

PLAN DE ACCIÓN DE MANEJO INTEGRAL (PAMIC)

CUENCA DEL RÍO ANTIGUA

PAMIC 1ª. Edición, enero 2017.



Índice de contenidos

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Presentación	6
1.1.1. ¿Qué es una cuenca hidrográfica?	8
Figura 2.-Representación de una cuenca hidrográfica exorreica.	8
1.1.2. ¿Qué es el enfoque de cuenca?	9
1.1.3. ¿Qué es el Manejo Integral de Cuencas?	9
1.1.4. ¿Qué es un PAMIC y para qué sirve?	11
1.1.5. ¿A quién va dirigido?	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. General	11
1.2.2. Particulares	11
1.3. Síntesis metodológica	12
1.4. Glosario	13
Capítulo 2 Descripción general	15
2.1. Localización	16
2.2. Asignación de municipios	19
2.3. Caracterización biofísica de la cuenca	21
2.3.1. Relieve y rasgos geomorfológicos	21
2.3.1.1. Parámetros geomorfométricos	21
2.3.1.2. Zonificación altitudinal	23
2.3.1.3. Geoformas	25
2.3.2. Clima actual y proyecciones de cambio climático	29
2.3.3. Hidrografía	34
2.3.4. Suelos	39
2.3.5. Vegetación natural actual y con proyecciones de cambio climático	41
2.3.6. Uso de Suelo	49
2.3.7. Cambio de Uso de Suelo y Cobertura del Suelo	51
2.4. Caracterización poblacional de la Cuenca	56
2.4.1. Caracterización de la población	56
2.4.2. Localidades y dispersión de población rural	60
2.4.3. Densidad de población	65
2.5. Caracterización económica	68
2.5.1. Superficie ejidal	68
2.6. Inversiones y subsidios	73
2.7. Vinculación con instrumentos de gestión	76

Capítulo 3.- Relación Oferta-Demanda de Servicios Ambientales Hidrológicos.

.....	78
3.1. Zonificación de la demanda de agua superficial en la cuenca.	79
3.1.1.Demanda para uso agropecuario	82
3.1.2. Demanda para uso público y de servicios	83
3.1.3.Demanda de agua superficial para uso no consuntivo	84
3.2. Zonificación de la oferta o provisión de servicios ambientales hidrológicos	84
3.2.1.Zonas potenciales proveedoras de agua superficial	84
3.2.2. Zonas potenciales de susceptibilidad a la erosión del suelo	87
3.2.3. Zonas potenciales de provisión de servicios ambientales hidrológicos	88
3.3. Priorización territorial para la focalización de intervención en la cuenca	90
3.3.1. Priorización territorial para actividades de conservación	90
3.3.2. Priorización territorial para actividades de restauración	91
3.3.3. Priorización territorial para la adecuación de prácticas productivas	93
Capítulo 4.- Acciones para la conservación de SAH	95
4.1. Propuesta de acciones prioritarias para el manejo de la cuenca	96
4.2. Focalizando las acciones principales	99
4.3. Factibilidad social y técnica de las acciones priorizadas	101
4.3.1. Restauración y conservación de áreas riparias.....	101
4.3.2. Conservación de cafetales agroecológicos	103
4.3.3 Milpa diversificada y conservación de suelos	105

Listado de tablas

Tabla 1. Localización	16
Tabla 2 Asignación de municipios	19
Tabla 3 Zonificación altitudinal	23
Tabla 4 Geomorfología simplificada vinculada con uso de suelo y cobertura de vegetación	27
Tabla 5 Variables climáticas y tipos de climas	30
Tabla 6 Estaciones climatológicas	31
Tabla 7 Parámetros hidrográficos	34
Tabla 8 Configuración de subcuencas emisoras y receptoras de agua superficial	37
Tabla 9 Suelos	39
Tabla 10 Vegetación Natural	41
Tabla 11 Cambio de la vegetación natural actual vs tres proyecciones de cambio climático	48
Tabla 12 Uso de suelo	49
Tabla 13 Cambio de Uso de suelo 2002 – 2011*	51
Tabla 14 Indicadores censales de población con valores absolutos (2010) en la Cuenca y principales subcuencas	56
Tabla 15 Indicadores relativos para caracterizar la población en la cuenca y principales 10 subcuencas	57
Tabla 16 Localidades y dispersión rural en la Cuenca.....	60
Tabla 17. Población rural, población urbana e índice de dispersión rural por subcuenca 2010	62
Tabla 18. Densidad de población.....	66
Tabla 19 Superficie ejidal	68
Tabla 20. Unidades económicas del sector primario	69
Tabla 21. Unidades económicas del sector secundario	70
Tabla 22. Unidades económicas del sector terciario	70
Tabla 23. Inversiones y subsidios	73
Tabla 24. Vinculación con instrumentos de gestión	76
Tabla 25.- Volumen por uso de agua superficial concesionado en la cuenca.....	79
Tabla 26.- Agrupación de los volúmenes y usos del REPDA, para los fines metodológicos del PAMIC	80
Tabla 27. Síntesis de actividades identificadas en el taller con actores clave	96
Tabla 28. Las once actividades con los 10 valores más altos de priorización	100



Capítulo 1.

Introducción

El propósito de éste capítulo es ofrecer al lector elementos (científicos, técnicos, metodológicos, estructurales y de organización) que le permitan apropiarse de este documento, conocer su utilidad práctica y comprender su importancia como instrumento de gestión del territorio. El lector encontrará respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué es una cuenca?, ¿Qué es el enfoque de cuenca?, ¿Qué es el Manejo Integral de Cuencas?, ¿Qué es y para qué sirve un Plan de Manejo Integral de Cuenca (PAMIC)?, ¿A quién va dirigido?, ¿Cuáles son los objetivos de un PAMIC y qué metodología utiliza? Adicionalmente, este capítulo agrega un glosario donde son definidos algunos conceptos ambientales que resultan básicos para la comprensión de todo el documento.

© Jordi Vera

1.1 Presentación

La cuenca del río la Antigua, en la región centro del estado de Veracruz conecta dos áreas naturales protegidas de gran importancia ecológica y humana, el Cofre de Perote y la zona de amortiguamiento norte del Sistema Arrecifal Veracruzano. Esta cuenca abastece de agua a ciudades importantes que están parcialmente en su territorio: Xalapa, Coatepec, Jalcomulco o Cardel así como a más de setecientas localidades rurales. En la cuenca habitan más de trescientas veinte mil personas.

Las actividades humanas como la agricultura de temporal (principalmente caña de azúcar, maíz y cafeticultura de sombra en transición a una de sol), la ganadería vacuna extensiva o el desarrollo urbano han transformado fuertemente la cuenca. Actualmente de la vegetación natural sólo queda el 28%, principalmente representada por bosques mesófilos de montaña primarios y secundarios, bosques primarios de pino y pino-encino y selva baja secundaria.

La gestión sustentable de las cuencas hidrográficas representa un gran reto territorial para atender problemas hídricos, ecológicos, económicos y sociales, esto ha impulsado que el Manejo Integral de Cuencas adquiriera relevancia en los últimos años en el contexto ambiental mundial, principalmente para enfrentar de manera conjunta el grave deterioro de los recursos naturales, así como los efectos del cambio climático. El Manejo Integral de Cuencas (MIC) representa una vía idónea para el desarrollo sustentable, ya que permite la disminución de la vulnerabilidad ante amenazas para el medio ambiente, la sociedad y sus actividades. Con este propósito, la estrategia adoptada en el Plan de Acción de Manejo Integral de la Cuenca del río La Antigua, consiste en simplificar la formulación del Manejo Integral de la cuenca a partir de la provisión de servicios ambientales hidrológicos, la conservación de los elementos clave del territorio, la funcionalidad territorial y la focalización de acciones, la cuales resultan del análisis geográfico multi-escalar, en particular en la relación entre oferta y demanda de servicios ambientales, así como en el estado del capital natural y el efecto acumulativo en la cuenca.

La funcionalidad de la cuenca se determina en términos de provisión de dos servicios ambientales: agua superficial y retención de sedimentos. Esta estrategia en el ámbito geográfico parte de lo general a lo particular, en forma multiescalar y por etapas (figura 1).

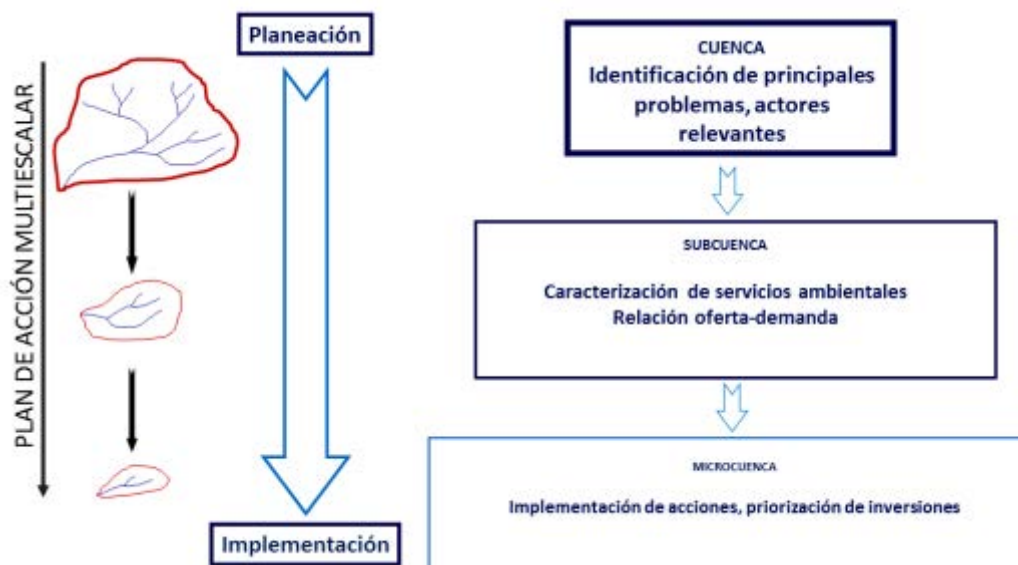


Figura 1.- Enfoque multiescalar aplicado

El primer nivel jerárquico espacial es el de toda la cuenca, está orientado a la planeación funcional y tiene como propósito identificar las áreas que resultan prioritarias por los servicios ambientales que brindan y cuyas externalidades impactan más el funcionamiento hidrológico y ecológico de la cuenca, de igual forma en este nivel se realiza el diagnóstico de los principales problemas, sus causas, consecuencias y actores críticos. El segundo nivel jerárquico espacial es la subcuenca, regionaliza el territorio según la priorización de las cuencas por su potencial aporte para satisfacer la demanda de servicios ambientales para distintos usos. El tercer nivel jerárquico espacial es a nivel de sitio de implementación, comprende identificar los sitios con mayor potencial de aporte de servicios ambientales y a los usuarios involucrados en las acciones de manejo de ese territorio en particular e identificar los intereses y capacidades locales. En este nivel se realiza el mayor trabajo sobre la implementación de las estrategias de manejo con acciones concretas, lo cual implica también su monitoreo.

Los retos de este instrumento son: superar la visión fragmentada o sectorial de intervención en el territorio, trabajar con una misma unidad de planeación y gestión (cuenca hídrica), tener una visión a largo plazo (que trascienda proyectos y períodos gubernamentales), alinear los programas de políticas públicas para optimizar inversiones, así como incorporar la información disponible vinculada al cambio climático en la planeación de la cuenca.

1.1.1.-¿Qué es una cuenca hidrográfica?

Una cuenca hidrográfica es una región geográfica natural delimitada por la altitud del relieve, en particular por las zonas más altas que constituyen montañas, colinas y lomeríos, rasgos que sirven para definir las divisorias de aguas. Al interior de esta región natural se desarrolla un sistema fluvial o de drenaje superficial integrado por arroyos o ríos que confluyen y concentran sus aguas en un río principal, este río puede desembocar en un punto de salida común, el cual puede ser el mar, en el caso de una cuenca exorreica (figura 2); o un lago, en el caso de una cuenca endorreica; también puede ser en el territorio mismo de la cuenca por infiltración, es el en el caso las arreicas.



Figura 2.-Representación de una cuenca hidrográfica exorreica.

Una cuenca hidrográfica se constituye como "unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales" (FAO, 1992). De acuerdo con la SEMARNAT (2013) "en estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes)".

En México existen 1471 cuencas, exorreicas, endorreicas y arreicas, (INEGI, INE y CONAGUA, 2007). En particular su superficie resulta crítica porque tiene implicaciones en el tipo de gestión de la cuenca, por ejemplo, mientras que existen 807 cuencas menores a 50 km², por otra parte hay 16 cuencas con tamaños mayores a 20,000 km². Este panorama evidencia "la desigual distribución espacial de las cuencas en el país, lo que repercute en la complejidad que adquiere el manejo de cuencas en México" (Cotler y Caire, 2009).

1.1.2. ¿Qué es el enfoque de cuenca?

El enfoque de cuenca busca demostrar que la restauración y el manejo sustentable del ciclo hidrológico es responsabilidad de todos: desde las zonas de recarga de agua en las tierras altas, pasando por su zona intermedia donde frecuentemente tienen lugar las producciones agrícolas y ganaderas, hasta las más bajas altitudes donde se encuentra localizada la mayoría de los centros urbanos. Generar conciencia de estas inter-conexiones es un reto fundamental.

La parte sustancial del enfoque de cuenca es dirigir la atención en las personas, las familias y sus comunidades, es un "enfoque antropocéntrico en el cual el manejo de los recursos naturales o el ambiente, tiene que entender a las personas, ¿por qué hacemos lo que hacemos?, ¿cuáles son nuestras necesidades?, ¿qué podemos realizar para mejorar el ambiente o conservar los recursos?, son preguntas fundamentales para detonar procesos de planeación. Por lo tanto, es indispensable la capacitación: tanto organizaciones como comunidades, familias, hombres, mujeres, jóvenes, niñas y niños. Se trata de fortalecer nuestra capacidad de gestión y sobre todo de crear alternativas que brinden beneficios y bienestar (World Vision, sf).

El enfoque de cuenca es de importancia estratégica ya que representa la institucionalización participativa del manejo de recursos naturales, en particular si se considera que los límites de las cuencas muy rara vez coinciden con las fronteras políticas, y que por otra parte, las fuerzas de la naturaleza ignoran las fronteras políticas. Por ejemplo, las inundaciones, la inestabilidad de laderas, la erosión del suelo y la contaminación del agua, ocurren independientemente de los límites políticos. Por esta razón, el reto es dirigir la atención hacia una integración de estos dos puntos de vista. La planificación con multiplicidad de actores y la incorporación de instituciones de gobierno a partir del manejo de cuencas. Más aún en el contexto de cambio climático, los procesos ecológicos que derivan en el suministro de servicios ambientales se pueden ver comprometidos, aumentando la vulnerabilidad de las poblaciones que habitan en la cuenca ante eventos hidrometeorológicos como ciclones tropicales, sequías; y disminuyendo, en consecuencia, su calidad de vida.

1.1.3. ¿Qué es el Manejo Integral de Cuencas?

El Manejo Integral de Cuencas se define como el “proceso interactivo de decisiones sobre los usos y las modificaciones de los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y el desarrollo de actividades que involucren a los recursos naturales y humanos de la cuenca. De ahí que en este proceso se requiera la integración de distintos campos del conocimiento enfocados en procesos biofísicos, políticos, económicos y sociales. Asimismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planeación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto, el concepto integral implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación” (INECC, www.inecc.gob.mx).

El Manejo Integral de Cuencas (MIC) tiene como finalidad orientar y organizar el aprovechamiento de la tierra y los recursos de la cuenca con el fin de proporcionar a la población bienes y servicios deseados, en forma sostenible, minimizando las repercusiones negativas. El MIC reconoce la interrelación entre el uso de la tierra, el suelo y el agua, y los nexos entre las zonas altas, medias y bajas de la cuenca, así como entre las partes interesadas. Estimula la participación local para coadyuvar en la sostenibilidad de la gestión de los recursos naturales, cuyo éxito se relaciona con el apoyo y la participación de sus usuarios. Además, a través de un sistema de seguimiento participativo se favorece la toma de decisiones adecuadas y oportunas. Para que la población se apropie de la intervención propuesta por el MIC, se requiere trabajar con las partes interesadas locales en la planificación, formulación, ejecución y seguimiento de tales intervenciones, dando prioridad a las actividades que fortalecen los medios de vida. Además de la participación de los interesados locales, el MIC requiere de nexos horizontales entre autoridades y organizaciones locales, así como acuerdos mutuos entre la administración local, el gobierno y el sector privado. El MIC es así una actividad planificada que se desarrolla dentro de una cuenca hidrográfica, para ordenar los recursos naturales, buscando su conservación, protección, producción óptima y sostenible, que se traduzca en un incremento del bienestar social y económico de la población que depende de la cuenca sometida a manejo.

El MIC también implica pasar de la participación a la gestión conjunta, lo cual significa una participación pluralista en la gestión de los recursos naturales, basada en el aprendizaje recíproco y la negociación entre intereses y preocupaciones diferentes, tales como los de expertos técnicos, población local y autoridades normativas. De igual forma, resulta de importancia forjar nexos institucionales y es imprescindible proporcionar apoyo técnico de largo plazo una vez que termine la asistencia suministrada por el MIC, en este aspecto una estrategia exitosa es la creación de redes permanentes, para asegurar así el seguimiento de los procesos iniciados por el proyecto y garantizar su sostenibilidad. Se concentra en temas que reflejan las prioridades locales, y su objetivo es determinar soluciones específicas para cada lugar. De forma tal que los usuarios participen en las diversas etapas del proceso incluyendo la convalidación de resultados.

El MIC es un proceso que empieza con la identificación de una problemática o presiones que compromete la dinámica eco-hidrológica del territorio o la calidad de vida de las poblaciones humanas, un diagnóstico de las condiciones biofísicas y socioeconómicas, un fase de análisis y diseño de plan de acción que precede a la implementación de las acciones identificadas y una fase de evaluación y monitoreo de las acciones implementadas. Finalmente, un proceso de MIC tiene que tener una apropiación de actores locales, de esto depende la efectividad de la identificación de las principales problemáticas, la implementación de las acciones, la actualización de las prioridades de intervención y la viabilidad financiera a mediano y largo plazo.

1.1.4. ¿Qué es un PAMIC y para qué sirve?

El Plan de Acción de Manejo Integral de Cuenca (PAMIC) es un instrumento de planeación que tiene como base identificar las relaciones geográficas entre las zonas de suministro de servicios ambientales y las zonas de consumo de estos servicios. Está enfocado a generar una visión común de los actores de la cuenca a través de hacer explícitas las relaciones de oferta y demanda de servicios ambientales. Este instrumento está diseñado para identificar sitios específicos de implementación de acciones en áreas prioritarias de la cuenca, acciones que están orientadas a la conservación de los elementos clave del territorio, los cuales intervienen en la provisión de servicios ambientales hidrológicos y contribuyen a mantener su funcionalidad. El PAMIC es así un instrumento operativo y práctico, sintético, diseñado para la planeación territorial de la cuenca de intervención, entendida ésta como unidad geográfica natural, en donde el recurso agua constituye el eje articulador para conducir al desarrollo de la cuenca, salvaguardando los procesos ecológicos de los que depende la funcionalidad de la cuenca y la calidad de vida de sus habitantes.

1.1.5. ¿A quién va dirigido?

Está dirigido a los actores de la cuenca, a la población rural y urbana que habita en esta, a los representantes de las instituciones de los diferentes órdenes de gobierno (Federal, Estatal y Municipal), a los representantes de las organizaciones de la sociedad civil, al sector académico, a los inversionistas privados (comerciantes y empresarios), así como a los productores (agricultores, ganaderos, silvicultores, pescadores y acuicultores). La inclusión de los diferentes usuarios facilita la implementación de un adecuado esquema de manejo para las cuencas de intervención.

1.2. Objetivos

1.2.1.General

Focalizar la intervención en la cuenca a través de acciones orientadas a la conservación de los elementos clave del territorio que intervienen en la provisión de SAH y que contribuyen a mantener la funcionalidad del territorio.

1.2.2.Particulares

- **Describir y caracterizar** la situación actual de la cuenca en términos biofísicos, poblacionales, económicos, financieros y su vinculación con instrumentos de gestión.
- Priorizar las subcuencas por su oferta-demanda de SAH (Servicios ambientales hidrológicos), en el contexto actual y bajo escenarios de cambio climático.
- **Proponer y focalizar las acciones** de intervención que promuevan la conservación, la restauración y el aprovechamiento sustentable de los recursos en las subcuencas de oferta.
- **Vincular a los actores y las inversiones en el territorio** a través de una plataforma que permita visualizar espacialmente los sitios de intervención para promover los servicios ambientales hidrológicos.
- **Diseñar una estrategia de seguimiento y monitoreo** para evaluar la respuesta de las acciones implementadas.

1.3. Síntesis metodológica

El diseño de los PAMICS consiste de cinco etapas (figura 3). Dichas etapas se enmarcan dentro del enfoque multiescalar que comprende tres unidades de análisis geográfico (cuenca, subcuenca y sitios de intervención). De igual forma, las cinco etapas metodológicas se vinculan con las 3 secciones del contenido de este documento (Contexto, Priorización e Implementación).

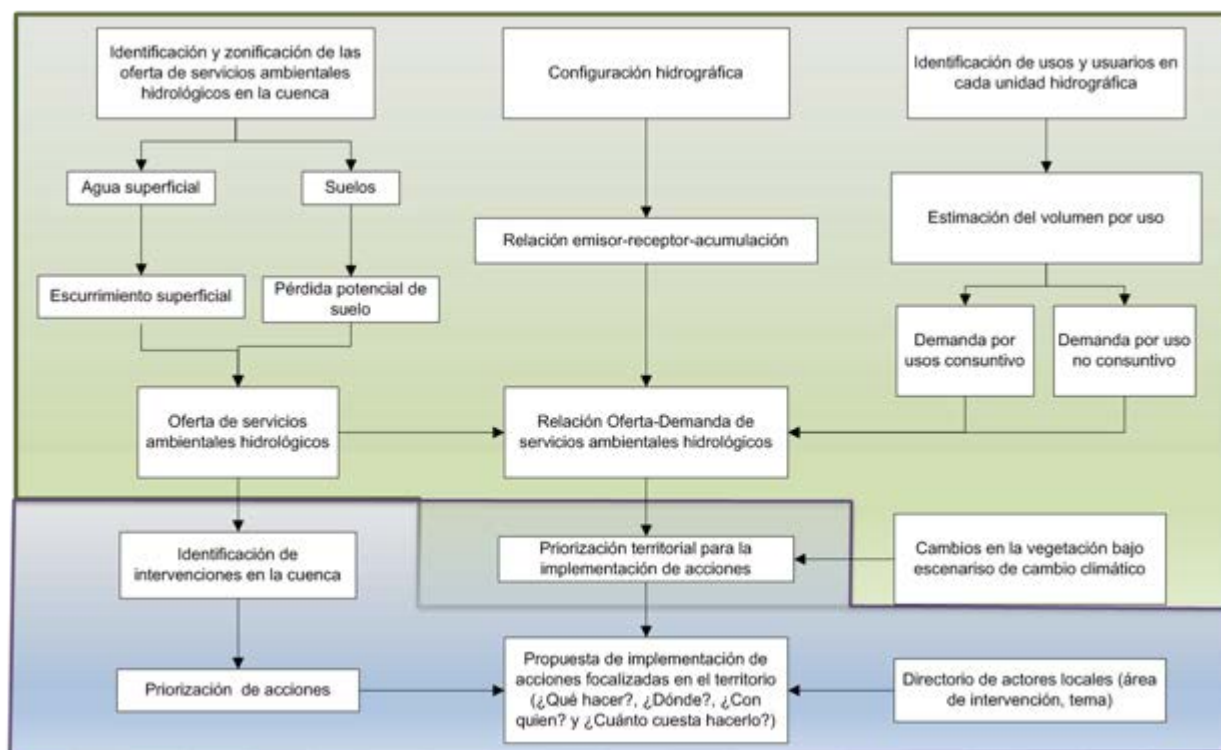


Figura 3.- Síntesis metodológica para la implementación de un PAMIC.

Las etapas uno y dos se pueden resumir en conjunto ya que están dedicadas al análisis de la Oferta-Demanda de SAH (Servicios ambientales hidrológicos), tanto en la escala geográfica de cuenca como de subcuenca. En el contexto de la cuenca se identifican los actores y sus áreas de intervención (principalmente mediante talleres participativos), también se identifica la problemática socio-ambiental de la cuenca en relación a los SAH, sus causas y efectos; de igual forma se identifican los programas, acciones y fuentes de financiamiento que intervienen en la cuenca. Ambas etapas implican la modelación para ubicar y cuantificar procesos en subcuencas que intervienen en la provisión del suministro de agua superficial y en la disminución de la susceptibilidad a la erosión del suelo. La etapa tres (acumulación de unidades hidrográficas) incorpora la determinación de subcuencas beneficiarias y proveedoras en relación a la configuración hidrográfica priorizando unidades hidrográficas (subcuencas). La etapa cuatro (acciones) establece las propuestas de manejo en áreas críticas, dentro de lo posible en microcuencas. En esta etapa se definen también las políticas de

intervención. Implica realizar talleres con actores clave para valorar la pertinencia de las acciones y jerarquizarlas. Finalmente, la etapa cinco (implementación y operación) comprende la evaluación de los costos e inversiones para implementar las acciones propuestas. Implica estimar el impacto positivo en los beneficiarios y la retribución de las acciones, por ejemplo el número de personas, infraestructura y/o ecosistemas que se benefician de cada acción, así como definir una estrategia de monitoreo y seguimiento.

1.4. Glosario

- Aprovechamiento sustentable: La utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por períodos de tiempo indefinidos (LGEEPA, última reforma publicada el 9 de enero de 2015, Art. 3, n. III).
- Configuración Hidrográfica de la cuenca
- Conservación (*ex aequo*) Protección: El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro (LGEEPA, última reforma publicada el 9 de enero de 2015, Art. 3, n. XXVII).
- Regionalización: Proceso de “análisis científico mediante el cual se logra la caracterización, sistematización y clasificación taxonómica de las unidades regionales. Consiste en determinar el sistema de división territorial de individuos espaciales de cualquier tipo (administrativos, económicos, naturales, etc)” (Mateo, 1984). Delimitación geográfica que se realiza en consideración de elementos comunes, sean económicos, sociales, culturales, geográficos, administrativos y/o políticos. Representa un medio adecuado para la toma de decisiones que promuevan el desarrollo en el proceso de planeación. Implica la división de un territorio en áreas menores con características comunes y representa una herramienta metodológica básica en la planeación ambiental, pues permite el conocimiento de los recursos para su manejo adecuado. La importancia de regionalizaciones de tipo ambiental estriba en que se consideran análisis basados en ecosistemas, cuyo objetivo principal es incluir toda la heterogeneidad ecológica que prevalece dentro de un determinado espacio geográfico para, así, proteger hábitats y áreas con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad, las cuales no hubiesen sido consideradas con otro tipo de análisis (CONABIO).
- Rehabilitación. “Se refiere a cualquier intento por recuperar elementos de estructura o función de un ecosistema sin necesariamente intentar completar una restauración ecológica a una condición específica previa” (Meffé y Carrol, 1994). A diferencia de la restauración, en este concepto “hay poca o ninguna implicación de perfección. Algo que está rehabilitado no se espera que vuelva a su estado original o a algo más saludable como sucede en el caso de la restauración. Por esta razón, este concepto puede ser utilizado para indicar cualquier acto de mejoramiento de un estado degradado” (Urbanka *et al.* 1997).

- Restauración ecológica. “Búsqueda de la recuperación integral de los ecosistemas degradados en términos de su estructura, composición de especies, funcionalidad y autosuficiencia, semejantes a las presentadas originalmente” (Meffé y Carrol, 1994).
- Restauración: Conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y la continuidad de los procesos naturales (LGEEPA, última reforma publicada el 9 de enero de 2015, Art. 3, n. XXXIV).
- Servicio ambiental. Fenómeno estrictamente ecológico (estructura, proceso, función) cuyo uso se convierte en servicio si los humanos se benefician de ellos, sin beneficiarios no hay servicio (Fisher *et al*, 2009., de Groot, 2002). Beneficio ambiental tangible e intangible, generado por los ecosistemas, necesario para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcione beneficio al ser humano (LGEEPA, última reforma publicada el 9 de enero de 2015, Art. 3, n. XXXVI).
- Usuarios de zonas de provisión: Elemento en el territorio que se beneficia directamente de la zona de provisión de servicios ambientales.
- Zonas de provisión de servicios ambientales: Áreas donde la interacción espacial y temporal de atributos territoriales dan lugar a procesos de los cuales los humanos se benefician.

Capítulo 2 Descripción general

El objetivo de este capítulo es presentar al lector las características de la cuenca en cuestión, incluye información cartográfica y geográfica, sintetizada en cuadros y figuras de mapas simplificados*. El capítulo incluye la localización geográfica, la superficie total, la delimitación territorial en términos de cómo está conformada administrativamente (estados y municipios), así como la proporción territorial de cada administración. Presenta el criterio utilizado en la asignación municipal, es decir, definir los municipios que conforman la cuenca bajo un contexto administrativo, y que deberían (en consecuencia) estar involucrados en la toma de decisiones en torno a la cuenca. El capítulo describe la caracterización biofísica de la cuenca, lo cual involucra a los elementos de la naturaleza que confluyen dentro de la cuenca, esto incluye a los rasgos del relieve (geomorfología), los tipos de climas (climatología), los ríos y su jerarquía (hidrografía y subcuencas), los principales tipos de suelos (edafología), la vegetación natural, el cambio en la cobertura de vegetación natural para el periodo 2002-2011 y el porcentaje de vegetación natural por subcuenca. Además, el capítulo aborda la caracterización de la población como principal agente de transformación del medio natural, incluye las localidades urbanas y rurales, la dispersión rural y la densidad de población. El capítulo continúa con la caracterización económica, que incorpora la descripción de la superficie ejidal y su distribución, para vincularla con las actividades productivas. Incluye también las unidades económicas por sector, el uso del suelo, el cambio del uso de suelo y el porcentaje de uso de suelo agropecuario por subcuenca. Finalmente, el capítulo aborda el diagnóstico de las inversiones y subsidios en términos ambientales, así como la vinculación con otros instrumentos de gestión.

*Nota del Editor: El término "figuras de mapas simplificados" considera que el diseño fue realizado para impresión en hojas tamaño carta, por lo tanto, únicamente incluyen elementos críticos para su lectura e interpretación. Por lo anterior, estas figuras pueden aparecer rotadas en el documento para aprovechar así la máxima extensión de la hoja de papel.

© Jordi Vera

2.1.Localización

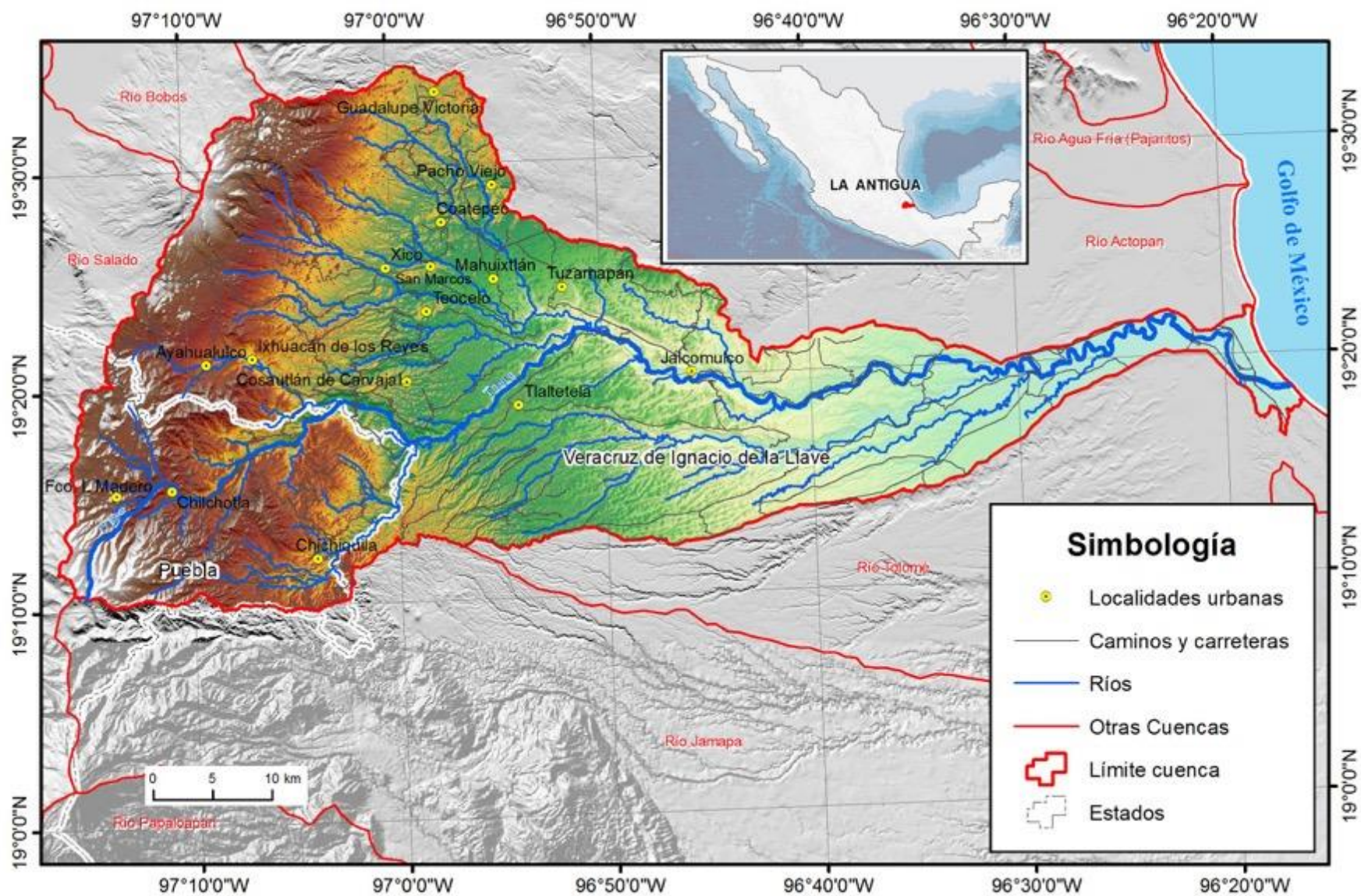
La cuenca del río La Antigua está ubicada en la vertiente del Golfo de México, sus coordenadas geográficas extremas y cuencas colindantes se muestran en la **Error! Reference source not found.** En un contexto fisiográfico, la cuenca está dividida en dos regiones (provincias fisiográficas), en dirección este se encuentra la Llanura Costera del Golfo Sur, mientras que en dirección oeste se ubica el Eje Neo volcánico (Faja Volcánica Mexicana). La cuenca completa ocupa una superficie de 2,176 km² y está conformada por los estados de Veracruz (80.4%) y Puebla (19.6%), el primero representado por 22 municipios, y el segundo por cinco. La mayor elevación registrada es de 4,204 msnm y la menor es de 0, con una elevación promedio de 1,376 msnm. El cauce principal del río La Antigua se extiende hasta 148 km. Las localidades más importantes en la cuenca, de acuerdo con el censo de población y vivienda más reciente (INEGI, 2010) son: Coatepec (53,621 habitantes), Xico (18,652 habitantes) y Teocelo (9,967 habitantes). Otras características importantes de la cuenca se pueden observar en la **Error! Reference source not found.**, así como en la mapa 1.

