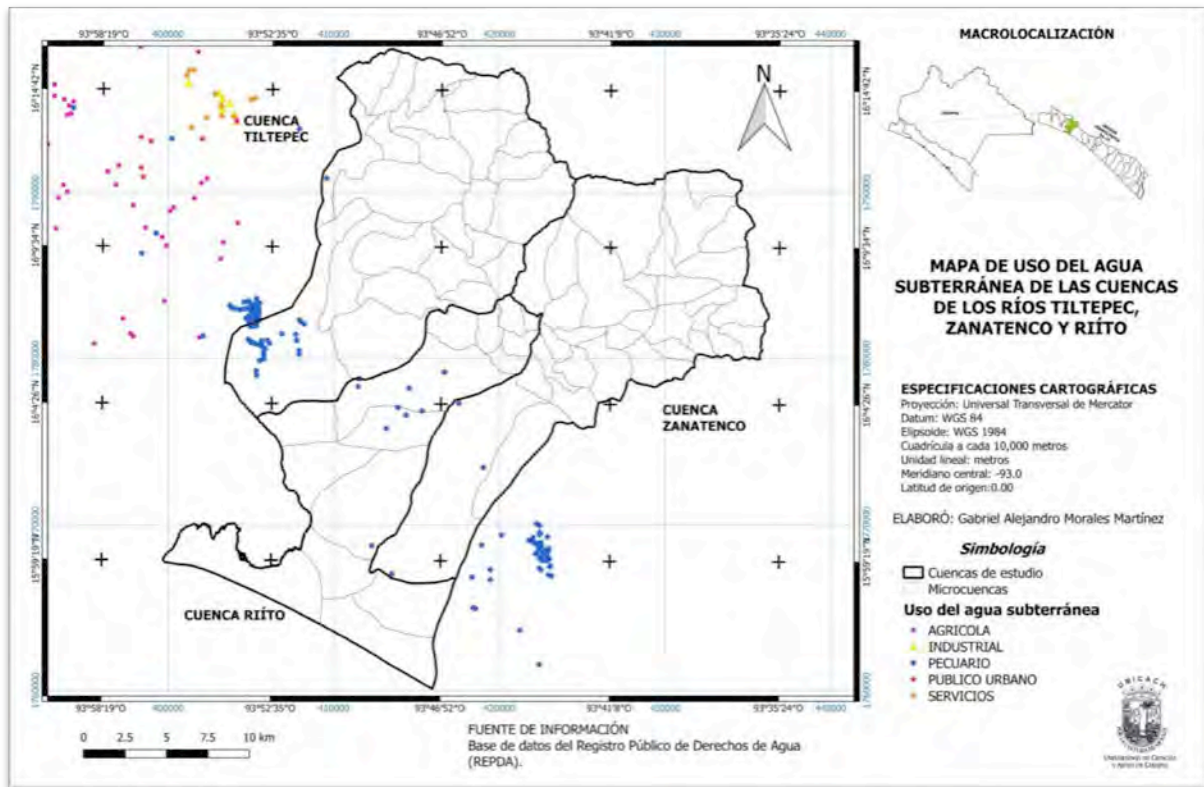
En las cuencas de estudio el volumen total de aguas subterráneas únicamente se usa para abrevadero de ganado (uso pecuario). El 49.42% en la cuenca del Riíto, un 35.22% en la cuenca del río Tiltepec y, un 15.36% en la cuenca del río Zanatenco (Cuadro 29).

Cuadro 29. Volumen de agua subterránea concesionada en las cuencas de los río Tiltepec, Zantenco y, Riíto Chiapas.

Cuenca	Uso	Volumen anual (m3)	Volumen anual (%)
Tiltepec	Pecuario	23,008.14	35.22
Zanatenco	Pecuario	10,032.22	15.36
Riíto	Pecuario	32,278.91	49.42
Total		65,319.27	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Los usos del agua subterránea en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior, al año de 2012 en las cuencas de estudio, se tenía registrado en el REPDA un volumen anual concesionado (superficial y subterráneo) o comprometido total para diferentes usos de 5.950652 millones de m³; de los cuales 5.885333 millones de m³ (98.9%) provienen de aguas superficiales y 0.065319 millones de m³ (1.1%) de aguas subterráneas (Cuadro 30).

Cuadro 30. Volumen de agua superficial y subterránea concesionado en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.

Uso	Superficiales		Subterráneos		Totales	
	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
Agrícola	88,562.00	1.29	0.00	0.00	88,562.00	1.49
Público urbano	5,794,945.26	98.68	0.00	0.00	5,794,945.26	97.38
Pecuario	1,826.26	0.03	65,319.27	100.00	67,145.53	1.13
Totales	5,885,333.52	100.00	65,319.27	100.00	5,950,652.79	100.00

Fuente: Elaboración propia.

En las cuencas de estudio se dispone de un volumen de aguas superficiales promedio anuales de 338.78418 millones de m³ (oferta) y se tienen comprometidos 5.885373 millones de m³ (demanda), entonces se tiene promedio anual disponibilidad de agua superficial en la cuenca (Cuadro 31). Sin embargo, es la distribución a lo largo del año de este volumen de agua disponible lo que ocasiona déficit de agua, particularmente en la temporada de estiajes donde el volumen de agua disponible se abate significativamente e incluso nulo cuando se secan los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto.

Por otra parte, en el acuífero de las cuencas de estudio, se tiene una disponibilidad (oferta) de agua de 6.436818 millones de m³ y un volumen anual de extracción de agua subterránea (demanda) de 0.065319 millones de m³ por lo que esta parte del acuífero Arriaga-Pijijiapan en el área de influencia de las cuencas de estudio se clasifica con disponibilidad de agua.

De esta forma, la relación entre la oferta y la demanda de agua superficial y subterránea en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto actualmente cuenta con disponibilidad promedio anual de agua.

Cuadro 31. Relación entre la oferta y la demanda de agua en las cuencas de las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.

Cuenca	Aguas superficiales		Aguas subterráneas		Totales	
	Oferta (M m ³)	Demanda (Mm ³)	Oferta (Mm ³)	Demanda (Mm ³)	Oferta (Mm ³)	Demanda (Mm ³)
Tiltepec	126.64995	0.059343	1.786169	0.023008	128.43611	0.08235
Zanatenco	120.31275	5.730328	1.432673	0.010032	121.74542	5.74036
Riíto	91.82148	0.095702	3.217976	0.032279	95.03945	0.12798
Totales	338.78418	5.885373	6.436818	0.065319	345.22098	5.95069

Fuente: Elaboración propia.

Considerando como parte de la cuenca del río Tiltepec el área de los tributarios de la cuenca del río Lagartero con una superficie de 258.30 Km², Arellano (2013), estima una disponibilidad del acuífero en la cuenca de 5.0485 Millones de m³. Por otra parte, según los datos del REPDA (2012), estima para ésta área de influencia de la cuenca un volumen anual concesionado de 16.450751 Millones de m³, debido principalmente a la extracción de grandes volúmenes del acuífero a través de pozos profundos para riego agrícola, por lo que reporta que esta porción del acuífero no está en equilibrio; es decir, esta sobreexplotado (Cuadro 31). Un estudio de disponibilidad en todo el acuífero Arriaga-Pijijiapan permitirá una mejor evaluación del grado de explotación del mismo.

Cuadro 31. Volumen de agua superficial y subterránea concesionado en la Cuenca del río Tiltepec, Chiapas.

Uso	Superficiales		Subterráneos		Totales	
	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)
Agrícola	177,302.00	1.5	12,154,224.48	98.5	12,331,526.48	53.98
Público urbano	6,213,061.98	63.0	3,639,367.66	37.0	9,852,429.64	43.13
Pecuario	1,868.26	0.5	369,704.83	99.5	371,573.09	1.63
Industrial	0.00	0.00	206,027.88	100.0	206,027.88	0.90
Domestico	0.00	0.00	56,468.66	100.0	56,468.66	0.25
Servicios	0.00	0.00	24,957.60	100.0	24,957.60	0.11
Totales	6,392,232.24	100.00	16,450,751.11	100.00		100.00

Fuente: Arellano (2013).

