

II.3. EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-SOCIEDAD

3.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA EN LOS VALLES CENTRALES

Intentamos analizar la compleja relación entre agua y sociedad a la luz de los cuatro elementos que propone el historiador de la ecología Donald Hughes (1981): actitud, conocimiento, tecnología y mecanismos de control y organización social. La *actitud* se refiere a cómo se percibe a sí misma una comunidad humana determinada en relación con su ambiente natural que incluye al agua, es decir, su cosmovisión. El *conocimiento*, que no es sólo lo que sabe cada pueblo acerca de su entorno, sino el sistema que integra esos saberes. La *tecnología*, de obvia relevancia: hay una gran diferencia si el agua se extrae del subsuelo con una cubeta o una motobomba. Finalmente la *organización social*, que en torno al agua pasa por lo religioso, los mitos, los usos y costumbres y la legislación moderna.

La cuenca, y en particular los Valles Centrales de Oaxaca, ha sido escenario de una íntima relación entre el agua y la sociedad

humana por lo menos desde hace diez u once mil años (Esparza, 2000; Joyce y Muller, 1992). Tal relación ha dependido de varios factores, entre ellos las condiciones naturales, como la marcada diferencia en las lluvias a lo largo del año o el hecho de que si bien llueve relativamente poco en los valles, escurre mucho de las montañas que los circundan. También ha sido decisiva la matriz cultural de cada momento histórico, ya sea indígena, española o la correspondiente a la modernización desarrollista, cada una con sus visiones, conocimientos, técnicas y controles sociales. En tiempos recientes la relación se ha modificado drásticamente, hasta poner en riesgo la viabilidad ecológica de la región. ¿Cómo hemos llegado a esta difícil condición? ¿Cuáles son los retos que enfrentamos? ¿Podemos recuperar una relación sustentable entre agua y población? Presentamos aquí algunos elementos para contribuir a las respuestas.

CUADRO 22 • PERIODOS HISTÓRICOS



El Cuadro 22 muestra de modo esquemático los periodos de esta larga historia: la época remota, la de aldeas y ciudades, la época colonial, el periodo independiente y la época moderna.

Evidentemente los límites son imprecisos y las condiciones, actitudes o tecnologías se traslapan. Es especialmente complicado porque son muchos los ámbitos de interacción de la gente con el agua. Los más relevantes son:

- Usos domésticos.
- Riego (y posteriormente ganadería).
- Uso artesanal (y posteriormente industrial).
- Navegación y transporte.
- Modificaciones del entorno (evitar inundaciones, desagüe, desecación de terrenos, etc.).
- Generación de energía (desde mecánica hasta hidroeléctrica).
- Usos recreativos y rituales.

Epoca remota

Sabemos poco de cómo eran las cuencas del Atoyac y el Salado en tiempos muy remotos, pero tenemos indicios de que el agua era más abundante y por consiguiente la vegetación era de mayor exuberancia que en la actualidad (López, 2009).

Los primeros grupos humanos de que se tiene noticia eran cazadores y recolectores nómadas que pronto empezaron a experimentar con la siembra de plantas. Podemos conjeturar que su actitud hacia el agua y el entorno fue durante mucho tiempo de tipo animista, es decir, que identificaban los elementos de la naturaleza con variadas entidades espirituales. Bajas densidades poblacionales, grupos nómadas y seminómadas y un estrecho conocimiento de la naturaleza y los ciclos del agua de los que dependían caracterizó probablemente este largo periodo de la historia. Sus herramientas tecnológicas de uso del agua podrían ser calificadas de incipientes, en particular en términos de magnitud e impacto: captación, almacenamiento y formas rudimentarias de riego. Hay evidencias de que en el período Arcaico tardío ya cultivaban calabaza y teozintle (Van Doesburg, 2007). Los hallazgos de la cueva Guilá Naquitz, que da-

tan de 6960 a. C., son probablemente los indicios más antiguos de la agricultura en el continente (Esparza, *op. cit.*). La organización social en torno al agua, basada probablemente en grupos pequeños, debió descansar en el trabajo común.

Aldeas y ciudades

El primer gran cambio en la relación con el agua y el ambiente en general fue el establecimiento de asentamientos permanentes y la posterior urbanización, que dieron lugar a un aumento considerable de la población y con ello un mayor uso del agua y una utilización intensiva de las tierras de labor, lo cual terminó por causar erosión y otros cambios que incluso pueden detectarse en el bajo Río Verde, como sugieren los trabajos de Joyce y Muller (1997). La agricultura, basada en buena medida en las abundantes tierras de aluvión, permitió el desarrollo de complejos asentamientos zapotecos que llegaron a sumar cientos de miles de pobladores. Se piensa que al momento de la llegada de los españoles habría unos 350 mil habitantes (Flannery y Joyce, 2005).