Tabla 1. Localización

	Coordenadas extremas							cuencas Colindantes
	Dirección	Longitud			Latitud			
		Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos	
	Norte	-96	59	2.8536	19	34	32.9082	Actopan
	Sur	-97	4	7.53	19	9	43.1928	Tolomé, La Antigua
	Este	-96	16	13.497	19	17	45.6354	Golfo de México
Oeste	-97	16	33.4806	19	11	41.892	Salado	
Parámetros generales de la cuenca								
Área:	2,176.29	km²	Longitud río principal:		148.47	km		
Altitud del relieve (msnm):			Máxima	Mínima	Promedio	Desnivel altitudinal (m)		
			4,204	0	1,376	4,204		
Entidades y cantidad de municipios								
Estado		Superficie		Mt Municipios con superficie total incluida	Mp Municipios con superficie parcial incluida	Total de municipios (Mt+Mp)*		
		%	km²					
1. Veracruz		80.4	1749.3	6	16	22		
2. Puebla		19.6	426.8	0	5	5		
Gran total:							27	
Principales ciudades y/o localidades urbanas (2010)								
Identificador	Municipio			Nombre			Habitantes	
1	Coatepec			Coatepec			53,621	
2	Xico			Xico			18,652	
3	Teocelo			Teocelo			9,967	

4	Coatepec	Tuzamapan	7,522
5	Xico	San Marcos de León (San Marcos)	7,256
6	Tlalnelhuayocan	Guadalupe Victoria	6,114
7	Coatepec	Pacho Viejo	4,965
8	Chilchotla	Rafael J. García	4,869
9	Cosautlán de Carvajal	Cosautlán de Carvajal	4,617
10	Tlaltetela	Tlaltetela	4,528

*Los nombres de los municipios se muestran en la sección 2.2 (Asignación de municipios).



Mapa 1.- Localización de la cuenca del río La Antigua

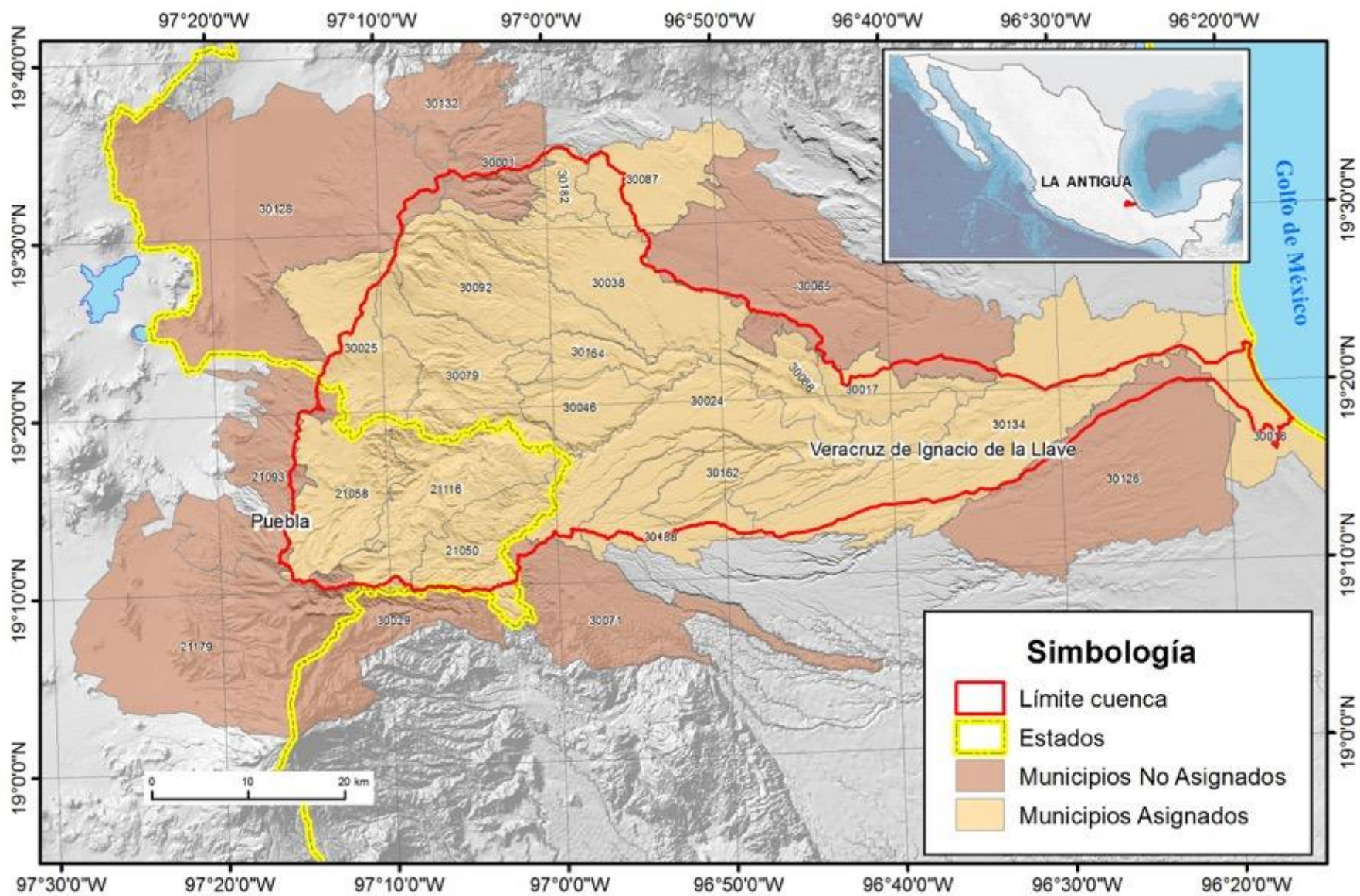
2.2. Asignación de municipios

La cuenca del río La Antigua está conformada por 27 municipios, ya sea en forma parcial o total. Con el propósito de facilitar la implementación de acciones en la cuenca, así como para facilitar la toma de decisiones en la gestión del territorio se definieron dos criterios para la asignación de municipios: a) contener dentro de la cuenca más del 50% de la superficie municipal y b) contener dentro de la cuenca su cabecera municipal. Por otra parte, se asignaron también algunos municipios que resultan relevantes en la planeación territorial, aún si inicialmente estaban excluidos por no cumplir con uno o ambos criterios. La Tabla 2 muestra los 18 municipios que resultaron asignados a la cuenca para propósitos de gestión, así como los 9 municipios que no fueron asignados (mapa 2).

Tabla 2 Asignación de municipios

Entidad		Municipio			Superficie en cuenca (km ²)	C*	% municipal en cuenca	% de la cuenca	A*
Clave Ent	Nombre	Clave Mun	ID INEGI	Nombre					
30	Veracruz	46	30046	Cosautlán de Carvajal	76.60	si	100	3.52	si
		79	30079	Ixhuacán de los Reyes	149.83	si	100	6.88	si
		88	30088	Jalcomulco	72.72	si	100	3.34	si
		162	30162	Tenampa	65.21	si	100	3.00	si
		164	30164	Teocelo	60.80	si	100	2.79	si
		92	30092	Xico	179.03	si	100	8.23	si
		38	30038	Coatepec	201.41	si	99.55	9.25	si
		24	30024	Tlaltetela	273.57	si	98.48	12.57	si
		182	30182	Tlalnelhuayocan	34.16	si	93.08	1.57	si
		17	30017	Apazapan	57.75	si	85.31	2.65	si
		188	30188	Totutla	64.02	no	65.38	2.94	-si-
		25	30025	Ayahualulco	98.63	si	57.00	4.53	si
		134	30134	Puente Nacional	215.66	si	56.15	9.91	si
		1	30001	Acajete	39.95	no	40.97	1.84	no
		16	30016	La Antigua	37.13	si	28.29	1.71	-si-
		87	30087	Xalapa	27.69	no	22.22	1.27	-si-
		65	30065	Emiliano Zapata	43.03	si	10.35	1.98	no
		126	30126	Paso de Ovejas	32.59	no	8.40	1.50	no
		71	30071	Huatusco	7.49	no	3.69	0.34	no
		128	30128	Perote	11.15	no	1.83	0.51	no
		132	30132	Las Vigas	0.90	no	0.90	0.04	no
		29	30029	Calcahualco	0.03	si	0.02	0.00	no
21	Puebla	58	21058	Chilchotla	143.92	no	98.64	6.61	-si-
		116	21116	Quimixtlán	163.06	si	97.56	7.49	si
		50	21050	Chichiquila	96.22	si	87.99	4.42	si
		93	21093	Lafragua	17.19	no	9.53	0.79	no
		179	21179	Tlachichuca	6.45	no	1.53	0.30	no

*Notas: C=Cabecera dentro de la cuenca (si/no), A=Municipio asignado (si/no), -si-=Asignación por su importancia en la planeación territorial de la cuenca.



Mapa 2.- Municipios asignados a la cuenca del río La Antigua

2.3. Caracterización biofísica de la cuenca

2.3.1. Relieve y rasgos geomorfológicos

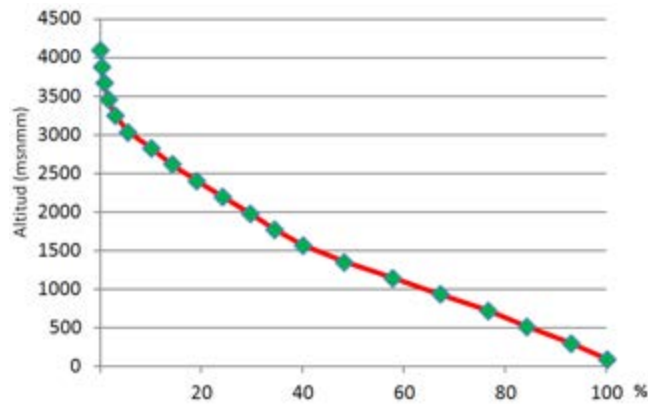
El relieve es considerado como el elemento del medio natural que actúa como contenedor de otros elementos así como de sus recursos naturales, también constituye un factor crítico que influye en las características y variables ambientales. Para una cuenca hidrográfica es importante conocer las características del relieve porque es precisamente la altitud del relieve, el criterio geográfico natural que delimita la cuenca, por otra parte los parámetros de la forma de la cuenca, de la red hidrográfica (drenaje), del propio relieve, así como la caracterización de sus geoformas, constituyen elementos que ayudan a entender la dinámica de la cuenca en relación a desarrollo de suelos, conectividad biológica, accesibilidad, actividades productivas, uso de suelo, variación climática, amortiguamiento y protección, eventos extremos, provisión de servicios ambientales, riesgos y desastres, entre otros.

2.3.1.1. Parámetros geomorfológicos

La cuenca del río La Antigua tiene una forma compleja que en términos hidrográficos se puede describir como ovalada, rectangular y alargada, con dirección principal este-oeste, la mayor distancia entre dos puntos perimetrales es de 105 km y el ancho promedio es de 20 km. Con respecto al relieve, la cuenca presenta grandes contrastes ya que tiene un rango altitudinal muy amplio de 4,204 metros, la máxima pendiente es de 73 grados y la pendiente promedio de 15.6 grados. Además, esta cuenca se considera relativamente compleja debido a las ramificaciones que presenta su red hidrográfica, la cual cuenta con 4,306 km lineales de cauces. Esto significa que por cada km² del territorio de la cuenca existen en promedio 1,97 km de cauces. También contribuyen en la complejidad de la cuenca, la estructura jerárquica de sus afluentes, su conectividad y secuencia, así como la importancia relativa del flujo acumulado. El tiempo de concentración en la cuenca es de 25.37 horas y representa el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrográficamente más alejado, este tiempo constituye también el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

Con respecto a su evolución geomorfológica, la cuenca está migrando de un estado de equilibrio dinámico, a una etapa caracterizada por procesos geomórficos de acumulación y sedimentación, esta condición se interpreta a partir del gráfico conocido como curva hipsométrica y otros modelos de curvas para cuencas de referencia (figura 4).

a) Curva Hipsométrica de la cuenca del Río La Antigua



b) Curvas de referencia

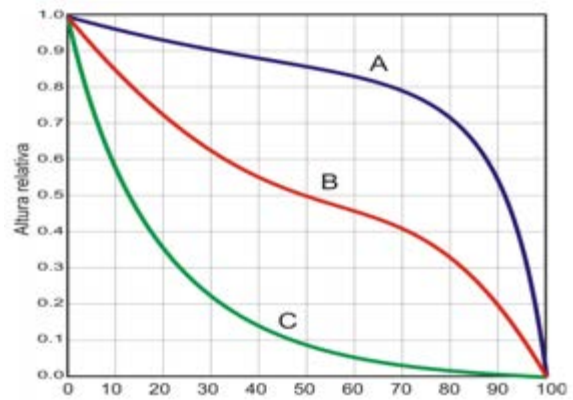


Figura 4. Curva hipsométrica de la cuenca del río La Antigua (a), representa su evolución y estado de equilibrio dinámico, que se compara con las curvas características de las etapas del ciclo de erosión (b), las cuales son: A, erosión; B, equilibrio; C, acumulación/sedimentación. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (s/f) y Llamas, J. (1993).

La mayor parte del territorio de la cuenca presenta alturas menores a 1400 msnm (figura 4a), mientras que las pendientes más extendidas son menores a 6 grados (figura 4b), estas pendientes se ubican en la cuenca Baja y parte de la cuenca Media (figura 5), corresponden a la amplia extensión de la Llanura Costera del Golfo de México, tal extensión es paralela al eje mayor que describe la forma oval y alargada de la cuenca (figura 5).

El perfil longitudinal del río La Antigua (figura 5), confirma la amplia extensión de la llanura costera, así como lo indicado por la curva hipsométrica, en relación a la etapa de transición en que se encuentra la cuenca.



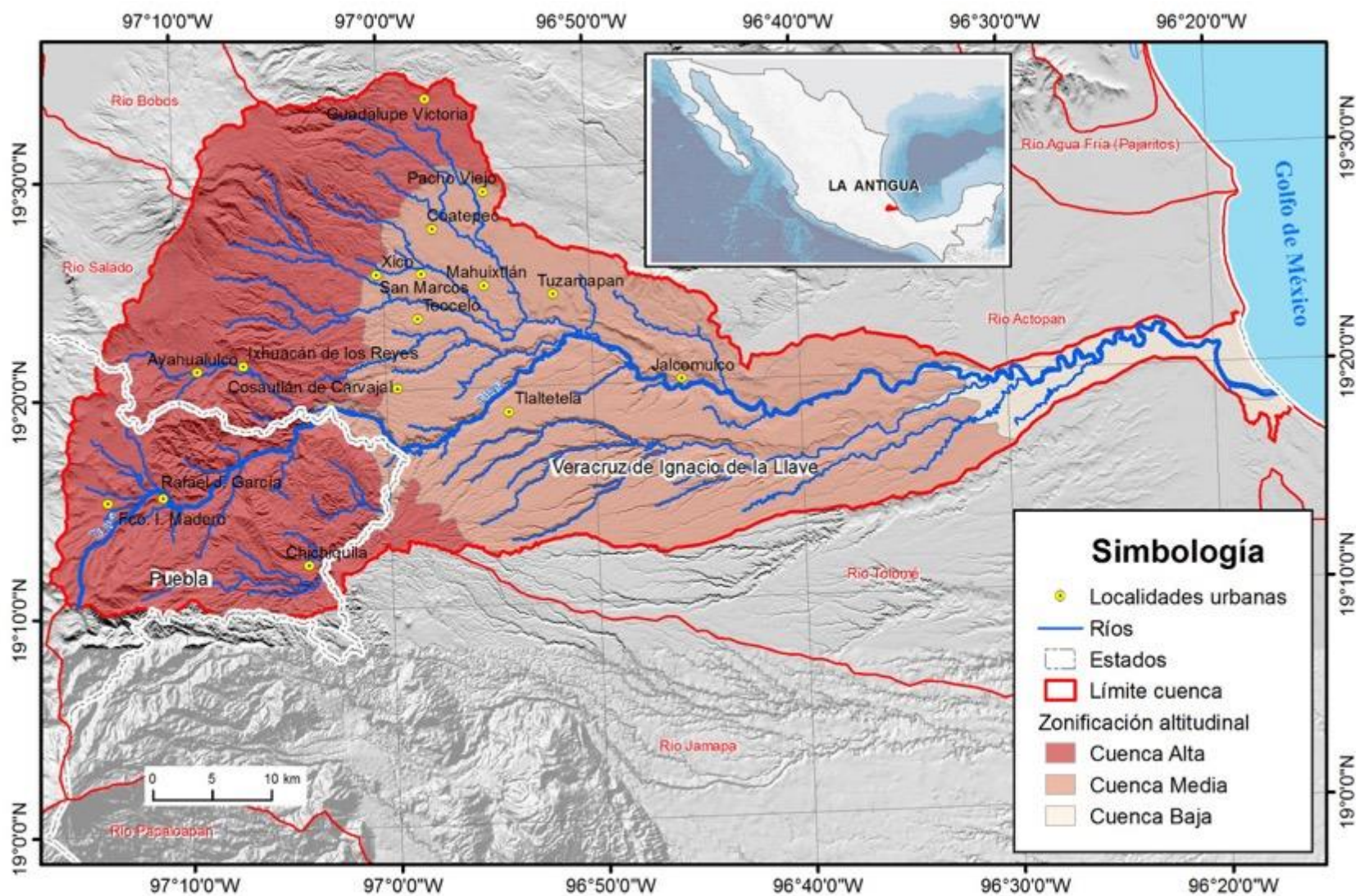
Figura 5. Perfil longitudinal del río principal. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

2.3.1.2.Zonificacion altitudinal

La cuenca fue dividida en tres grandes zonas de acuerdo a sus diferencias altitudinales, así como a la funcionalidad de tales zonas en el territorio de la cuenca. La Tabla 3 describe las características de las zonas: cuenca Alta, cuenca Media y cuenca Baja. El mapa correspondiente se muestra en la mapa 3.

Tabla 3 Zonificación altitudinal

Zona	Función principal	Pendiente (grados)	Desnivel altitudinal (m)	Superficie	
				km ²	%
cuenca Alta	Captación	20.78	3,733	998.98	45.90
cuenca Media	Acumulación y transporte	12.06	1,378	1,055.11	48.49
cuenca Baja	Descarga	4.54	251	121.89	5.60



Mapa 3. Zonificación altitudinal de la cuenca del río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT-INE, 2010.

2.3.1.3. Geoformas

Las formas del relieve presentes en la cuenca fueron simplificadas a partir de la Cartografía Geomorfológica de México (Ortíz-Pérez, 2010), el resultado comprende 13 clases que se vinculan con los principales usos de suelo y la cobertura de vegetación natural (

Tabla 4 y mapa 4), para facilitar así su análisis en la gestión territorial.

La clase de valles representa la geoforma más extendida (~35%), lo cual se explica por la complejidad de la red hidrográfica de la cuenca (número de orden) y porque integra todos los subtipos de valles. El uso de suelo más extendido en los valles es el agrícola (50%), y le sigue la cobertura de vegetación natural (28%). Como la vocación principal en esta geoforma es la cobertura de vegetación riparia, se observa entonces que los valles, y en general sus recursos naturales asociados, están sujetos a una fuerte presión, principalmente ejercida por la expansión de la agricultura, la ganadería y en forma directa por la población, ya que las zonas urbanas en los valles ocupan en total más de 20 km², que representan casi el 3% de su superficie, destacando por su tamaño Coatepec, Xico, Rafael J. García, Xalapa, José Cardel, Ayahualulco e Ixhuacán de los Reyes. Además, algunos valles ubicados en la parte superior de la cuenca Media y en la cuenca Alta (figura 2.6), en particular los que cuentan con la vegetación mejor conservada, pueden resultar adecuados para establecer áreas de conservación, de hecho ~38% de la superficie de las ANPs estatales que están localizadas en la cuenca, se emplazan también en este tipo de geoforma. Por esta razón, en los valles se requiere implementar a corto plazo medidas de intervención, tema que se aborda en los capítulos posteriores.

La segunda clase de geoforma más extendida en la cuenca es la rampa acumulativa (15.59%) y la tercera es el flujo de lava cubierto de piroclastos (14.76%), ambas clases presentan como principal uso de suelo el agrícola que es superior al 50% de la superficie de cada geoforma, le sigue el uso de suelo pecuario (29% y 20%, respectivamente), después la cobertura de vegetación natural (18% y 17%, respectivamente) y para terminar el uso de suelo urbano (1% y 3%, respectivamente). Ambas geoformas son adecuadas para el uso de suelo agrícola y pecuario, con rendimientos altos en el caso de la rampa acumulativa y moderados en el flujo de lava cubierto de piroclastos. Los cultivos más importantes en 2016 fueron jitomate, maíz de grano, frijol, chile verde, calabacita y papa. En estas geoformas es importante realizar un balance con respecto a la extensión de los usos de suelo, el cual considere a mediano plazo reducir la superficie de uso agrícola y pecuario, así como implementar acciones de manejo y conservación de suelos, principalmente en los flujos de lava cubiertos por piroclastos, y también es importante recuperar áreas de vegetación.

La cuarta geoforma por su extensión espacial es la rampa erosiva, las proporciones espaciales del uso de suelo en esta geomorfa se comportan de manera muy similar a la rampa acumulativa así como al flujo de lava cubierto por piroclastos. Sin embargo, por la dinámica erosiva de esta geoforma, el uso de suelo agrícola (59%) requiere implementar a corto plazo acciones de conservación de suelos. Además, resulta importante también la recuperación de aéreas críticas de vegetación natural, de hecho, esta geoforma es idónea para el establecimiento de áreas de conservación ya que el 43% de la superficie de las ANPs estatales localizadas dentro de la cuenca, están emplazadas en esta geoforma. Una de las clases de cobertura de vegetación en las rampas erosivas, que presenta poca extensión pero resulta muy importante en términos ambientales, es el bosque mesófilo y los cafetales de

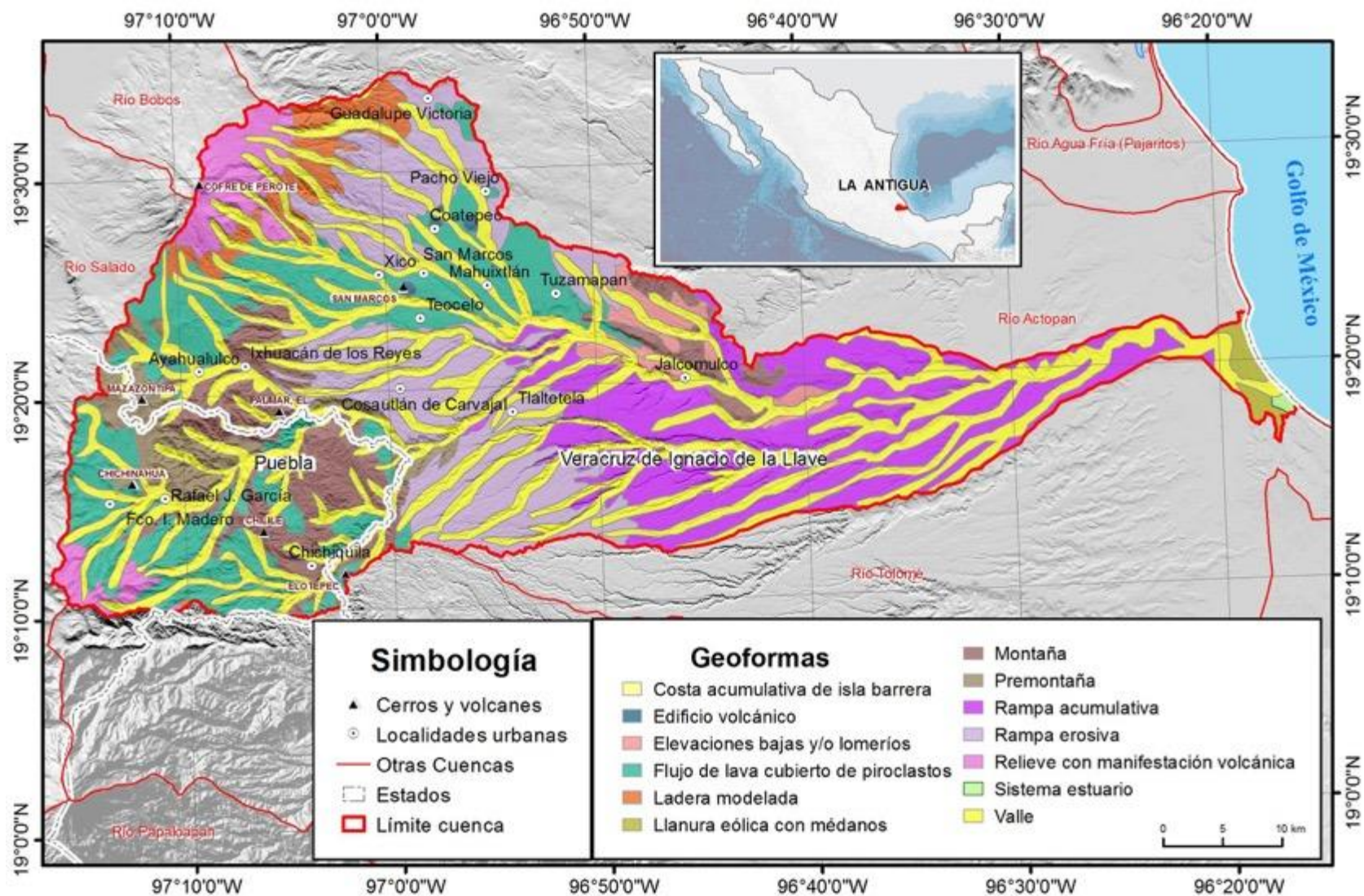
sombra asociados como vegetación secundaria. Por esta razón, es importante implementar acciones para recuperar o incrementar dicha cobertura de vegetación.

Continúan por su extensión las geoformas montaña (8%), relieve con manifestación volcánica (4%), premontaña (4%) y ladera modelada (3%), las cuales tienen en común que la proporción de la cobertura de vegetación natural es mayor al 50%, así como la carencia del uso de suelo urbano, lo cual las hace candidatas para implementar áreas de conservación, de hecho la geoforma relieve con manifestación volcánica comprende más del 90% de la superficie del ANP federal Cofre de Perote que está localizada dentro de la cuenca, y el otro 10% corresponde a la geoforma ladera modelada, la cual también comprende más del 13% de la superficie de las ANPs estatales localizadas en la cuenca. En las geoformas de montaña, premontaña y ladera modelada se encuentran las principales extensiones del bosque mesófilo de montaña, el cual tiene gran importancia ecológica por su biodiversidad, de igual forma en muchas áreas este bosque presenta vegetación secundaria arbórea, que corresponde a cafetales y que caracterizan en la cuenca una actividad económica mixta, tanto agrícola como de manejo forestal, por lo cual el café constituye uno de los principales productos de la cuenca.

Tabla 4 Geomorfología simplificada vinculada con uso de suelo y cobertura de vegetación

Geoforma	Superficie (%)	% Uso de Suelo y Vegetación				Vegetación *
		A*	P*	U*	V*	
Valles	34.84	50	17	3	28	B. Mesófilo, B. Pino-Encino, B. Pino, B. Oyamel, vegetación secundaria de B. Mesófilo (árboles de sombra de cafetales).
Rampa acumulativa	15.59	52	29	1	18	Vegetación secundaria de selva baja caducifolia, de bosque de encino y de selva mediana
Flujo de lava cubierto de piroclastos	14.76	60	20	3	17	B. Pino; B. Pino-Encino; vegetación secundaria de B. Mesófilo (árboles de sombra de cafetales), de B. Pino, de B. Pino-Encino; B. Oyamel, B. Mesófilo
Rampa erosiva	13.91	59	23	3	15	Vegetación secundaria de B. Mesófilo (árboles de sombra de cafetales), de B. Pino-Encino y de Selva baja caducifolia; B. Oyamel, B. Mesófilo
Montaña	8.10	41	5	0	54	B. Mesófilo; vegetación secundaria de B. Mesófilo, de B. Pino-Encino y de Selva baja caducifolia, B. Pino-Encino y B. Encino.
Relieve con manifestación volcánica	3.68	8	25	0	67	B. Pino, vegetación secundaria de B. Pino-Encino y de B. Pino, B. Oyamel, Pradera de Alta Montaña y B. Pino-Encino
Premontaña	3.59	42	3	0	55	B. Pino-Encino, Vegetación secundaria de B. Pino-Encino, B. Pino, B. Mesófilo, Vegetación secundaria de B. Mesófilo (árboles de sombra de cafetales).
Ladera modelada	2.70	18	30	0	52	B. Mesófilo; vegetación secundaria de B. de Pino-Encino, de B. Pino y de B. Mesófilo (árboles de sombra de cafetales); B. Pino y B. Pino-Encino.
Total	99.54					

*Notas: A = Agrícola, P = Pecuario, U = Urbano, V = Vegetación natural, B. = Bosque.



2.3.2. Clima actual y proyecciones de cambio climático

El tiempo meteorológico o atmosférico se refiere al estado de la atmósfera en un lugar y un momento determinados. Este concepto hace referencia también a su temperatura, precipitación, dirección y fuerza del viento, cantidad de nubes así como a la humedad en una hora en particular. Por esta razón, el tiempo puede ser caliente o frío, húmedo o seco, en calma o en tormenta, despejado o nublado, y por su condición instantánea también puede cambiar de manera muy rápida.

El clima es el término que describe en forma estadística las condiciones atmosféricas durante periodos más largos y se podría definir como la sucesión periódica de tipos de tiempo o el conjunto de estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región, el clima es así la síntesis del tiempo. La Organización Meteorológica Mundial definió como clima las condiciones meteorológicas medias para el mes y el año, calculadas sobre un periodo de 30 años.

Por otra parte, de acuerdo con el IPCC por proyección climática se entiende la “respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones, concentraciones y forzamiento radiativo utilizado, -el cual está- basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse y, por lo tanto, -las proyecciones climáticas- están sujetas a una gran incertidumbre”. Tal incertidumbre y sus limitaciones inherentes en este tipo de aproximaciones se deben tener en cuenta para su correcta interpretación y aplicación. En particular, los modelos climáticos han demostrado una gran fiabilidad en cuanto a los cambios observados en la temperatura atmosférica, aunque no se puede decir lo mismo con respecto a los cambios en precipitación. También es importante considerar que las proyecciones climáticas se actualizan cada cierto tiempo, ya que existe un gran esfuerzo a escala internacional para continuar mejorando las proyecciones disponibles. En general, conservan valor cuantitativo y se pueden considerar en esos términos.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1964), la cuenca del río La Antigua tiene diez climas diferentes (Tabla 5). Esto se debe, entre otros factores, a la influencia de la altitud del relieve, el cual tiene un rango de 4,204 metros. Si las categorías climáticas son agrupadas por tipo de clima (cuadro anexo y figura 2.8), el tipo de clima más extendido en la cuenca es el Semi-cálido húmedo (38.59%), que se ubica en la zona de transición entre la cuenca Alta y la cuenca Media. Es seguido por el tipo de clima Cálido sub-húmedo (30.23%), distribuido en la parte inferior de la cuenca Media y en la cuenca Baja; así como por el tipo de clima Templado Húmedo (13.61%), ubicado en la zona de transición entre la cuenca Media y la cuenca Alta. Continúa en extensión el tipo de clima Semi-frío subhúmedo (6.96%), que se ubica en la parte superior de la cuenca Alta. Finalmente, con la

menor extensión está el tipo de clima Frío (1.17%), el cual está ubicado en una pequeña franja al noroeste de la cuenca.

Tabla 5 Variables climáticas y tipos de climas

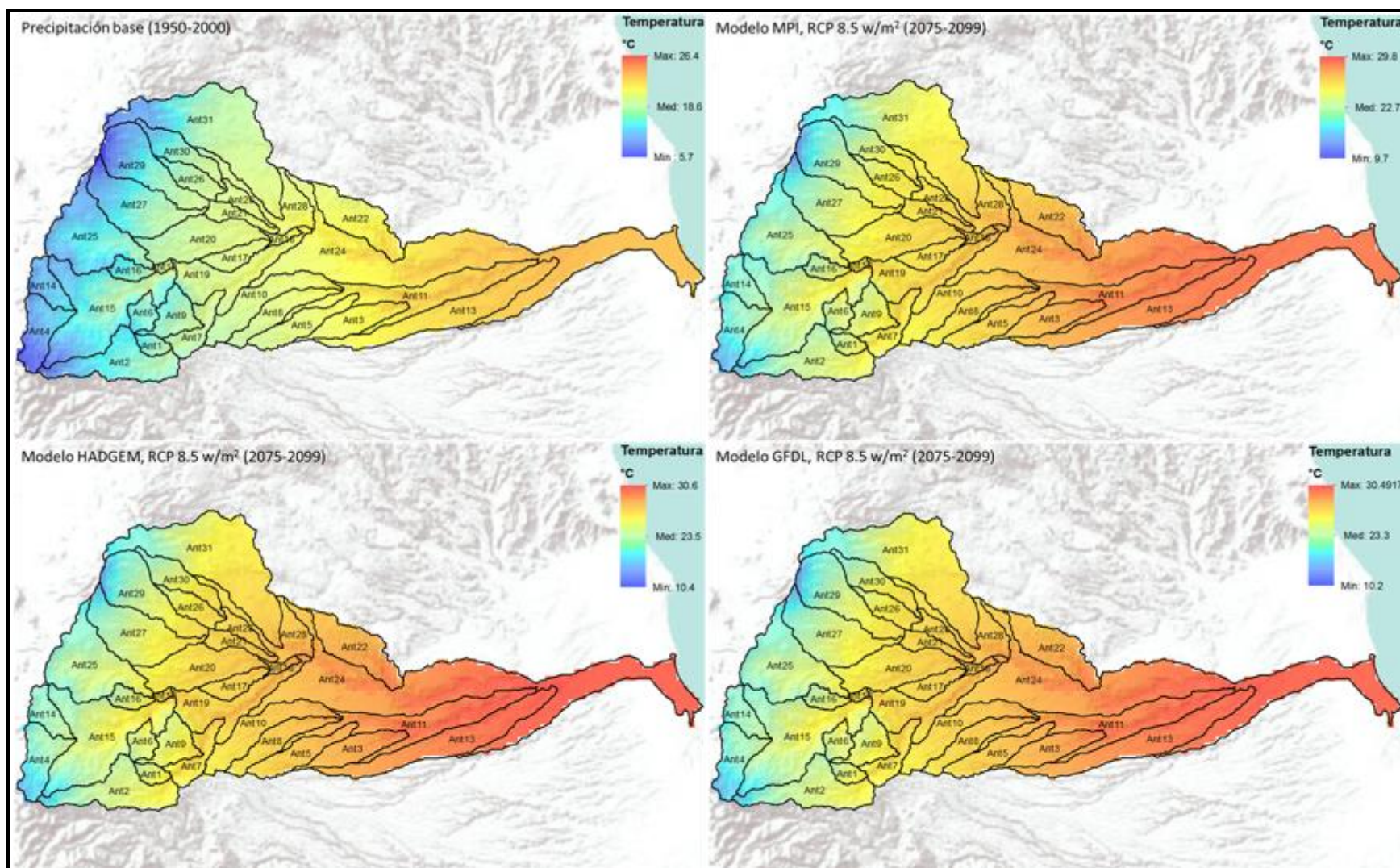
	Mínima	Máxima	Unidad	
*Precipitación acumulada anual:	655	2821	mm	
*Temperatura promedio anual:	4.96	26.41	°C	
Climas de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1964)				
Tipo	Clave García (1964)	Superficie		
		km²	%	
Frío	E(T)H	0.20	0.01	
	C(E)(m)	25.41	1.17	
Semifrío subhúmedo	C(E)(w2)(w)	151.49	6.96	
Templado húmedo	C(fm)	204.66	9.40	
	C(m)	296.15	13.61	
Semicálido húmedo	(A)C(fm)	532.20	24.45	
	(A)C(m)	307.79	14.14	
Cálido subhúmedo	Aw1(w)	383.91	17.64	
	Aw0(w)	138.73	6.37	
	Aw2(w)	135.45	6.22	
Cuerpos de Agua	H2O	0.30	0.01	
	Total	2,176.29	100	

*Calculada a partir de datos para el periodo 1902-2011 de UNAM-UNIATMOS.