En general se considera que el acuífero del Soconusco, (ubicado en el extremo sur de la Costa de Chiapas), tiene condiciones de disponibilidad de agua (Díaz, *et al.*, 2000). Sin embargo, en el acuífero Arriaga-Pijijiapan, debido a que en general en todo el acuífero se extrae un mayor volumen de agua que el disponible, es importante establecer entre otras las siguientes acciones: Evaluación geohidrológica del acuífero Arriaga-Pijijiapan, programas para el uso eficiente del agua como la tecnificación y modernización de sistemas de riego, el establecimiento de programas de organización y capacitación de usuarios de riego, la organización de los usuarios de aguas subterráneas a través de comités de usuarios (COTAS) así como la instrumentación de programas para la conservación del suelo y agua en las cuencas vertientes que permitan la recarga natural del acuífero.

2.2.1 Uso agrícola

El uso agrícola únicamente se encuentra concentrada en la cuenca del Riíto con un volumen anual concesionado de 88,562 m³ que representa el 92.5% de las aguas superficiales concesionadas en la cuenca y el 1.5% de las aguas superficiales concesionadas en las tres cuencas de estudio. De esta forma, el 92.5% del agua del Riíto se destina a riego y solo un 7.5% al uso público urbano.

En los recorridos de campo se observa que algunas comunidades de las cuencas de los ríos Zanatenco y Tiltepec usan el agua del río para regar sus parcelas. Debido a que no aparecen en los registros del REPDA de 2012, o bien pueden ser concesiones posteriores o son aprovechamientos irregulares.

Dentro del ámbito territorial de las cuencas de estudio no se tienen registrados concesiones de aguas subterráneas para uso agrícola. En su estudio realizado en la cuenca del río Tiltepec y considerando como parte del área de la cuenca, la

zona de los tributarios adyacentes a la cuenca del río Lagartero, Arellano (2013) obtiene que el uso agrícola del agua es el uso mayoritario al representar un 53.98% del volumen total. Del agua destinada a uso agrícola (riego), el 98.5% proviene del acuífero (agua subterránea) y solo un 1.5% es agua superficial. Arellano (*op. cit.*) comprende en su estudio el área donde se concentran las principales áreas de riego por pozo profundo de la región como la unidad de riego de La Azteca.

2.2.2 Uso público urbano

Para el abastecimiento de agua a la población en las cuencas de estudio, el total del agua concesionada hasta el 2012 provenía de aprovechamientos superficiales y no del acuífero (pozos profundos).

La distribución de las comunidades de las cuencas de estudio según su rango de número de habitantes, se muestran en la Figura 27. Donde se observa que las poblaciones con habitantes mayores de 1,000 habitantes se encuentran distribuidas en la cuenca Tiltepec (Ignacio Ramírez) y en la cuenca Riíto (Paredón, San Luqueño, Huizachal y Tonalá). La cabecera Municipal de Tonalá se ubica entre las cuencas del Riíto y Zanatenco donde su fuente de abastecimiento de agua se ubica en el río Zanatenco.

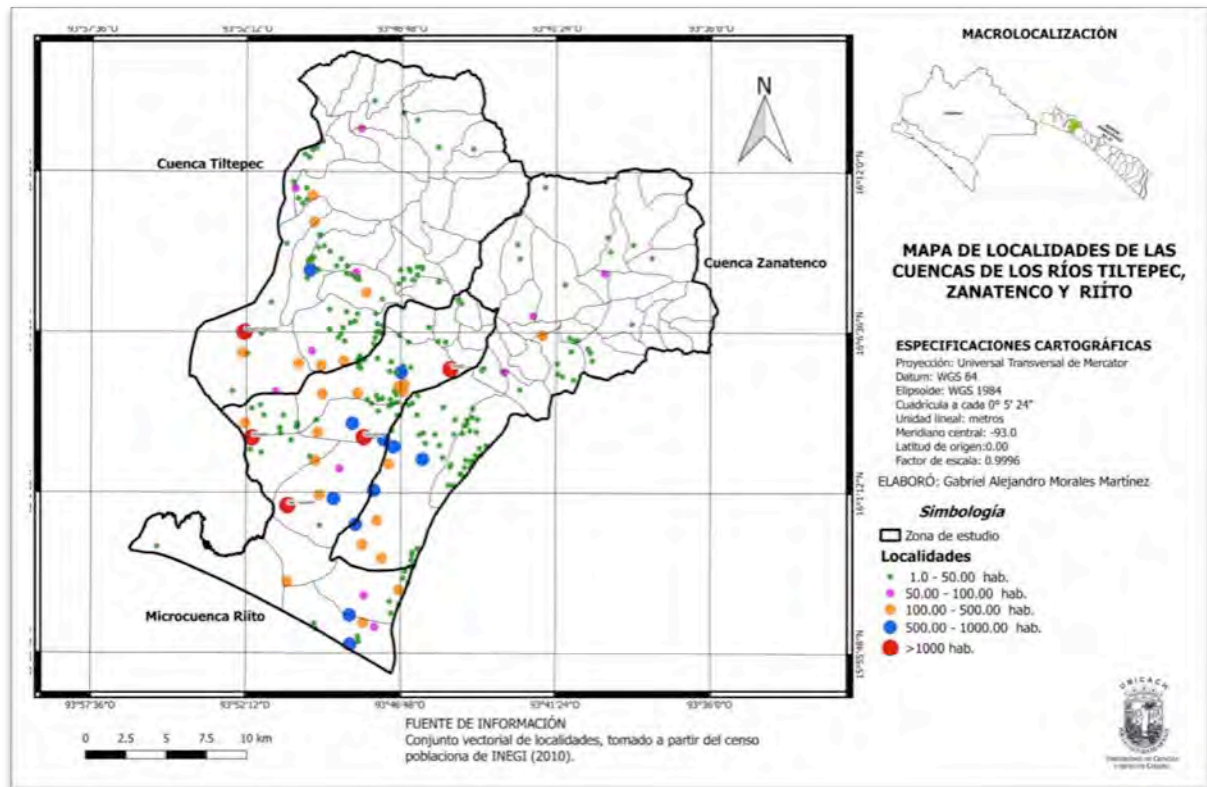
En la cuenca del río Zanatenco, se tiene concesionado un volumen anual de 5.728578 millones de m³ para uso público urbano para el abastecimiento de la cabecera municipal de Tonalá, mismo que representa el 97.34% del agua superficial concesionada de la cuenca y el mayor volumen de uso en las tres cuencas de estudio (Cuadro 28).

El uso público urbano del agua en la cuenca del río Tiltepec es muy importante al representar el 99.80% del volumen de aguas superficiales concesionadas (Cuadro 28).

Para el abastecimiento de agua a las comunidades ubicadas en la cuenca del Riíto, se tiene concesionado un volumen anual total de aguas superficiales de 7,140.9 m³ que representa el 7.46% del volumen del agua superficial de la cuenca (Cuadro 28).

El río Zanatenco es la fuente de abastecimiento de agua potable para la cabecera municipal de Tonalá. Ante la recurrente escasez de agua del río de los últimos años, el Ayuntamiento municipal ha propuesto el arroyo tributario de La Flor como una fuente alternativa para el abastecimiento de agua mediante la construcción de una pequeña presa en el sitio que permita almacenar agua en la temporada de lluvias para su uso en la temporada de estiaje. A la fecha, no se cuenta con su proyecto ejecutivo ni con recursos para su ejecución, únicamente con el dictamen de factibilidad técnico del sitio emitido por CONAGUA.

Figura 27. Distribución de las comunidades de las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto, Chiapas.



La construcción de la presa de almacenamiento La Flor garantizaría el suministro de agua potable a la Ciudad de Tonalá considerando la marcada variabilidad del régimen del río Zanatenco entre la temporada de lluvias y el estiaje.