Esta época marca también la aparición de una religión estructurada, politeísta y de origen naturalista. Empieza a rendirse culto a la madre tierra. Los mitos originarios de mixtecos y zapotecos tienen una clara relación con el agua. Posteriormente se desarrollaría el culto a Cocijo, dios del rayo y por extensión de la lluvia. El conocimiento que reflejan los calendarios indica un preciso entendimiento de los ciclos lunar y estacional, ambos vinculados con el agua.

La agricultura tradicional indígena ha sido muy estudiada. En 2003 se descubrió que la cuenca del Purrón, en el Valle de Tehuacán, fue el lugar de origen de la agricultura de riego en Mesoamérica, hace más de dos mil 750 años. En los Valles Centrales se conocen detalles de los sistemas de irrigación con canales y acequias y la construcción de terrazas en terrenos montañosos. Notable el sistema de Hierve el Agua: 600 terrazas en un área de 60,000 m² que estuvieron en funcionamiento cerca de 2 mil años (Fernández *et al.*, 2004).

En los Valles Centrales se encuentran los almacenes subterráneos domésticos de mayor antigüedad en Mesoamérica, en San José El Mogote y Tierras Largas (Winter, 2006). Los registros de sistemas de riego como represas, canales y pozos son abundantes (CNA, 2009b). También hay registros bastante antiguos de pozos para riego en Mitla, Zaachila y San José del Mogote (Flannery y Joyce, *op. cit.*, Winter, *op. cit.*).

En investigaciones de 1980 se descubrió evidencia de un sistema de desagüe en Monte Albán que indica procesos de captación y reciclaje de agua de lluvia. Ese sistema servía para aprovechar el agua para fines domésticos y para irrigar terrazas de cultivos en los costados de la montaña, así como preservar el piso de la acumulación de agua (Sansores, 1992).

Antes de la llegada de los españoles, además de los zapotecos había también asentamientos mixtecos en el Valle de Zaachila (Cuilapam, ubicado en ese valle, quiere decir *río de atrás*).

Hacia las postrimerías de este periodo, los Valles habían sido conquistados por los mexicas, que establecieron una población llamada Huaxyacac al pie del actual cerro del Fortín. La toponimia náhuatl puede darnos pistas adicionales de cómo fueron muchos lugares poco antes de la llegada de los españoles: Huayapam significa *río grande*; Ocotlán, *lugar donde abundan los pinos*; Tepetonco, *cerro de la laguna*. Atoyac quiere decir *río o agua que se derrama* o bien *lugar a orillas del río* (Bueno, 1998). Otras referencias históricas describen la sorpresa de los primeros españoles ante la magnitud y abundancia de sabinos o ahuehuetes, que suelen crecer a la vera de ríos y otros lugares muy húmedos, y que los hicieron describir estas tierras como *valles de gigantes*.

Estudiosos sostienen que el Río Salado alimentó un gran lago cuyas orillas llegaban hasta el árbol del Tule hacia el año 100 d.C. (Bueno, *op. cit.*). Es probable que más que un lago propiamente dicho se tratara de áreas pantanosas o humedales que se mantenían en las épocas de lluvias. Francisco de Burgoa describe así la abundancia de agua y la fertilidad del Valle de Etlá: “Llamábanla los indígenas loohvanna, que quiere decir, mantenimiento, y era el granero de donde sacaba los bastimentos el rey antiguo de

Theozapotlán para aprovisionar de maíz y frijoles a sus ejércitos”. (Citado por Fernández *et al.*, 2004).

Epoca Colonial

El segundo gran cambio en la relación de la gente con el agua fue la Conquista. Varios grupos de soldados expedicionarios españoles se asentaron en el pueblo mexicana desde 1522. Para empezar, fue tremendo el impacto que tuvieron entre los pueblos originarios las grandes epidemias ocasionadas por enfermedades traídas por los conquistadores, particularmente la viruela y el sarampión. En 100 años la población indígena se redujo en 85%, lo que implica importantes ajustes en las formas de organización económica, política, religiosa y social de las comunidades indígenas (Fernández *et al.*, *op. cit.*).

La cosmovisión de los conquistadores españoles fue determinante en las grandes transformaciones que siguieron a la Conquista, ya que con la naturaleza tuvieron la misma actitud de dominio que con los pobladores originarios. Provocó también gran impacto la introducción de técnicas europeas, como el arado, y de prácticas agropecuarias como la cría de vacas, borregos, chivos y puercos y el cultivo de trigo y caña de azúcar.

En términos hidráulicos atestiguamos una genuina revolución tecnológica en diversos aspectos, como el riego, la conducción de agua o la extracción de agua subterránea. Entre los más importantes están los molinos, los animales de trabajo, la palanca, el torno y la polea, las cajas de agua, los arcos en los acueductos (Rojas, 2009). Todo esto incrementó la eficiencia y la capacidad de modificación de los ciclos naturales.