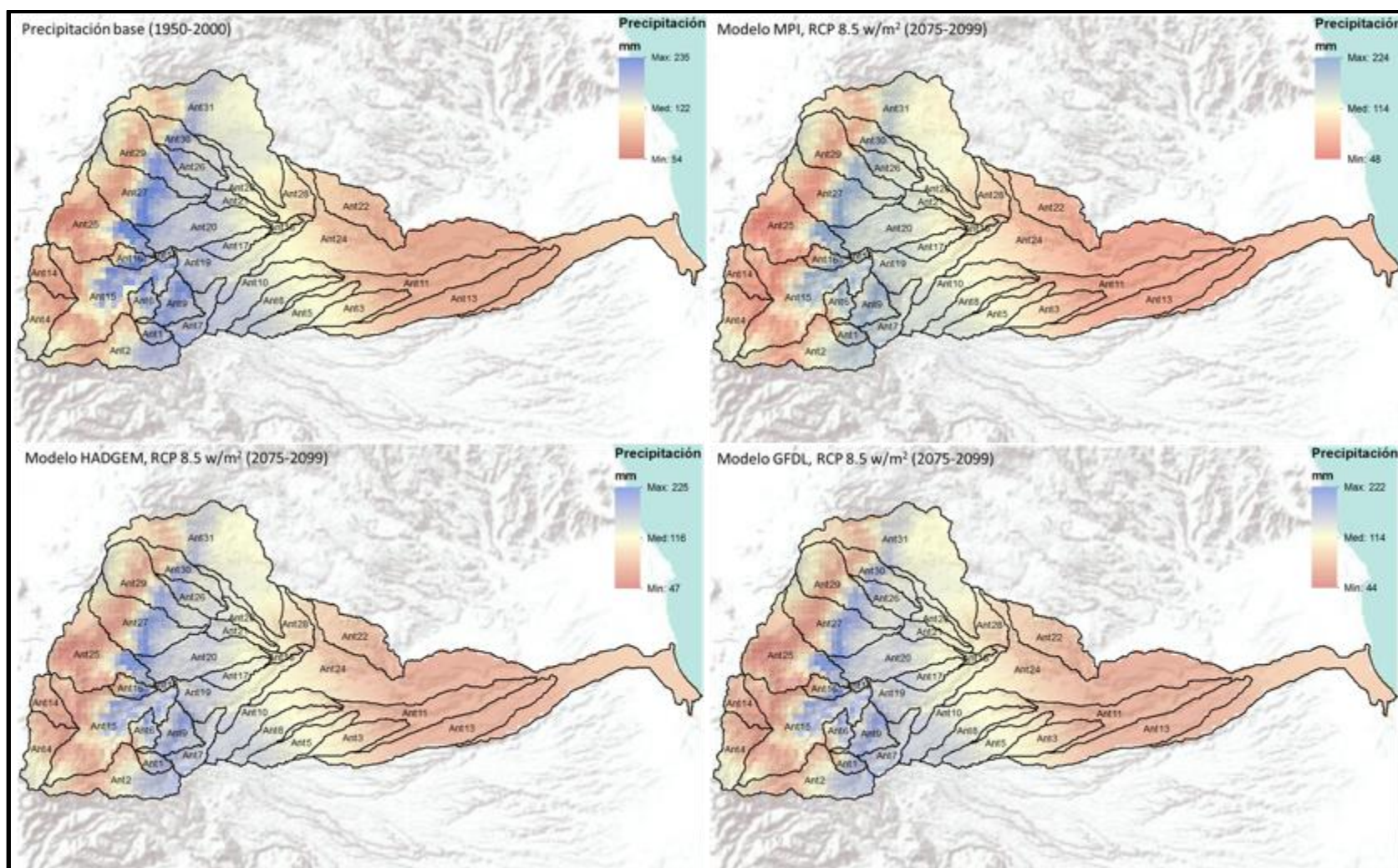
En la cuenca existen 17 estaciones climatológicas (Tabla 6 y mapa 5). De acuerdo con las bases de datos de UNAM-UNIATMOS, la temperatura promedio anual mínima es aproximadamente de 5° celcius y la promedio anual máxima es poco más de 26° grados celcius. Mientras que la precipitación total anual mínima es de 655 mm y máxima de 2,821 mm.

Tabla 6 Estaciones climatológicas

Nombre	Municipio	Longitud (grados)	Latitud (grados)	Altitud (msnm)
La Trinidad (CFE)	Chilchotla	-97.216667	19.283333	2,681
Quimixtlan	Quimixtlan	-97.148055	19.263611	2,028
El Carrizal	Emiliano Zapata	-96.658333	19.363055	422
Coatepec	Coatepec	-96.944444	19.455555	1,182
Jalcomulco (CFE)	Jalcomulco	-96.761944	19.330000	326
Puente Nacional (CFE)	Puente Nacional	-96.481667	19.325000	71
Tamarindo	Puente Nacional	-96.491667	19.337222	136
Tembladeras	Xico	-97.118055	19.512222	3,126
Tenampa (CFE)	Tenampa	-96.882500	19.251667	1,000
Teocelo	Teocelo	-96.973611	19.386111	1,181
José Cardel	La Antigua	-96.374444	19.364722	0
Ixhuacán de los Reyes (CFE)	Ixhuacán de los Reyes	-97.116667	19.355555	1,788
Cosautlán	Cosautlán de Carvajal	-96.994444	19.332778	1,276
Ixhuacán de los reyes	Ixhuacán de los Reyes	-97.108333	19.348611	1,712
Briones	Coatepec	-96.949444	19.508333	1,340
Oxtlapa	Xico	-97.091667	19.432222	2,107
Mesa de Gómez	Tlalnelhuayocán	-96.976389	19.529167	1,436



Mapa 5.- Temperatura media actual y con proyecciones de cambio climático de tres modelos de circulación general



Mapa 6. Precipitación media anual actual y con proyecciones de cambio climático.

2.3.3.Hidrografía

2.3.3.1.Parámetros hidrográficos

La cuenca del río La Antigua tiene 2,176 km² de superficie con una longitud para el río principal de 148 km y con longitud total de cauces de 4,306 km. Se divide en 31 subcuencas, las cuales se pueden clasificar de acuerdo a la jerarquía o número de orden Horton-Strahler que corresponde al cause principal de la subcuenca, el criterio o valor umbral para la segmentación de subcuencas fue a partir del 4º orden (Tabla 7).

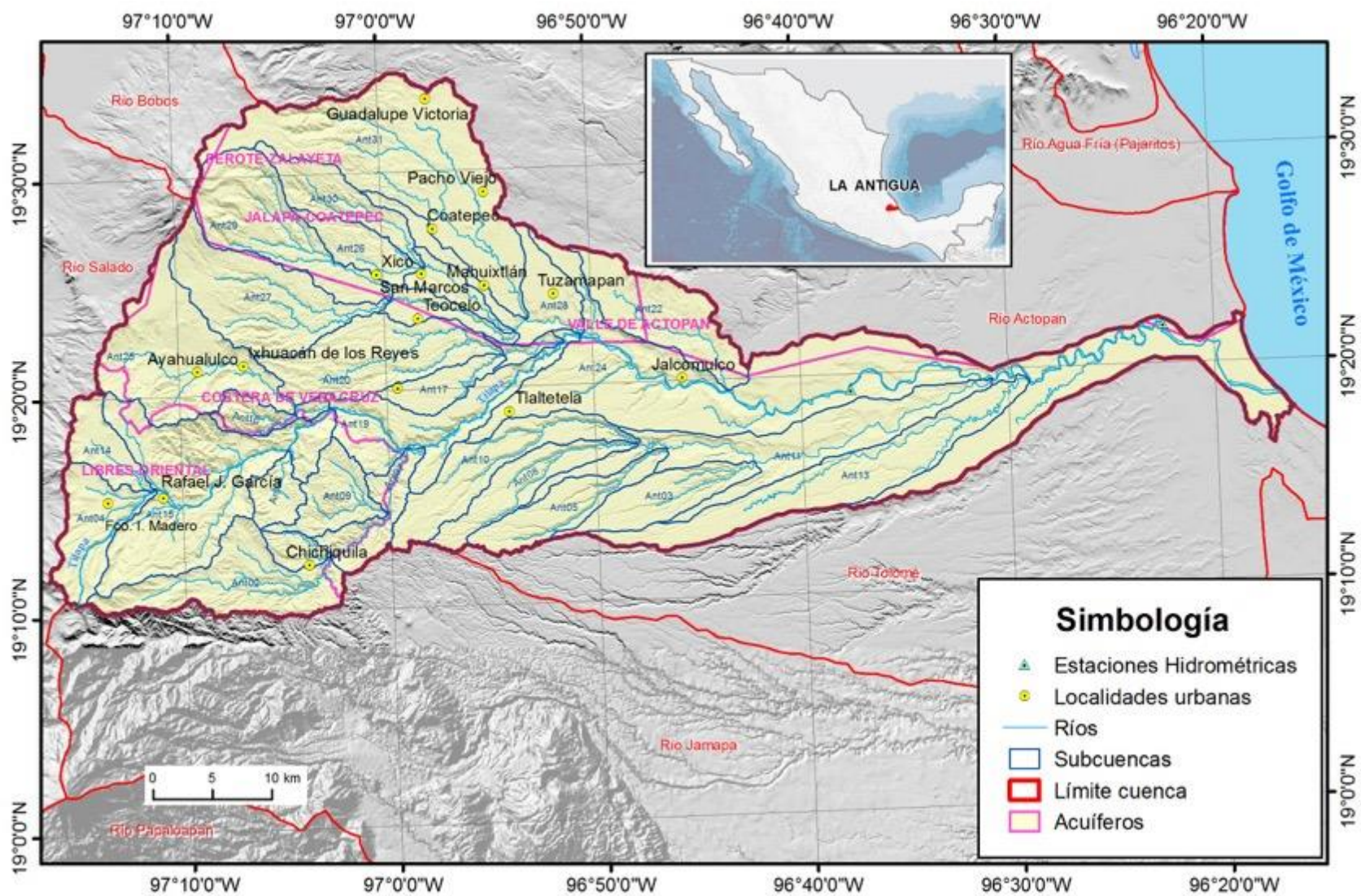
En la cuenca sólo existen dos estaciones hidrométricas (Tabla 7), Tlaltetela que está ubicada en parte inferior de la cuenca Media (a 223 msnmm) y Paso de Ovejas que está en la cuenca Baja (a 13 msnmm).

Con respecto a los acuíferos ordenados por el tamaño de su superficie (Tabla 7 y mapa 7), el primero corresponden al denominado Costera de Veracruz (54.52%), el siguiente corresponde a Jalapa-Coatepec (22.31%), continua el de Liebres-Oriental (19.53%) y el Valle de Actopan (3.21). Finalmente, con menor representación están el de Perote-Zalayeta (0.39%) y Cotaxtla (0.001%).

Tabla 7 Parámetros hidrográficos

Área de la cuenca	2,176.29	km ²	Longitud del río principal:	148.47	km
Longitud total de cauces:	4,306.14	km	Densidad de drenaje:	1.97	km/km ²
Subcuencas de acuerdo al río principal					
Parámetros Hidrográficos				Superficie	
Clave	CH*	Orden HS*	Km2		%
Ant01	E	4	13.064		0.60
Ant02	E	4	85.100		3.91
Ant03	E	4	45.759		2.10
Ant04	E	4	51.761		2.38
Ant05	E	4	45.956		2.11
Ant06	E	4	19.762		0.91
Ant08	E	4	44.674		2.05
Ant09	E	4	37.706		1.73
Ant10	E	4	69.045		3.17
Ant13	E	4	109.835		5.05
Ant14	E	4	29.773		1.37
Ant16	E	4	16.637		0.76
Ant17	E	4	24.932		1.15
Ant20	E	4	87.404		4.02
Ant22	E	4	72.580		3.34
Ant25	E	4	117.815		5.41
Ant26	E	4	28.721		1.32
Ant27	E	4	99.543		4.57
Ant29	E	4	89.942		4.13

Ant30	E	4	41.872	1.92		
Ant31	E	4	204.733	9.41		
Ant07	R-E	5	33.976	1.56		
Ant11	R-E	5	108.696	4.99		
Ant12	R-E	5	3.926	0.18		
Ant15	R-E	5	156.586	7.20		
Ant18	R-E	5	7.409	0.34		
Ant21	R-E	5	20.453	0.94		
Ant23	R-E	5	19.049	0.88		
Ant19	R-E	6	79.539	3.65		
Ant28	R-E	6	50.812	2.33		
Ant24	R	7	359.230	16.51		
Estaciones Hidrométricas						
Municipio	Longitud (grados)		Latitud (grados)	Altitud (msnmm)		
Paso de ovejas	-96.373333		19.361666	13		
Tlaltetela	-96.626666		19.32	223		
Resumen de Subcuencas y Corrientes por Orden HS			Acuíferos			
Orden HS	Subcuencas	Corrientes o segmentos	Nombre	km²	%	
1	-	1769	Costera de Veracruz		1,187	54.52
2	-	824	Jalapa-Coatepec		486	22.31
3	-	489	Libres-Oriental		425	19.53
4	21	135	Valle de Actopan		70	3.21
5	7	153	Perote-Zalayeta		9	0.39
6	2	44	Cotaxtla		0	0.001
7	1	62	*CH=Configuración Hidrográfica, E = Emisora, R-E = Receptora y Emisora, R = Receptora, Orden HS = Orden de corrientes de Horton – Strahler. Otro = canales u obras de trasvase.			
Otro	-	5				



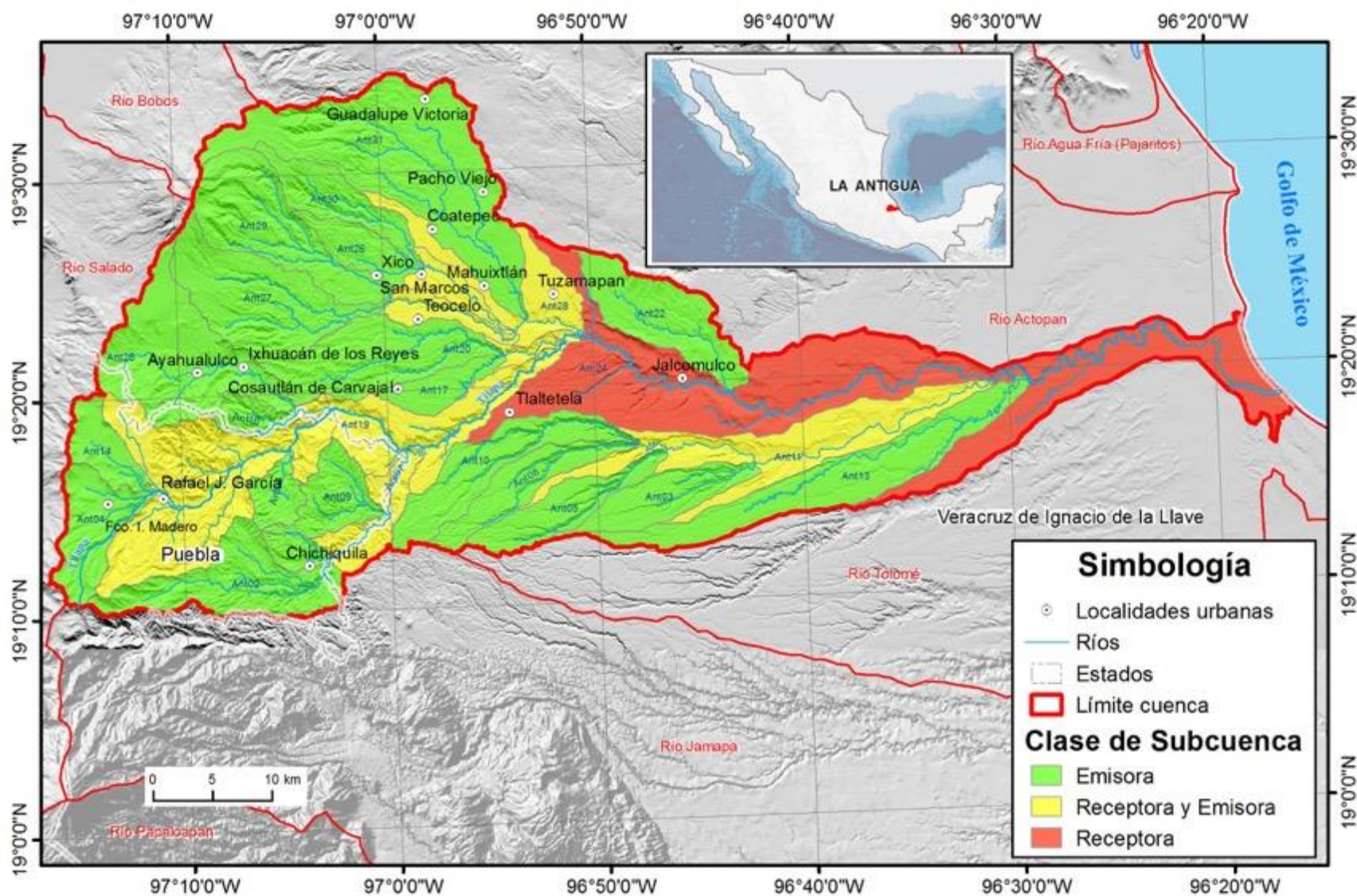
Mapa 7. Hidrografía en la cuenca del río La Antigua. Elaboración propia con datos de INEGI y CONAGUA.

2.3.3.2. Configuración Hidrográfica

Otro criterio de especial interés para clasificar las subcuencas es a partir de la Configuración Hidrográfica (CH), que toma en cuenta la relación espacial del flujo del drenaje superficial de una subcuenca hacia otra. En particular, si una subcuenca sólo emite agua superficial a partir de la red hidrográfica sin recibir de otra, es denominada Emisora (E). Si también recibe agua superficial del flujo aguas arriba, entonces es clasificada como Receptora-Emisora (R-E). Por otra parte, si la cuenca sólo recibe agua superficial, entonces es denominada Receptora (R). En la cuenca del Río La Antigua el 61.41% de la superficie corresponde a subcuencas Emisoras, el 22.07% a subcuencas Receptoras-Emisoras y 16.5% a subcuencas Receptoras (Tabla 8 y mapa 8).

Tabla 8 Configuración de subcuencas emisoras y receptoras de agua superficial

Clase de subcuenca	Cantidad de subcuencas	Superficie	
		km ²	%
(E) Emisoras	21	1,336	61.4
(RE) Receptora – Emisora	9	480	22.1
(R) Receptora	1	356	16.5
Total	31	2173	100



Mapa 8. Configuración hidrográfica de la cuenca del río La Antigua. Fuente: INECC, 2015.

2.3.4.Suelos

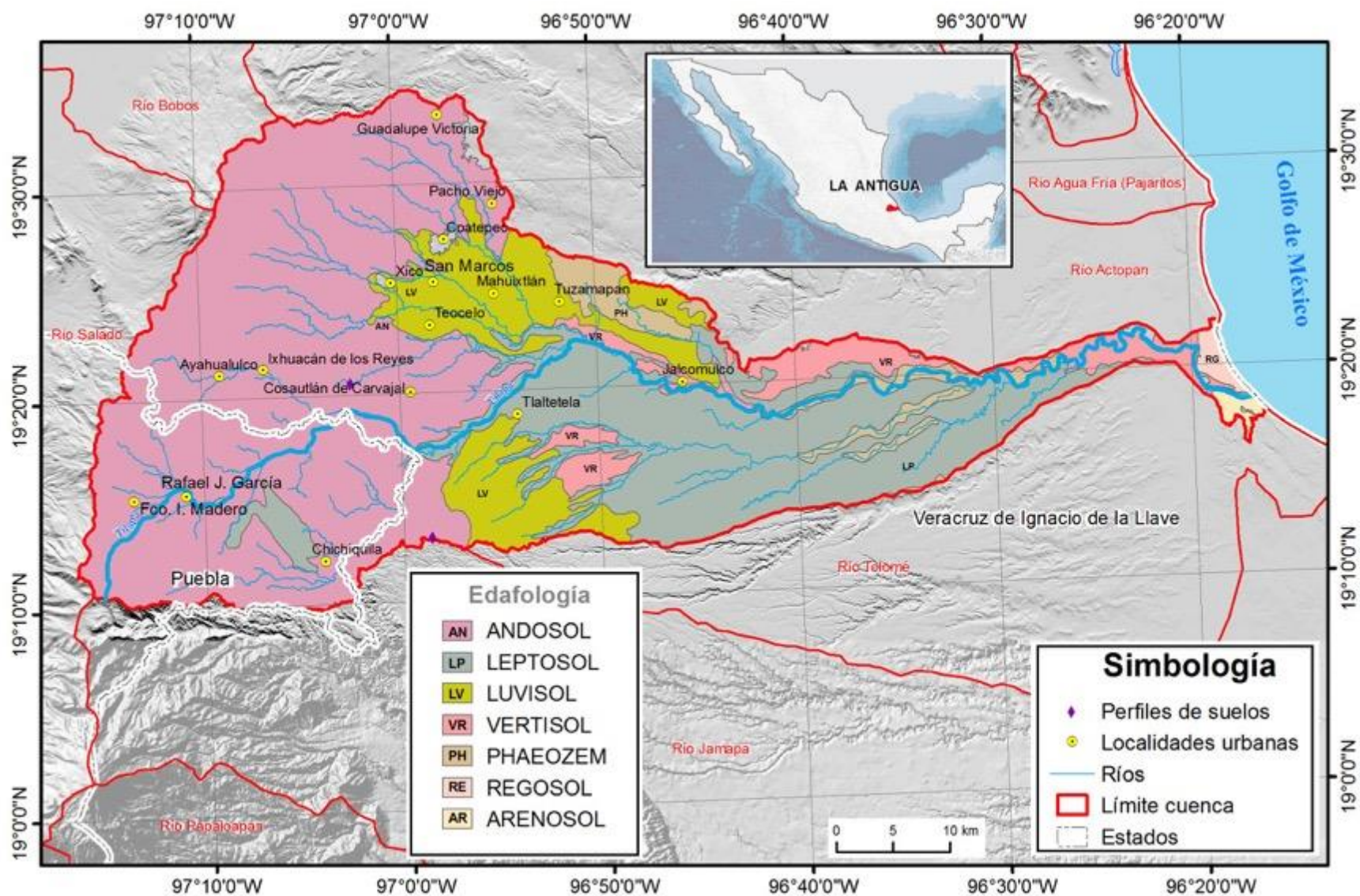
La Tabla 9 muestra que los tipos de suelo que ocupan la mayor superficie en la cuenca son: andosol (51.7%), leptosol (24.58%) y luvisol (12.03%). En menor proporción se encuentran: vertisol (5.89%), *phaeozem* (3.94%), regosol (0.58%) y arenosol (0.46%). Los andosoles son suelos de origen volcánico constituidos por ceniza y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos, su color es oscuro y tienen alta capacidad de concentración de humedad. Este tipo de suelo cuenta con dos perfiles edafológicos o cortes verticales realizados para la cartografía de suelos del INEGI como se indica en el cuadro anexo. Los Andosoles están localizados al oeste de la cuenca (mapa 9), lo cual se explica por su origen asociado a materiales volcánicos del Eje Neovolcánico (Faja Volcánica Mexicana). Estos suelos son muy susceptible a la erosión eólica, por lo que, el uso más favorable para su conservación es el forestal y en condiciones naturales la vegetación que presentan es bosque.

Con respecto a los leptosoles, son suelos muy superficiales, limitados por una roca continua y dura en los primeros 25 cm o con menos del 10 % de tierra fina, y pueden estar en áreas muy erosionadas. Son poco atractivos para la agricultura y presentan una potencialidad muy limitada para cultivos arbóreos o para pastos. Se ubican en la mayor parte de la cuenca Baja y en la cuenca Media (mapa 9).

Los luvisoles son suelos zonales, lo cual significa que están ligados a condiciones ambientales como el clima. Abundan en relieves con pendiente suave, se desarrollan sobre una gran variedad de materiales no consolidados. Están localizados en la parte alta de la cuenca Media (mapa 9). Presentan acumulación o enriquecimiento de arcilla en sus capas inferiores y tienen colores rojos o amarillos debido a la acumulación de óxidos de hierro. Este proceso consiste en el arrastre mecánico de arcillas y de óxidos de hierro, en suspensión, por el agua gravitacional que se infiltra a través de los poros y las grietas del suelo. Estas partículas se depositan posteriormente en capas profundas del suelo, al rellenar diminutos huecos y al formar recubrimientos sobre partículas más gruesas. Los luvisoles tienen así una marcada diferenciación en un corte vertical. Por lo anterior, estos suelos son fértiles y aceptables para usos agrícolas con rendimientos moderados, aunque también tienen alta susceptibilidad a la erosión.

Tabla 9 Suelos

Clave cartográfica	Grupo de suelo	Superficie km ²	Superficie %
AN	Andosol	1,125	51.7
LP	Leptosol	535	24.6
LV	Luvisol	262	12
VR	Vertisol	128	5.9
PH	Phaeozem	86	4
RG	Regosol	12	0.6
AR	Arenosol	10	0.5



Mapa 9. Suelos en la cuenca del río La Antigua. Elaboración propia con datos de INEGI

2.3.5. Vegetación natural actual y con proyecciones de cambio climático

En el año 2011 la vegetación natural de la cuenca cubría aproximadamente 616 km² (28%). Estaba compuesta por 20 clases diferentes de asociaciones vegetales. Entre las más extendidas: bosque mesófilo de montaña (82 km²), vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña (71 km²), bosque de pino (71 km²), bosque de pino-encino (70 km²) y vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (61 km²). Las demás clases de vegetación se pueden identificar en la

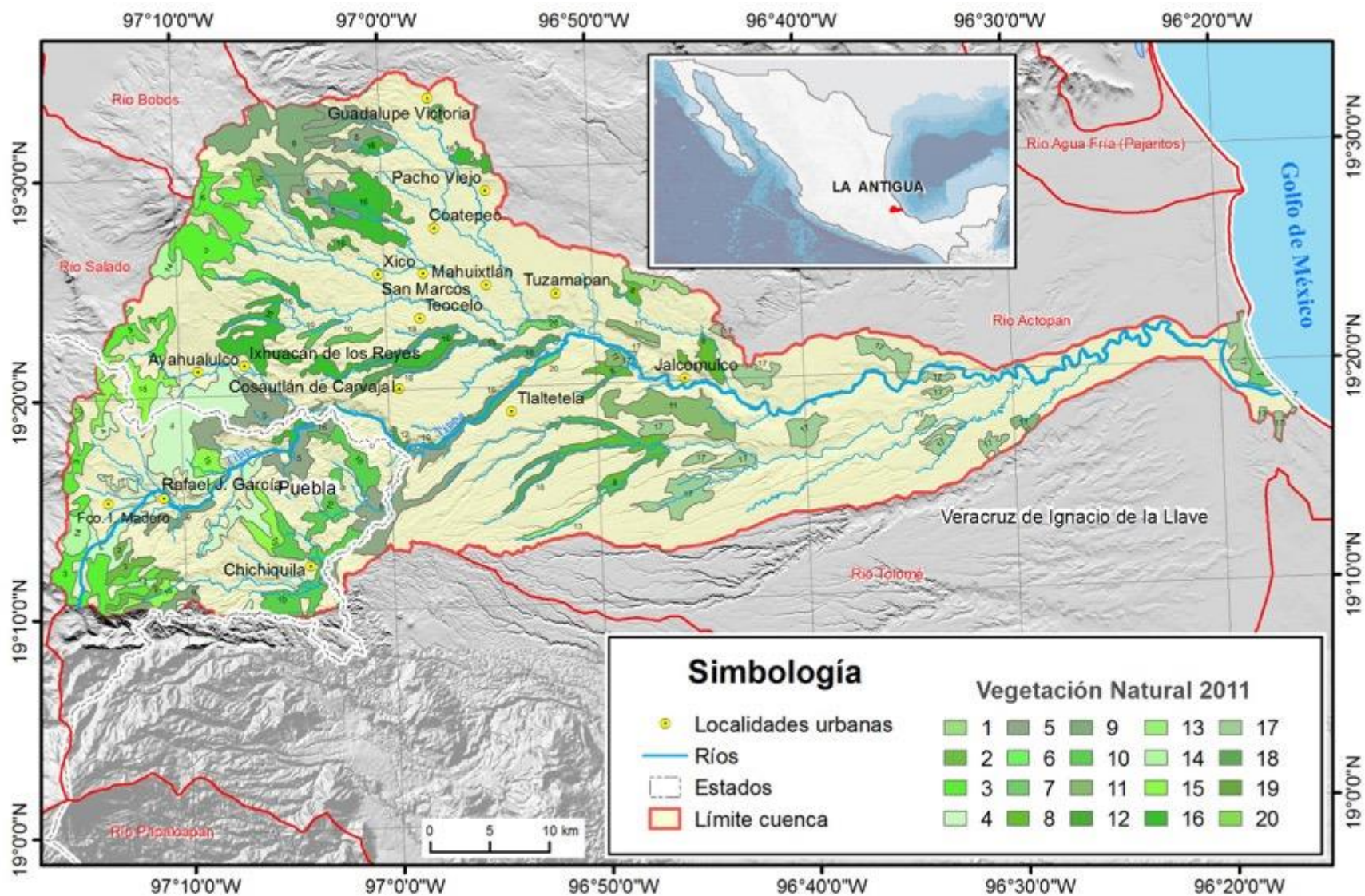
Tabla 10 y su distribución espacial en la mapa 10.

Por otra parte, en el año 2002 la cobertura de vegetación natural era de 597 km² (27%), por lo que para el 2011 fue registrado un incremento de 19 km² como recuperación de vegetación natural, es decir, registró una tasa de recuperación de 2.11 km² por año.