Durante el periodo de estiaje en el río Zanatenco fluye el 16% del escurrimiento anual, mientras que durante el periodo de lluvias fluye el 84%; es decir, durante el periodo de lluvias escurre más de cinco veces lo que en promedio fluye en la temporada de secas (Baumann, 2000).

Considerando que el río Zanatenco presenta una tendencia hacia una menor disponibilidad de agua de 2.365 millones de m³ cada año, casi el 41.24% del agua concesionada para uso público urbano (5.728 millones de m³ al año)

Con la sequía severa de este año 2016, el Municipio de Tonalá perforó cinco pozos profundos para abastecer a la población de la cabecera municipal. Ante el decreto estatal de emergencia por sequía y ante la escasez de agua emitido por Gobierno del Estado de Chiapas, la CONAGUA repartió agua en pipas a la población.

La población de Tonalá se abastece y se ha abastecido de agua del río Zanatenco. Ante la reducción del cauce del río por el azolvamiento del río y el abatimiento de la disponibilidad del agua en el mismo, se ha tenido que subir la toma de agua cada vez más. Lo anterior es particularmente agudo en el presente año debido a las condiciones de sequía en la región.

Ante la sequía del presente año 2016, el ayuntamiento de Tonalá únicamente está abriendo pozos profundos para paliar la distribución de agua.

2.2.3 Uso pecuario

Debido a la importancia económica de la ganadería en la región, el 100% de las aguas subterráneas concesionadas en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto hasta 2012 se utilizan para abrevadero de ganado con un volumen concesionado anual de 65,319.27 m³ (Cuadros 29).

El uso pecuario representa un 1.13% de los volúmenes de agua concesionados en las cuencas de estudio. De esta agua, un 2.72% proviene del agua superficial y un 97.28% del acuífero. Entonces el agua para abrevadero en las cuencas de estudio proviene principalmente de pozos (Cuadros 28 y 29).

Debido a que en la zona el agua de pozo profundo en general es de mejor calidad que la del río, el ganado bebe agua de mejor calidad que la población humana.

2.3 Conclusiones

En las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto, el volumen medio anual estimado de escurrimiento superficial total es de 338.78418 millones de m³; de los cuales, corresponden a cada una de las cuencas el 37.38%, 35.51% y, 27.11% respectivamente.

el volumen total de aguas subterráneas únicamente se usa para abrevadero de ganado (uso pecuario). El 49.42% en la cuenca del Riíto, un 35.22% en la cuenca del río Tiltepec y, un 15.36% en la cuenca del río Zanatenco.

Al 2012, se tenía registrado en el REPDA un volumen anual total concesionado (superficial y subterráneo) para diferentes usos de 5.950652 millones de m³; de los cuales el 98.9% provienen de aguas superficiales y el 1.1% de aguas subterráneas.

Se dispone de un volumen de aguas superficiales promedio anuales de 338.78418 millones de m³ (oferta) y se tienen concesionados 5.885373 millones de m³ (demanda), entonces se tiene en promedio anual disponibilidad de agua superficial en la cuenca. Sin embargo, es la diferenciada distribución entre las temporadas de estiaje y lluvias a lo largo del año, provoca déficit de agua, particularmente en la

temporada de estiaje donde el volumen de agua disponible se abate significativamente e incluso es nulo cuando se secan los ríos Tiltepec, Zanatenco y Riíto según se muestra en el capítulo de sequía de este estudio.

En el acuífero de las cuencas de estudio, se tiene una disponibilidad (oferta) de agua de 6.436818 millones de m³ y un volumen anual de extracción de agua subterránea (demanda) de 0.065319 millones de m³ por lo que esta parte del acuífero Arriaga-Pijijiapan en el área de influencia de las cuencas de estudio se clasifica con disponibilidad de agua.

Según el análisis del REPDA realizado, el uso agrícola únicamente se encuentra concentrado en la cuenca del Riíto con un volumen anual concesionado de 88,562 m³ que representa el 92.5% de las aguas superficiales concesionadas en la cuenca y el 1.5% de las aguas superficiales concesionadas en las tres cuencas de estudio.

Debido a la importancia de la ganadería en la región, el 100% de las aguas subterráneas concesionadas en las cuencas de los ríos Tiltepec, Zanatenco y, Riíto hasta 2012 se utilizan para abrevadero de ganado con un volumen concesionado anual de 65,319.27 m³

En la cuenca del río Zanatenco, se tiene concesionado un volumen anual de 5.728578 millones de m³, para uso público urbano de la Ciudad de Tonalá, mismo que representa el 97.34% del agua superficial concesionada de la cuenca. Sin embargo ante la marcada estacionalidad del río Zanatenco entre la temporada de lluvias y el estiaje, así como la tendencia decreciente en la disponibilidad de agua de 2.365 millones de m³ cada año (Figura 24), según se mostró en el capítulo de tendencias de este estudio y los periodos de sequía cada vez más recurrentes e intensos asociados a la variabilidad climática de la región.

LITERATURA CITADA

- Arellano Monterrosas, José Luis. 2013. Estimación de la erosión hídrica y la disponibilidad del agua en la cuenca del río Tiltepec, Chiapas. En: Memorias del XVII Congreso Nacional del Irrigación. ANEI. Puerto Vallarta, Jalisco. 2 al 6 de septiembre de 2013.
- Arellano Monterrosas, José Luis. 2012. Vulnerabilidad y Gestión de Riesgos por Deslizamientos e Inundaciones en la Cuenca Superior del río Huehuetán, Chiapas. Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos. 447 páginas.
- Arellano, Monterrosas José Luis. 2010. Gestión Integral de Recursos Hídricos para reducir la Vulnerabilidad a Deslizamientos e Inundaciones en las Cuencas de la Sierra Madre de Chiapas. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. Vol. 2 Núm 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Pp. 29-37.
- Arellano-Monterrosas, J. L. 2005. Apropiación territorial, Degradación Ambiental y Gestión Integral de Recursos Hídricos en la Cuenca Superior del río Custepec, Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional. Universidad Autónoma Chapingo. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 359 pp.
- Arellano, Monterrosas José Luis 1994. La Degradación del Suelo por Erosión Hídrica en Chiapas: Evaluación y Principios Tecnológicos para su Control. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo, México. 359 pp., 89 Tablas. 49 Figuras.
- Balvanera, Patricia. 2012. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* 21(1-2): 136-147.
- Balvanera, Patricia y Cotler, Helena. 2007. Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gaceta Ecológica* Número Especial. 84-85. Instituto Nacional de Ecología. México. Pp. 117-123.
- Baumann, Jürgen. 2000. Plan de conservación de suelos y agua para la costa de Chiapas. Comisión Nacional del Agua y Centro para Migración y Desarrollo Internacional. México D.F. 148 pp.
- Baumann J. and Arellano-Monterrosas J. L. 2003. Measuring rainfall erosivity characteristics and annual R-factors adjustment of the USLE in tropical climate. Pp 67-74. En: D. Gabriel and W. Cornelis (editores). 25 years of assessment of erosion-proceedings. Ghent, Belgium.
- Cano, César, Andreoli, Andrea, Arumi, José Luis y, Rivera, Diego. 2014. Uso de imágenes de satélite para evaluar los efectos de cambio de cobertura de

- suelo en la escorrentía directa de una cuenca andina. Tecnología y Ciencias del Agua. Vol. V. Núm. 4. Pp. 145-151.
- Castro, Mendoza Itzel. 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Vol. 34. Núm. 2.
- CONAFOR. 2014. Inventario estatal forestal y de suelos. Chiapas. SEMARNAT. CONAFOR. México. D. F. 204 pp.
- CONAGUA. 2010. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS). Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR). México, D. F.
- CONAGUA, UNICACH, Instituto Estatal del Agua y Ayuntamiento de Tonalá. 2012. Plan de Gestión Integral de la cuenca del río Tiltepec, Chiapas. Tonalá, Chiapas. 147 pp.
- CONAGUA, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C., The Nature Conservancy, INESA. 2010a. Aplicación de la Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas en la cuenca del río Lagartero, Chiapas. Informe Final.
- CONAGUA, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C., The Nature Conservancy, INESA. 2010b. Aplicación de la Tarjeta de Evaluación de Cuencas Hidrográficas en la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. Informe Final.
- CONAGUA, INESA y Ayuntamiento de Tonalá. 2009. Plan de Gestión Integral de la cuenca del río Zanatenco, Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 63 pp.
- CONANP. 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biósfera La Sepultura, México. SEMARNAP. CONANP. México, D. F. 247 pp.
- Conservación Internacional. 2013. Evaluación del huracán Bárbara en la Reserva de la Biósfera de la Sepultura. Informe final. Conservación Internacional. INIFAP. Proyecto ECOSECHAS. 12 Pp.
- Conservación Internacional. 2012. Lecciones aprendidas sobre el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos de 1998 y 2005 y su relación con el cambio de uso de suelo. Informe final. Conservación Internacional. Universidad Autónoma de Chiapas. Proyecto ECOSECHAS. 122 Pp.
- Contreras, Francisco; Castañeda, Ofelia; García, Nagaya Arnoldo y; Ángel, Pérez Miguel. 1994. Las lagunas costeras. En: Toledo, Alejandro (Coordinador). Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo, A. C. México, D. F. Pp. 129-181.