La ciudad colonial estaba rodeada por los ríos Atoyac y Jalatlaco, que durante muchos años fueron su principal fuente de agua, la cual era tomada directamente o por medio de pozos que tenían el líquido a sólo cuatro metros de profundidad (López y Consejo, 2011).

Al inicio de la Colonia la tierra quedó mayormente en manos indígenas y durante el siglo XVI el agua estuvo bajo su control. En

el transcurso de los dos siglos siguientes las tierras mejor irrigadas y más productivas pasaron a manos de los españoles (Fernández *et al.*, 2004).

En el siglo XVI hubo tres grandes obras hidráulicas: una para desviar y contener las aguas del Río Jalatlaco, la segunda el acueducto que llevaba el agua de San Felipe a la ciudad, la tercera la desviación del cauce original del Río Atoyac. Podemos ver desde entonces el problema, similar al de la cuenca de México: mucha agua o muy poca. En realidad, la principal razón para construir la gran obra del acueducto de San Felipe, más que llevar agua a una ciudad sedienta, como ahora se dice, fue facilitar los magnos trabajos del conjunto arquitectónico dominico. Es interesante cómo a la terminación del acueducto le siguió el comienzo del desperdicio de agua. Otra magna obra hidráulica colonial ha pasado casi inadvertida, acaso porque fue realizada de manera gradual: el desecamiento de terrenos inundables, tanto para ganar terrenos para la agricultura o la construcción –en el caso de la ciudad– como para aprovechar el agua en el riego de tierras aledañas mediante acequias que terminaron por formar parte de una amplia e intrincada red de canales. De acuerdo con Burgoa, en el valle de ETLA había “tantas zanjas [para el riego] que los ministros de la iglesia padecen para atravesarlas”. (Citado por Fernández *et al.*, *op. cit.*).

Durante la Colonia la ciudad de Oaxaca creció de manera moderada –en buena medida por la terrible mortandad que implicaron las enfermedades importadas por los españoles– y tanto el caudal de los ríos como el nivel de los mantos freáticos se mantuvieron relativamente estables por siglos. Por largo tiempo se alcanzó un equilibrio entre la ciudad colonial y los pueblos indígenas colindantes, que aportaban trabajo, alimentos y otros bienes. Los indígenas adoptaron rápidamente el arado tirado con bueyes y combinaron los nuevos cultivos traídos por los españoles con los propios. Por otra parte, una actividad que prácticamente no requiere de agua, la producción de grana cochinilla, se volvió de extraordinaria importancia, hasta convertirse en el primer producto de exportación de toda la zona, rivalizando incluso con la producción de plata de la Nueva España.

En el primer siglo de la época colonial los españoles no estuvieron demasiado interesados en poseer o cultivar tierras porque

vivían muy cómodamente con lo que producían los indígenas. Lo que les interesó desde el principio fue la cría de ganado, que se introdujo en grandes cantidades en el siglo XVI y dio origen a varias estancias ganaderas y un importante aumento en el consumo de agua. La mayor parte de ese ganado era de españoles, pero los indios adoptaron rápidamente el uso de animales y tenían rebaños entre sus bienes comunales, aunque Taylor (1973) sostiene que ellos tenían más bien especies pequeñas.

Con las limitaciones que imponían los intereses de la corona, se desarrollaron un buen número de artes e industrias relacionadas directamente con el agua: peletería, hilados y tejidos, carpintería, herrería, además de las vinculadas a la minería: extracción, beneficio y transporte de oro y plata, principalmente.

Alrededor de 1630 empiezan a desarrollarse las haciendas, que eran propiedades más complejas que las estancias y podían incluir labores. A fines del siglo XVI, en Hispanoamérica el término hacienda empieza a describir a una unidad económica dedicada a abastecer mercados locales tanto de productos animales como de granos. Para 1643 ya había más de 40. Las haciendas se concentraron al sur del valle y en la parte oriental, donde eran más grandes que las del sur; en ETLA había una docena (Taylor, *ibíd.*). Las haciendas fueron convirtiéndose en unidades sociales y productivas bastante autosuficientes y su manejo de agua tendía a ser autónomo y de usos múltiples: riego, ganado, generación de energía, artesanía, etc.

En la Colonia se da un cambio fundamental en los mecanismos de regulación social del agua debido a la imposición del modelo español, en el que al ser el agua y la tierra propiedad de los reyes sus representantes otorgaban derechos públicos o privados por medio de mercedes. Tal circunstancia se combinó con la manera en que los pueblos originarios trataban a los elementos de beneficio común: con reciprocidad y trabajo comunitario. Este cambio dio lugar a numerosos conflictos a lo largo de la época colonial (Rojas, 1988). Véase el Cuadro 23, que muestra un resumen del carácter legal de los derechos de agua, elaborado a partir de Fernández *et al.*, *op. cit.*

El concepto de propiedad de las aguas en la Nueva España nació junto con el de la propiedad de la tierra. No obstante, la presencia de agua en una propiedad por sí misma no daba derechos sobre el agua. Parece que las mercedes de labores o labranzas sí incluían derecho al agua.