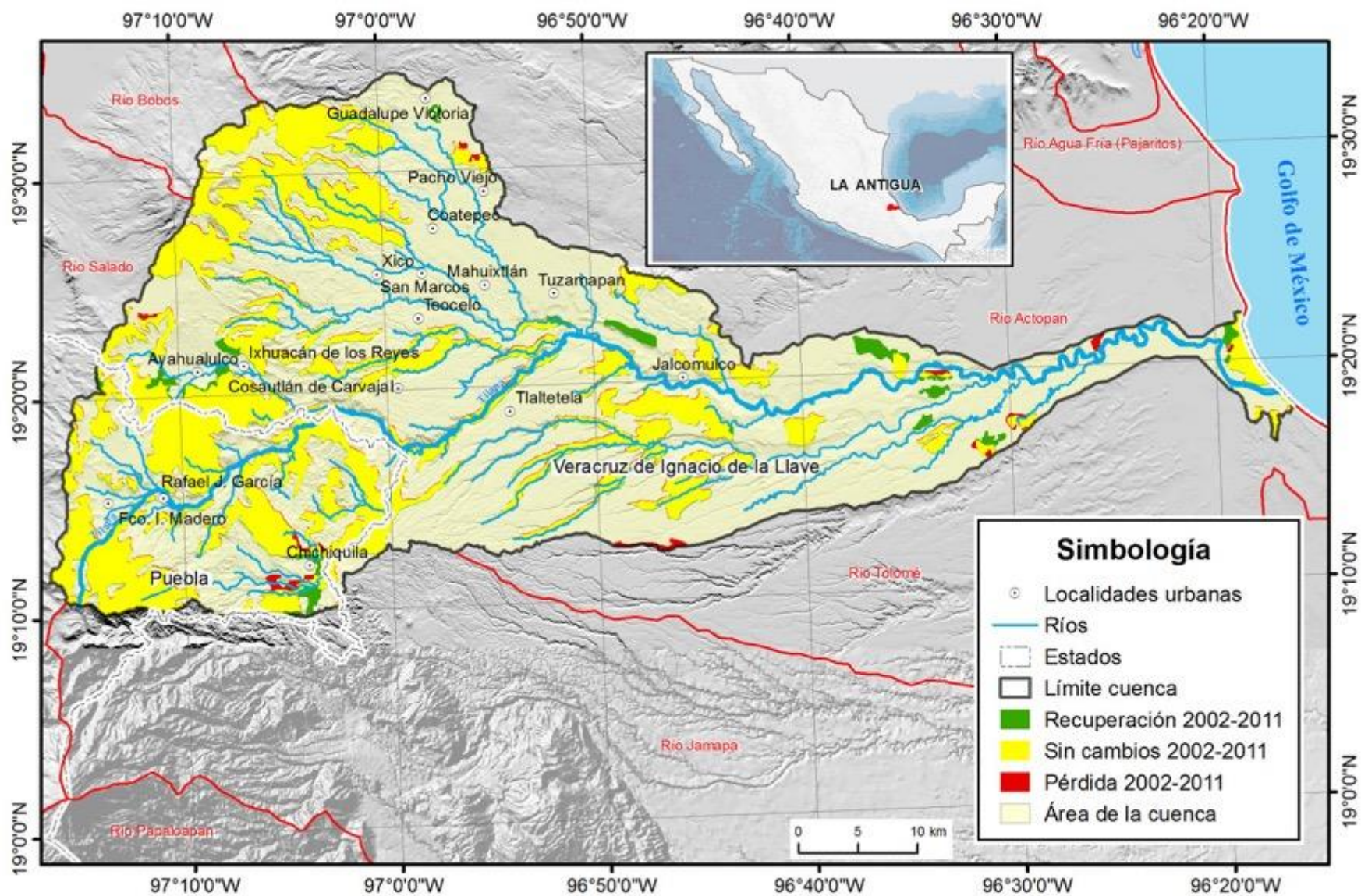
Tabla 10 Vegetación Natural

Clave cartográfica	Tipo de Vegetación	Superficie serie V (2011)	
		km ²	%
1	Bosque de encino	4.78	0.22
2	Bosque de oyamel	11.82	0.54
3	Bosque de pino	70.95	3.26
4	Bosque de pino-encino	70.16	3.22
5	Bosque mesófilo de montaña	82.65	3.79
6	Pradera de alta montaña	1.28	0.06
7	Vegetación de dunas costeras	5.19	0.24
8	Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	30.97	1.42
9	Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	47.48	2.18
10	Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	45.68	2.01
11	Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	27.65	1.27
12	Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subcaducifolia	1.20	0.06
13	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	3.17	0.15
14	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	13.10	0.60
15	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	35.13	1.61
16	Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña	71.54	3.29
17	Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	60.96	2.80
18	Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia	26.42	1.21
19	Vegetación secundaria herbácea de bosque mesófilo de montaña	1.04	0.05
20	Vegetación secundaria herbácea de selva mediana subcaducifolia	4.96	0.22

	Total en cuenca				616.2	28.3
Cambio en superficie de cobertura de vegetación 2002 - 2011						
	Superficie				Cambio	
	km²		%		km²	%
	S III (2002)	S V (2011)	S III (2002)	SV (2011)		
Vegetación Natural	597.18	616.24	27.44	28.31	19.06	0.87
Tasa de pérdida o recuperación (km² / año)					2.11	



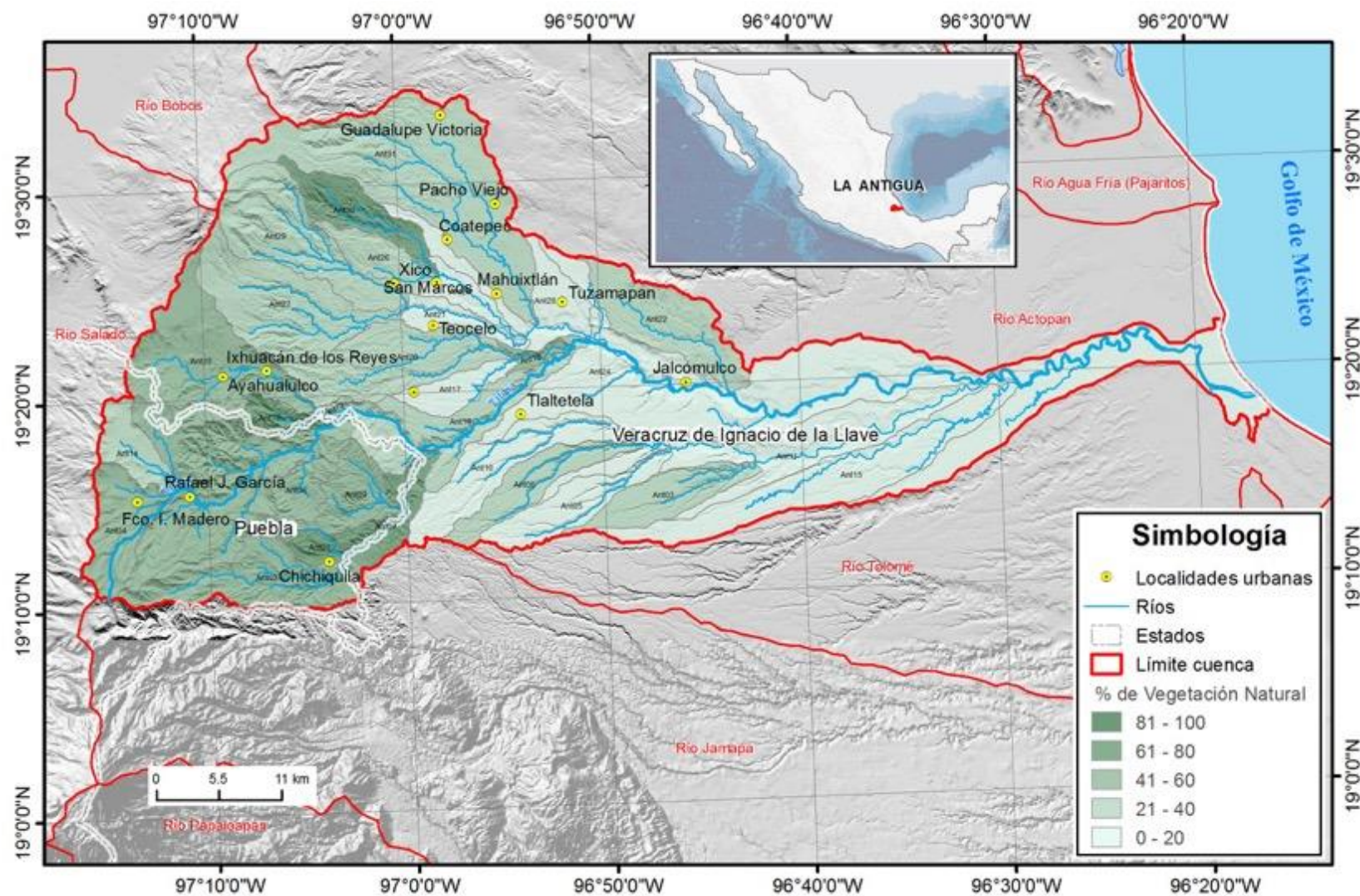
Mapa 10. Vegetación natural en la cuenca del río La Antigua de acuerdo a la Serie V de la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación 2011 escala 1:250,000. Elaboración propia con datos de INEGI, 2013.



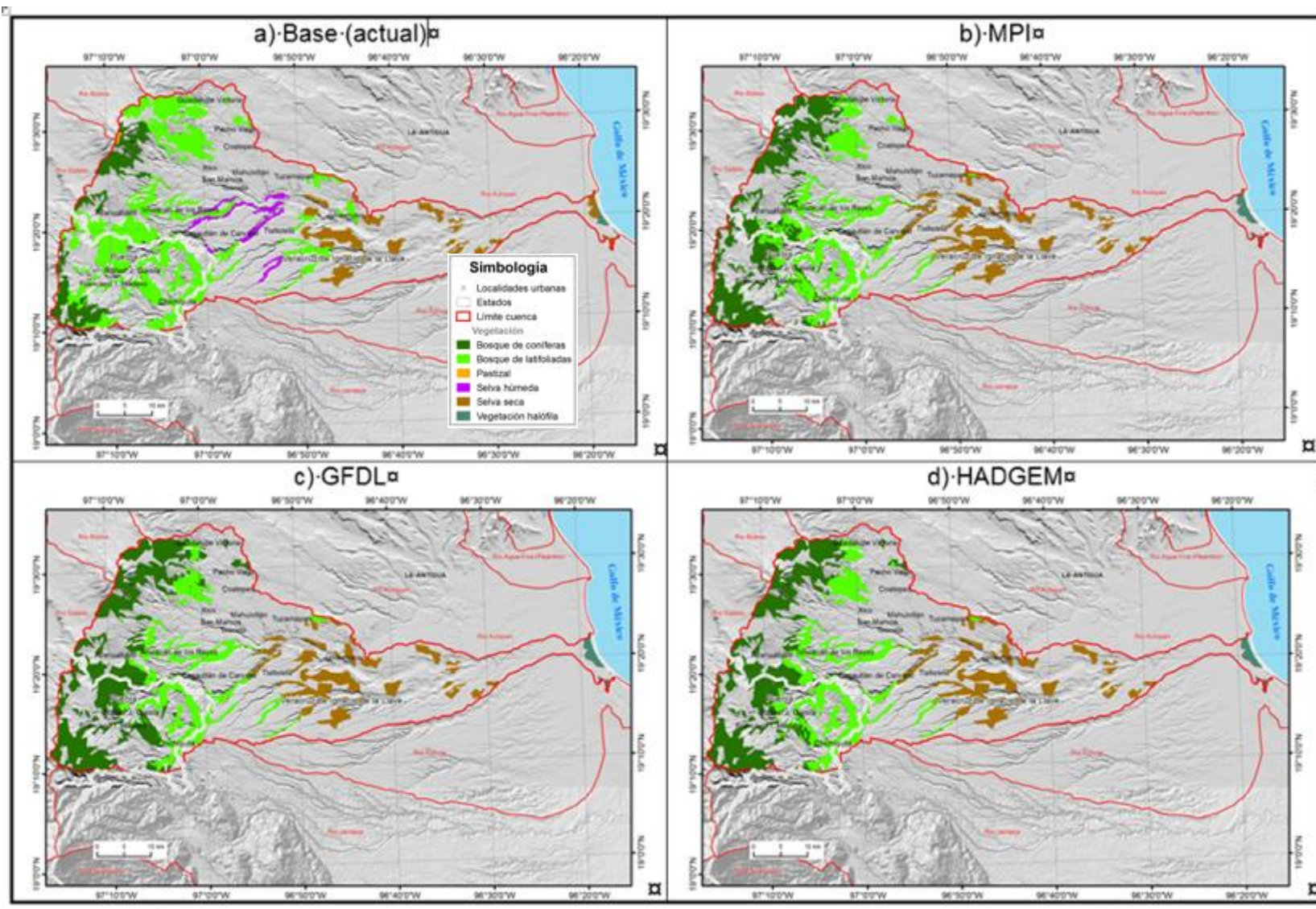
Mapa 11. Cambio en la cobertura del suelo (Vegetación Natural) en la cuenca del río La Antigua.

Además, si se analiza el porcentaje de cobertura de vegetación natural por subcuenca (mapa 12), resultan tres subcuencas en la clase con mayor cobertura, las cuales son: An17 (80%), Ant07 (65%) y Ant30 (62%). Estas subcuencas deben ser contrastadas con los resultados de la oferta de servicios ambientales (capítulo 3), de igual forma es importante considerarlas en relación a las propuestas de acciones de intervención y en su priorización (capítulo 4).

Para estimar la oferta de SAH de la vegetación natural en el contexto del Cambio Climático, fueron analizados los cambios que sufriría ésta bajo diversos escenarios. Para lo cual, la cobertura actual de la vegetación natural (Tabla 10, mapa 10) fue simplificada a menor cantidad de clases (mapa 13a) en relación a la provisión de sus SAH, y fue modelada bajo tres diferentes escenarios de cambio climático: MPI (mapa 13b), GFDL (mapa 13c) y HADGEM (mapa 13d); con un forzamiento radiativo de 8.5 w/m^2 (escenario pesimista) y un horizonte de tiempo 2075-2099 (Sánchez-Colón, *et al.*, 2016). La superficie de vegetación natural actual o línea base (mapa 13a) fue contrastada con la correspondiente a cada a escenario (mapa 13b, mapa 13c y mapa 13c), para lo cual fue realizado un análisis de cambios con datos en formato raster y como síntesis fue creada un matriz de cambios (Tabla 11)



Mapa 12. Porcentaje de cobertura de vegetación natural por subcuenca en la cuenca del río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT-INE (2010) e INEGI



Mapa 13. Cobertura de la vegetación natural actual y en el contexto del cambio climático, bajo diversos escenarios.

Los resultados indican que las superficies de vegetación natural más afectadas serían los bosques de latifoliadas (39,306 ha), los cuales cambiarían a bosque de coníferas (entre 36% y 51%), estos cambios se darían principalmente en la cuenca Alta; además esta clase de vegetación también se estima que cambie a selva seca pero en menor proporción (entre 8% y 9%), lo cual ocurriría en la cuenca Media. Con respecto a la superficie de selva húmeda (3,256 ha) desaparecería por completo y cambiaría a selva seca (entre el 35% y 43%), así como a bosque de latifoliadas (entre el 65% y el 57%), ambos cambios ocurrirían en la cuenca Media. Finalmente, la selva seca (8,818 ha) en pequeña proporción cambiaría a vegetación halófila (9%), lo cual se estima que ocurría en la cuenca Baja.

Tabla 11 Cambio de la vegetación natural actual vs tres proyecciones de cambio climático

Modelo de circulación general	Estructuras vegetales actuales						
	Cambio a:	Bosque de coníferas (9543 ha)	Bosque de latifoliadas (39306 ha)	Pastizal (131ha)	Selva húmeda (3256 ha)	Selva seca (8818 ha)	Vegetación halófila (493 ha)
MPI	Bosque de coníferas	99.42%	36%	100%	0%	0%	0%
HADGEM		99.75%	42%	100%	0%	0%	0%
GFDL		100.01%	51%	100%	0%	0%	0%
MPI	Bosque de latifoliadas	0.09%	55%	0%	57%	0%	0%
HADGEM		0.04%	49%	0%	57%	0%	0%
GFDL		0.00%	41%	0%	65%	0%	0%
MPI	Pastizal	0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
HADGEM		0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
GFDL		0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
MPI	Selva húmeda	0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
HADGEM		0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
GFDL		0.00%	0%	0%	0%	0%	0%
MPI	Selva seca	0.00%	9%	0%	43%	90%	2%
HADGEM		0.00%	9%	0%	43%	90%	2%
GFDL		0.00%	8%	0%	35%	90%	2%
MPI	Vegetación halófila	0.00%	0%	0%	0%	9%	98%
HADGEM		0.00%	0%	0%	0%	9%	98%
GFDL		0.00%	0%	0%	0%	9%	98%

Porcentaje de la cobertura original que permanece dentro de la misma clase

Porcentaje de la cobertura original que cambia a la clase proyectada

Estructura vegetal que desaparece bajo los escenarios de Cambio Climático

2.3.6. Uso de Suelo

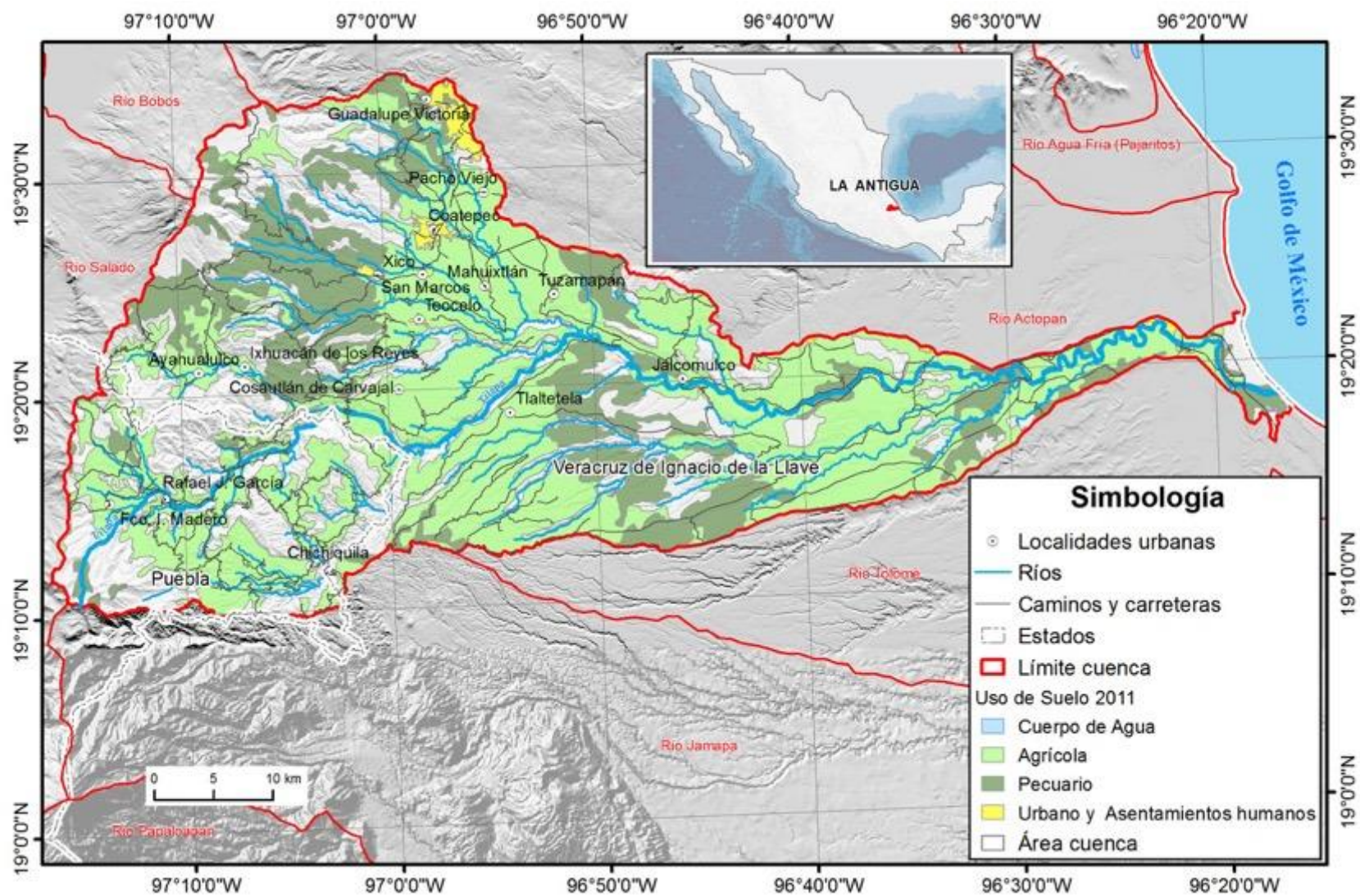
El uso de suelo comprende acciones, actividades e intervenciones que efectúa la sociedad sobre el terreno con el propósito de producir y generar valor, esto implica transformar los lugares en espacio social y productivo. El medio natural es modificado a través de procesos de gestión, planeación e inversión, para dar soporte a actividades productivas, bienestar social y asentamientos humanos. De esta manera, los ecosistemas naturales se convierten en ambientes transformados, tales como: campos de cultivo, pastizales cultivados, bosques cultivados, estanques acuícolas, represas, poblados y ciudades. Describir el uso de suelo de una cuenca permite conocer el espacio creado por el desarrollo de sus actividades económicas vinculadas al bienestar social en ese territorio. El uso de suelo es así un indicador directo de la importancia de tales actividades.

En la sección 2.3.5 fue mencionado que el 28.3% de la cuenca presenta cobertura de vegetación natural. En consecuencia, el 71.7% de la superficie de la cuenca corresponde a ambientes que han sido transformados o modificados de alguna forma (Tabla 12). La categoría de uso de suelo más extendida es agrícola (50.45%) y es seguida por la categoría de uso de suelo pecuario (19.85%). En menor proporción se encuentran las zonas urbanas y asentamientos humanos en general (1.32%), así como los cuerpos de agua (0.07%).

Tabla 12 Uso de suelo

Tipo	Superficie serie V (2013)	
	km ²	%
Cuerpo de Agua	1.52	0.07
Urbano y Asentamientos humanos	28.65	1.32
Agrícola	1,097.84	50.45
Pecuario	432.05	19.85
Total	1,560.05	71.68

La distribución de estos usos de suelo es mostrada en la mapa 14. En general, el uso de suelo agrícola está localizado en la parte inferior de la cuenca Media, en la transición de la cuenca Media con la cuenca Alta, así como en la parte sur de la cuenca Alta. Mientras que el uso de suelo pecuario está localizado en la transición de la cuenca Baja a la cuenca Media, en la parte central de la cuenca Media, así como en la parte norte de la cuenca Alta. El uso de suelo urbano y de asentamientos humanos se encuentra principalmente al norte de la cuenca Alta, así como en la parte superior de la cuenca Media. Para la definición de actividades de intervención en el territorio, en el marco del Manejo Integrado de cuencas, resulta importante consultar el uso de suelo (mapa 14), contrastarlo con los suelos (mapa 9) y con la superficie ejidal (mapa 21)



Mapa 14. Uso simplificado del suelo en la cuenca del río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

2.3.7.Cambio de Uso de Suelo y Cobertura del Suelo

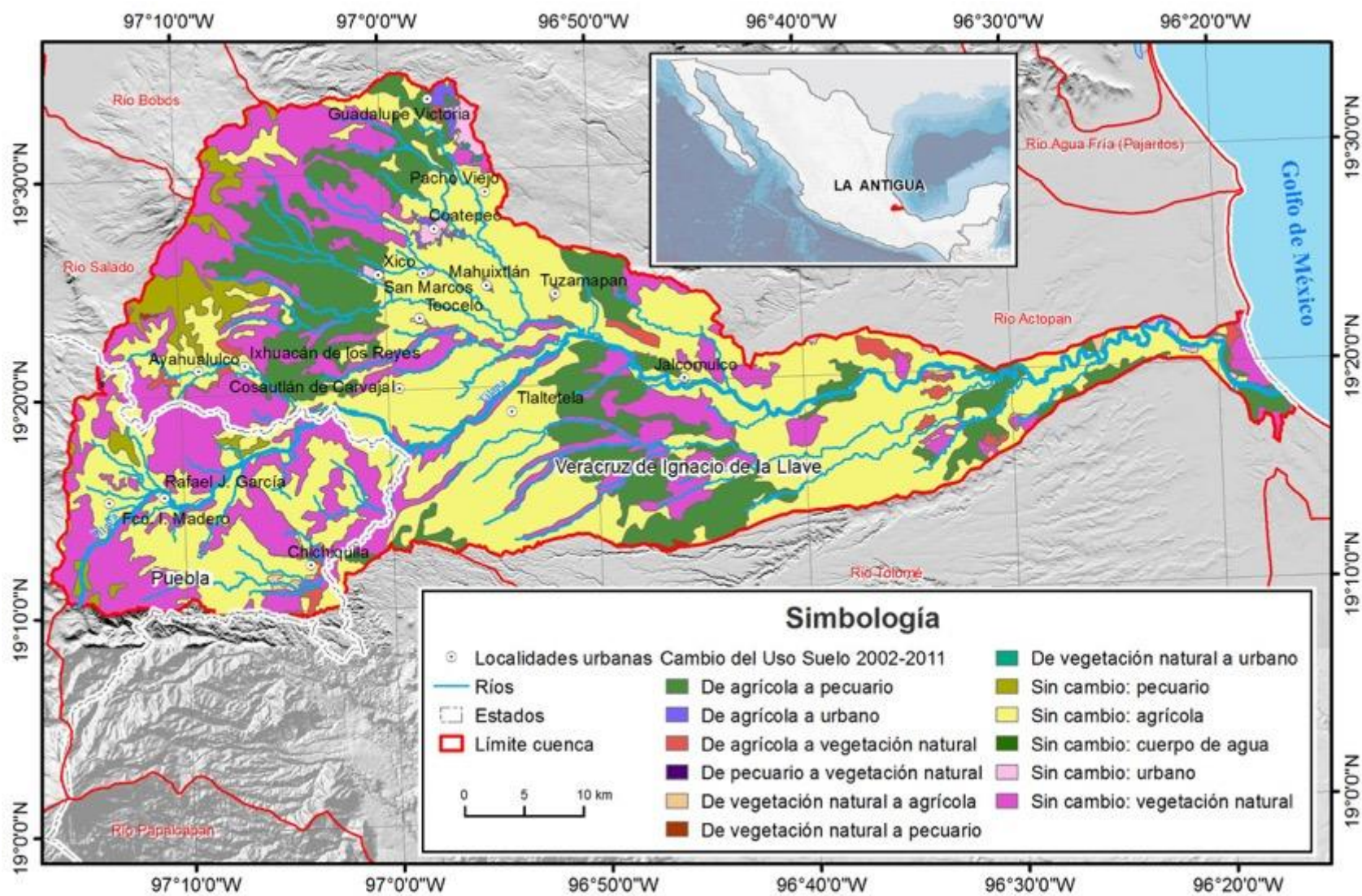
Este apartado integra las superficies de vegetación natural (sección 2.3.5) con las categorías de uso de suelo (sección 2.3.6), el propósito es conocer su dinámica espacio-temporal para el periodo 2002-2011. Aunque son pocos años analizados, este ejercicio permite identificar la ubicación de áreas más dinámicas, tendencias, patrones y tasas de cambio.

El uso de suelo más dinámico fue el agrícola, la superficie dedicada a esta actividad se redujo un 18.37%. Le sigue el uso pecuario cuya superficie incrementó 17.02%. Continúa la cobertura de vegetación natural que incrementó 0.88%. Mientras que la superficie de uso de suelo urbano y asentamientos humanos incrementó un 0.46% (Tabla 13). El mapa 15 muestra las categorías de uso con cambio (dinámicas) y sin cambio (estáticas), así como su distribución espacial. El principal cambio fue de uso agrícola a pecuario (367.75 km²) y le sigue el cambio de agrícola a vegetación natural (28.42 km²). Otros cambios que en general resulta importante conocer son: de vegetación natural a agrícola (6.65 km²), de vegetación natural a pecuario (2.64 km²), de agrícola a urbano (9.03 km²) y de vegetación natural a urbano (0.79 km²).

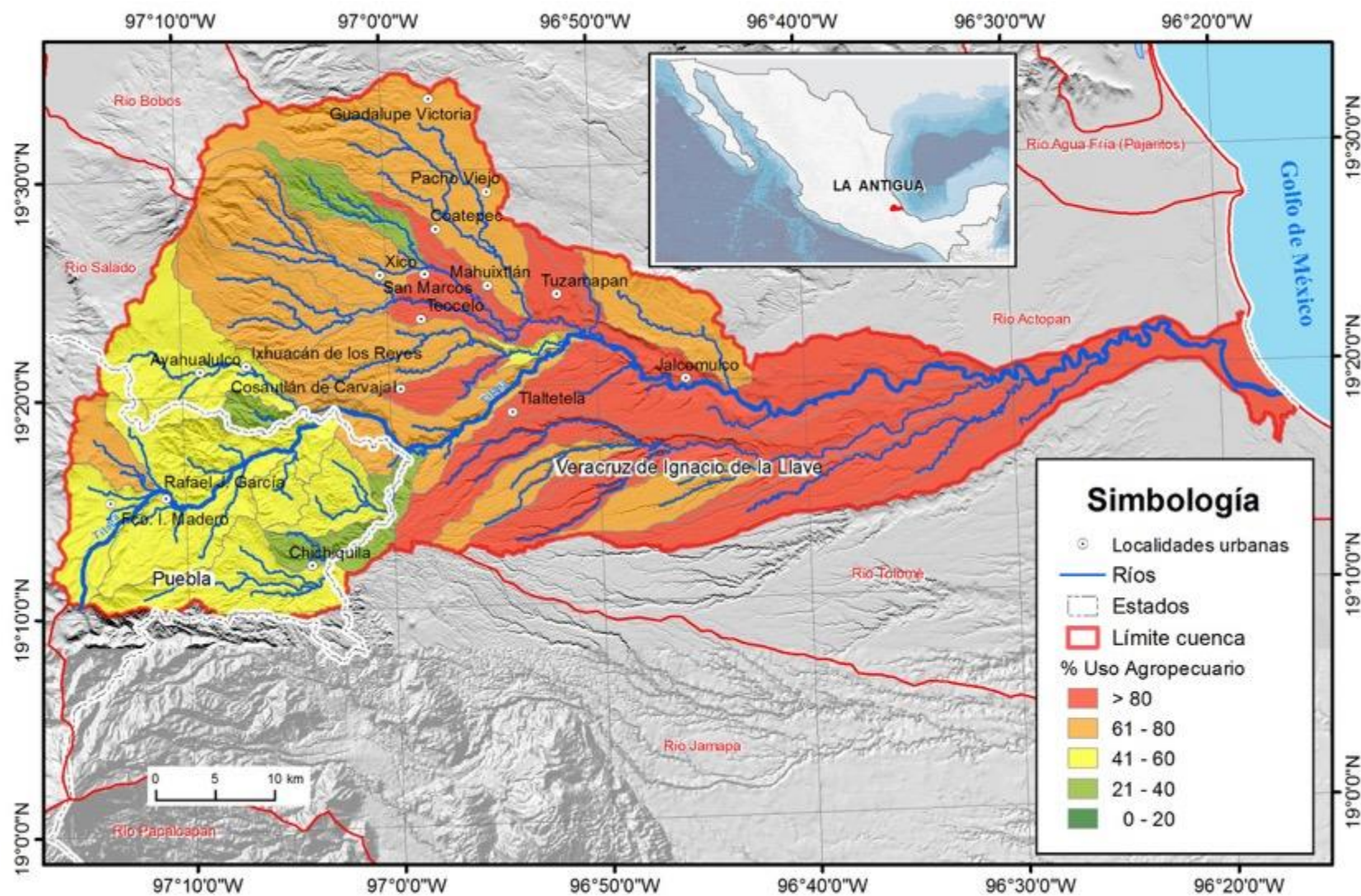
Tabla 13 Cambio de Uso de suelo 2002 – 2011*

Clase / Tipo de Uso o cobertura del suelo	Superficie				Cambio	
	km ²		%		km ²	%
	S III (2002)	S V (2011)	S III (2002)	SV (2011)		
Cuerpo de Agua	1.40	1.52	0.06	0.07	0.11	0.01
Urbano	18.59	28.65	0.85	1.32	10.06	0.46
Agrícola	1,497.55	1,097.84	68.81	50.45	-399.71	-18.37
Pecuario	61.57	432.05	2.83	19.85	370.48	17.02
Vegetación Natural	597.18	616.24	27.44	28.32	19.06	0.88
Clave	Descripción de la clase			Superficie (km ²)		
11	Sin cambio: cuerpo de agua			1.04		
22	Sin cambio: urbano			18.04		
23	De agrícola a urbano			9.03		
25	De vegetación natural a urbano			0.79		
33	Sin cambio: agrícola			1092.44		
35	De vegetación natural a agrícola			6.65		
43	De agrícola a pecuario			367.75		
44	Sin cambio: Pecuario			60.53		
45	De vegetación natural a pecuario			2.64		
53	De agrícola a vegetación natural			28.42		
54	De pecuario a vegetación natural			0.46		
55	Sin cambio: vegetación natural			588.38		
	Total			2,176.23		

Finalmente, resulta importante conocer al interior de cada subcuenca cuál es el porcentaje de uso de suelo agropecuario. Este indicador permite caracterizar indirectamente, la dependencia de tales subcuencas a actividades económicas del sector primario, ya que estas actividades resultan más sensibles a los efectos negativos del cambio climático. Por lo cual, estas subcuencas requieren ser consideradas para implementar actividades de intervención. En este orden de ideas, el mapa 16 indica que en la cuenca Media y cuenca Baja, están ubicadas las subcuencas que presentan más del 80% de uso de suelo agropecuario. Mientras que en la cuenca Alta están localizadas las subcuencas cuyo porcentaje de uso agropecuario es heterogéneo



Mapa 15. Cambio de Uso de suelo en la cuenca del río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.



Mapa 16. Porcentaje de uso de suelo agropecuario por subcuenca en la cuenca del río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI y SEMARNAT-INE, 2010.

2.4. Caracterización poblacional de la cuenca

2.4.1. Caracterización de la población

La población total de la cuenca del río La Antigua registrada en el censo de población y vivienda de 2010 fue de 316,983 habitantes, de los cuales 140,161 (44.22%) vivían en localidades urbanas y 176,822 (55.78%) en localidades rurales, sumando 710 localidades en total. La densidad de población de la cuenca resultó de 145 hab/km². Como información adicional para caracterizar a la población fueron seleccionados nueve indicadores con valor absoluto, extraídos del censo de población y vivienda 2010 del INEGI, los cuales son reportados para toda la cuenca y para las diez subcuencas más pobladas (Tabla 14). A partir de estos indicadores censales, fueron derivados siete indicadores en porcentaje, así como el índice de dependencia socio-económica de la población (IDSEP), el cual sintetiza la información proveída por los primeros (Tabla 15).

Tabla 14 Indicadores censales de población con valores absolutos (2010) en la cuenca y principales subcuencas

Nombre*	Pob*	M*	F*	Ind >2*	Infantil (<15)*	Mayor (>64)*	PEA*	PCSS*	ΣGPE*
La Antigua	316,983	156,549	160,434	18	101,114	21,622	118,665	176,193	2,669.94
Ant31	88,479	42,878	45,601	0	24,686	5,973	38,951	47,418	587.48
Ant24	26,852	13,367	13,485	0	7,454	2,334	10,344	16,041	357.89
Ant26	20,789	10,137	10,652	0	6,084	1,353	8,334	11,603	31.62
Ant15	20,719	10,340	10,379	3	7,961	1,323	6,017	10,895	244.96
Ant25	18,813	9,394	9,419	0	7,354	1,099	5,784	9,451	113.37
Ant28	14,327	6,973	7,354	0	4,065	1,071	5,401	10,139	63.77
Ant02	13,273	6,622	6,651	0	5,410	748	3,782	8,129	107.64
Ant21	10,727	5,167	5,560	0	2,966	862	4,690	7,092	24.26
Ant19	10,125	5,080	5,045	0	3,257	640	3,546	5,542	110.6
Ant23	8,736	4,223	4,513	0	2,570	634	3,485	5,465	41.83

*Notas: Nombre = subcuenca o cuenca completa, Pob: Población, %Pob = porcentaje de población total, M = población masculina, F = población femenina, Ind >3 = población mayor a 3 años que habla lengua indígena, Infantil <15 = población infantil menor a 15 años de edad, Mayor >60 = población de 60 años de edad y más, PEA = población económicamente activa, PCSS = población derechohabiente a seguridad social, ΣGPE = suma del grado promedio de estudios, representa la suma del promedio de grados escolares aprobados por las personas de 15 años y más,

Tabla 15 Indicadores relativos para caracterizar la población en la cuenca y principales 10 subcuencas

Nombre*	%Pob*	% Ind >2*	%DEco*	%DEdad*	%NDSS*	%IGPE*	DPEs*	IDSEP*
La Antigua	100	0.09	62.56	38.72	44.41	36.23	80	44
Ant31	27.91	0	55.98	34.65	46.41	58.3	100	49.22
Ant24	8.47	0	61.48	36.45	40.26	55.8	40	39.00
Ant26	6.56	0	59.91	35.77	44.19	64.9	100	50.80
Ant15	6.54	0.02	70.96	44.81	47.42	57	80	50.04
Ant25	5.94	0	69.26	44.93	49.76	64.6	80	51.43
Ant28	4.52	0	62.3	35.85	29.23	71	80	46.40
Ant02	4.19	0	71.51	46.39	38.76	62.9	80	49.93
Ant21	3.38	0	56.28	35.69	33.89	73	100	49.81
Ant19	3.19	0	64.98	38.49	45.26	61.9	80	48.44
Ant23	2.76	0	60.11	36.68	37.44	67.8	100	50.34

%Ind >3 = porcentaje estandarizado de población mayor a 3 años que habla lengua indígena y no habla español en relación al mismo grupo de población,

%DEco = porcentaje de población con dependencia económica $((\text{Pob}-\text{PEA}) \times 100) / \text{Pob}$,

%DEdad = porcentaje de población dependiente por edad comprende niños menores de 15 años y adultos de tercera edad, de 60 y más años, ambos grupos resultan también más sensibles a las enfermedades,

%NDSS = porcentaje de población no derechohabiente a seguridad social $((\text{Pob}-\text{PCSS}) \times 100) / \text{Pob}$,

%IGPE = inverso del grado promedio de estudios aprobados por las personas de 15 años y más,

%DPEs=densidad de población estandarizada con respecto al valor máximo de cada cuenca,

IDSEP = índice dependencia socioeconómica de la población $((\% \text{Ind} >2 + \% \text{DEco} + \% \text{DEdad} + \% \text{NDSS} + \% \text{IGPE} + \text{DPEs}) / 6)$.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

El IDSEP puede tener valores de 0 a 100. Entre más alto sea el valor para el IDSEP, mayor dependencia socioeconómica tendrá su población. El resultado del IDSEP para toda la cuenca fue de 44 y corresponde a un valor medio, el indicador de población indígena que no habla español resultó ser el más bajo, y por otra parte, densidad de población así como población con dependencia económica fueron los más altos (figura 6).