- Cruz, Rodríguez Martín. 2003. Plan Rector de Producción y Conservación de las microcuencas La Mica y Poza Galana en la Subcuenca del río Lagartero del Municipio de Arriaga, Chiapas. En: En: Arellano, Monterrosas José Luis y López, Martínez Jaime. (Coordinadores). Memorias del 3er Seminario sobre Manejo y Conservación del Suelo y Agua en Chiapas. Manejo Integral de Cuencas. Consejo Ciudadano del Agua en Chiapas, A. C.; SEMARNAT; INIFAP; The Nature Conservancy. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas. pp. 135-140.
- De la Fuente, Juan; Lisle, Thomas y McKean, James. 2010. Deslizamientos de Tierra, Erosión de Canales y Sedimentación en la Vertiente del Pacífico de la Sierra Madre de Chiapas, México, durante el Huracán Stan en 2005: Reseña de Campo con Recomendaciones. Informe Final. Servicio Forestal de los Estados Unidos. The Nature Conservancy. (TNC). 49 Pp.
- Díaz, Nigenda J. J.; Aguilar, López J. L. y, Lara, Guerrero F. 2000. Las extracciones de agua para riego en el acuífero Soconusco: ¿Un problema futuro? En: Memorias del X Congreso Nacional de Irrigación. ANEI, A. C. Chihuahua, Chihuahua.
- Escalante, Sandoval Carlos. 2006. Análisis del patrón de lluvias en la Costa de Chiapas. Quehacer científico en Chiapas. UNACH. Vol. 1. Núm. 1. Pp. 39-64.
- Espinoza, Tenorio Alejandro y Barba Macías Everardo. 2013. Las lagunas costeras tropicales ante el cambio climático. Ecofronteras. Número 49. Pp. 10-13.
- Gellida, Esquinca Carlos; Montesinos, Núñez Silvia; Díaz, Galdámez Ignacio y; Reyes, Díaz José. 2012. Delimitación oficial, determinación de cauces y usos del suelo en la cuenca del río Tiltepec. Informe final. Proyecto de investigación. UNICACH. Campus del Mar. Tonalá, Chiapas. 28 pp.
- Gobierno del estado de Chiapas, SEMARNAT, Embajada Británica, INE, UNICACH, ECOSUR, CP, CEMDA, MDGIF, CI. 2011. Programa de Acción ante el Cambio Climático del estado de Chiapas. SMAHN. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 137 pp.
- Imbach, Alejandro. 2014. Análisis comparativo de escenarios hidrológicos y de sedimentación de tres cuencas de la Sierra Madre de Chiapas- Pijijiapan, Coapa y Cuxtepec. Aplicación del modelo SWAT para escenarios. CATIE. TNC. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de Alemania. Turrialba, Costa Rica. 96 pp.
- Imbach, Alejandro y Steinvorth, Rojas Karine. 2015. Valoración de alternativas de adaptación al cambio climático en la cuenca baja del río Coapa, Chiapas, México. CATIE. TNC. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de

la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de Alemania. Turrialba, Costa Rica. 60 pp.

INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Serie V. Aguascalientes, Ags. 195 pp.

Juárez, Méndez Juan; Ibáñez, Castillo Laura; Pérez, Nieto Samuel y Arellano, Monterrosas José Luis. 2010. Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río Huehuetán. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. Vol. 1. Núm. 2. Julio-diciembre. Pp. 69-76.

Lucero, Ramón; Medina, Josefina y; Cervantes, Yolanda. 1994. Los usos del suelo. En: Toledo, Alejandro (Coordinador). Riqueza y pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo, A. C. México, D. F. Pp. 211-313.

Magaña, Rueda Víctor O. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. En: Martínez, Julia y Fernández, Bremauntz Adrián (compiladores), Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT. INE. México, D. F. pp. 19-27.

Magaña, Víctor; Matías, Méndez Juan; Morales, Rubén y Millán, Cecilia. 2004. Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. En: Martínez, Julia y Fernández, Bremauntz Adrián (compiladores), Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT. INE. México, D. F. pp. 203-213.

Metzger, M. J.; Rounsecell, M. D. A.; Acosta-Michlink, L.; Leemans, R.; Schroter, D. 2005. The vulnerability of ecosystem services to land change. Agriculture, Ecosystems and Environment. 114. Pp. 69-85.

Montes León M.A., Uribe Alcántara E. M, García Celis E. 2011. Mapa Nacional de Erosión Potencial. Tecnología y Ciencias del Agua. Vol. 2 Núm. 1. 5-17 pp.

Pérez-Nieto S., Arellano-Monterrosas J. L, Ibáñez-Castillo L. A. y; Hernández-Saucedo F. R. 2012. Estimación de la erosión hídrica provocada por el huracán Stan en las cuencas costeras de Chiapas, México. Terra Latinoamericana. Vol. 30 Núm. 2. 104-110 pp.

Rivera-Toral, F., Pérez-Nieto S., Ibáñez-Castillo L.A y; Hernández-Saucedo F. R. 2012. Aplicabilidad del modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. Agrociencia No. 46. Pp. 101-105.

SEMARNAT. 2012. México. Quinta comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. INECC. México, D. F. 399 pp.

- SEMARNAT. 2007. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de la Laguna Mar Muerto A, Tapanatepec, Laguna Mar Muerto B, Las Arenas, La Punta, Laguna Mar Muerto C, Sanatenco, Laguna La joya, Jesús, El Porvenir, San Diego, Pijijiapan, Margaritas y Coapa, Novillero Alto, Sesecapa, Cacaluta, Laguna del Viejo y Tembladeras, Despoblado, Huixtla, Huehuetán, Coatán, Puerto Madero, Cahuacán, Cozoloapan y Suchiate, mismos que forman parte de la región hidrológica número 23 Costa de Chiapas. CONAGUA. Diario Oficial de la Federación. 11 de junio de 2007.
- SEMARNAT, CONAFOR e IMTA. 2004. Formulación del programa regional hidrológico forestal para la región XI Frontera Sur. Memoria técnica. Informe final. Contrato CONACYT/CONAFOR-IMTA Núm. CONAFOR-2003-C02-10508. Jiutepec, Morelos. 361 pp.
- Tiscareño, L. M.; Rosenberg, N. J.; Legler, D. M.; Ruíz, C. A.; Shrnvasan, R.; Brown, R. A.; García, M. G.; Velázquez, V. M. y; Izurralde, C. 1991. Algunos efectos del fenómeno El Niño en la agricultura mexicana. Ciencia y Desarrollo. Vol. XXV. Número 139. Pp. 3-12.
- Torres, Cedillo L.; Tavares, C. y Cortés, J. 2002. Evaluación de la pérdida de suelo en la Cuenca del río Zanatenco, Municipio de Tonalá, Chiapas. En: Memorias del III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa, Perú. 10 pp.
- Tovilla, Hernández Cristian. 2005. Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la Costa de Chiapas. Ecofronteras. No. 25. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Pp. 6-8.
- Trujillo, Herrera Silvestre. 1998. Experiencias en el control de la erosión en la cuenca del río Zanatenco, costa de Chiapas. En: Memorias del Seminario sobre manejo de suelos tropicales en Chiapas. Cuadernos de Divulgación. 2º Seminario. El Colegio de la Frontera Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Pp. 161-166.
- Vandermeer, John; Granzow de la Cerda, Iñigo; Boucher, Douglas; Perfecto, Ivette y; Ruiz, Javier. 2000. Hurricane disturbance and tropical tree species diversity. Science. Vol. 290. Pp. 788-790.