Con el paso del tiempo y el crecimiento de las actividades productivas (molinos de trigo, batanes para suavizar fibras, ingenios que funcionaban con fuerza hidráulica, beneficios de plata) empezó a otorgarse mercedes de aguas (solas) y mercedes de aguas para riego, éstas sobre todo para el trigo y la caña de azúcar.

El agua comunal era administrada por el cabildo. En general, los particulares no podían usar el agua común para regar sus campos privados, so pena de multa. Las aguas no mercedadas quedaban en el patrimonio de la corona.

En los pueblos y ciudades se otorgaba el agua al conjunto de sus habitantes por medio de fuentes públicas y abrevaderos, y en donaciones a particulares, notables e instituciones religiosas.

Durante el siglo XVI los indígenas fueron los mayores beneficiarios de mercedes de agua para molinos. En el siglo XVII siguen otorgándose a los indios mercedes para molinos, pero las mercedes de aguas para uso agrícola comienzan a concederse a los colonos y a los conventos, que empiezan a interesarse en las tierras aparentemente debido a que la despoblación provocada por las epidemias redundó en una falta de mano de obra que les permitiera seguir viviendo de lo que producían los indígenas.

Si bien en el siglo XVI las comunidades indígenas recibieron casi el mismo número de mercedes que los españoles para construir molinos, por ejemplo, a partir del siglo

XVII empieza a decaer la hegemonía de los caciques hasta terminar en una aparente ausencia de prerrogativas.

En el siglo XVIII, tanto por el debilitamiento de la nobleza indígena como por la consolidación del poder español, las mercedes de agua se otorgan a los españoles y prácticamente se deja fuera a los indígenas, incluidos los caciques o principales. Empieza a manifestarse la preeminencia de la sociedad de origen español sobre la indígena.

De la independencia al siglo XX

Luego de los profundos cambios en demografía, cosmovisión, tecnología y organización social que provocó la llegada de los europeos, la relación agua-sociedad durante la Colonia fue adquiriendo en los Valles Centrales una condición de relativo equilibrio: la ciudad colonial, de fuertes rasgos indígenas y crecimiento moderado, con pueblos satélites que proveían comida y otros productos y en los que las comunidades originarias mantenían mayormente sus territorios comunales. El agua era abundante, aunque su disponibilidad estaba sujeta a los ciclos de lluvias y sequía. Además, la captación de lluvia y la distribución de agua a partir de fuentes públicas y aguadores satisfacía al menos en parte los requerimientos hídricos urbanos y se complementaba con el agua del Río Atoyac y el arroyo Jalatlaco.

En apariencia estas condiciones se mantuvieron con relativamente pocos cambios durante el siglo siguiente, hasta la Revolución. Sin embargo, en el periodo se gestan profundos procesos de transformación en la cosmovisión, los conocimientos y tecnologías y la organización social, que trataremos de describir de manera sucinta.

Al menos en las élites económica y política, podemos identificar en esta época el inicio de una profunda transformación en

la actitud hacia la naturaleza, el agua, las ciudades y el bienestar social. Se intenta seguir el pensamiento modernizador que sigue a la Revolución Industrial y que florece en Europa y Norteamérica: la ciencia positivista y mecanicista, la tecnología como fuente básica de transformación social y la urbe como paradigma de bienestar.

En el período independiente y especialmente en el Porfiriato se dio un nuevo impulso a la minería, actividad que se había practicado desde la Conquista, y se crearon industrias como las de hilados y tejidos, lo que marcó otros cambios significativos en el uso del agua. Es ilustrativo el caso de San Agustín Etlá: en 1883 se funda la fábrica de hilados y tejidos Vistahermosa. Llegó a tener 200 telares y 400 empleados. Usaba energía de las hidroeléctricas La Luz y La Soledad, que estaban en San Agustín y también daban electricidad al centro de la ciudad de Oaxaca. En 1924 se funda la fábrica de hilados y tejidos San José.

Paulatinamente crecía la población de la ciudad de Oaxaca y con ella la demanda de fuentes estables de agua. En 1877 se hacen estudios de los manantiales de Huayapam y se inicia la construcción de un acueducto. En 1880 se hacen pruebas para conducir el agua por las lomas de San Luis Beltrán. El acueducto queda con una extensión de 9,000 m para transportar 18,900 l de agua cada 24 h. Finalmente, a principios del XX se construye el acueducto de San Agustín Etlá.