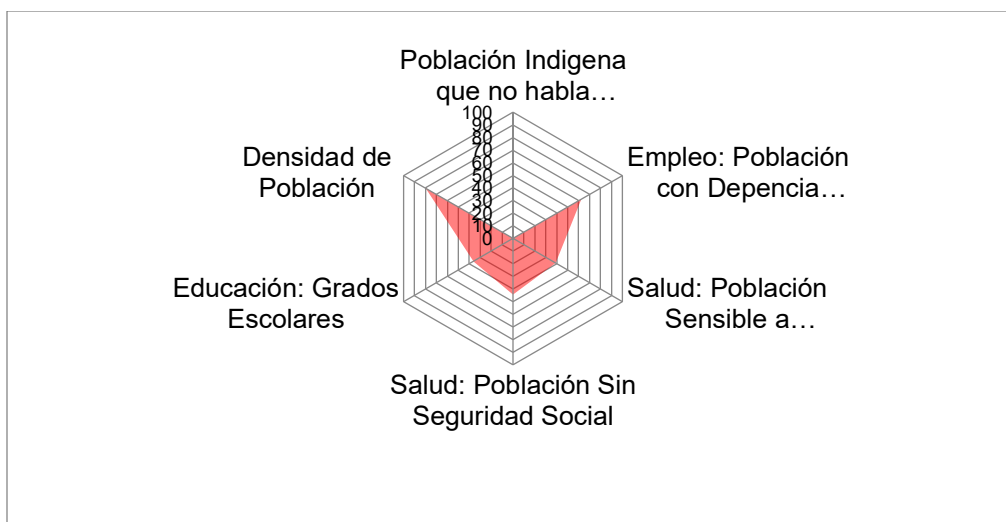
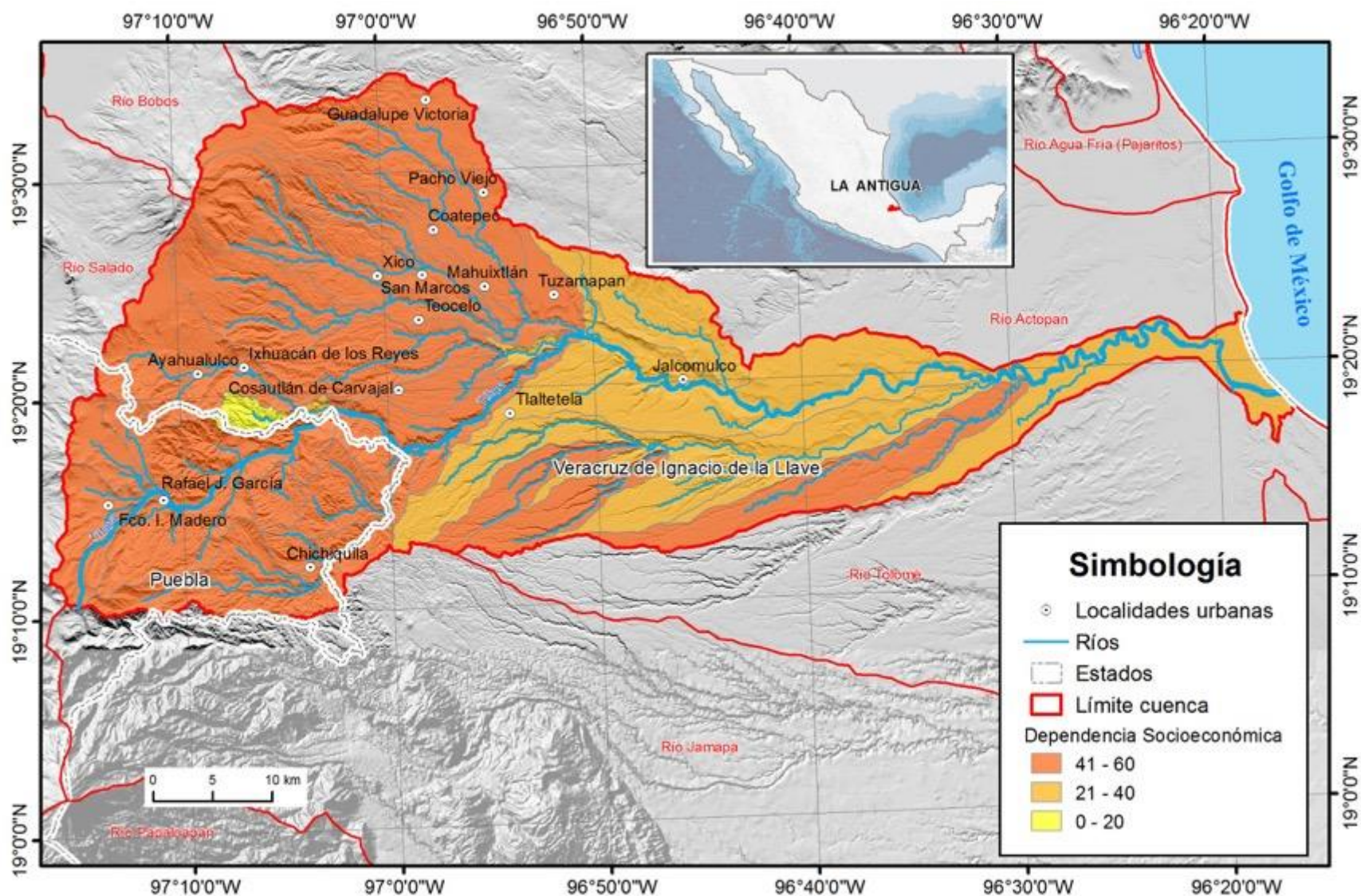


Figura 2.6 Variables consideradas en el Índice de dependencia socio-económica de la población de la cuenca del Río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Con respecto a las subcuencas, en la parte central de la cuenca Alta, la subcuenca Ant16 registró el menor valor del índice de dependencia socioeconómica (20), excepto esta subcuenca, el territorio quedó dividido, la mitad más alta de la cuenca presentó valores entre 41 y 60 para el IDSEP, mientras que la mitad más baja de la cuenca presentó valores entre 21 a 40 para el IDSEP (mapa 17).



Mapa 17. Caracterización de la población de la cuenca del río La Antigua a partir del índice de dependencia socioeconómica de su población (IDSEP) por subcuenca. Elaboración propia con datos de INEGI y SEMARNAT-INE (2010).

2.4.2. Localidades y dispersión de población rural

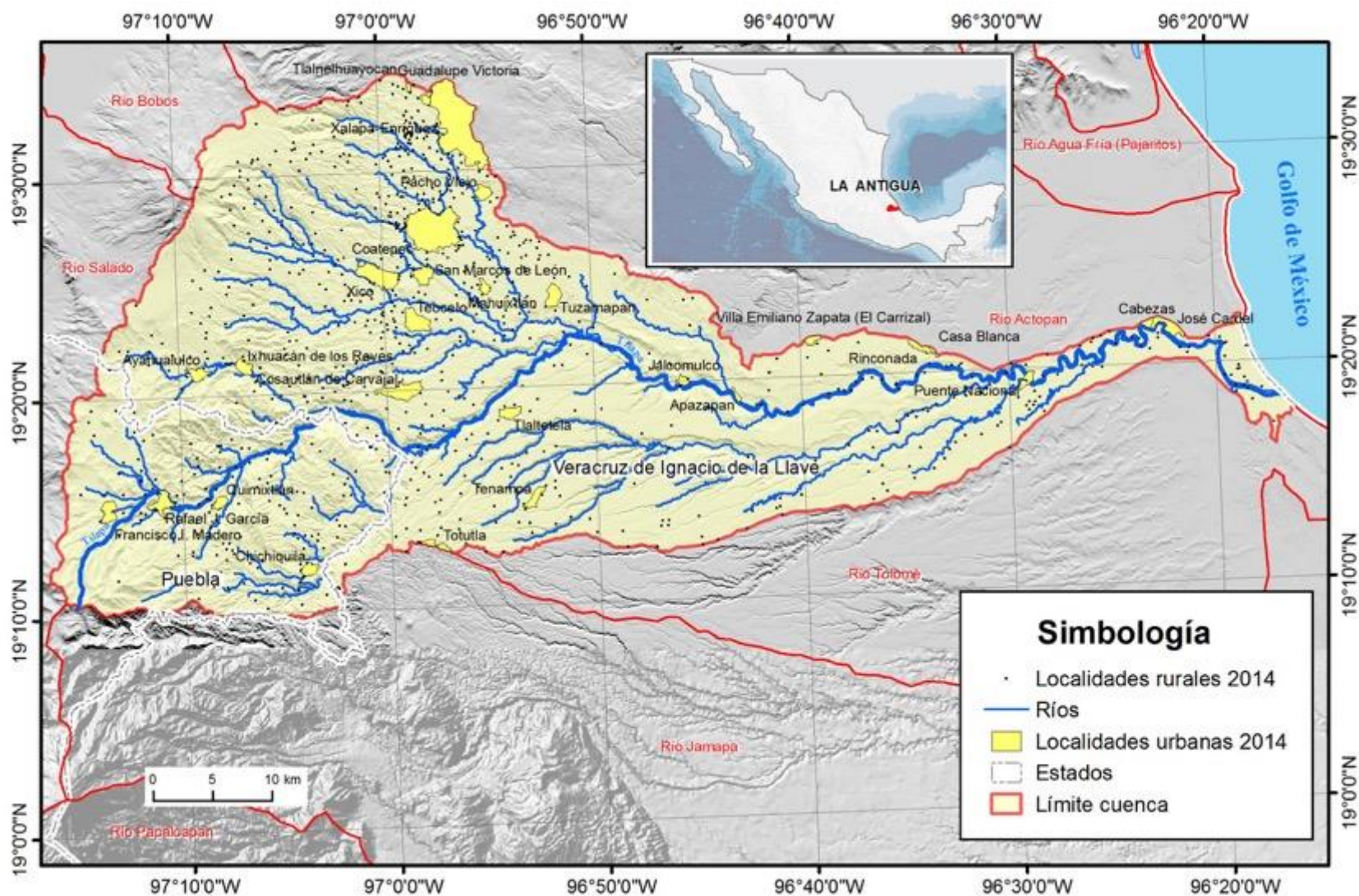
De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, las localidades que conformaban la cuenca eran 710, de las cuales 16 eran urbanas y 694 rurales. Como ya se mencionó, la población total de la cuenca era de 316,983 habitantes, de los cuales 140,161 (44.22%) vivían en localidades urbanas y 176,822 (55.78%) en localidades rurales. Además, el índice de dispersión rural (IDR) presenta alta dispersión para toda la cuenca y de acuerdo con el INEGI en su Marco Geoestadístico 2014 (versión 6.2), el total de localidades incrementó a 887, de las cuales las urbanas fueron 28 y las rurales 859. Por lo anterior, la dinámica poblacional en la cuenca ha generado el incremento de 12 localidades urbanas y 165 rurales en un periodo menor a cuatro años (Tabla 16 y mapa 18).

Tabla 16 Localidades y dispersión rural en la cuenca

	Ambiente*					Total 2010		
	Rural 2010			Urbano 2010				
	V. A.		V.R.%	V. A.	V.R.%	V. A.		V.R.%
Localidades	Lr	694	97.74	16	2.26	Tl	710	100
Población	Pr	176,822	55.78	140,161	44.22	Pt	316,983	100
	Índice de Dispersión Rural (Demangeon), IDR:				(Pr * Lr)/Pt =		387.13	
	Ambiente					Total 2014		
	Rural 2014			Urbano 2014				
	V. A.		V.R.%	V. A.	V.R.%	V. A.		V.R.%
Localidades	859		96.85	28	3.15	887		100
	Cambio 2010 a 2014					Total 2010 a 2014		
	Rural			Urbano				
	V. A.		V.R.%	V. A.	V.R.%	V. A.		V.R.%
Localidades	165		93.2	12	6.8	177		100

*De acuerdo con el INEGI una localidad es urbana si tiene más de 2500 habitantes, o si es cabecera municipal aun con menos habitantes. V.A. = valor absoluto. V.R. = valor relativo. Lr = localidad rural, Pr = población rural, Pu = población urbana, Pt = población total, Tl = Total de localidades, IDR = Índice de dispersión rural. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

El grado de concentración y dispersión de la población al interior de una cuenca puede estimarse por medio del Índice de Dispersión Rural (IDR) de Demangeon (Gutiérrez, 1992), el cual permite conocer la importancia y magnitud de la población dispersa, que fundamentalmente es rural y que resulta un índice muy alto en las cuencas Mexicanas. Este índice, establece las relaciones entre la población de todas las localidades rurales y el número de localidades, con respecto a la población total de la cuenca. En general, la población dispersa está estrictamente relacionada con la geografía rural, ya que la población vive en sus parcelas o en las que trabaja. Y la concentración está relacionada con la geografía urbana, ya que la gente se dedica al sector servicios o secundario y esto implica concentración de la población. Sin embargo, el índice de dispersión en las subcuencas permite identificar la coexistencia de subcuencas con población en localidades urbanas y al mismo tiempo en localidades rurales (Tabla 17).



Mapa 18. Localidades rurales y urbanas en la cuenca del río La Antigua. Elaboración propia con datos de INEGI.

En el Manejo Integrado de cuencas, la información sobre la dispersión de la población rural, permite discriminar subcuencas que por su alta concentración poblacional presupongan una presión mayor sobre los recursos naturales, y así diferenciarlas de aquellas que por su gran tamaño tengan un número de habitantes similar, pero con bajas concentraciones. Este indicador también es útil para establecer el perfil económico de cada subcuenca o grupo de ellas que conformen una región previamente delimitada, de igual forma puede servir para establecer dinámicas económicas regionales en el sector primario, así como para ubicar zonas con posibles niveles de marginación altos.

En la cuenca del río La Antigua, las subcuencas con la clase de dispersión más baja (es decir, con mayor concentración de población) y donde se infiere mayor presión sobre los sus recursos naturales fueron: la subcuenca Ant26 (Xico), que presentó un IDR de 1; las subcuencas Ant01 (Chinchilla), Ant04 (Francisco I. Madero) y Ant23 (San Marcos), que presentaron IDR de 2; la subcuenca Ant17 (Cosautlán de Carvajal), que presenó IDR de 3 y la subcuenca Ant28 (Tuzamapam, Mahuixtlán y parte de Coatepec), que presentó IDR de 4 (mapa 19).

Tabla 17. Población rural, población urbana e índice de dispersión rural por subcuenca 2010

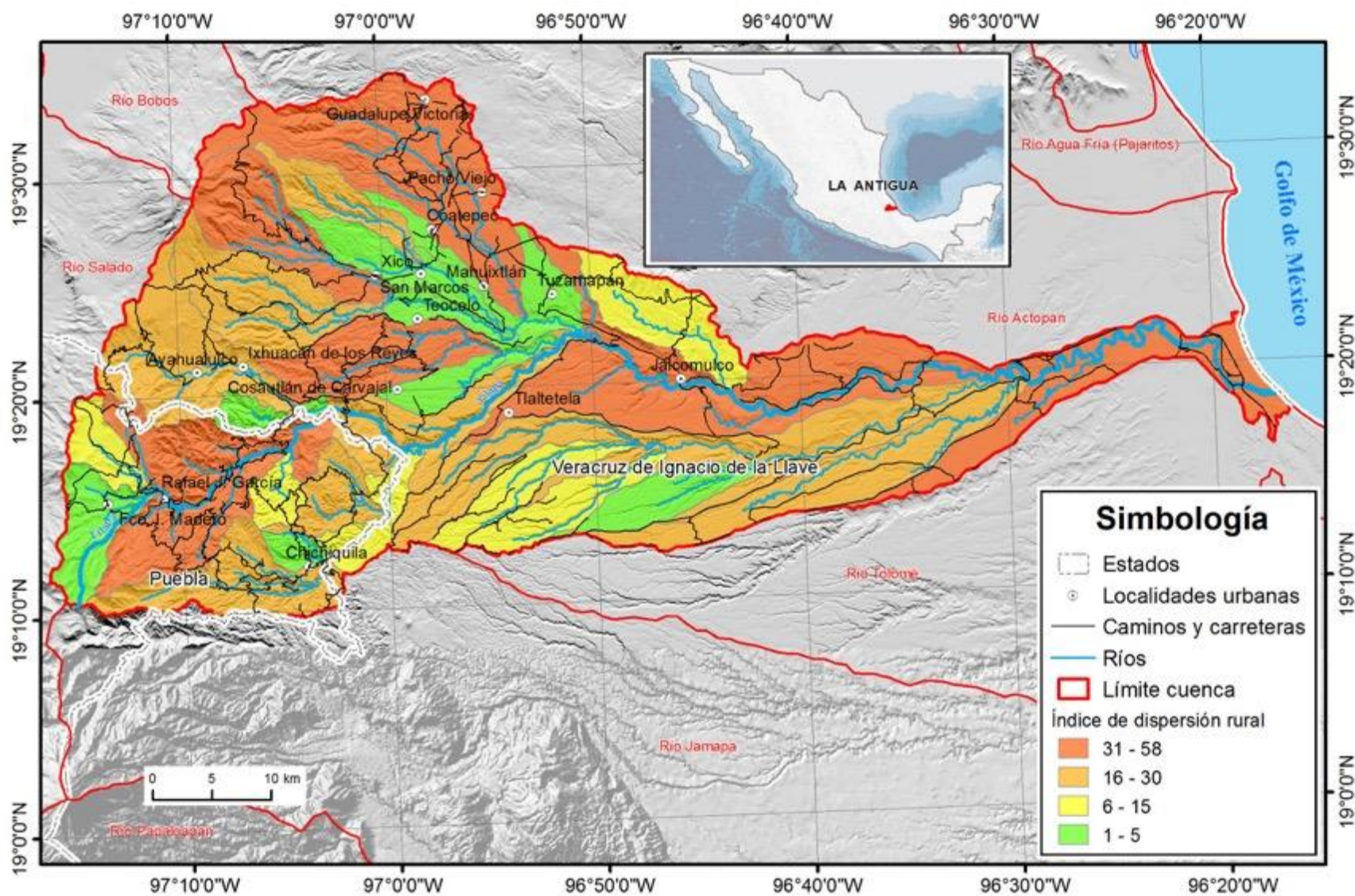
Clave Subcuenca	Población rural (Pr)		Población urbana (Pu)		Población total (Pt)	Localidades Rurales (Lr)	IDR
	V. A.	V.R.%	V. A.	V.R.%			
Ant01	1,568	35.80	2,812	64.20	4,380	5	2
Ant02	13,273	100	0	-	13,273	29	29
Ant03	1,995	100	0	-	1,995	3	3
Ant04	2,789	47.95	3,028	52.05	5,817	5	2
Ant05	4,418	100	0	-	4,418	9	9
Ant06	8,036	100	0	-	8,036	13	13
Ant07	3,363	100	0	-	3,363	9	9
Ant08	5,545	100	0	-	5,545	13	13
Ant09	3,261	100	0	-	3,261	16	16
Ant10	4,003	100	0	-	4,003	17	17
Ant11	5,912	100	0	-	5,912	18	18
Ant12	365	100	0	-	365	2	2
Ant13	4,392	100	0	-	4,392	16	16
Ant14	3,110	100	0	-	3,110	6	6
Ant15	15,850	76.50	4,869	23.50	20,719	56	43
Ant16	1	100	0	-	1	1	1
Ant17	2,883	38.44	4,617	61.56	7,500	8	3
Ant18	500	100	0	-	500	1	1
Ant19	10,125	100	0	-	10,125	29	29
Ant20	8,058	100	0	-	8,058	42	42
Ant21	760	7.08	9,967	92.92	10,727	8	1
Ant22	1,970	100	0	-	1,970	6	6
Ant23	1,480	16.94	7,256	83.06	8,736	12	2

Ant24	19,369	72.13	7,483	27.87	26,852	79	57
Ant25	13,352	70.97	5,461	29.03	18,813	30	21
Ant26	2,137	10.28	18,652	89.72	20,789	8	1
Ant27	6,720	100	0	-	6,720	28	28
Ant28	3,011	21.02	11,316	78.98	14,327	20	4
Ant29	4,262	100	0	-	4,262	44	44
Ant30	535	100	0	-	535	23	23
Ant31	23,779	26.88	64,700	73.12	88,479	138	37

*De acuerdo con el INEGI una localidad es urbana si tiene más de 2500 habitantes, o si es cabecera municipal aun con menos habitantes. V.A. = valor absoluto. V.R. = valor relativo. Lr = localidad rural, Pr = población rural, Pu = población urbana, Pt = población total, Tl = Total de localidades, IDR = Índice de dispersión rural. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Por otra parte, las subcuencas con la categoría más alta de dispersión pueden incluir localidades con las condiciones socioeconómicas más precarias, asociados precisamente a la dispersión y la inaccesibilidad a los asentamientos. En esta categoría se encuentran la subcuencas: Ant24 (Jalcomulco y Tlaltetela), que está ubicada en la cuenca Baja y parte de la cuenca Media con IDR de 57; Ant29 (que incluye parte de Xico), y que está ubicada en la cuenca Alta con IDR de 44; Ant15 (Rafael J. García y Quimixtlán), que está ubicada en la cuenca Alta con IDR de 43, Ant20 (parte de Teocelo), que está ubicada tanto en cuenca Alta como en cuenca Media, con IDR de 42, y la Ant31 (Guadalupe Victoria, Pacho Viejo, parte de Xalapa y parte de Coatepec), igualmente ubicada tanto en cuenca Alta como en cuenca Media, con IDR de 37 (mapa 19).

Además de este análisis, en la interpretación sobre la dispersión de la población rural, se debe considerar también el medio físico, ya que según los elementos naturales disponibles, la población tendrá diferente emplazamiento. Otro factor clave son las vías de comunicación, ya que favorecen la dispersión/concentración del hábitat, la cual puede ser modificada por la acción humana en la cuenca.



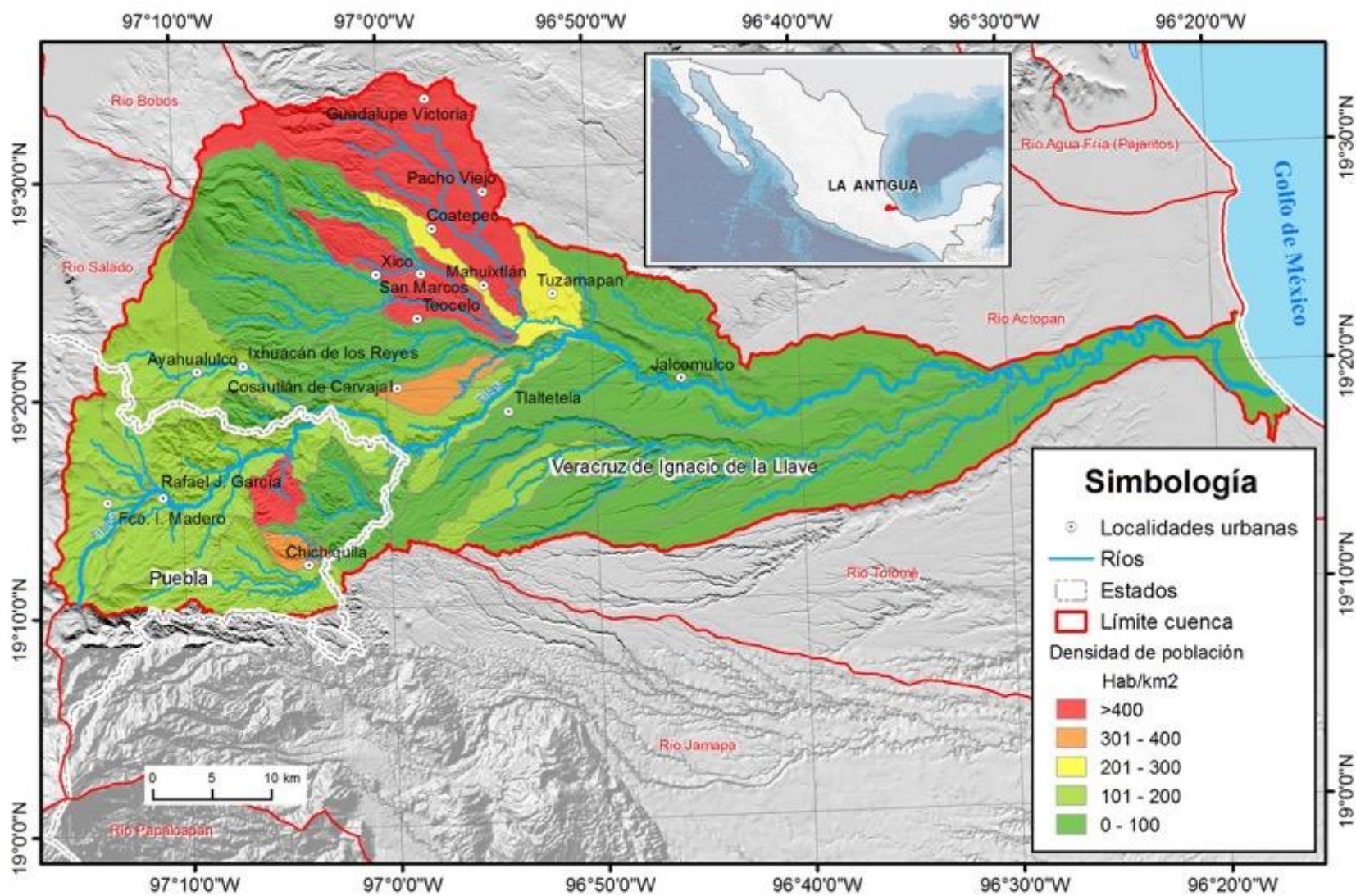
Mapa 19. Índice de Dispersión rural en las subcuencas del río La Antigua.

2.4.3. Densidad de población

La distribución de la densidad de la población en la cuenca está polarizada en dirección este-oeste. Las altas densidades están concentradas en la mitad oeste, principalmente al noroeste y con menor proporción al suroeste de la cuenca (mapa 20). Las altas densidades del noroeste comprenden cuatro subcuencas ubicadas en territorio veracruzano, las cuales son: Ant26 (724 hab/km²), Ant21 (524 hab/km²), Ant23 (458 hab/km²), y Ant31 (432 hab/km²). Además, en el suroeste de la Cuenca, en el territorio poblano, se integra a la misma clase de muy alta densidad la subcuenca Ant06 (407 hab/km²). En contraste, la parte que corresponde a mitad este de la cuenca, presenta las densidades de población con valor menor a 100 hab/km², en una clase constituida por 16 subcuencas diferentes, por ejemplo en la desembocadura del río La Antigua, las subcuencas Ant24 (75 hab/km²), Ant11 (54 hab/km²) y Ant13 con 39 (hab/km²). Cabe mencionar que en la parte central de la cuenca Alta, la subcuenca Ant16 sólo registró 1 habitante en toda la subcuenca, por lo que su densidad es 0 habitantes/km² (Tabla 18).

Tabla 18.Densidad de población

Clave de subcuenca	Población		Área Km ²	Densidad de población (habitantes/km ²)
	Absoluta (habitantes)	Relativa respecto al total de la cuenca (%)		
Ant01	4,380	1.38	13.06	335.28
Ant02	13,273	4.19	85.10	155.97
Ant03	1,995	0.63	45.76	43.6
Ant04	5,817	1.84	51.76	112.38
Ant05	4,418	1.39	45.96	96.13
Ant06	8,036	2.54	19.76	406.64
Ant07	3,363	1.06	33.98	98.98
Ant08	5,545	1.75	44.67	124.12
Ant09	3,261	1.03	37.71	86.49
Ant10	4,003	1.26	69.05	57.98
Ant11	5,912	1.87	108.70	54.39
Ant12	365	0.12	3.93	92.97
Ant13	4,392	1.39	109.84	39.99
Ant14	3,110	0.98	29.77	104.46
Ant15	20,719	6.54	156.59	132.32
Ant16	1	0.00	16.64	0
Ant17	7,500	2.37	24.93	300.81
Ant18	500	0.16	7.41	67.49
Ant19	10,125	3.19	79.54	127.3
Ant20	8,058	2.54	87.40	92.19
Ant21	10,727	3.38	20.45	524.48
Ant22	1,970	0.62	72.58	27.14
Ant23	8,736	2.76	19.05	458.62
Ant24	26,852	8.47	359.23	74.75
Ant25	18,813	5.94	117.82	159.68
Ant26	20,789	6.56	28.72	723.83
Ant27	6,720	2.12	99.54	67.51
Ant28	14,327	4.52	50.81	281.96
Ant29	4,262	1.34	89.94	47.39
Ant30	535	0.17	41.87	12.78
Ant31	88,479	27.91	204.73	432.17



Mapa 20. Densidad de población en la cuenca del río La Antigua.

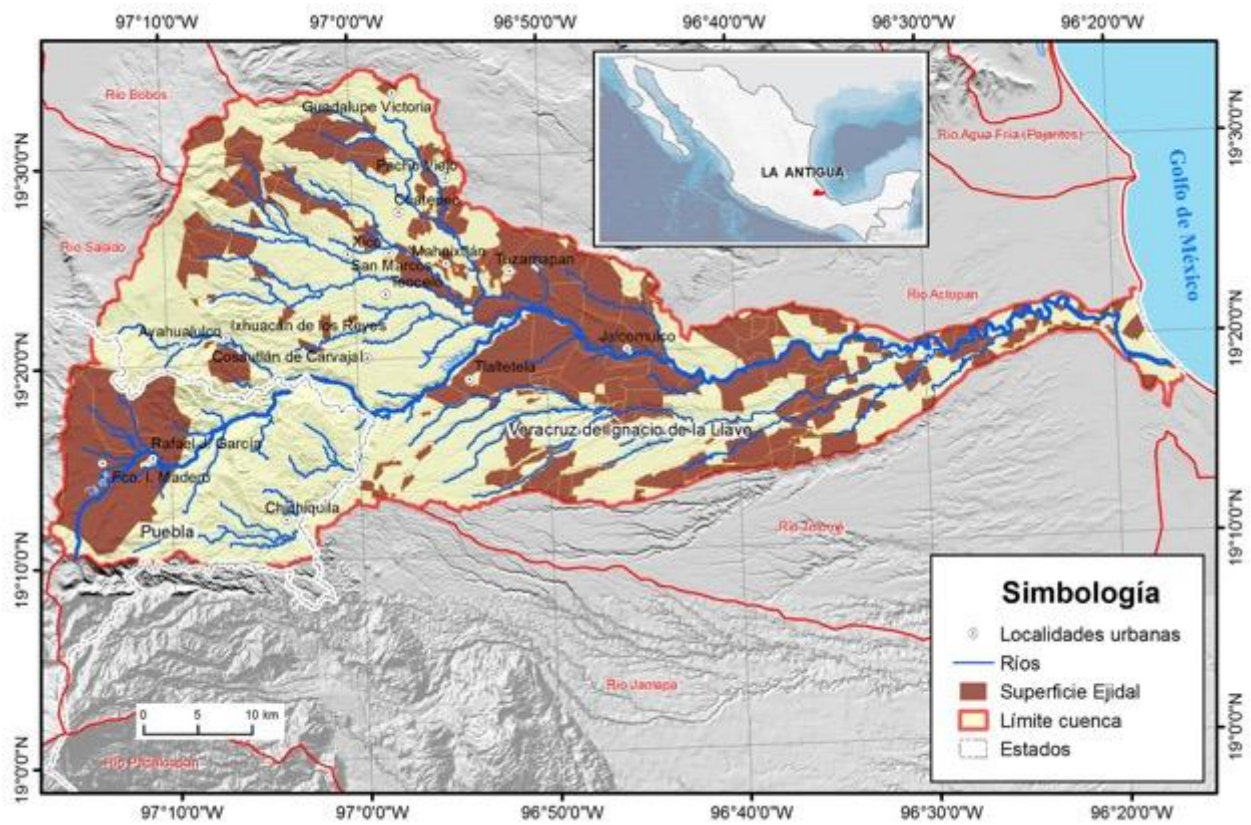
2.5.Caracterización económica

2.5.1.Superficie ejidal

La superficie de la cuenca tiene 778 km² que corresponden a ejidos, esto representa el 35.77% de toda la cuenca (Tabla 19 y mapa 21).

Tabla 19 Superficie ejidal

Tenencia de la Tierra	Superficie	
	Km ²	%
Ejidos	778.48	35.77



Mapa 21. Superficie ejidal en la cuenca del Río La Antigua. Fuente: Elaboración propia con datos de Registro Agrario Nacional e INEGI.