CARTOGRAFÍA DIGITAL CONSULTADA.

INE, INEGI. 1997. Uso del suelo y vegetación (INEGI-INE), serie I. Escala 1:250000. Instituto Nacional de Ecología - Dirección de Ordenamiento Ecológico General e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Digitalización de las cartas de uso del suelo y vegetación elaboradas por INEGI entre los años 1980-1991 con base en fotografías aéreas de 1968-1986. México, D. F.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250kcs1agw

INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie II (continuo nacional). Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks2gw

INEGI. 2005. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional). Dirección General de Geografía. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks3gw

INEGI. 2009. Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250ks4gw

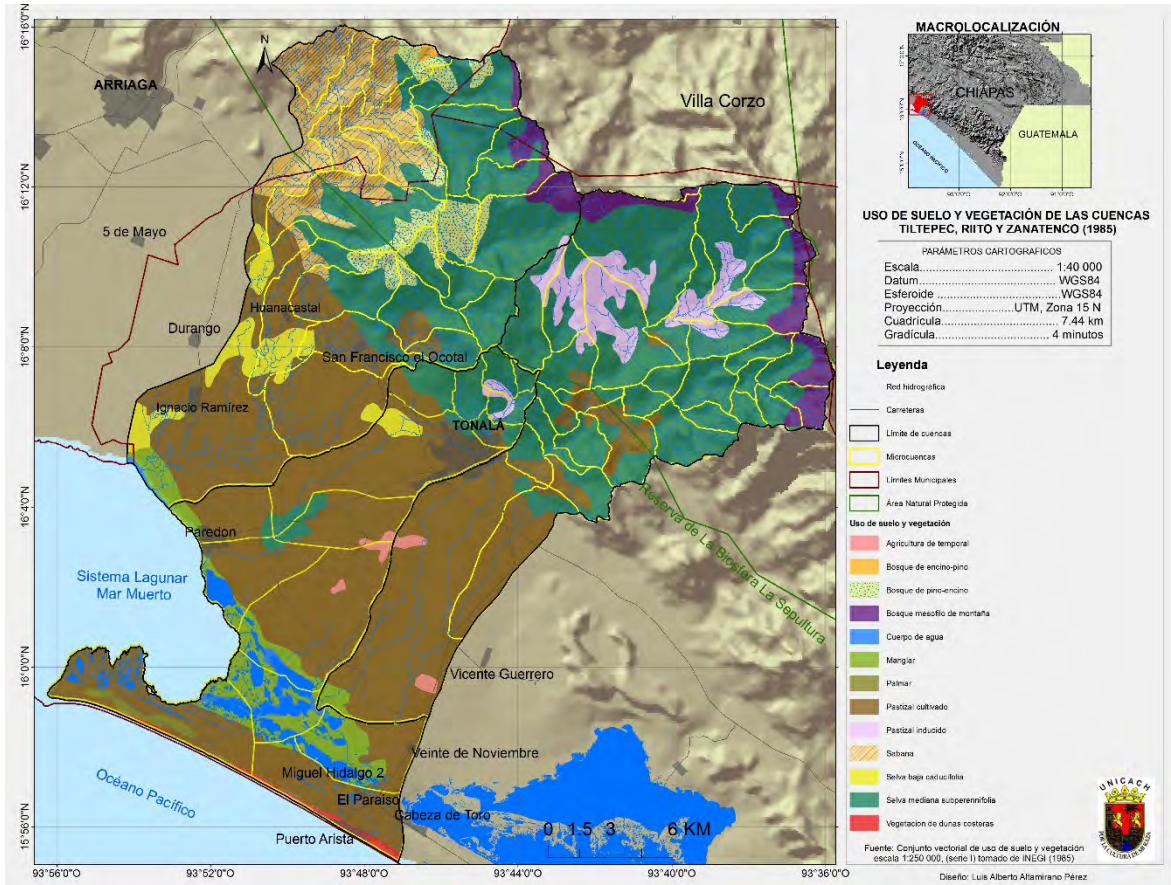
INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, serie V (capa Unión), escala 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s5ugw.

ANEXOS CARTOGRÁFICOS

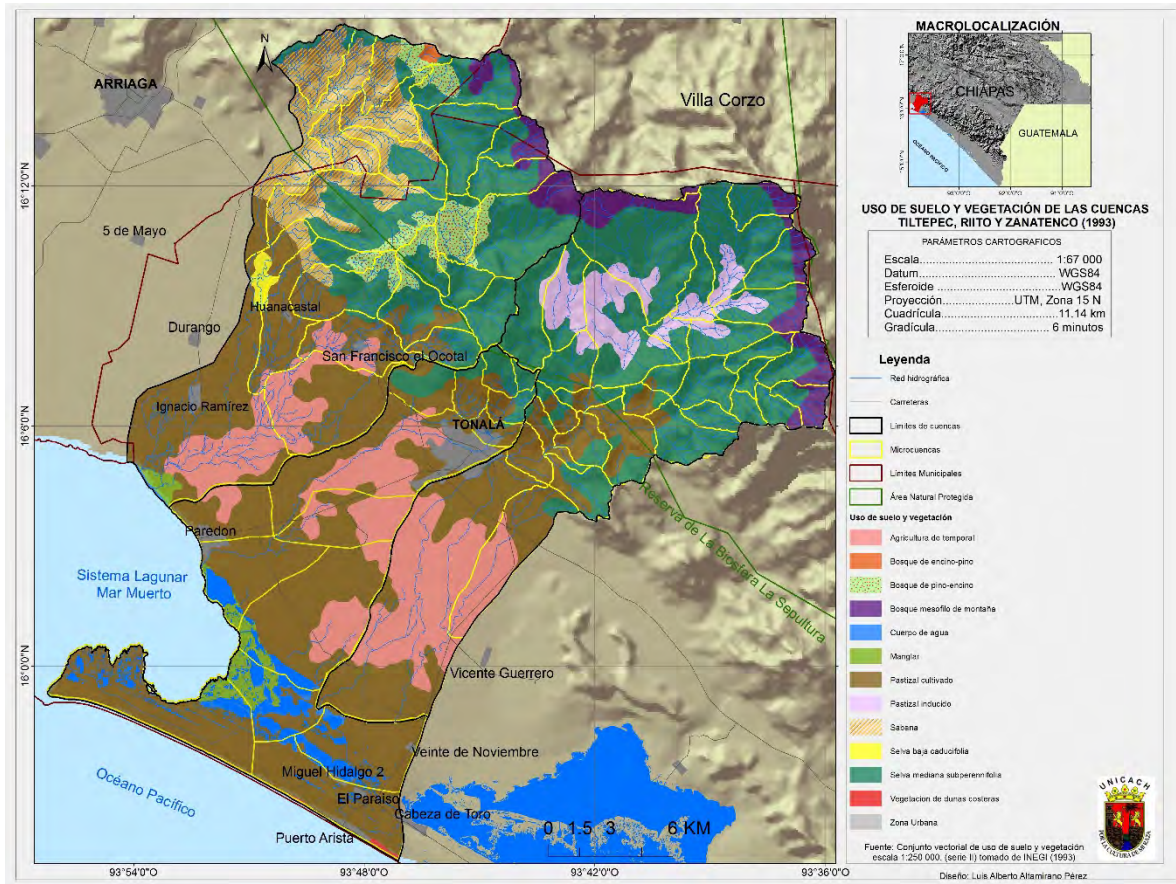
Número de Anexo	Nombre del Plano
1	Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, año 1985
2	Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, año 1993
3	Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, año 2002
4	Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, año 2007
5	Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, año 2011
6	Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, periodo 1985-1993
7	Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, periodo 1993-2002
8	Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, periodo 2002-2007
9	Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y, Riíto, periodo 2007-2011