Un fenómeno del que prácticamente no existe registro es el de la drástica deforestación del pie de monte de la Cordillera Norte, que incluye al Cerro del Fortín, el cual ya se aprecia en el óleo de José María Velasco de 1884, *Vista de la ciudad y el Valle Grande de Oaxaca* (esta obra, impresionante por su precisión y majestuosidad, fue probablemente creada desde el cerro de San Juan Chapultepec, aunque los registros históricos la ubican en Monte Albán). Probablemente las causas de este deterioro son la combinación de saca de leña de encino para la elaboración de carbón, el pastoreo y quizás el desplazamiento de terrenos de labor de las comunidades hacia partes más altas.

El riego se modifica grandemente en función de los adelantos tecnológicos de la época: en cuanto a la extracción destacan el uso de motores –primero de vapor, luego de combustión interna y

finalmente eléctricos– para perforación y bombeo, así como el cambio de materiales en las obras, señaladamente el uso extensivo de cemento. En la conducción se generaliza la utilización de metales (tubos, válvulas, etc.). Para una descripción más completa véase Sánchez (2009).

En ese periodo se sientan las bases de profundos cambios sociales que entre otras cosas tienen impactos legales en los usos del agua. La independencia no cambió automáticamente los patrones de control coloniales, pero son relevantes las modificaciones juaristas que desembocan en la Constitución de 1857, especialmente en cuanto a la desamortización de bienes eclesiásticos y de comunidades indígenas. Otra transformación fundamental fue, naturalmente, la Revolución, y con ella la Constitución de 1917. En general hay un proceso de federalización en las atribuciones del gobierno en materia de derechos y manejo del agua: de esquemas locales de origen indígena y colonial se pasa a la visión moderna de que el agua es un asunto nacional. El Cuadro 24 resume los cambios en la legislación sobre el agua que describe Diana Birrichaga (2009).

CUADRO 24 • LEGISLACIÓN DEL AGUA, SIGLOS XIX Y XX

Si bien es cierto que la Constitución de 1857 no trataba el tema hidráulico de manera directa, sí estableció que el Estado mexicano estaba obligado a preservar los derechos de propiedad, incluyendo los que existían sobre las aguas de ríos y manantiales. La protección de la propiedad fue asumida incluso durante los breves años del segundo imperio encabezado por el príncipe austríaco Maximiliano de Habsburgo. En 1864 fue creada la Junta Protectora de las Clases Menesterosas una de sus funciones era formular las leyes necesarias para reglamentar el trabajo en el campo, la dotación de fundos legales y ejidos a los pueblos carentes de ellos y, por último, dirimir los litigios sobre tierras y aguas. En el caso particular de la reglamentación

de los recursos hidráulicos, en 1864 el emperador señaló que las ordenanzas que regían hasta entonces el ramo de aguas eran “oscuras, vagas, defectuosas e inadecuadas”, por lo que decidió emitir leyes y reglamentos para regular su uso, los cuales nunca se elaboraron o tuvieron un escaso impacto. Asimismo, el 1 de noviembre de 1865 el gobierno del imperio promulgó una ley para solucionar las diferencias entre los pueblos por tierras y aguas.

En el artículo primero se ordenaba que todos los pueblos que tuvieran demandas por la propiedad o posesión de tierras o aguas con otro usuario, presentaran sus quejas y argumentos ante la prefectura política superior de su departamento. A la vez se estipulaba que las disputas suscitadas entre dos pueblos se resolverían dando posesión al que tuviera mejor derecho. Si bien esta legislación tuvo una corta vigencia, varias comunidades se apegaron a ella y lograron revertir algunas disposiciones emitidas con base en la Ley de Desamortización de 1856.

En México, con el fin de salvaguardar los intereses individuales de cualquier acto no adecuado de las autoridades, se creó una innovadora figura jurídica: el amparo. Desde 1861 el amparo fue concebido como un juicio político abierto que daba una interpretación de la Constitución (Cabrera 1998, II:40), lo que permitió que cualquier ciudadano que considerara violadas sus garantías pudiera acudir a la justicia federal. La Suprema Corte de Justicia de la Nación determinó que las autoridades locales no podían lesionar los derechos de propiedad del agua de los particulares. Los amparos presentados ante la justicia federal aludían a dos artículos constitucionales, para no permitir que alguna autoridad verificara el despojo de las aguas de manantiales o de las aguas de carácter particular. Los quejosos señalaban que el Artículo 16 de la Constitución de 1857 establecía que nadie podía ser molestado en su

persona, familia, domicilio, papeles y posesiones “sino en virtud de mandamiento escrito de autoridad competente que funde y motive la causa legal del procedimiento”. (Constitución Federal 1956:29).

Por su parte, el primer inciso del Art. 27 de la misma Constitución indicaba que no podía ser ocupada la propiedad privada sino por causa de utilidad pública y previa indemnización. En este sentido, la ley sólo autorizaba la expropiación de las aguas particulares si se determinaba que: 1) la ocupación era por causa de pública utilidad y 2) si previamente se indemnizaba al propietario. La Ley de Amparo permitió establecer que faltando una de las condiciones mencionadas o ambas la expropiación de algún recurso hidráulico constituía un ataque a una garantía individual.