2.5.2. Unidades económicas

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas DENUE (INEGI, 2015), los establecimientos existentes en la cuenca son: 75 para el sector primario, de los cuales la mayoría (51) son de piscicultura y de pesca (19). Con respecto a su emplazamiento cercano a los ríos hay 20 unidades a menos de 100 metros de algún cauce. De estas unidades económicas, 14 son de piscicultura y tres de pesca. Por lo cual, no se detecta un conflicto grave que represente un riesgo para el recurso de agua superficial. Sin embargo, es recomendable identificar las unidades emplazadas muy cerca de tales cauces e implementar medidas para un manejo adecuado de residuos, con el propósito de reducir todo tipo de impacto. En la table 20 se observa el desglose de unidades económicas por tipo de actividad para el sector primario, así como el nombre de algunos de los establecimientos con mayor número de personas empleadas.

Tabla 20. Unidades económicas del sector primario

Actividad	Unidades Económicas (UE)	UE a 100 metros de ríos	
Agricultura	3	2	
Ganadería	2	1	
Piscicultura	51	14	
Pesca	19	3	
Subtotal	75	20	
Establecimientos económicos del sector primario con mayor cantidad de personas empleadas			
Localidad	Nombre del Establecimiento	Clave SCIAN	Empleados
La Antigua	Sociedad de Solidaridad Social de San Pancho	114119	31-50
La Antigua	Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Ribereña	114119	11-30
La Posta	Sociedad Cooperativa Escollera de Playa Norte	114119	11-30
Xico	Compra de Café: Cafés TOMARIS	115113	6-10

En el mismo orden de ideas, con respecto a las actividades del sector secundario, las unidades económicas existentes en el DENUE son 567, de las cuales la mayoría (269) son del giro alimentos, seguidas por construcción (86) y herrería (76). Por su emplazamiento cercano a los ríos existen 96 establecimientos, entre los giros más números están alimentos (39), construcción (14) y herrería (14). Resulta importante convocar a los establecimientos más cercanos a los ríos para su incorporación al PAMIC. En la table 21 se observa el desglose de unidades por actividad para el sector secundario, así como el nombre de algunos de los establecimientos con mayor número de empleados.

Tabla 21. Unidades económicas del sector secundario

Actividad	Unidades Económicas (UE)	UE a 100 metros de ríos	
Energía Eléctrica	11	3	
Captación Tratamiento y suministro de agua	28	3	
Vivienda	15	4	
Construcción	86	14	
Alimentos	269	39	
Textiles	25	4	
Cuero	2	0	
Madera	5	2	
Herrería y varios	76	14	
Muebles	21	7	
Otras manufactureras	29	6	
Subotal	567	96	
Establecimientos económicos del sector secundario con mayor cantidad de empleados			
Localidad	Nombre del Establecimiento	Clave SCIAN	Empleados
Xalapa-Enríquez	Comisión Federal de Electricidad	221110	>251
Xalapa-Enríquez	Grupo Constructor Xallapan, S.A. de C.V.	236221	>251
Xalapa-Enríquez	Pemate, S.A. de C.V.	237312	101 - 250
Xalapa-Enríquez	Inmobiliaria y Constructora Rosi, S.A. de C.V.	236221	101 - 250
Coatepec	Jemavel, S.A. de C.V.	237131	51 - 100

Finalmente, con respecto a las actividades del sector terciario, las unidades económicas existentes en el DENU son 17,165 y por su emplazamiento cercano a los ríos existen 2,922 establecimientos. En la tabla 22 se observa el nombre de algunos de los establecimientos del sector terciario con mayor número de empleados.

Tabla 22. Unidades económicas del sector terciario

Unidades económicas del sector terciario			
Actividad	Unidades Económicas (UE)	UE a 100 metros de ríos	
Comercio y servicios	17,165	2,922	
Establecimientos económicos del sector Terciario con mayor cantidad de personas ocupadas			
Localidad	Nombre del Establecimiento	Clave SCIAN	Empleados
Xalapa-Enríquez	Parque Ecológico El Haya Vivero	931510	>251
Xalapa-Enríquez	Instituto de la Juventud Veracruzana	931610	>251
Coatepec	Chedraui Coatepec Crystal	561330	101 - 250
Xalapa-Enríquez	Super che Xalapa Ignacio de la Llave	561330	101 - 250
Xalapa-Enríquez	Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada	611312	101 - 250
Xalapa-Enríquez	Sistema DIF Veracruz	931610	101 - 250
Xalapa-Enríquez	Instituto Veracruzano de la Vivienda	931610	101 - 250

La figura 7 muestra la proporción relativa que ocupan en la cuenca las unidades económicas incluidas en el DENUe de acuerdo con el sector al que pertenecen.

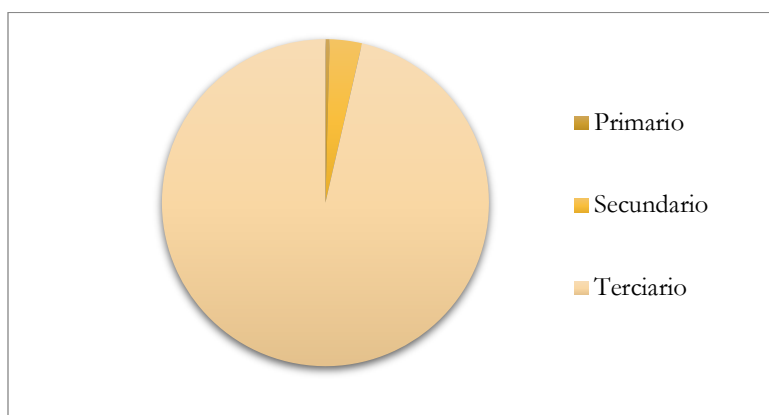


Figura 7. Unidades económicas por sector en la cuenca del Río La Antigua, valores en %.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

2.6. Inversiones y subsidios

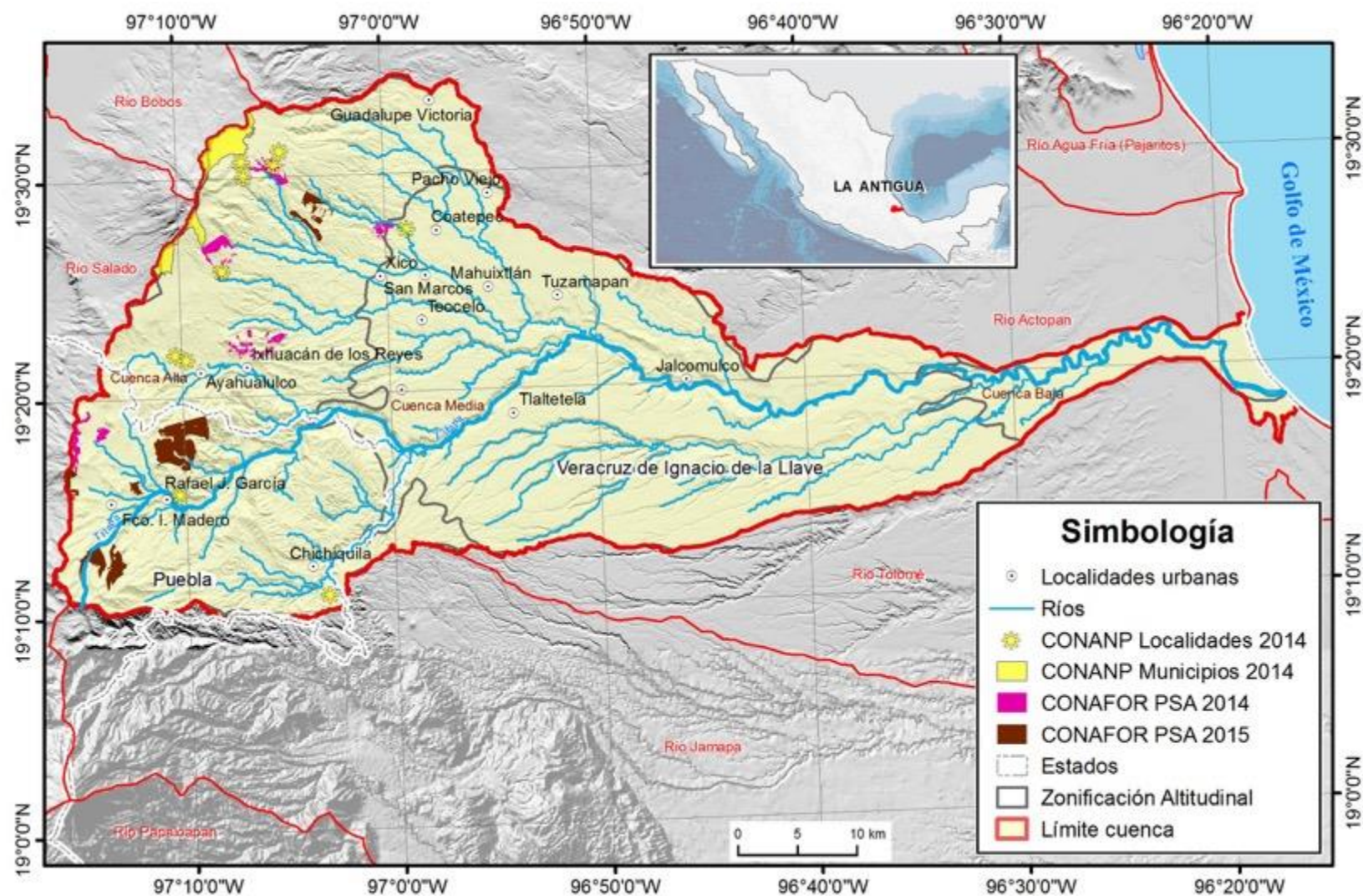
La tabla 23 muestra las inversiones y subsidios federales realizados en materia ambiental, en particular por la CONANP y CONAFOR. Para el 2014 ambas instituciones efectuaron inversión y subsidios en la zona equivalentes a \$5,167,745. Para el 2015 sólo se tuvo información de CONAFOR, que invirtió en la cuenca \$4,166,341. El mapa 23 presenta la localización de tales inversiones como resultado preliminar de su geo-referencia. Se puede concluir que las inversiones están concentradas en la cuenca Alta. Si se considera el promedio de inversión por año (\$4,667,043) y la superficie de la cuenca Alta (999 km²), resulta en promedio una inversión de \$4,672 por km². El reto sería que tales inversiones sean incorporadas al PAMIC, para determinar su pertinencia, continuarlas e impulsar las que sean acordes a las propuestas de acción del PAMIC, en particular las que mayor impacten positivamente en el mantenimiento de los SAH.

Tabla 23. Inversiones y subsidios

¿Quién?		¿Cuándo?					
		2014			2015		
		¿Dónde?	¿Qué?	¿Cuánto?	¿Dónde?	¿Qué?	¿Cuánto?
Institución	Programa	Lugares	Acciones	\$ MXN	Lugares	Acciones	\$ MXN
CONANP	PROCOCODES	PN Cofre de Perote	CPCA	1,073,564			
			CMEAL				
			CC				
			EHC				
			EVF				
			ECYMRN				
			MIFCE				
			MEDES				
			PTAR				
			PE				
			TTRN				
	PROCOCODES C		BCA	217,995			
	PET		BCR	850,880			
			RMC				
	PROVICOM		CV	260,000			
CONAFOR	PSA	Xico	SAH	561,152	Chilchotla	SAH	3,029,599
		Chilchotla	SAH	527,657	Xico	SAH	712,375
		Ixhuacán	SAH	796,932	Xico	SAH	424,367
		Xico	SAH	441,040	-	-	-
		Xico	SAH	438,525	-	-	-
SUBTOTAL 14		-	-	5,167,745			-
SUBTOTAL 15							4,166,341

Guía de abreviaciones	
<i>Abreviación</i>	<i>Descripción completa</i>
CPCA	Centros de Promoción de Cultura Ambiental
CMEAL	Construcción y Manejo de Estufas Ahorradoras de Leña
CC	Cultivos de Cobertera
EHC	Establecimiento de Huertos Comunitarios
EVF	Establecimiento de Viveros Forestales
ECYMRN	Estudios para el monitoreo, Conservación y Manejo de los Recursos Naturales
MIFCE	Manejo Integral del Fuego para la Conservación de Ecosistemas
MEDES	Metodologías para la gestión y planeación participativa comunitaria para el DEsarrollo Sostenible
PTAR	Plantas ara Tratamiento de Aguas Residuales
PE	Proyectos Ecoturísticos
TTRN	Talleres para la Transformación de Recursos Naturales
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
PROCOCES	PROgrama de CONservación para el DEsarrollo Sostenible
PSA	Pago por Servicios Ambientales
BCA	Brigadas de Contingencia Ambiental
PET	Programa de Empleo Temporal
CV	Comité de Vigilancia

De igual forma, resulta evitende incorporar acciones en cuenca Media y cuenca Baja con inversiones similares por unidad de superficie, orientadas a actividades agropecuarias, por lo cual es imperante incorporar en el PAMIC a la SAGARPA y sus diversos programas que podrían participar con auspicio o patrocinio de actividades vinculadas tanto a sus funciones como a la misión del PAMIC.



Mapa 23. Principales áreas con inversiones y subsidios en la cuenca del río La Antigua. Elaboración propia con datos de CONANP y CONAFOR

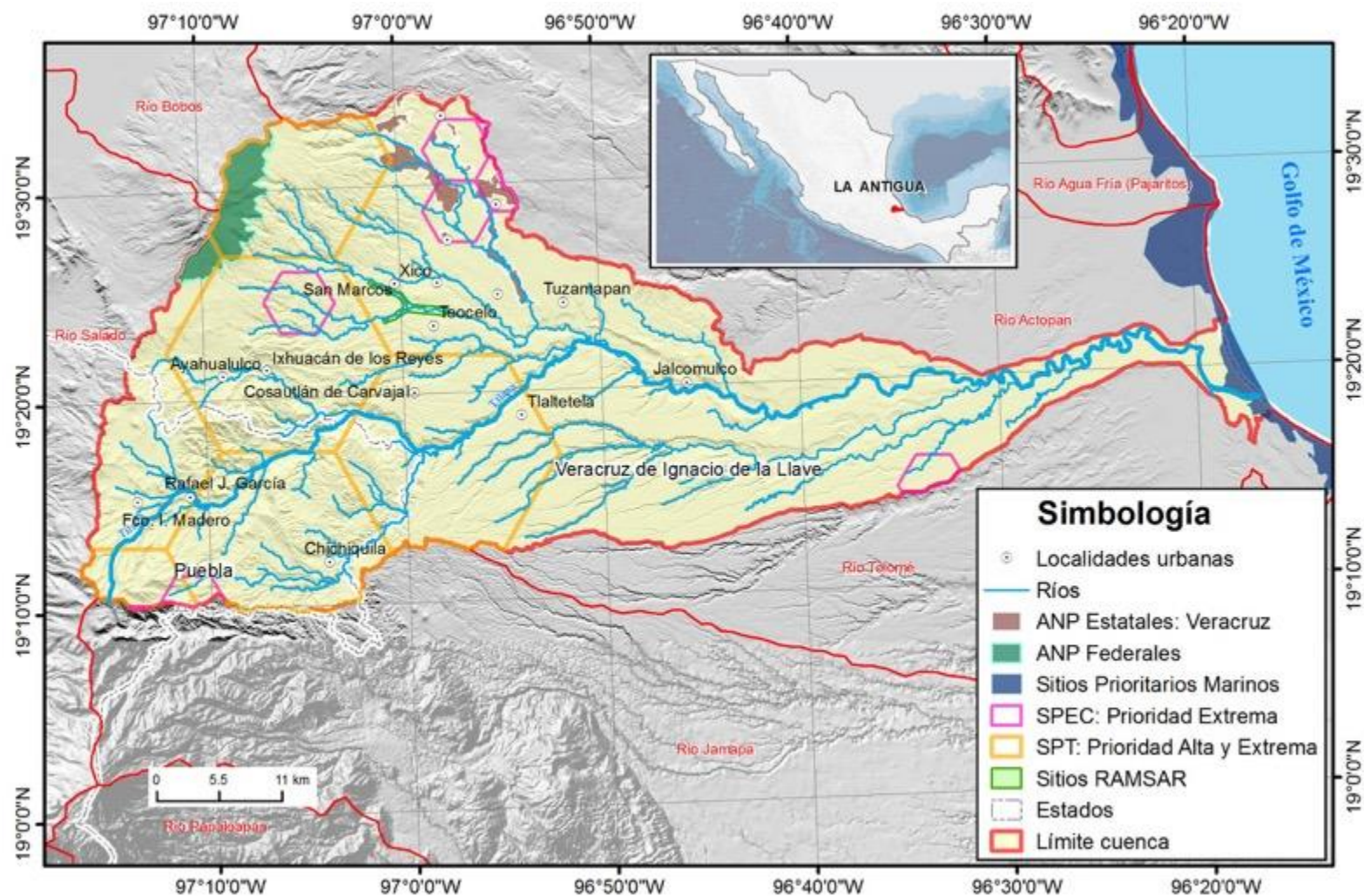
2.7. Vinculación con instrumentos de gestión

La tabla 24 muestra los principales instrumentos de gestión existentes que cubren parte de la cuenca o que impactan en ella por su cercanía y beneficios ambientales, incluye instrumentos federales, estatales y otros.

Tabla 24. Vinculación con instrumentos de gestión

Instrumentos Federales (Áreas Naturales Protegidas ANP)					
Nombre	Fecha	Superficie en la cuenca			Vinculación
		Ha	%	% de cuenca	
PN Cofre de Perote	5/4/1937	4,284.33	37.15	1.96	
Instrumentos Estatales (Áreas Naturales Protegidas ANP)					
Nombre	Fecha	Vinculación principal			
Nombre	Fecha	Superficie en la cuenca			Vinculación
		Ha	%	% de cuenca	
Archipiélago de Bosques y Selvas de la Región Capital		3,502.91	61.69	1.610	
Francisco Javier Clavijero		76.58	100	0.035	
Cerro de las Culebras		35.23	100	0.016	
Molino de San Roque		16.35	100	0.008	
Macuiltepetl		5.36	18.75	0.002	
Predio Barragán		1.05	75.64	0.000	
Otros instrumentos					
Nombre	Fecha	Vinculación principal			
		Superficie en la cuenca			Vinculación
		Ha	%	% de cuenca	
Sitio RAMSAR: Cascadas de Texolo y su entorno	2/2/2006	500	100	0.046	
Sitios Prioritarios Terrestres		93,681.89	N.A.	43.04	
Sitios Prioritarios Epicontinentales		101,008.68	N.A.	46.41	
Sitios Prioritarios Marinos: Humedales Costeros del centro de Veracruz		21,952.61	100	10.08	

El mapa 24 muestra la localización de áreas que cuentan con instrumentos de gestión en la cuenca.



Mapa 24. Áreas con instrumentos de gestión disponibles en la cuenca del río La Antigua. ANP = Área Natural Protegida, SPEC = Sitios Prioritarios Epi-Continetales, SPT= Sitios Prioritarios Terrestres. Elaboración propia con datos de CONANP, CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz e INEGI.

Capítulo 3.- Relación Oferta-Demanda de Servicios Ambientales Hidrológicos.

En este capítulo se identifica y describen las relaciones de oferta y demanda de servicios ambientales hidrológicos (SAH), particularmente provisión de agua superficial, en la cuenca del río La Antigua. Estas relaciones se establecen con base en el suministro de agua superficial tanto en cantidad como calidad y en la conectividad hídrica del territorio, esto permite priorizar el territorio con la finalidad de focalizar la implementación de acciones.

Este capítulo se desarrolla en las siguientes fases:

- Demanda de agua superficial por subcuenca.
- Zonificación de la provisión de servicios ambientales hidrológicos.
- Delimitación de las zonas de provisión de SAH
- Priorización territorial para la implementación de acciones
-

• © Jordi Vera

Este capítulo tiene como objetivo identificar y resaltar las relaciones que existen entre las subcuencas con mayor demanda de agua superficial y las zonas que proveen este servicio ambiental, para esto se evaluó a cada subcuenca con respecto a los usos y volúmenes de agua, población y actividades productivas, y de esta manera asignar una calificación o categoría a cada unidad hidrográfica. Posteriormente, con base en la conectividad hidrográfica de las subcuencas y con el conocimiento local sobre las redes de suministro de agua, se identifican y agrupan las subcuencas que tienen alguna relación hídrica de manera natural o artificial (trasvases) con la cuenca de mayor demanda.

3.1. Zonificación de la demanda de agua superficial en la cuenca.

De acuerdo al registro público de derechos del agua (REPDA, 2014), en la cuenca se tienen identificados 7 diferentes usos con título de concesión para el aprovechamiento de agua superficial. El uso público urbano es el de mayor volumen de demanda en la cuenca con más de 62 millones de m³/año concesionados, seguido del uso industrial con más de 48 millones de m³/año (considerando el uso no consuntivo o generación de energía hidroeléctrica) y en tercer lugar el uso agrícola con más de 32 millones de m³/año. Los usos acuícola, pecuario y doméstico apenas representan el 2.5 % del volumen total concesionado en la cuenca. En la siguiente gráfica se muestra, por uso los volúmenes y el porcentaje que representa cada uno.

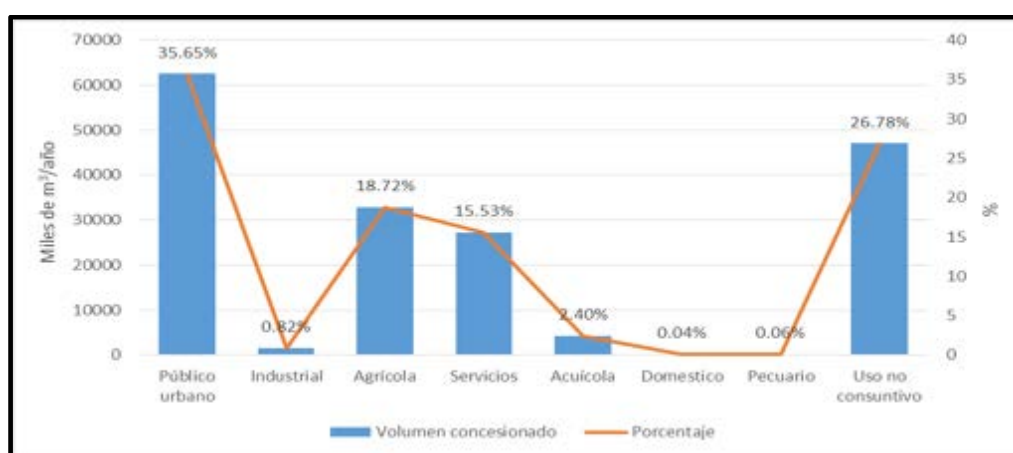


Figura 8.- Volúmenes y porcentajes por usos de agua superficial concesionada en la cuenca.

Tabla 25.- Volumen por uso de agua superficial concesionado en la cuenca.

Volumen (m³/año)	Usos							
	Público urbano	Industrial	Agrícola	Servicios	Acuícola	Doméstico	Pecuario	Uso no consuntivo
	62,646,613	1,433,297	32,885,433	27,290,955	4,213,901	73,462	109,631	47,054,000

En esta etapa se asigna una categoría a cada subcuenca con respecto a la demanda “global” de agua superficial, para determinar se evaluó las siguientes características de cada subcuenca:

- Usos y volumen de agua concesionado
- Población
- Superficie con uso agropecuario
- Producción de energía hidroeléctrica (uso no consuntivo)

Para facilitar el manejo, interpretación y presentación de los resultados y datos utilizados en la metodología propuesta, los volúmenes y usos del agua concesionados en el registro público de derechos del agua (REPDA) se agruparon en la Tabla 26.

Tabla 26.- Agrupación de los volúmenes y usos del REPDA, para los fines metodológicos del PAMIC

Demanda para:	Usos de acuerdo al REPDA
Uso agropecuario	Volumen para uso acuícola + volumen para uso agrícola + volumen para uso pecuario
Uso público y de servicios	Volumen para uso doméstico + volumen para uso público urbano + volumen para uso industrial + volumen para uso de servicios
Uso no consuntivo	Volumen concesionado para la generación de energía hidroeléctrica

Con la finalidad de asignar algún grado de demanda, considerando la heterogeneidad de las subcuencas con respecto al uso y volumen de agua, población y actividades productivas. Se estimó la demanda para los tres usos mencionados en la tabla anterior, para posteriormente estimar una demanda “global”, que corresponde a la integración de la demanda para estos tres usos.

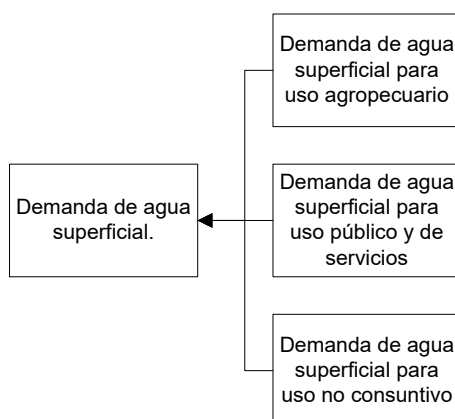
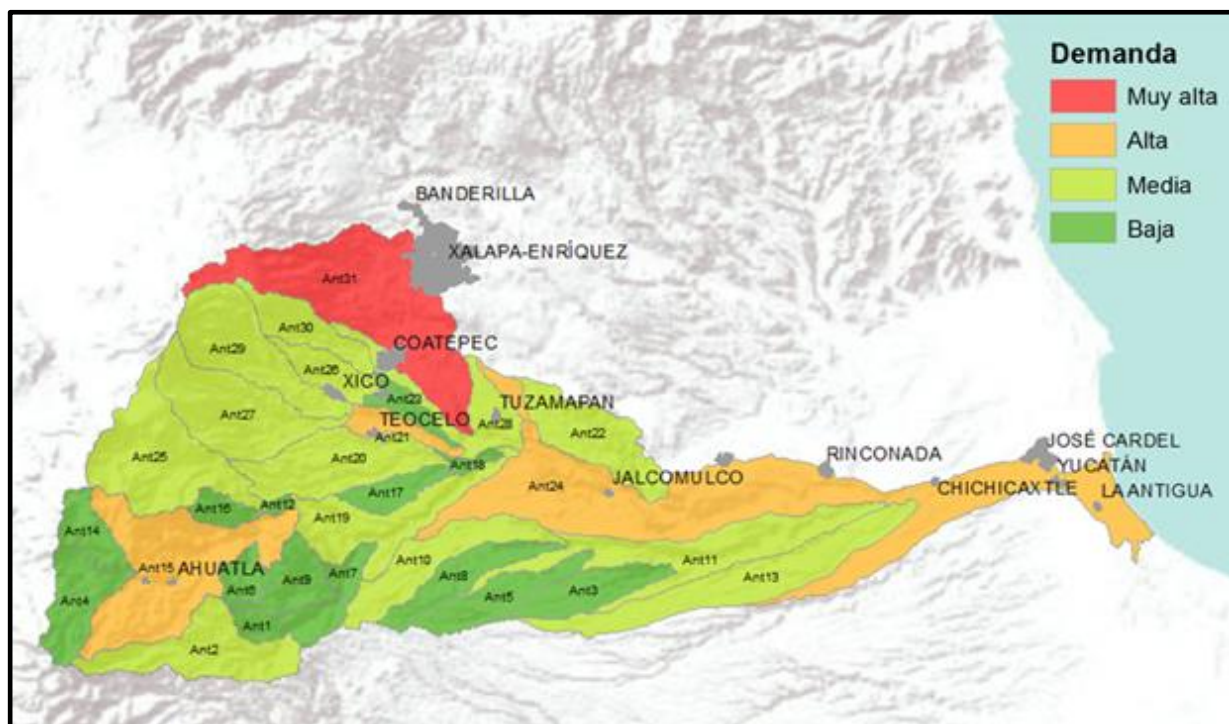


Figura 9.- Diagrama conceptual para la estimación de la demanda global de agua superficial

Para la estimación de la demanda “global” para cada subcuenca se realizó una integración de los tres usos mencionados, mediante una suma lineal de los valores estandarizados de la demanda para cada uso. Como resultado de esta integración, solo la subcuenca con identificador Jam38

entró en la categoría de muy alta demanda, mientras que en la categoría de alta demanda se asignó a dos subcuencas (Ant15, Ant21 y Ant24), mientras que en la categoría media y baja se asignó a 13 y 14 subcuencas respectivamente (mapa 25).



Mapa 25.- Demanda global de agua superficial en las subcuencas del río La Antigua.

En la siguiente gráfica se puede observar el volumen relativo en porcentaje de agua superficial concesionado para cada subcuenca, con respecto al volumen para cada uso concesionado en toda la cuenca.

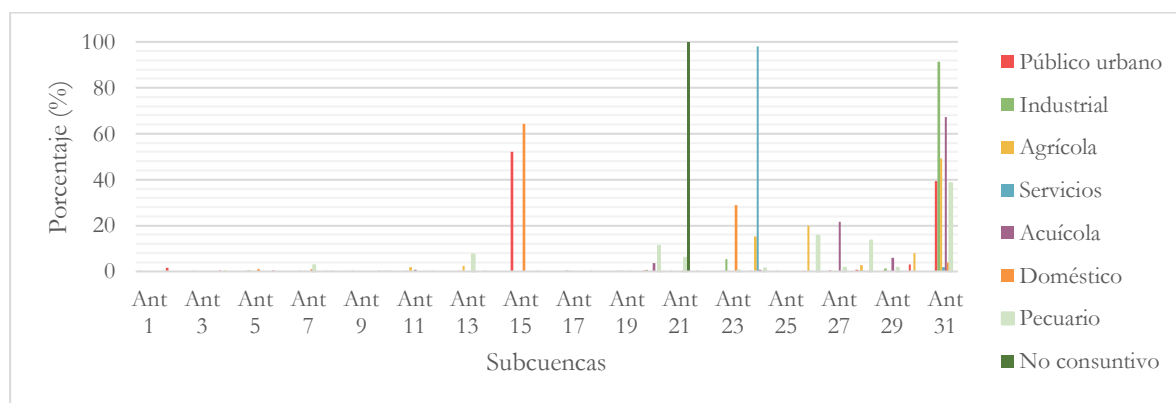


Figura 10.- Proporción de volúmenes concesionados en cada subcuenca por tipo de uso de acuerdo al REPDA

3.1.1. Demanda para uso agropecuario

La demanda para uso agropecuario considera los volúmenes concesionados para uso acuícola, agrícola, forestal y pecuario, registrados en el REPDA. Para la estimación de la demanda se consideraron dos criterios: los volúmenes totales concesionados en cada subcuenca y la superficie total con uso de suelo agropecuario (figura 11).

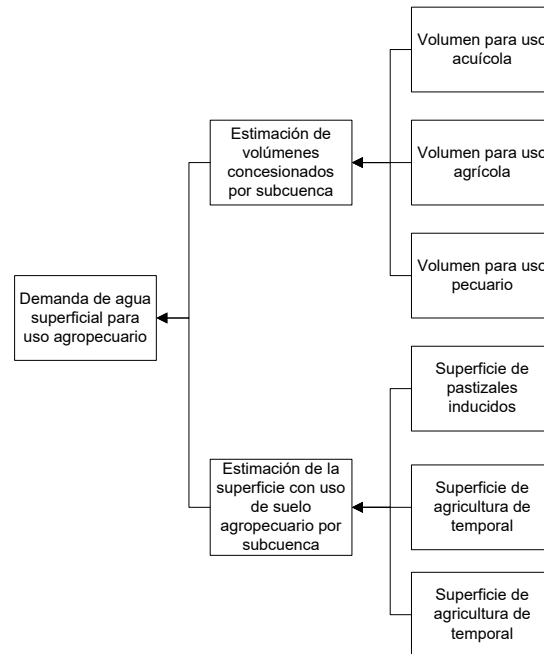
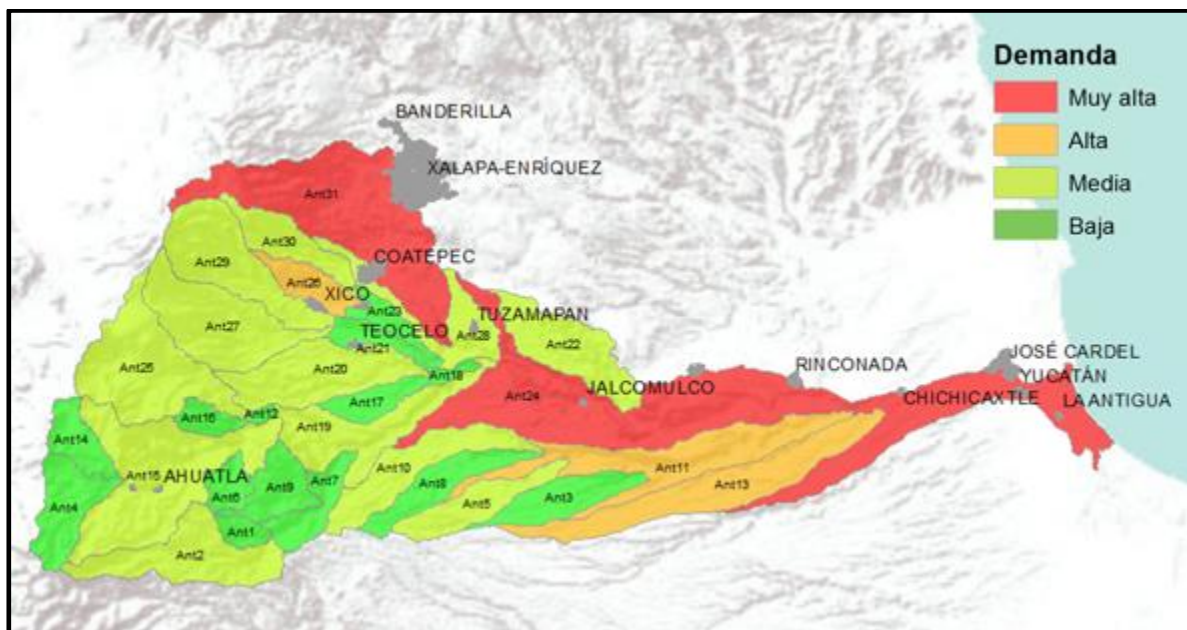


Figura 11.- Diagrama conceptual para la estimación de la demanda de agua superficial por uso agropecuario.

De las 31 subcuencas delimitadas para la cuenca del río La antigua, dos (Ant31 y Ant24) entraron en la categoría de muy alta demanda para este uso (ver mapa 26).



Mapa 26.- Demanda de agua superficial para uso agropecuario.

3.1.2. Demanda para uso público y de servicios

En el marco de los PAMIC la demanda para uso doméstico y servicios considera los volúmenes concesionados para los usos; doméstico, público urbano, servicios e industrial (excepto producción de energía hidroeléctrica), según el REPDA, para cada subcuenca. Como segundo criterio se consideró la población total tanto rural como urbana en cada subcuenca.