Anexo 1. Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto, año 1985



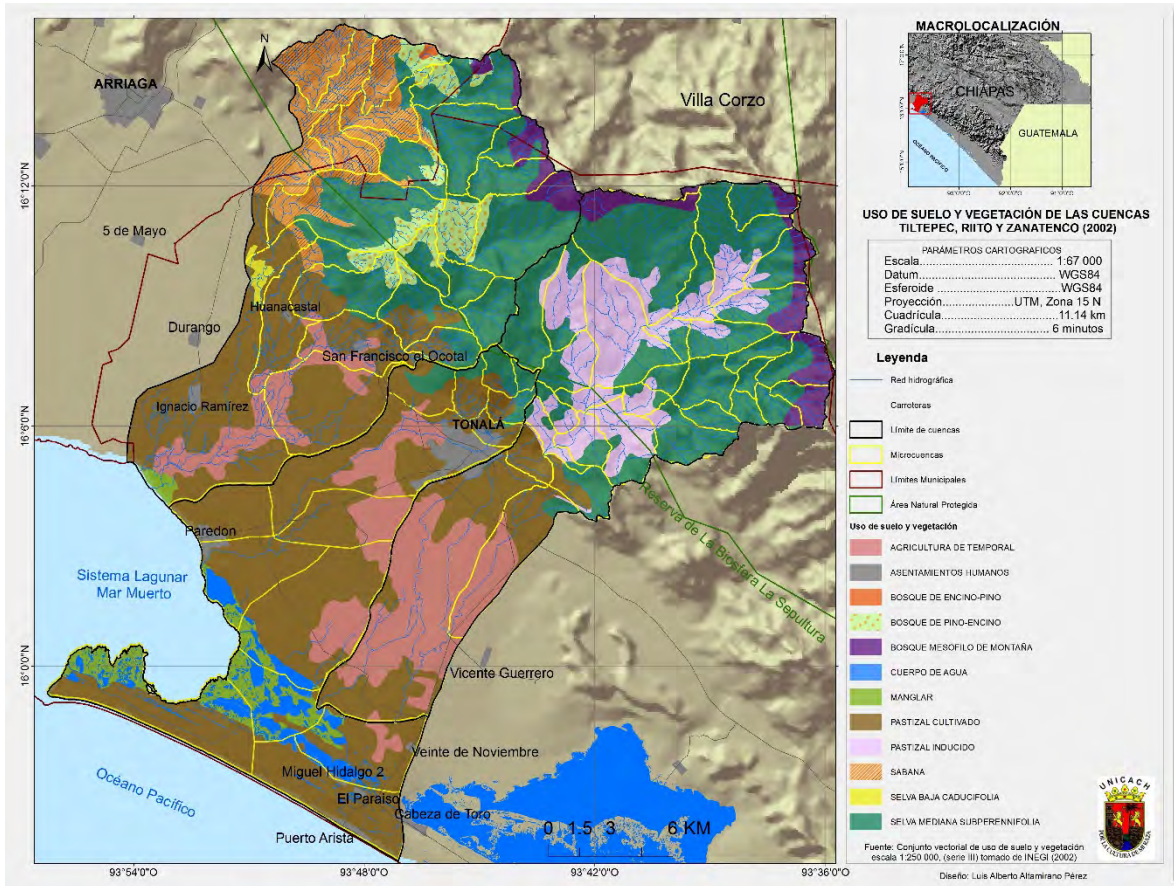
Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, año 1993



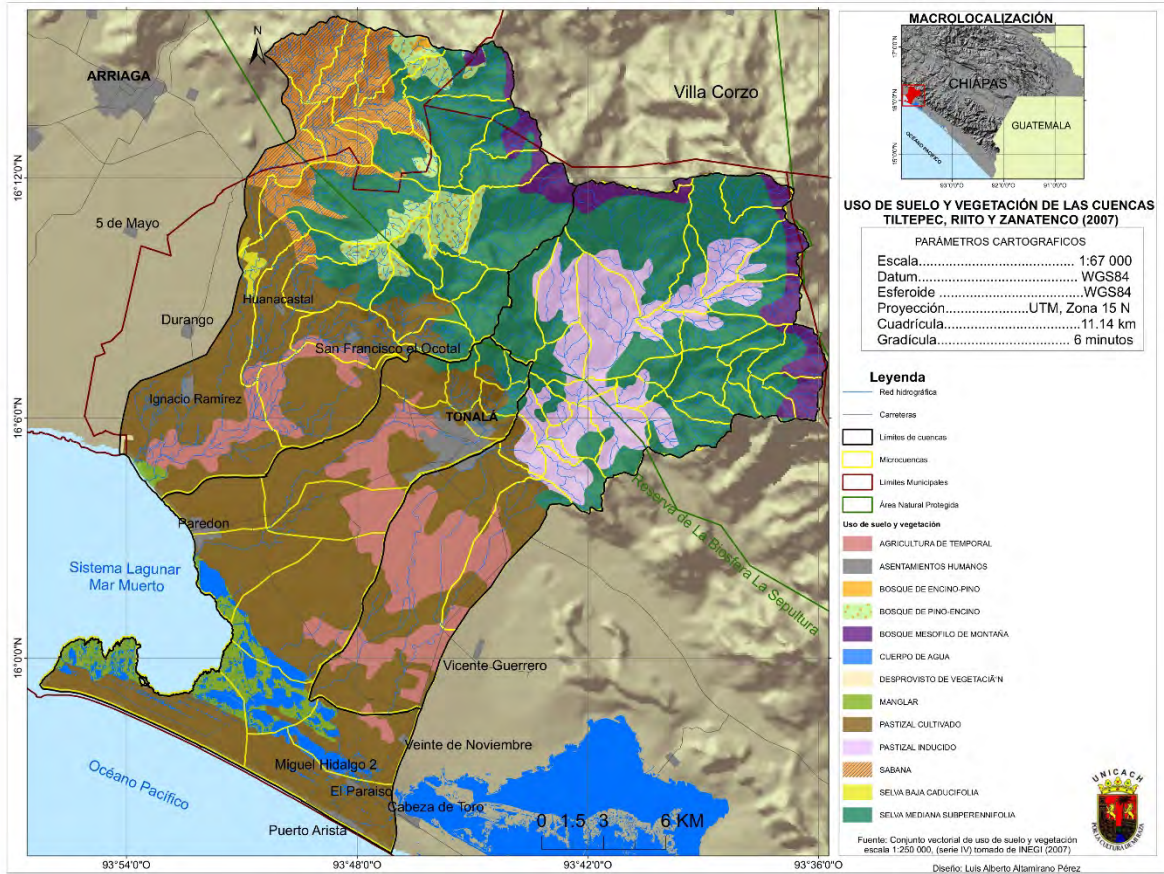
Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, año 2002