Epoca moderna

Es difícil entender el siglo XX en los Valles Centrales sin considerar los procesos que se originaron en el período anterior. Recordemos que Juárez, con su visión modernizadora, llegó al gobierno de Oaxaca en 1858 y realizó fuertes inversiones en infraestructura urbana que Porfirio Díaz continuó. Ejemplos: la introducción del servicio telefónico en 1867, las lámparas de gas para alumbrado público en 1882 y el ferrocarril también en 1892 (Riley, 1996; Murphy y Stepick, 1991).

Sin embargo, los cambios más veloces y significativos en la hidrología de los Valles Centrales se dieron hace unas cuantas décadas. Se conjugaron para ello varios factores: uno fue el explosivo crecimiento de la ciudad, atribuible en buena medida a la inmigración, con el consiguiente doble efecto de aumento en la demanda de agua y disminución del área de filtración. Otro factor de deterioro fue sin duda la generalización del uso del agua entubada. El sistema de agua potable de Oaxaca empezó a construirse a principios

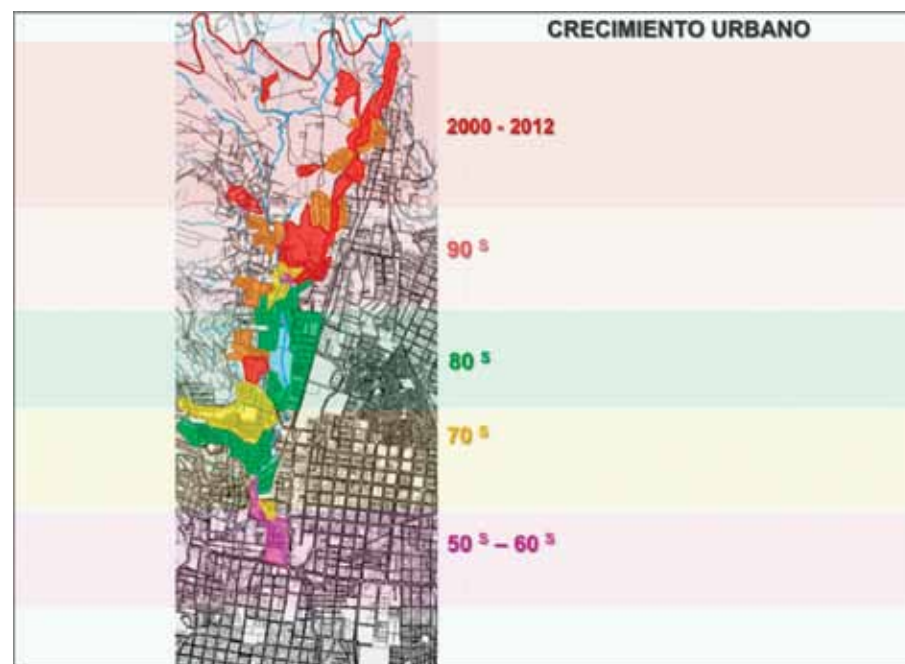
de siglo XX, pero se extendió de manera importante a partir de la década de 1930²; los sistemas de captación de agua de lluvia fueron desmantelados y con la facilidad de tener agua con sólo abrir la llave se acentuó la pérdida de moderación en su uso. Por esos mismos años, el establecimiento del drenaje y el WC fueron el tiro de gracia para el Atoyac y sus afluentes. Un buen ejemplo de los cambios en la microcuenca del Río San Felipe–Jalatlaco y sus consecuencias puede apreciarse en el Cuadro 25.

Se instauró un sistema de ‘saneamiento’ en que juntamos el agua limpia de la lluvia con las aguas negras domésticas y una diversidad de sustancias tóxicas, como desechos industriales y hospitalarios o aceites automotrices, todo disuelto en abundante agua potable. Una parte de esa mezcla la echamos directamente a ríos, arroyos y a veces a la calle, y la otra parte la conducimos por un muy costoso sistema de tubos hacia una planta, también muy cara, que no funciona desde hace años. Las consecuencias ambientales y sociales están a la vista: el Atoyac es ya uno de los ríos más contaminados del país con coliformes fecales (INEGI, 1991) y una evaluación reciente de investigadores del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (Belmonte *et al.*, 2006) señala un elevado riesgo de contaminación de los mantos freáticos en zonas contiguas al Río Atoyac, precisamente donde se encuentra un buen número de pozos de abastecimiento de agua potable.

En la década de los sesenta, con el fin de evitar inundaciones, pero sobre todo con la idea urbanística dominante en su tiempo de ‘rectificar’ cauces, el Río Atoyac volvió a sufrir una serie de desvíos que lo dejaron en su traza actual. Es notable, sin embargo, que hasta bien entrado el siglo XX hay muchas descripciones del Atoyac, la Cascada y otros lugares, donde se resalta la abundancia y limpieza de sus aguas (Bustamante, 1989).