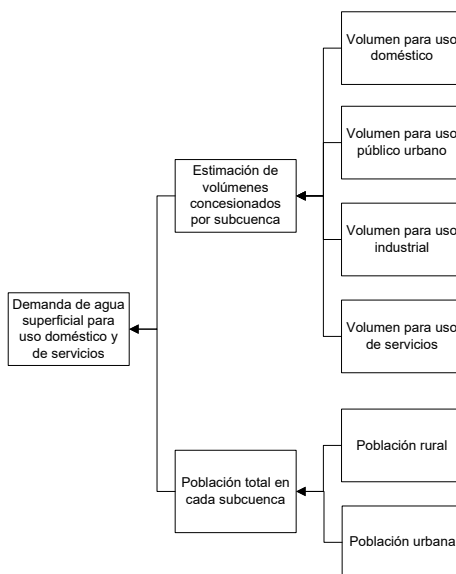
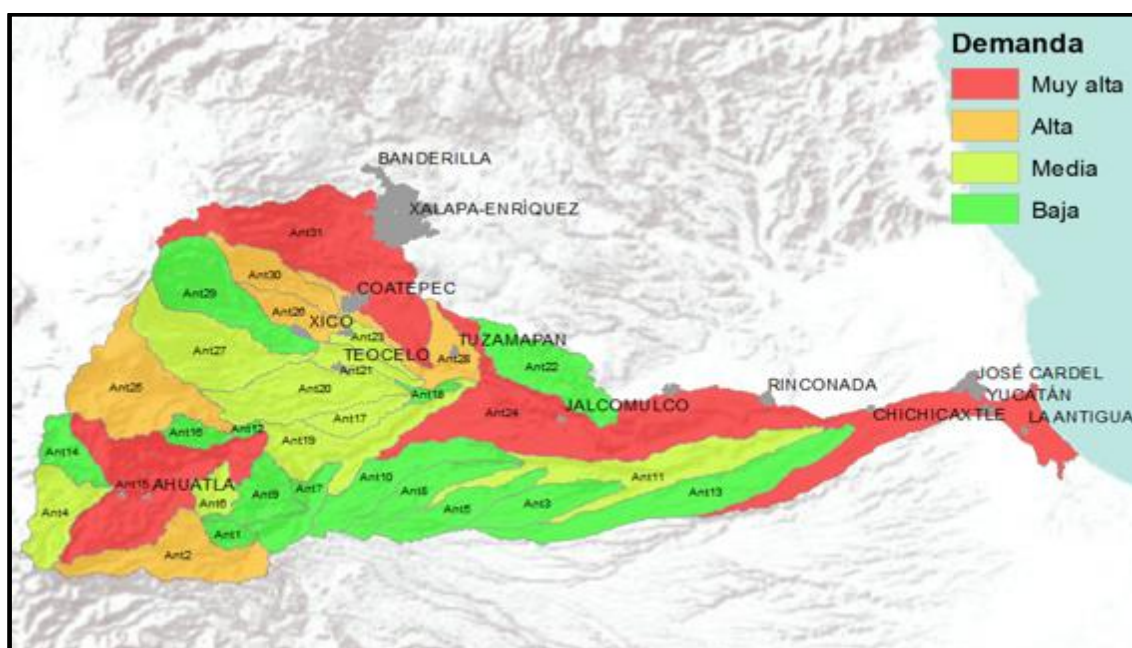


Figura 12.- Diagrama conceptual para la estimación de la demanda de agua superficial para uso público y de servicios.

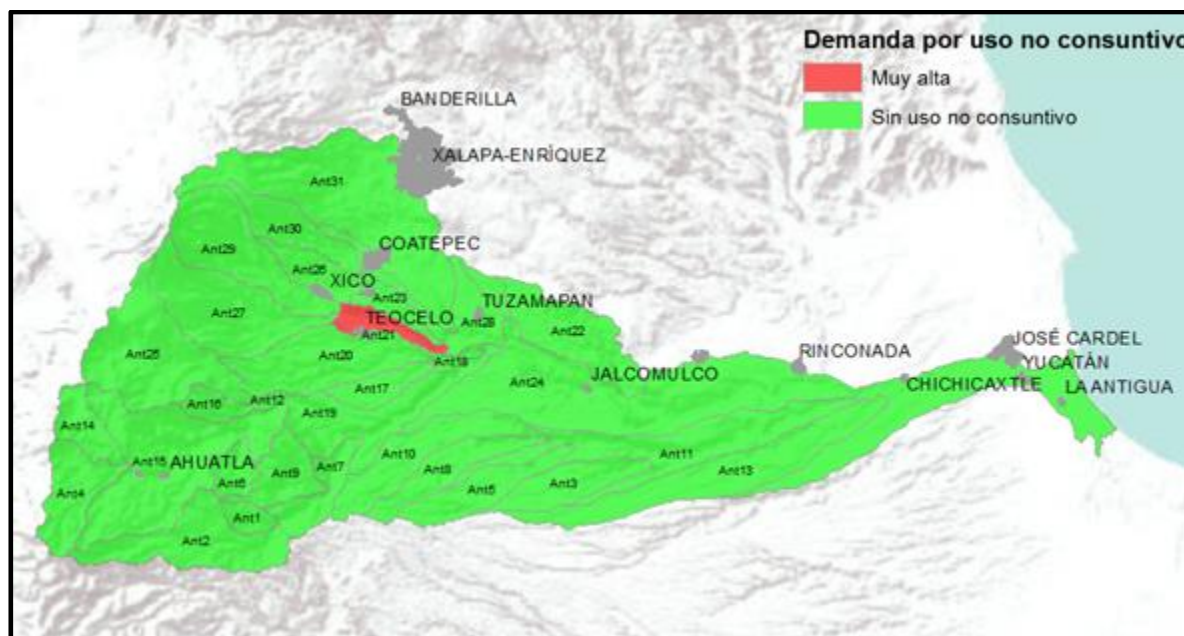
Como resultados del análisis de la demanda para uso público urbano, tres cuencas (Ant15, Ant24, Ant31) resultaron en la categoría de muy alta prioridad.



Mapa 27.- Demanda de agua superficial para uso público y de servicios

3.1.3. Demanda de agua superficial para uso no consuntivo

Esta demanda corresponde al volumen total concesionado para la generación de energía hidroeléctrica. En la cuenca del río antigua solo se identificó una subcuenca (Ant21) con concesión de más de 47 millones de m³/año de agua superficial destinados a la generación de energía eléctrica, dicho aprovechamiento corresponde a la hidroeléctrica de Texolo ubicado en las cascadas del mismo nombre, considerada como humedal de importancia internacional en la categoría de sitio Ramsar.



Mapa 28.- Demanda de agua superficial para uso no consuntivo

3.2. Zonificación de la oferta o provisión de servicios ambientales hidrológicos

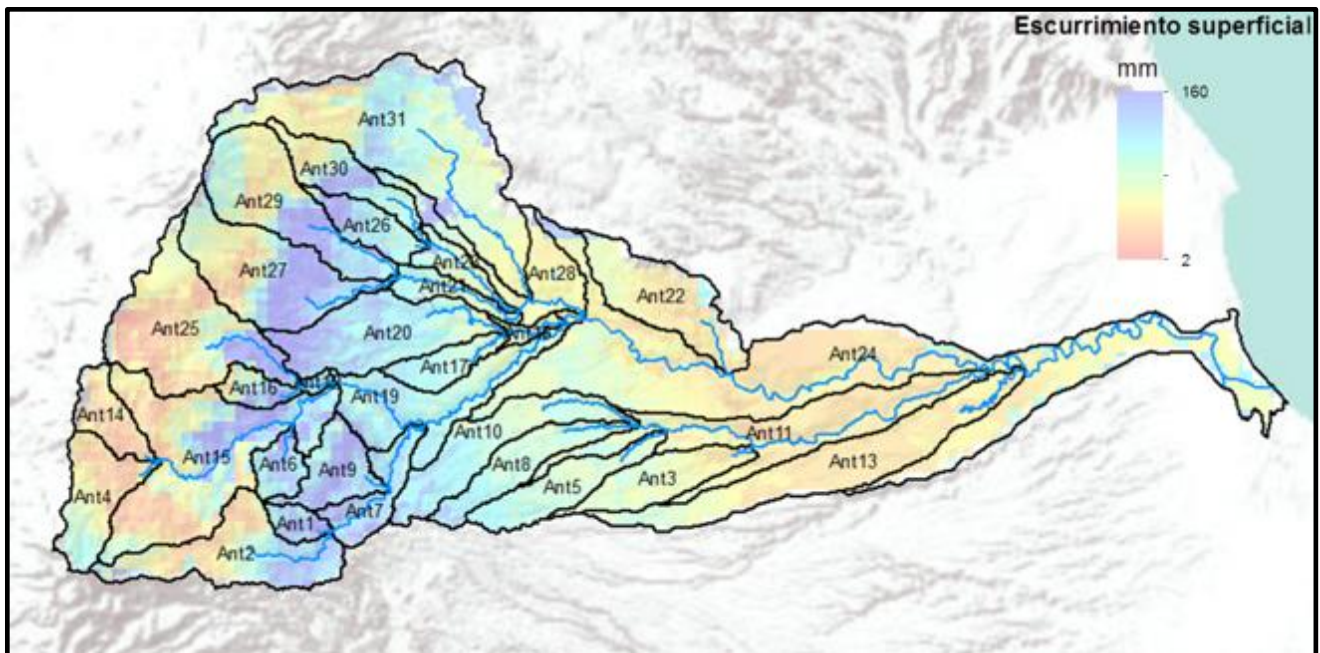
Con el propósito de evaluar en la cuenca la provisión de agua superficial y la pérdida potencial del de suelo, fue utilizado el programa InVEST (Integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs), el cual es un sistema computacional modular, gratuito y de código abierto disponible en www.naturalcapitalproject.org. Este sistema está compuesto por 18 herramientas desarrolladas para modelar servicios ambientales, tanto en paisajes terrestres como marinos (Sharp, R., et al., 2016). Los modelos implementados en InVEST son espacialmente explícitos, esto implica que utilizan mapas como fuentes de información y también producen mapas como resultado.

3.2.1. Zonas potenciales proveedoras de agua superficial

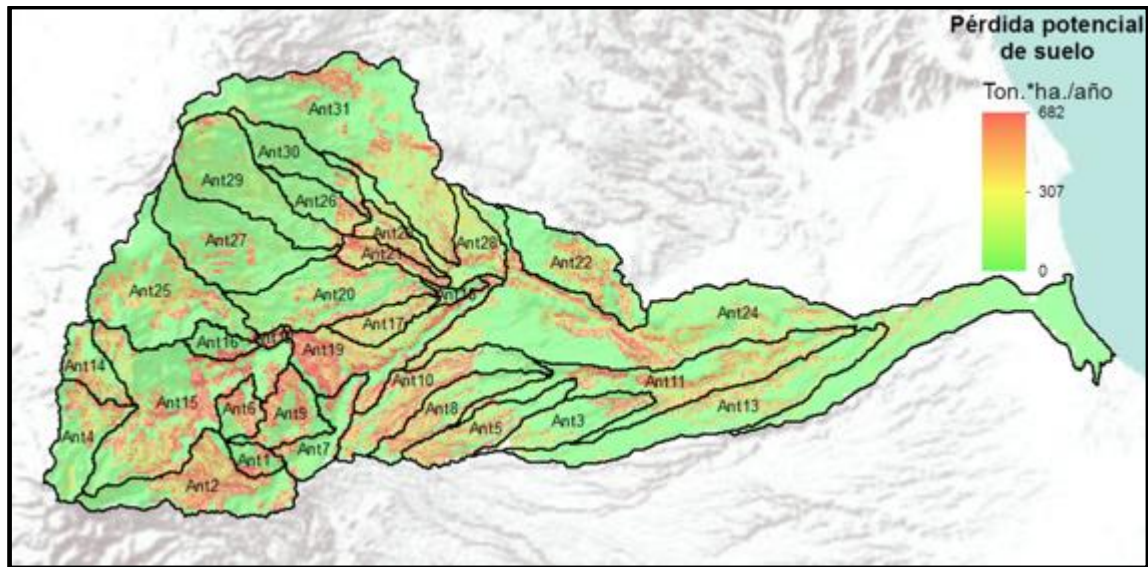
En particular, para determinar la provisión de agua superficial fue aplicado uno de sus módulos, inicialmente desarrollado para estimar la producción de energía hidroeléctrica a partir de embalses, el cual se denomina “Cosecha hídrica” (*Water Yield*). Entre las funciones de este

módulo se encuentra la de estimar la cantidad promedio anual de agua que es producida por la cuenca, para esto realiza el cálculo de la relación precipitación-escorrentía de acuerdo a la curva de Budyko (Fu, 1981; Zhang *et al.* 2004), modela así la contribución potencial de agua desde cada zona del paisaje. Las variables requeridas por este modelo son: profundidad de restricción para el crecimiento de raíces, precipitación media anual, fracción de agua contenida en el suelo disponible para las plantas, promedio anual de evapotranspiración de referencia y coeficientes asociados a la vegetación. Los resultados espacialmente explícitos sobre la producción relativa de agua sirven para identificar áreas con diferentes intensidades en la cantidad promedio anual de agua producida en la cuenca y también permiten identificar cómo los cambios en el paisaje afectan o alteran tal contribución. Las unidades en que se reportan los mapas resultantes son mm por pixel por año, así como mm por cuenca por año. Para mayor información sobre las aplicaciones de este módulo, el lector puede consultar a Terrado y colaboradores (2014), así como a Hamel y Guswa (2015a).

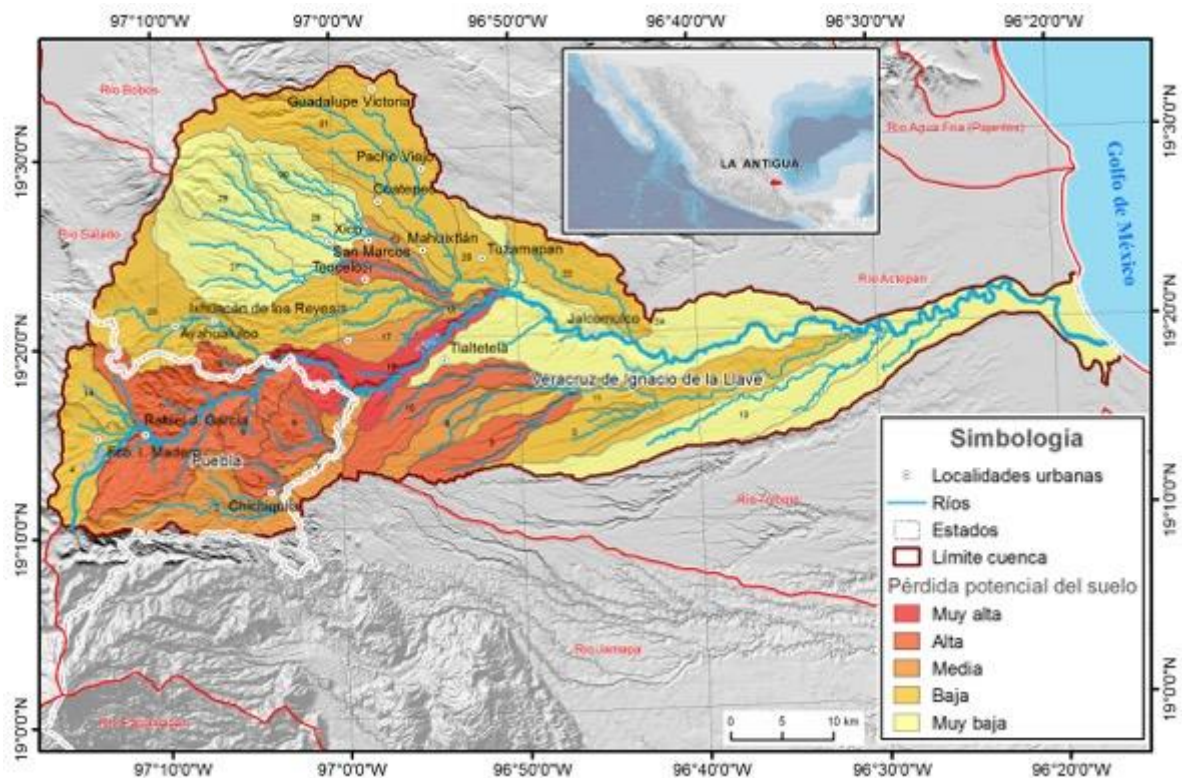
Para la cuenca del río La Antigua se estimó un escurrimiento máximo de 162 mm promedio anuales y un mínimo de 2 mm en promedio al año.



Mapa 29.- Escurrimiento superficial en la cuenca del Río La Antigua



Mapa 32.- Pérdida potencial de suelo en la cuenca del río La Antigua.



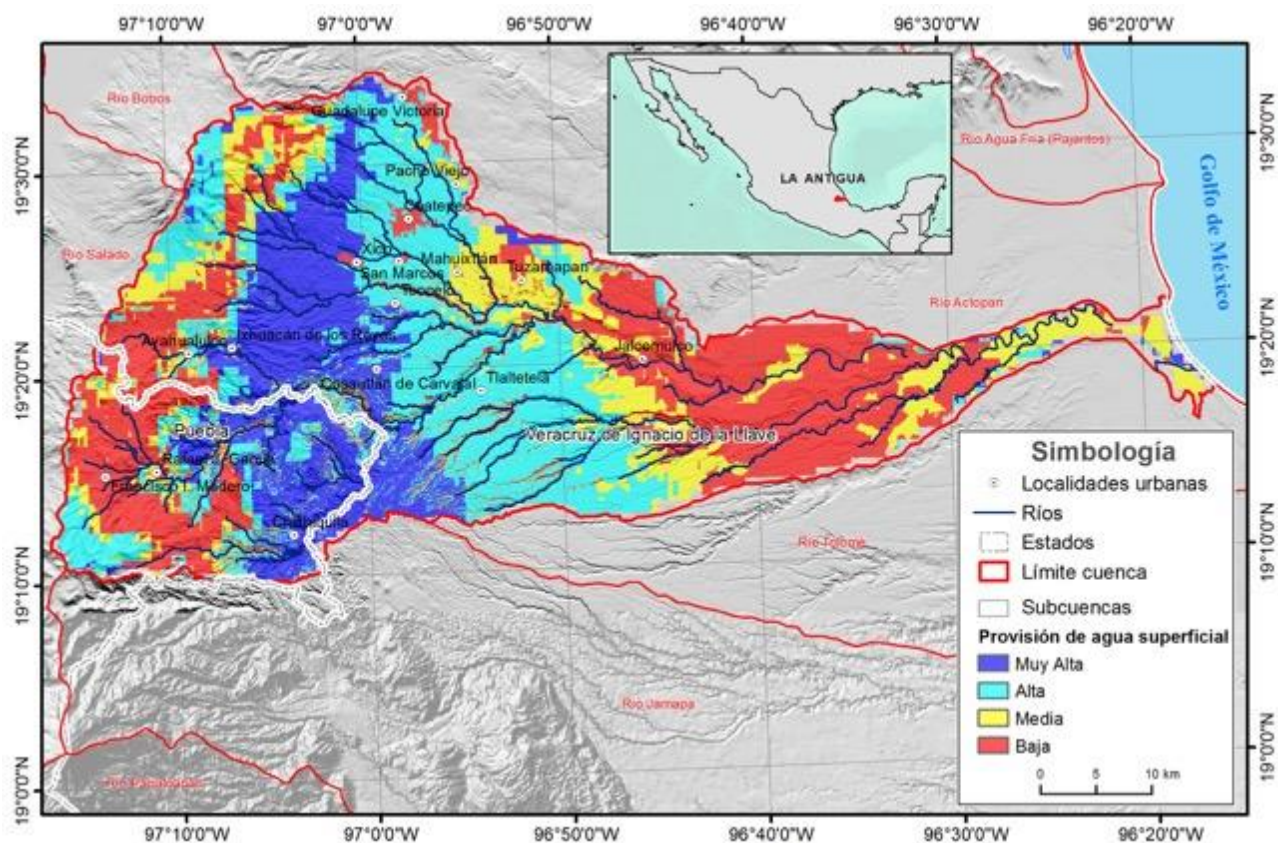
Mapa 33.- Potencial de pérdida de suelo por subcuenca.

3.2.3. Zonas potenciales de provisión de servicios ambientales hidrológicos

En esta fase se identifican aquellas zonas de la cuenca que por sus características climáticas, fisiográficas, edáficas, de cobertura vegetal y de uso de suelo. Tienen alto potencial para la provisión de agua superficial tanto en cantidad como en calidad en términos de sólidos suspendidos. Para esto se implementaron modelos de balance precipitación-escurrimiento y pérdida potencial del suelo, utilizando los módulos “Water Yield” y “Sediment Delivery Ratio

(SDR)” de la plataforma InVEST. El resultado de los modelos son mapas de escurrimiento superficial en mm/año para el módulo water yield y de pérdida potencial del suelo (PPS) en ton*ha/año para el módulo SDR.

Para fines de planeación y los alcances que se pretenden en los PAMIC, partiendo de los datos cualitativos arrojados por los modelos de precipitación y escurrimiento se evaluó y calificó el territorio con respecto a su finalidad de identificar los sitios que por sus características biofísicas y climáticas presentan un alto escurrimiento superficial y bajo potencial para la pérdida de suelos (p. ejemplo. Porciones de bosques y selvas en buen estado de conservación), lo que resulta en un menor aporte de sedimentos y sólidos suspendidos en las corrientes de agua, y por tanto en una mayor y mejor provisión del servicio ambiental. Por otra lado, esto también nos permite identificar aquellos sitios que presentan bajo escurrimiento y alto potencial para la pérdida de suelo (p. ejemplo. Cañadas, barrancos y laderas con altos grados de degradación), por lo tanto la provisión del servicio ambiental es baja tanto en cantidad como calidad. Esto nos permite realizar una priorización territorial para focalizar esfuerzos y acciones, asegurando la mejor retribución ambiental en función de la oferta y demanda de agua superficial.



Mapa 34.- Zonificación y categorización de la provisión de servicios ambientales hidrológico en la cuenca del río La Antigua.

3.3. Priorización territorial para la focalización de intervención en la cuenca

Uno de los objetivos centrales de los Planes de Acción para el Manejo Integrado de cuencas (PAMIC) es poder contar con una herramienta que permita tener criterios en la toma de decisiones en la implementación de acciones en la cuenca, esto permite focalizar los esfuerzos y recursos permitiendo una mejor costo efectividad de las actividades desarrolladas en la cuenca. En este sentido, la parte novedosa que la metodología de los PAMIC en materia territorial, es el desarrollo de criterios espacialmente explícitos con sustento técnico y científico robusto, que permitan priorizar el territorio con base en sus características, climáticas, biofísicas y sociales, para la implementación de acciones con enfoques diferentes; conservación restauración (y/o rehabilitación) y adecuación de prácticas productivas.

Esta priorización se realizó considerando cuatro criterios generales :

- Grado de provisión de agua superficial (calidad y cantidad)
- Vegetación y uso de suelo
- Cambio en las condiciones bioclimáticas bajo escenarios de cambio climático
- Relación hídrica (zona de provisión) con la subcuenca de mayor demanda

3.3.1. Priorización territorial para actividades de conservación

En esta etapa se identifican aquellos sitios cuyas características los hacen idóneos para la implementación de acciones enfocadas a la conservación de la funcionalidad del territorio y los elementos que en esta intervienen. Se calificaron con muy alta prioridad aquellos sitios que cumplen con los siguientes criterios: sitios con muy alta provisión de servicios ambientales, con vegetación natural, donde las proyecciones de tres modelos de circulación general (MCG) indican cambios en las condiciones bioclimáticas y que tengan una relación hídrica con la subcuenca de mayor demanda.

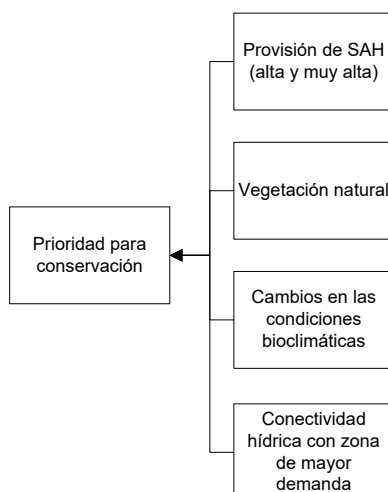
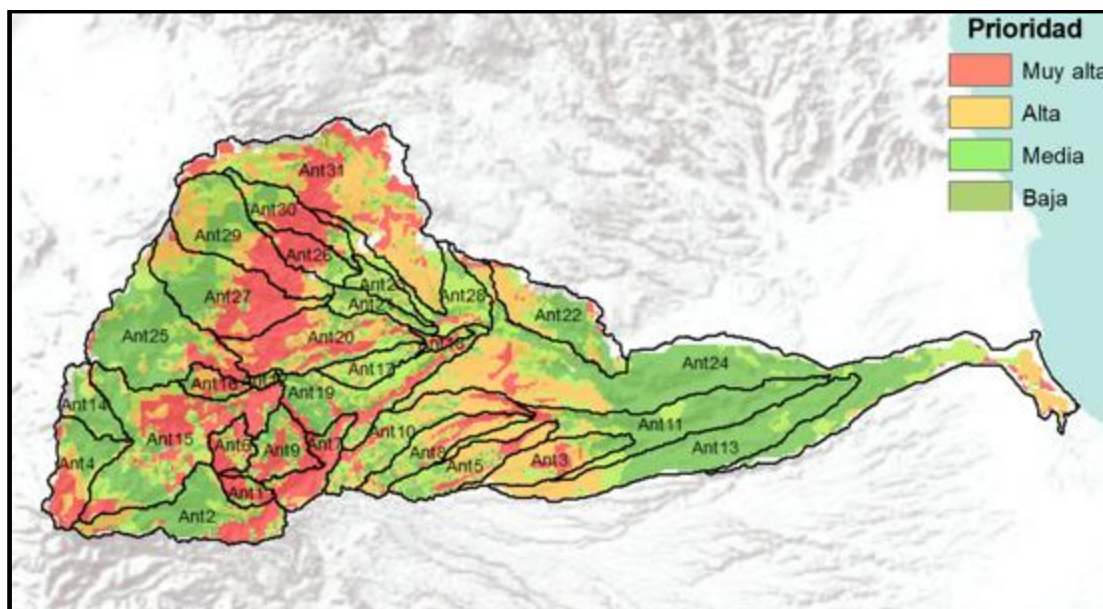


Figura 13.- Diagrama conceptual para la identificación de sitios prioritarios para la implementación de acciones enfocadas a la conservación.



Mapa 35.- Sitios prioritarios para la implementación de acciones de conservación en la cuenca del río La Antigua.

Los sitios coloreados de rojo y naranja representan lugares dónde existen las condiciones para un buen suministro de agua superficial, se proyectan cambios en las condiciones bioclimáticas por efecto del cambio climático y tienen alguna relación hídrica con las zonas de demanda. En estos sitios se recomienda implementar acciones como:

- Conservación de áreas forestales
- Fomento a la cafecultura agroecológica
- Fomento al pago por servicios ambientales

3.3.2. Priorización territorial para actividades de restauración

En esta etapa se identifican aquellos sitios cuyas características los hacen idóneos para la implementación de acciones enfocadas a la restauración y rehabilitación de la funcionalidad del territorio. Se calificaron con muy alta prioridad aquellos sitios que cumplen con los siguientes criterios: sitios con media y baja provisión de servicios ambientales, con vegetación natural, dónde las proyecciones de tres modelos de circulación general (MCG) indican cambios en las condiciones bioclimáticas y que tengan una relación hídrica con la subcuenca de mayor demanda.

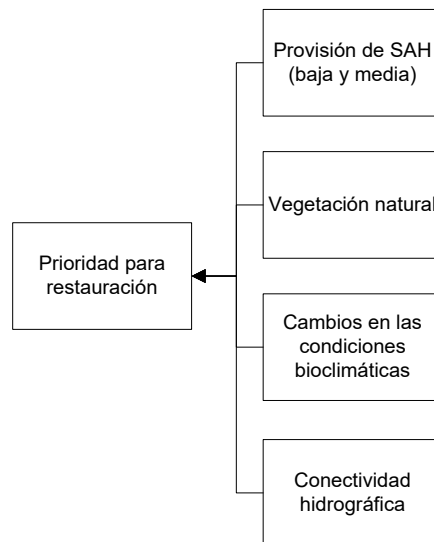
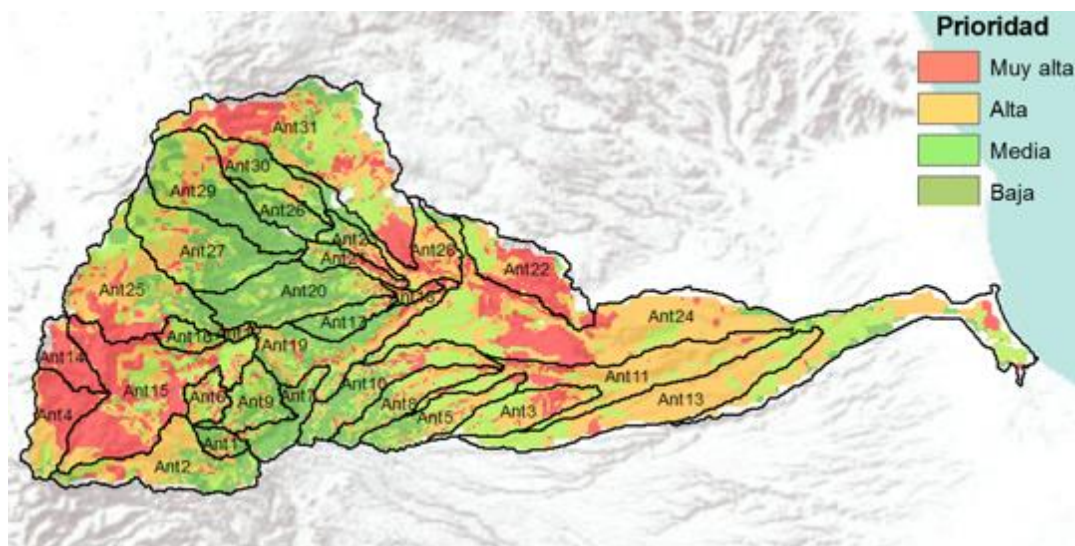


Figura 14.- Diagrama conceptual para la identificación de sitios prioritarios para la implementación de acciones enfocadas a la conservación.



Mapa 36.- Sitios prioritarios para la implementación de acciones de restauración y rehabilitación en la cuenca del río La Antigua.

Los sitios señalados en color rojo y naranja corresponden a aquellos que tienen necesidades de restauración para incrementar la provisión de servicios ambientales, tanto en cantidad como en calidad. En estos sitios se recomienda implementar acciones como:

- Restauración de sistemas riparios
- Diversificación del café de sombra
- Restauración de la vegetación con especies locales

3.3.3. Priorización territorial para la adecuación de prácticas productivas

En esta etapa se identifican aquellos sitios dónde actualmente se llevan a cabo actividades productivas, que tienen un impacto (tanto positivo como negativo) en la provisión del servicio ambiental evaluado. Se calificaron con muy alta prioridad aquellos sitios que cumplen con los siguientes criterios: sitios con media y baja provisión de servicios ambientales, con uso de suelo agropecuario, dónde las proyecciones de tres modelos de circulación general (MCG) indican cambios en las condiciones.

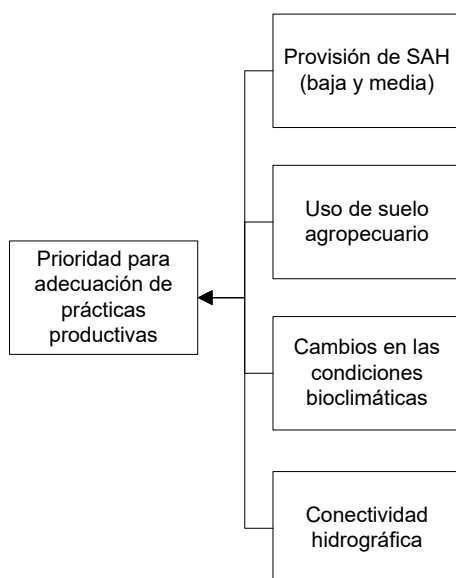
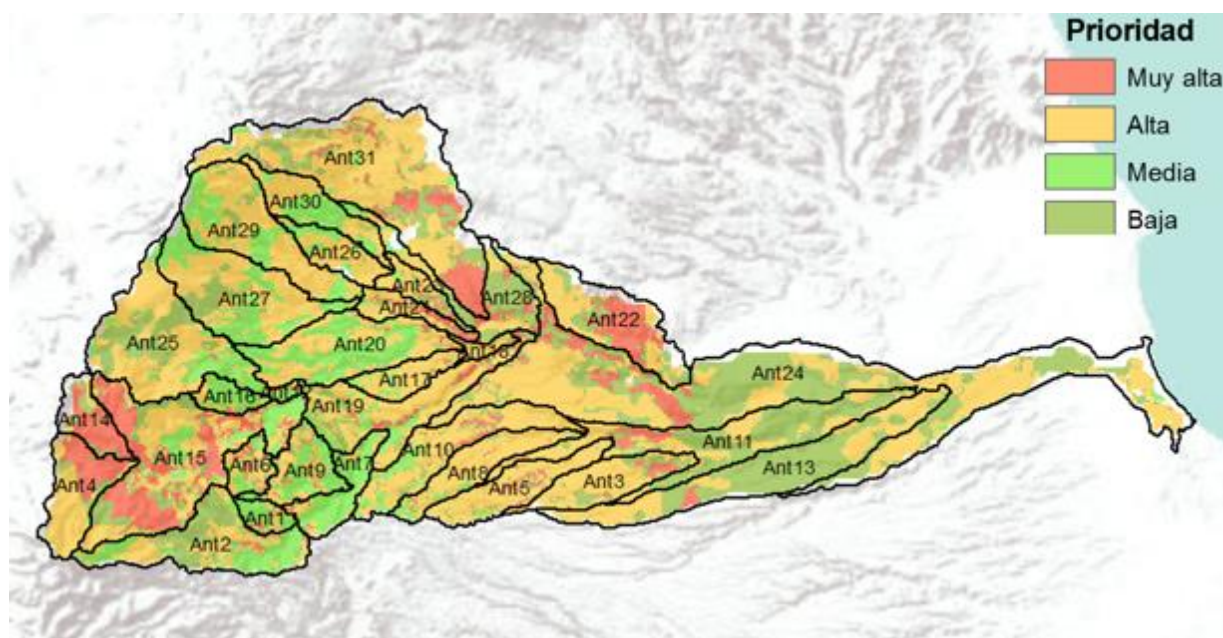


Figura 15.- Diagrama conceptual para la identificación de sitios prioritarios para la implementación de acciones enfocadas a la conservación.



Mapa.37- Sitios prioritarios para la adecuación de prácticas productivas en la cuenca del río La Antigua.