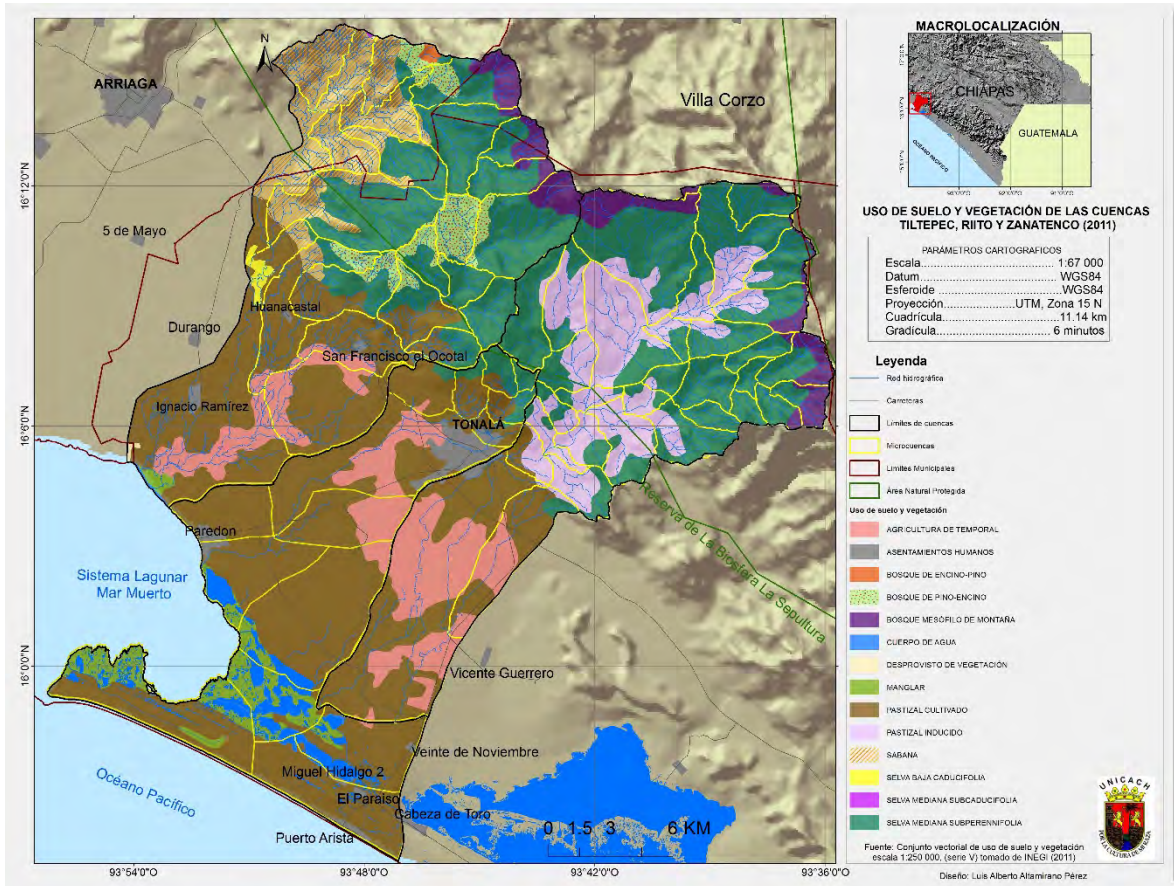
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, año 2007



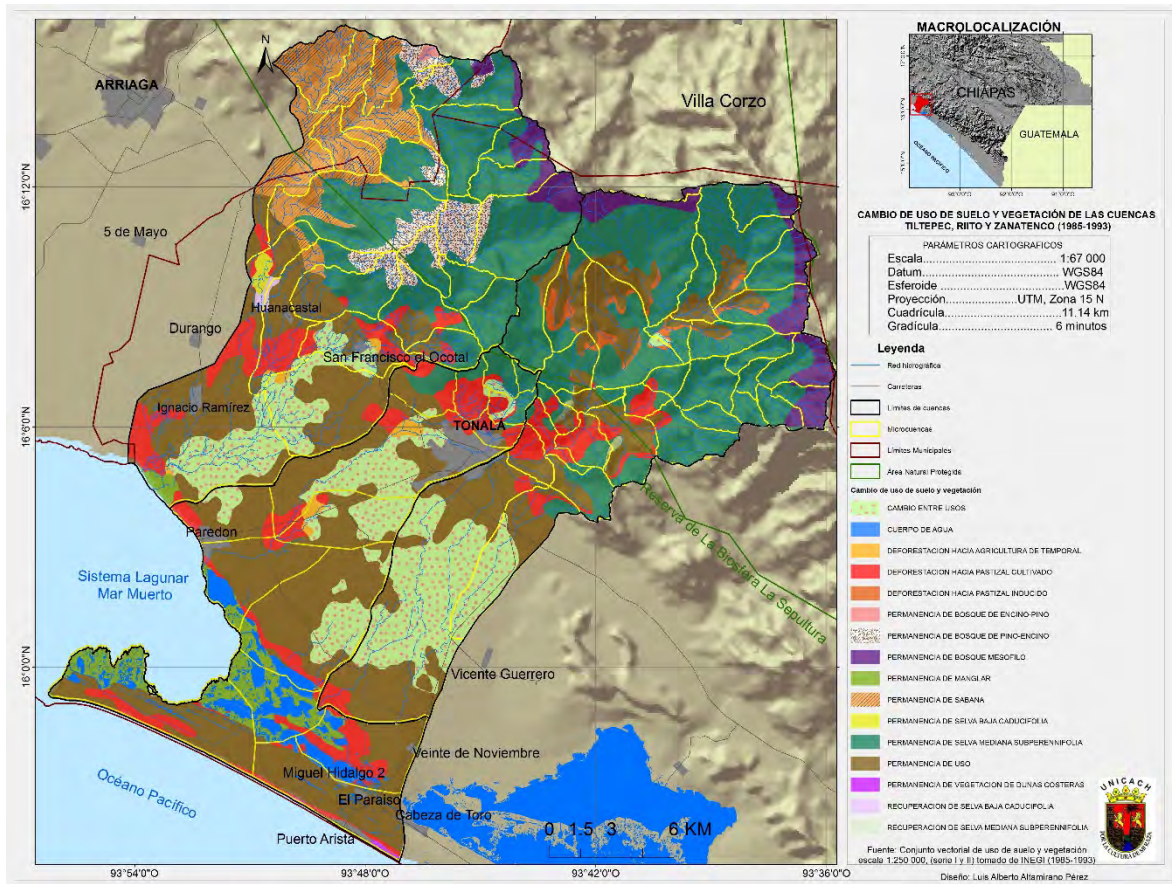
Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Uso del suelo y vegetación para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riíto, año 2011



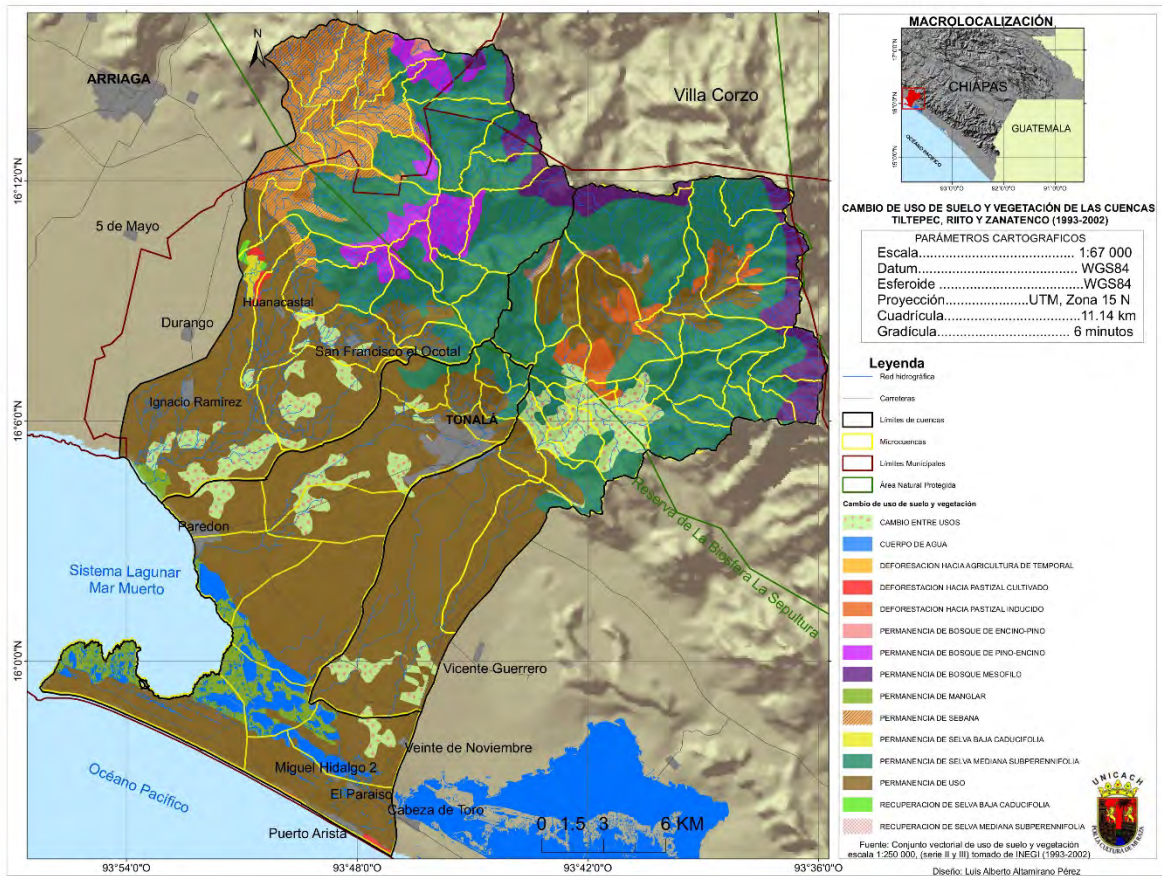
Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, periodo 1985-1993