2 La red de agua potable que hoy todavía está en uso fue planeada antes de la Revolución y su construcción empezó en 1913. Llevó 25 años completarla, pero en su inauguración se consideró la más moderna del país. Fue obra del contratista alemán Enrique Schöndube, quien introdujo los primeros tubos de acero inoxidable, pero también instaló de hierro y cerámica. Al principio sólo los miembros de la élite se conectaron. Se construyeron fuentes públicas para las clases bajas (Riley, 1996).

CUADRO 25 • CRECIMIENTO URBANO EN LA MICROCUENCA SAN FELIPE-JALATLACO



PLAN MAESTRO RIO SAN FELIPE-JALATLACO

Estos cambios drásticos y una inequitativa distribución del agua contribuyeron a arraigar en la población la idea de la escasez: para los años ochenta del siglo pasado ya se hablaba de la “ciudad sedienta” y empezaba a insistirse en proyectos de trasvase de cuencas, a pesar de que el agua potable disponible era suficiente como para que cada habitante contara con alrededor de 300 litros diarios. Desde entonces el mito de la escasez ha quedado bien establecido y periódicamente los tecnócratas se encargan de alimentar con él sus nuevos megaproyectos de trasvases. En ese tiempo se soslayaba, igual que ahora, que el problema principal no era tanto de falta de agua sino de desperdicio e ineficiencia en el servicio: casi la cuarta parte de las colonias carecían de agua potable y las que contaban con el servicio tenían un suministro deficiente por problemas de la red como falta de presión, fugas o escaso mantenimiento.

Perspectivas

La perspectiva que nos da esta revisión histórica es de importancia fundamental para enfrentar los desafíos actuales: hoy como en el pasado nuestro problema central no es de disponibilidad –aunque éste sea un componente– sino de distribución, equidad y control en el uso del agua.

Es imprescindible trabajar para que la ciudad de Oaxaca y su área conurbada sean hidrológicamente sustentables. Entre las medidas para la sustentabilidad está el mejoramiento de las redes urbanas de agua potable, el riego eficiente, la regeneración ambiental, la captación de agua de lluvia y los programas de ahorro y reuso.

En la sección anterior hemos descrito la condición crítica de la cuenca. Ante ella debemos revisar nuestras percepciones y acti-

tudes. En el pasado, el origen predominantemente indígena de su gente, la ruralidad y la dispersión poblacional fueron considerados problemas y signos de atraso. Hoy podemos ver oportunidades en esas características: la diversidad étnica está todavía asociada con un importante patrimonio de conocimientos; vivir en el campo implica sólidos lazos con la tierra y el agua, capacidad de producir alimentos y un fuerte tejido social; habitar pequeñas comunidades supone la opción de arreglos políticos de mayor autonomía.

Rescatar la cuenca hidrológica del Río Verde–Atoyac significa, en el mejor de los sentidos, volver la vista al campo y *ruralizar* las ciudades para volverlas sustentables.



3.2. LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO

Antecedentes

La dinámica de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal es un aspecto crítico para entender la intrincada relación entre ambiente y sociedad. Los cambios de uso del suelo tienen impactos biofísicos y socioeconómicos que a su vez provocan nuevos cambios. Para analizarlos se requiere un enfoque multidisciplinario y ha resultado muy útil usar las cuencas como unidades de análisis, debido a la conexión directa que hay entre la cobertura vegetal y funciones clave de las cuencas, como la calidad del agua o la recarga de acuíferos.

Nos hemos referido a los cambios de uso del suelo y sus consecuencias como una de las principales causas de afectación del ciclo hidrológico y en general de la relación agua-sociedad. Este proceso es más agudo en la parte alta de la cuenca, que ha sufrido una degradación generalizada en los últimos 30 o 40 años, como resultado de una crisis agrícola y urbana. Conviene que analicemos estos cambios de manera temporal y espacial con la herramienta de los sistemas de información geográfica.

Este acercamiento tiene precedentes en la región. Un trabajo inconcluso por falta de apoyo institucional fue iniciado por Alejandro Toledo y Rubén Langlé en 2003 (Langlé, 2004; Toledo, 2006). Asimismo, en 2010 un grupo de investigadores del CIIDIR analizó de manera espacial y temporal los cambios de uso de suelo en la parte alta de la cuenca en un periodo de 15 años, de 1990 a 2005 (Villarreal *et al.*, 2011). Estos trabajos son relevantes por la información que aportan sobre los Valles Centrales, así como por las aproximaciones metodológicas que proveen. Sin embargo, lo más relevante es un cambio de perspectiva con respecto a los estudios hidrológicos convencionales, el cual da lugar a visiones más dinámicas e integrales sobre el agua.