En estos sitios se recomienda la implementación de acciones como:

- Milpa diversificada y conservación de suelos
- Ganadería con sistemas agrosilvopastoriles
- Agricultura con orientación orgánica



Capítulo 4.- Acciones para la conservación de SAH

Este capítulo está vinculado con el tercer objetivo particular de los PAMIC: Proponer y focalizar las acciones de intervención que promuevan la conservación, la restauración y el aprovechamiento sustentable de los recursos en las subcuencas de oferta de SAH. Al respecto, los PAMIC fueron conceptualizados con un enfoque dinámico y participativo en la planificación de las acciones en la cuenca, combinando datos científicos básicos y una fuerte participación de los actores principales. Aunque en el proceso de formulación y socialización de los PAMIC se realizan diversos talleres con actores clave, es en el desarrollo de este capítulo donde se aborda, con cierto detalle, tal participación de actores, así como también, el impacto positivo de sus aportaciones.

© Jordi Vera

El 6 de junio del 2016, en la ciudad de Coatepec, Veracruz, fue realizado el taller de caracterización de actividades que conservan y detonan los servicios ambientales de la cuenca del río La Antigua. El taller permitió identificar, ubicar espacialmente y caracterizar las actividades, tanto las que ya se llevan a cabo, como las que serían deseables, para lograr su implementación y priorización estratégica en el marco del PAMIC de la cuenca. Participaron más de 50 actores que representaron diferentes sectores productivos, tales como: cafetalero, cañero, ganadero e industrial; también se contó con la representación institucional de organismos operadores del agua, academia, organizaciones de la sociedad civil (OSC) y ciudadanos interesados. El taller se desarrolló con métodos participativos, utilizando mesas de trabajo y dinámicas para priorizar actividades y/o acciones de intervención en la cuenca. Las memorias del taller se pueden consultar como anexo a este documento.

4.1. Propuesta de acciones prioritarias para el manejo de la cuenca

La revisión conjunta de los resultados de las cuatro mesas de trabajo del taller titulado "Caracterización de actividades que conservan y detonan los servicios ambientales de la cuenca del río La Antigua", permitió identificar las propuestas prioritarias. En la tabla 27. se enlistan las actividades detectadas y su priorización, de acuerdo al peso asignado que corresponde a la suma de la importancia relativa otorgada por los actores para las actividades de intervención agrupadas bajo un nombre estandarizado.

Tabla 27. Síntesis de actividades identificadas en el taller con actores clave

Actividad (nombre estandarizado)	Peso de Priorización (%)	Priorización territorial
Restauración y conservación de áreas riparias	17.76	Conservación y restauración
Fomento a cafecultura agroecológica de sombra	9.05	Conservación, y restauración.
Milpa diversificada y conservación de suelos	7.71	Adecuación
Ganadería agrosilvopastoril	7.54	Adecuación
Fomento a esquemas de PSA	7.37	Conservación
Cultivo agroecológico de papa y agricultura con orientación orgánica en general	5.53	Adecuación
Restauración de la vegetación con especies locales	5.03	Restauración
Control de crecimiento de las áreas urbanas, conservación-restauración o creación de áreas verdes (urbanas)	4.19	Conservación y restauración
Conservación de bosques	4.02	Conservación
Manejo de fuego en bosque y áreas agropecuarias	3.85	Conservación y Adecuación
Educación ambiental	3.85	Conservación, Restauración y Adecuación.
Manejo de aguas negras y grises	3.69	Conservación, Restauración y Adecuación.

Generación de planes estratégicos de actividades productivas compatibles con el manejo de cuenca.	3.02	Conservación, Restauración y Adecuación.
Cercos vivos y cortinas rompeviento	2.85	Adecuación
Plantaciones dendroenergéticas	2.51	Restauración
Mantenimiento de áreas de restauración	2.51	Restauración
Restauración de suelos	2.35	Restauración
Diversificación de la producción	2.01	Adecuación
Meliponicultura/apicultura orgánica	1.51	Conservación y Adecuación
Áreas Privadas de Conservación	1.34	Conservación
Citricultura con conservación de suelos	0.84	Adecuación
Establecimiento de redes hidrometeorológicas	0.84	
Fortalecer UMA existentes	0.34	Conservación y restauración
Valor agregado a las fincas de mango para conservar sus servicios ambientales	0.34	Adecuación



Figura 16. Importancia relativa de actividades de acuerdo a la priorización identificada en el juego de inversiones. Fuente: Elaboración propia.

La aportación central del taller fue facilitar la reflexión individual y colectiva de los participantes en función de los servicios ambientales propuestos como eje de trabajo, lo que permitió que sus valoraciones tuvieran como territorio de referencia toda la cuenca y no sólo la localidad o municipio donde viven, o el ámbito de acción de su organización/institución. En el mismo sentido, al focalizar las actividades en función del mantenimiento de los servicios ambientales, los participantes del taller no asignaron su priorización únicamente de acuerdo a las necesidades o la

percepción del sector de inserción. Por ello, la priorización individual o colectiva de las actividades sirve como indicador de la percepción sobre la importancia que debería darse a tales actividades dentro de un plan de manejo integral de la cuenca.

Es interesante constatar que distintos ámbitos y sectores coincidieron en las medidas a promover para avanzar hacia el Manejo Integral de cuenca. Otra aportación del taller fue generar información detallada, sobre todo referente a las actividades que ya son efectuadas en la cuenca, por ejemplo, en cuanto a costos y actores involucrados, lo cual resulta crítico para determinar la factibilidad de las acciones propuestas.

Finalmente, las propuestas de los participantes en el taller fueron más allá de la identificación de actividades, pues una constante fue el señalamiento de que las actividades deben estructurarse en un nivel de agregación mayor, tanto para la gestión de recursos, como para la gestión del territorio. En ese sentido, resaltan las propuestas en las que se identifican espacios de incidencia o programas públicos particulares sobre los que se estima, la necesidad de incidir a fin de que las actividades propuestas puedan promoverse a una escala mayor a los esfuerzos que de manera piloto o demostrativa ya son realizados. Es el caso de las propuestas de incidir sobre el PROGAN de la SAGARPA o sobre el FONDEN, administrado por la CONAGUA, en ambos se presentaron acciones concretas para promover la reorientación a partir de una incidencia en política pública.

Los ejes transversales identificados fueron:

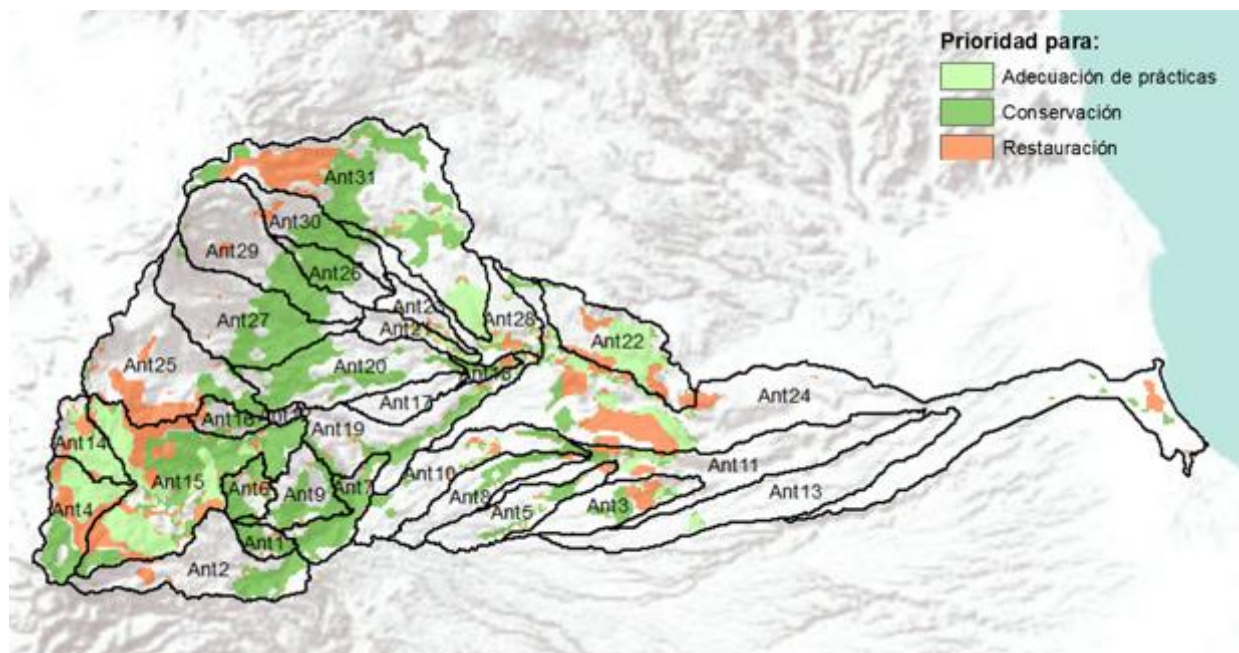
- Enfoque de cuenca como parte de la estrategia de educación ambiental.
- Integración de cadenas de valor como estrategia de desarrollo económico en las alternativas productivas que resultan compatibles con el manejo integral de cuenca.

Con respecto al PAMIC del río La Antigua

- Desarrollo de esquemas locales de PSA con enfoque de Manejo Integral de cuenca.
 - Desarrollo de planes integradores para las actividades productivas estratégicas.
 - Incidencia en política pública para gestionar recursos para actividades estratégicas y ejes transversales.
 - Incidencia en política pública para la gestión territorial; ordenamientos, PAMIC.
 - Incidencia en programas específicos, identificados por su potencial orientación para escalar alternativas convenientes para el Manejo Integral de cuenca:
1. FONDEN de CONAGUA; promover enfoque preventivo en sus reglas de operación y en la aplicación de recursos para conservación y restauración riparia, bajo un esquema de PSA específico para las zonas federales que competen a esta dependencia.
 2. PROGAN de SAGARPA; promoción de la aplicación efectiva de directrices del programa que fomenten reforestaciones en pastizales y establecimiento de módulos demostrativos agrosilvopastoriles ligados al esquema de operación del programa.

4.2. Focalizando las acciones principales

Con base en los ejercicios de priorización descritos en el capítulo anterior junto con la información obtenida en los talleres, se identificaron los sitios donde la implementación de acciones tendrá una mejor retribución ambiental, en términos de agua superficial, además de que tener estos sitios identificados espacialmente, junto con los patrones de drenaje



Mapa 38. Focalización de actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas en la cuenca del río la Antigua.

Tabla 28. Las once actividades con los 10 valores más altos de priorización

Actividad (nombre estandarizado)	Valor de priorización (%)	Priorización territorial
Restauración y conservación de áreas riparias	17.76	Conservación
		Restauración
Fomento a cafecultura agroecológica de sombra	9.05	Conservación
		Restauración
Milpa diversificada y conservación de suelos	7.71	Adecuación
Ganadería agrosilvopastoril	7.54	Adecuación
Fomento a esquemas de PSA	7.37	Conservación
Cultivo agroecológico de papa y agricultura con orientación orgánica en general	5.53	Adecuación
Restauración de la vegetación con especies locales	5.03	Restauración
Control de crecimiento de las áreas urbanas, conservación-restauración o creación de áreas verdes (urbanas)	4.19	Conservación
		Restauración
Conservación de bosques	4.02	Conservación
Manejo de fuego en bosque y áreas agropecuarias	3.85	Conservación
		Adecuación
Educación ambiental	3.85	Conservación
		Restauración
		Adecuación

4.3. Factibilidad social y técnica de las acciones priorizadas

El procesamiento y análisis de la información recabada en el taller "Caracterización de actividades que conservan y detonan los servicios ambientales de la cuenca del río La Antigua", también permitió identificar la factibilidad social y técnica de las acciones priorizadas que fueron señaladas por los diversos actores.

A continuación se presenta como ejemplo, el análisis de factibilidad para las tres actividades que obtuvieron los valores de priorización más altos.

4.3.1. Restauración y conservación de áreas riparias

Esta actividad fue identificada con la mayor prioridad (17.76%). Los lugares para su implementación en lo general son las zonas altas y medias de la cuenca, así como áreas de manantiales donde resulta crítica su rehabilitación. En particular, fueron propuestas localidades como Cosautlán, Limones, San Miguel Tlapexca y U.R. Coatepec. De acuerdo a la experiencia de los actores, esta actividad representa costo variable, aunque las cantidades mencionadas no aplican en todos los casos, se pueden tomar como referencia. El cercado de exclusión en área riparia fue estimado en \$3,000/100 m lineales, la restauración de vegetación (100 m x 10 m) fue estimada en \$5,000 y los sistemas de acceso al agua para el ganado se estimaron en \$5,000. Por lo anterior, el costo de referencia podría ser de \$50,000 a \$85,000 por km lineal.

Entre las fuentes potenciales de financiamiento identificadas destacó la CONAGUA, a través de FONDEN, en particular, si éste programa adopta un enfoque preventivo para evitar desastres y no sólo de recuperación cuando ya se presentaron. Otras posibles fuentes de financiamiento son: CONAFOR, Ciudades y Empresas de la zona baja, Gobiernos Municipales, Fondos ambientales, así como programas internacionales y regionales como NAWCA. Como posibles socios fueron mencionados: INECOL, CONAGUA, Gobiernos Municipales, Comunidades, Parcelas Escolares de Ejidos, Asociaciones ganaderas, así como OSCs que ya efectúan actividades de conservación de áreas riparias en zonas agropecuarias.

Entre los factores que posibilitan esta actividad están la experiencia de la población, la existencia de dueños de predios que ya están involucrados en la conservación, la particularidad de que la vegetación riparia se localice en Zona Federal (área de administración de CONAGUA), así como la existencia de organizaciones de productores con experiencias exitosas y referentes de co-inversión. Por otra parte, los factores limitantes mencionados son: desconocimiento de la Zona Federal, falta de administración de CONAGUA sobre zonas federales de ríos, falta de financiamiento gubernamental para conservar vegetación riparia (ya que por ser franjas no resultan elegibles para PSA de CONAFOR), recursos limitados, minifundismo, falta de acuerdos, uso de especies no aptas, así como la existencia de parcelas pequeñas donde se requiere que produzcan en su totalidad.

Entre las alternativas mencionadas a tales limitantes están: la iniciativa de CONAGUA sobre un programa de PSA *ad hoc* para conservar y restaurar vegetación riparia en zonas federales de ríos (se mencionó que los PSA por 100 metros lineales son: \$1000/año), el trabajo comunitario

organizado, la vinculación en la agenda de los Consejos de cuenca, su incorporación en la Política Pública. Entre los supuestos para escalar esta actividad se mencionaron: su adopción estratégica como por parte del PAMIC y su integración en la política pública, de esta manera, la CONAGUA haría efectiva su administración sobre zonas federales de ríos, las reglas de operación de programas de CONAGUA posibilitarían la inversión en conservar áreas riparias y de igual forma las reglas de FONDEN adoptarían un enfoque preventivo a los desastres, el cual estaría integrado en el marco del manejo de cuenca.

La figura 17 muestra el modelo CANVAS (Osterwalder y Pigneur, 2011), el cual es una plantilla de gestión estratégica para el desarrollo de nuevos modelos de negocio y proyectos de inversión. Es un gráfico visual con elementos que describen una propuesta de valor, la infraestructura disponible, los clientes y las finanzas. Esta plantilla fue adaptada aquí para aplicarla a la actividad de restauración y conservación de áreas riparias, ya que este modelo representa una herramienta, sintética y gráfica, que simplifica mucho los pasos para generar un modelo de inversión rentable, sustentado en la propuesta de valor para los usuarios beneficiados, en este caso con los servicios ambientales. Ayuda así a alinear las actividades del proyecto mediante la ilustración de posibles compensaciones.

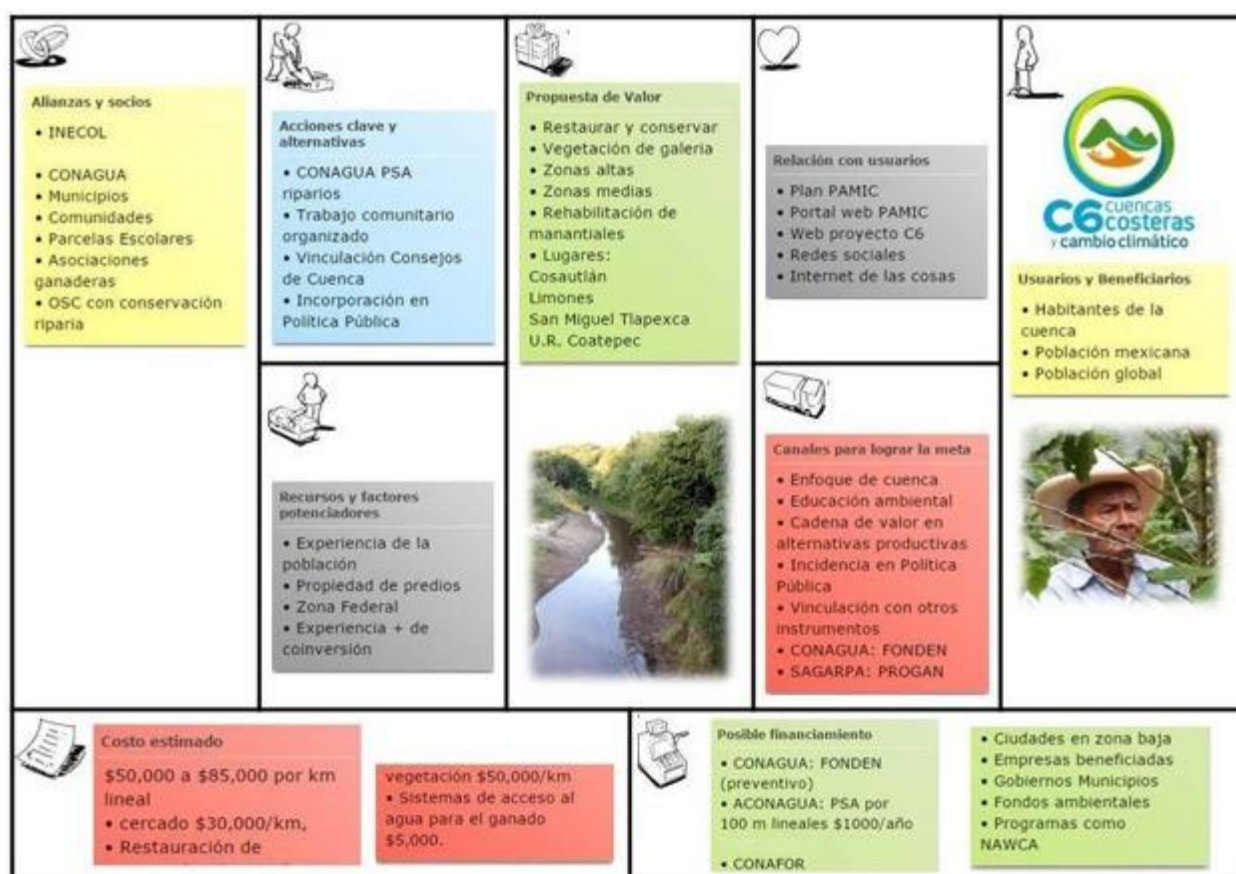


Figura 17. Modelo de negocios CANVAS aplicado a la actividad de restauración y conservación de áreas riparias. Fuente: Elaboración propia con plantilla de Osterwalder y Pigneur (2011).

4.3.2. Conservación de cafetales agroecológicos

Esta actividad fue identificada como la segunda de mayor prioridad (9.05%), incluye acciones específicas, tales como fortalecer mercados, lograr la certificación, implementar un esquema de seguridad social y pensión en la cafecultura para evitar el cambio de cultivo a caña, la diversificación productiva del cafetal de sombra, así como la incorporación del ecoturismo vinculado al cafetal. Los lugares para su implementación corresponden a la cuenca Alta y cuenca Media, en particular la zona periurbana de Xalapa-Coatepec-Xico-Cosautlán del café, y áreas donde la cobertura de vegetación presente es Bosque Mesófilo de Montaña, para incorporar ahí el cafetal de sombra entreverado con bosque de niebla.

De acuerdo a la experiencia de los actores, esta actividad representa costo variable, aunque las cantidades mencionadas no aplican en todos los casos, se pueden tomar como referencia. Desde \$50,000 hasta \$120,000 por hectárea. El primer año el costo promedio es de \$120,000 por hectárea y posteriormente de \$40,000 anuales por hectárea. Además, con respecto a la iniciativa de la seguridad social se debe considerar que en el caso de la caña existe una compensación que varía entre \$3,000 y \$7,000, que puede servir de referencia para implementar un esquema similar para la seguridad social que beneficie al cafecultor agroecológico. Con respecto al proceso de certificación se consideró un costo de \$100,000 pesos por tres talleres de capacitación enfocados a esta meta.

Entre las fuentes potenciales de financiamiento identificadas destacaron: fondos ambientales (internacionales y privados), fondos nacionales del gobierno federal, FIRA, CONAFOR (árboles de sombra para el café), fundación PRODUCE (proyecto piloto), comercializadoras de café, redes de consumo y de comercio justo. Entre los posibles socios están propietarios y ejidatarios, las instituciones académicas con proyectos de investigación relacionados, los programas de gobierno (SAGARPA, SEDARPA, PROSAPIX, FIDECOAGUA, CONAFOR), la coalición de OSCs (COBIJA), las alianzas con el sector primario y la iniciativa privada, así como CORECAFEKO.

Entre los factores que posibilitan esta actividad están la existencia de diversas OSC, las acciones de gobiernos municipales, comunidades y agentes financiadores. De igual forma en la zona hay presencia de grupos de cafetaleros organizados. La problemática de la roya representa una oportunidad de renovación. Existe un interés cada vez mayor por los SA del cafetal de sombra (suelos, agua, biodiversidad). Además, el sistema del cafetal diverso se integra como parte de una estrategia de seguridad alimentaria. En cuanto al mercado, éste brinda condiciones de estabilidad y precios más altos. Finalmente, ya existe trabajo desarrollado con comunidades y organizaciones cafetaleras, así como campañas de concientización ambiental. Por otra parte, los factores limitantes mencionados son: la existencia de monopolios en el sector cafetalero, los paquetes tecnológicos del gobierno (SAGARPA), la concepción del cafetal como monocultivo y no como bosque análogo del BMM, la desvaloración del cafetal por ignorar sus servicios ambientales, el bajo nivel organizativo, la falta de financiamiento, así como las inversiones públicas sectorizadas (no coordinadas).

Entre las alternativas mencionadas a tales limitantes están: implementar estructuras de gobernanza, desarrollar una cultura de convivencia con la roya y realizar talleres informativos

sobre sus ventajas, alinear inversiones públicas, lograr la valoración del cafetal (equiparable al bosque de niebla). Entre los supuestos para escalar esta actividad se mencionaron realizar acuerdos de vinculación OSC-Financiadores, lograr la valoración del cafetal como bosque análogo en particular por los SA que presta, incidir en política pública para el desarrollo de incentivos al cafetal de sombra (por sus SA y como bosque análogo), adoptar dentro del PAMIC el trabajo en cafetal de sombra como línea estratégica, implementar una fuerte campaña de mercadeo y crear una cartera de clientes potenciales, adoptar el enfoque de cuenca por las instituciones de gobierno y organizaciones sociales/productivas, hacer efectiva la regulación de cafetal de sombra como área forestal y prohibir el cambio de uso de suelo como si fuera solamente de uso agrícola.

La figura 18 muestra el modelo CANVAS (Osterwalder y Pigneur, 2011), adaptado para aplicarlo a la actividad de conservación de cafetales agroecológicos.

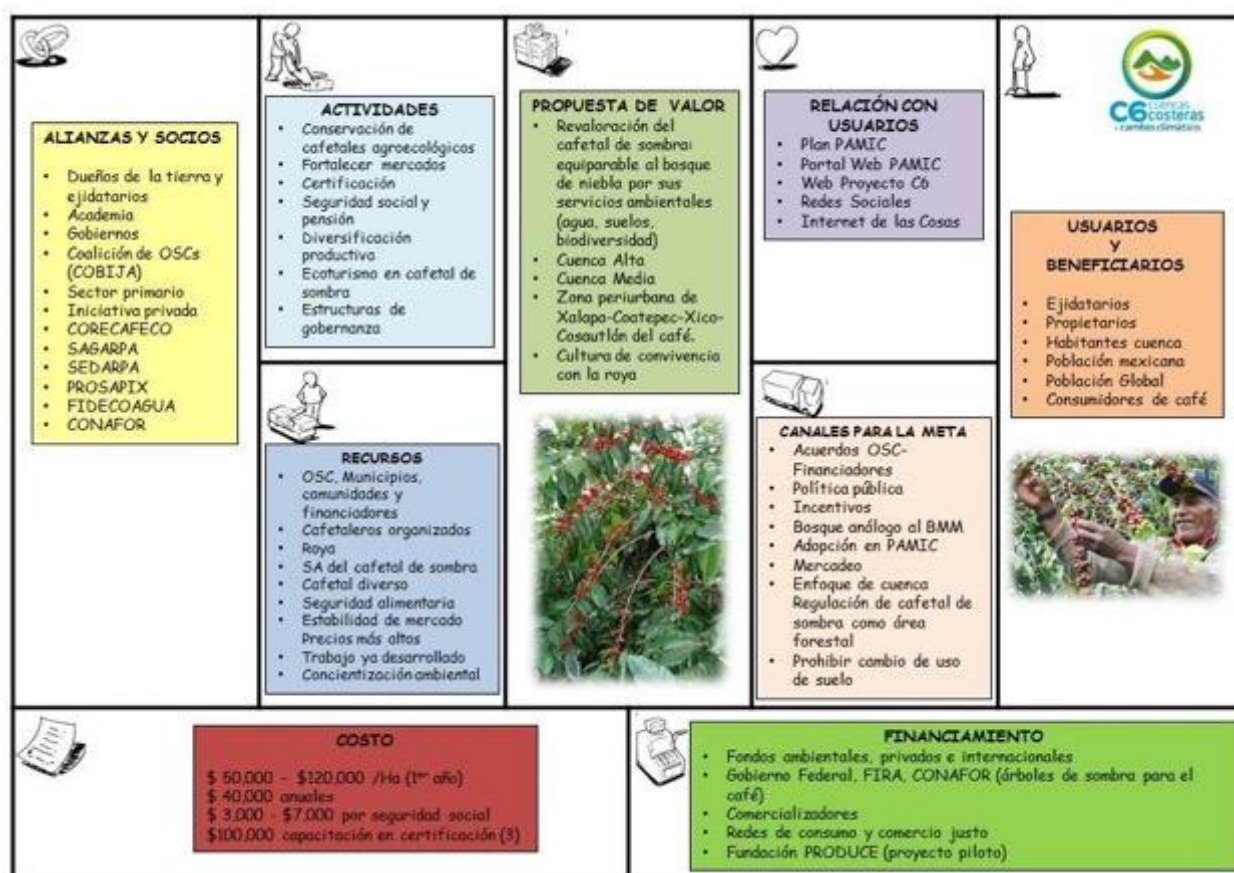


Figura 18. Modelo de negocios CANVAS aplicado a la actividad conservación de cafetales agroecológicos. Fuente: Elaboración propia con plantilla de Osterwalder y Pigneur (2011).

4.3.3 Milpa diversificada y conservación de suelos

Esta actividad fue identificada como la tercera de mayor prioridad (7.71%), incluye acciones específicas, tales como construcción de terrazas, milpa con manejo de suelos, cercos vivos y muros de contención, siembra de maíz intercalado con frutales, así como agricultura de traspatio para la soberanía alimentaria. Los lugares para su implementación en el caso de milpa corresponden a áreas que ya son agrícolas, zonas con alto riesgo de erosión o emplazadas en laderas (se propuso en particular Monte Blanco e Isla grande). En el caso de la agricultura de traspatio puede resultar más efectiva en los predios rurales emplazados en bosque templado, bosque de niebla, selva baja.

De acuerdo a la experiencia de los actores, esta actividad representa costo variable, aunque las cantidades mencionadas no aplican en todos los casos, se pueden tomar como referencia. Desde \$20,000 hasta \$40,000 por hectárea de maíz y frutales (depende del tipo de árboles).

Entre las fuentes potenciales de financiamiento identificadas destacó: FAV. Entre los posibles socios están COBIJA, ejidos y ejidatarios, minifundistas, SAGARPA, Fondos, INIFAP y COLPOS. Entre los factores que posibilitan esta actividad está la existencia de diversas OSC que cuentan ya con trabajo previo en el tema, así como la existencia de un modelo que ya ha sido probado y operado exitosamente durante 20 años. Por otra parte, los factores limitantes mencionados son principalmente tres: PROCEDE, la erosión de los suelos y el costo de los árboles. Entre las alternativas mencionadas para combatir tales limitantes están: las campañas de sensibilización y el desarrollo de viveros comunitarios de frutales. Entre los supuestos para escalar esta actividad se mencionaron elaborar campañas de promoción, difusión y concientización; implementar una política pública de conservación de suelos; brindar asistencia técnica; establecer programas, así como fuentes de financiamiento.

La figura 19 muestra el modelo CANVAS (Osterwalder y Pigneur, 2011), adaptado para aplicarlo a la actividad de milpa diversificada, conservación de suelos y agricultura de traspatio.

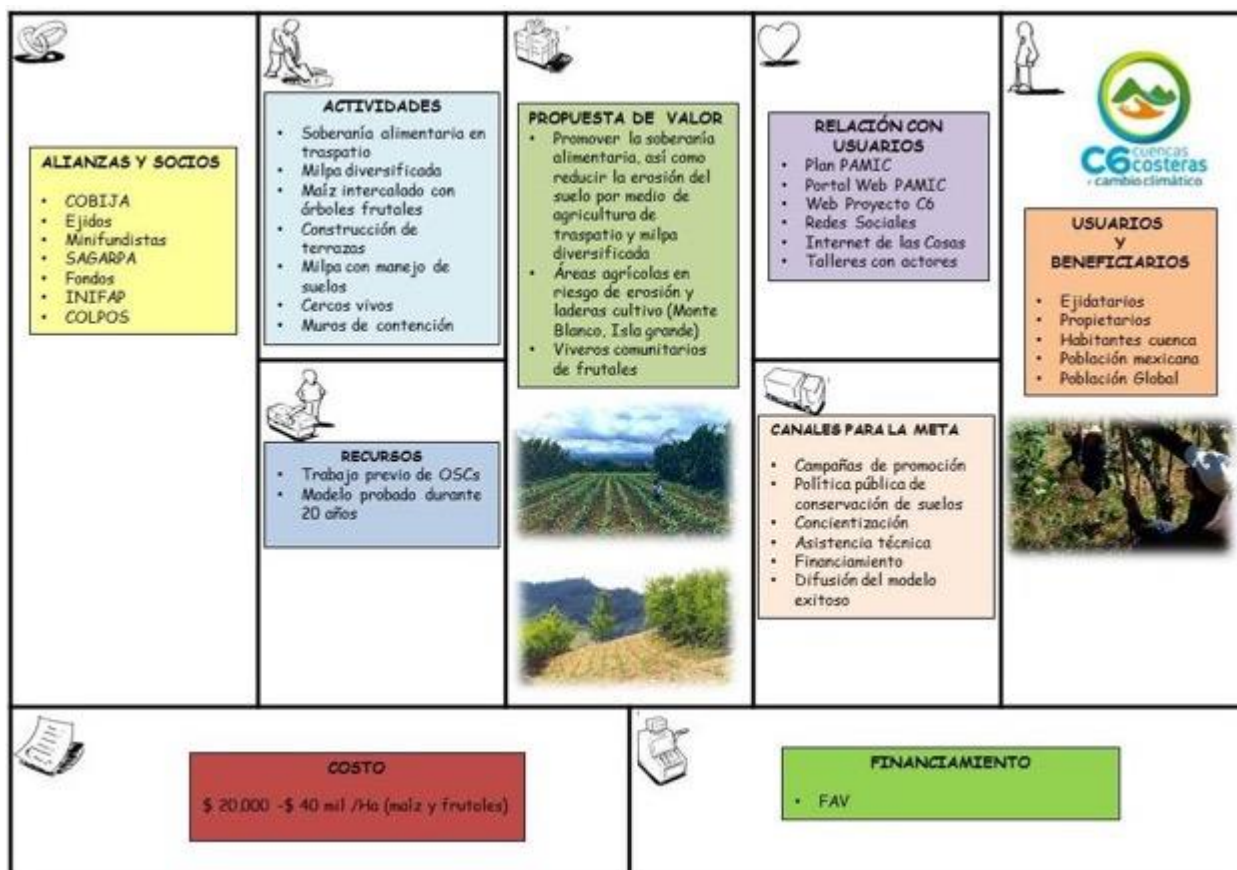


Figura 19. Modelo de negocios CANVAS aplicado a la actividad milpa diversificada y conservación de suelos. Fuente: Elaboración propia con plantilla de Osterwalder y Pigneur (2011).

Referencias

- Fu, B. P. (1981), On the calculation of the evaporation from land surface (en Chino), *Sci. Atmos. Sin.*, 5, 23– 31.
- Gutiérrez, J. 1992. La ciudad y la organización regional. Editorial Cincel. España.
- Hamel, P. and Guswa, A. J. (2015a): Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: case study of the Cape Fear basin, North Carolina, *Hydrological Earth Systems Science.*, 19, 839-853, doi:10.5194/hess-19-839-2015.
- Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., Mueller, C., (2015b). A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. *Science of the Total Environment*. Vols 524–525, p 166–177.
- Osterwalder, A. y Pigneur, Y., (2011). Generación de modelos de negocio: un manual para visionarios, revolucionarios y retadores, Deusto, Barcelona, 278 p.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D., (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the revised soil loss equation
- Sánchez-Colón, S., Trejo-Vázquez, I., Vázquez, R. (2016). Actualización y análisis del impacto del cambio climático en zonas bioclimáticas de México con nuevos escenarios de cambio climático. Proyecto: 00086487 Plataforma de colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México 2013-2016. Producto 3 Escenario base de zonas bioclimáticas en México y escenarios bioclimáticos futuros según escenarios de cambio climático. (Informe Inédito).
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., and Bierbower, W. (2016). InVEST 3.X User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Terrado, M., Acuña, V., Ennaanay, D., Tallis, H., Sabater, S. (2014). Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in heavily humanized Mediterranean basin. *Ecological Indicators*. Vol. 37. 199–209.
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W. R., Chiew, F. H. S., Western, A. W., Briggs, P. R. (2004) A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resources Research*. Vol. 40 (2).
- Ortiz-Pérez, M.A, 2010. Clasificación ecogeográfica de cuencas hidrográficas: el caso de México. En: SEMARNAT-INE. Las cuencas Hidrográficas de México: Diagnóstico y Priorización. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología / Fundación Gonzalo Río Arronte. ISBN 978-607-7655-07-7
- SEMARNAT-INE (2010). Las cuencas Hidrográficas de México: Diagnóstico y Priorización. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología / Fundación Gonzalo Río Arronte. ISBN 978-607-7655-07-7