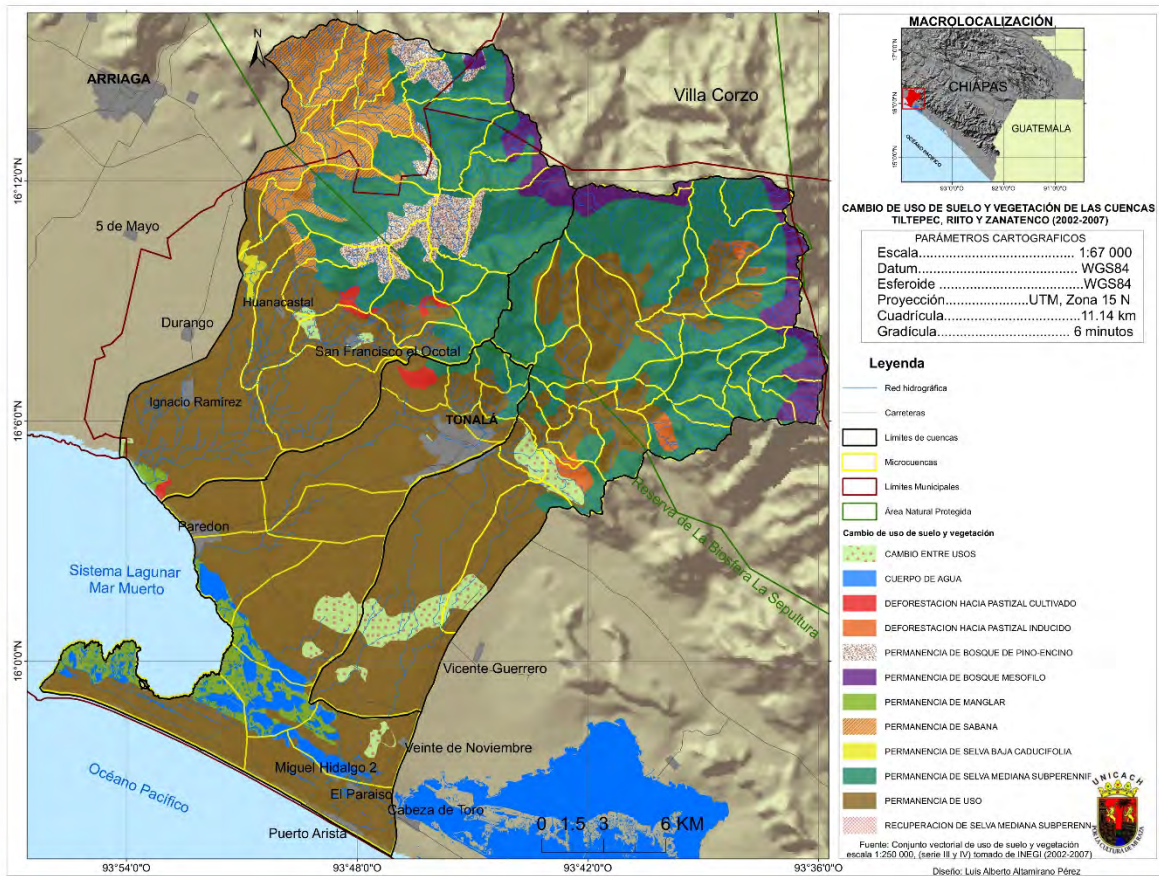
Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, periodo 1993-2002



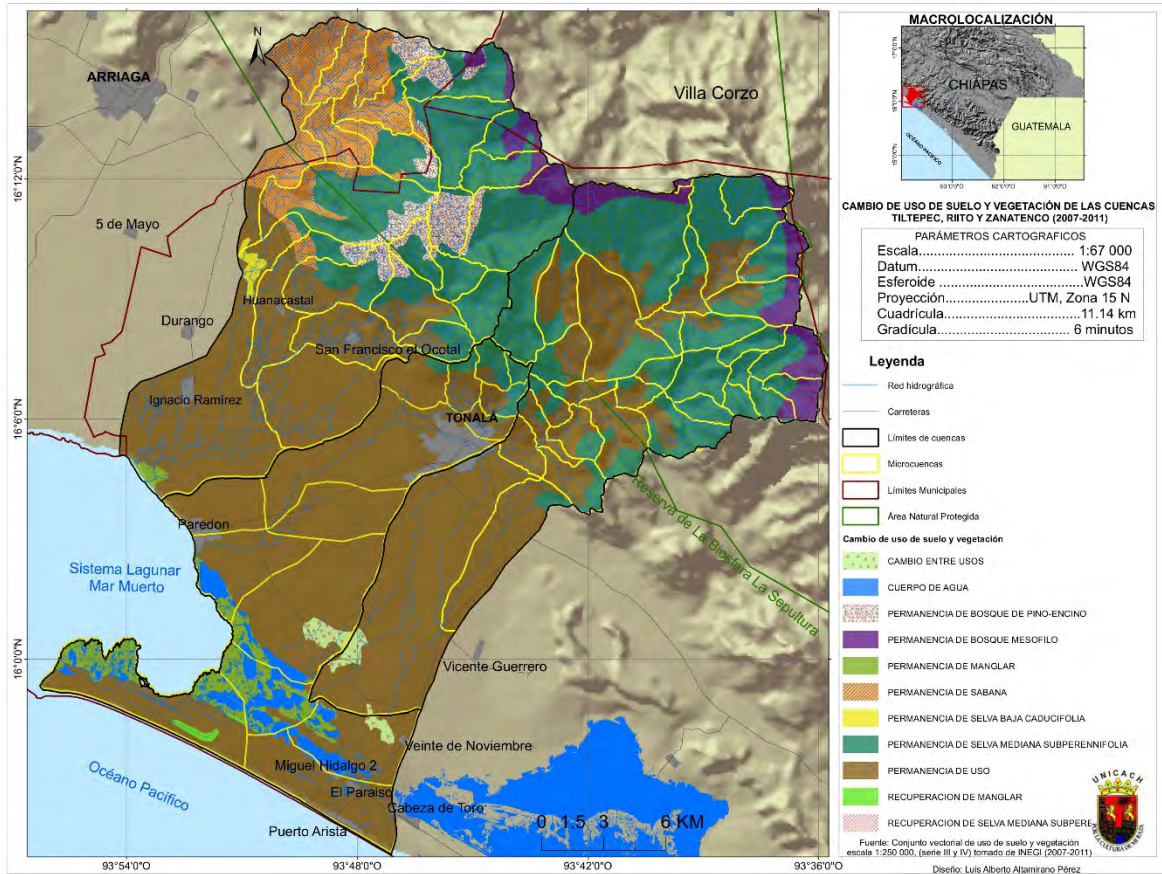
Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, periodo 2002-2007



Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Cambios de uso del suelo para las cuencas de los ríos Zanatenco, Tiltepec y Riito, periodo 2007-2011



Fuente: Elaboración propia