Uno de los estudios especiales vinculados al PCBC fue una tesis de maestría de Simon Topp, del Bard Center for Environment Policy, bajo la dirección del INSO. Se denomina *Impactos Futuros de las Opciones de Manejo Espacial en los Cambios en la Cobertura Vegetal: Un Análisis de la Cuenca del Río Atoyac, Oaxaca*. El tra-

bajo analiza los cambios de cobertura vegetal entre tres periodos: 1980-1993, 1993-2000 y 2000-2005, y hace proyecciones para 2025. El ámbito geográfico utilizado corresponde a la subcuenca del Río Atoyac (Véase Mapa 6, Capítulo II.1).

Para entender mejor la evolución de cambio de uso del suelo y hacer proyecciones para el futuro en la subcuenca, este estudio emplea una serie de datos biofísicos, socioeconómicos y de uso del suelo con los que evalúa:

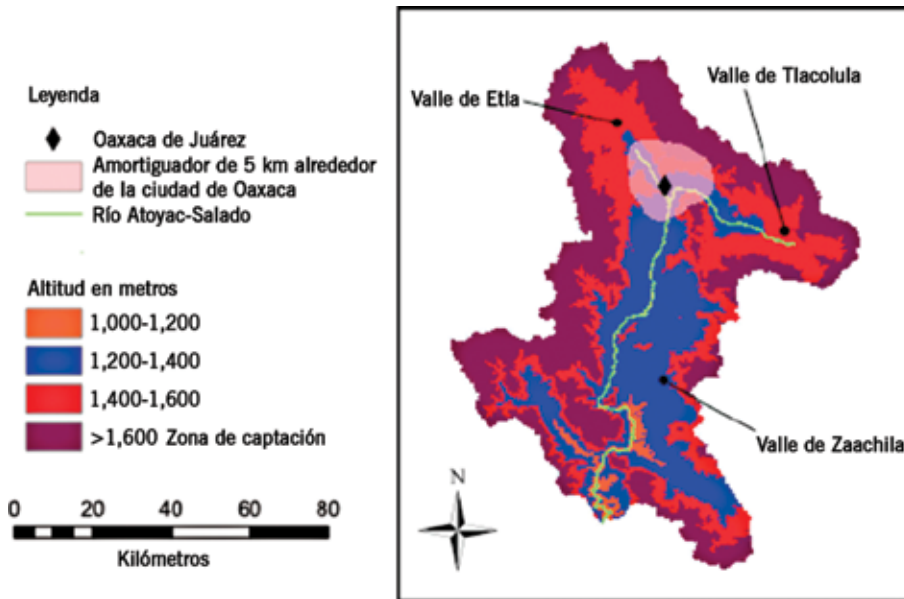
- Tendencias históricas en cobertura.
- Factores clave de los cambios específicos.
- Cobertura potencial futura basada en la extrapolación de los cambios históricos.

Métodos

Por medio de mapas del INEGI se analizó la cobertura vegetal histórica para tres periodos (1980-1993, 1993-2000 y 2000-2005). A partir de estos se desarrollaron matrices tradicionales de transición. Se establecieron también áreas específicas de interés para entender mejor la composición espacial de los cambios de cobertura: primero se delineó una zona de captación con base en la altitud y después se delineó un amortiguador de 5 km alrededor de la ciudad de Oaxaca (Véase Mapa 28).

Para entender mejor la dinámica de áreas críticas, las tasas de cambio fueron analizadas separadamente en estas unidades. Finalmente, se extrapolaron las tendencias históricas a 2025 en tres escenarios distintos de política, utilizando el modelo Dyna CLUE desarrollado por Verburg y Overmars (2009), que pertenece a una de las generaciones más recientes de modelos conocidos como Conversión de Uso del Suelo y sus Efectos (CLUE por sus siglas en inglés). Se han usado aplicaciones de este modelo para analizar casos tan diversos como Vietnam, Europa, y Centro y Sur América.

MAPA 28 • DELIMITACIÓN DE ZONAS EN LA SUBCUENCA



Resultados

En cualquier área de estudio, la separación temporal de la cobertura permite el análisis profundo de tendencias y da ideas sobre los motores de esas tendencias. Algunos cambios son graduales, como la sucesión vegetal, pero los cambios antropogénicos son abruptos y conectados directamente con factores como las políticas regionales, las condiciones climáticas o los mercados globales (Véase Mapa 29).

Los resultados en el Alto Atoyac sugieren que éste es el caso, ya que las tendencias muestran grandes cambios entre periodos temporales. Algunos cambios son consistentes y relativamente claros, como el aumento del área urbana, mientras que otros están relacionados con cada periodo (Véase Cuadro 26). Estos resultados indican que muchos de los factores detrás de la dinámica de cambios de uso del suelo son fluidos y dependen de variables que evolucionan. Los bosques primarios y secundarios varían drásticamente en el periodo de estudio (un decremento de 1,230 km²

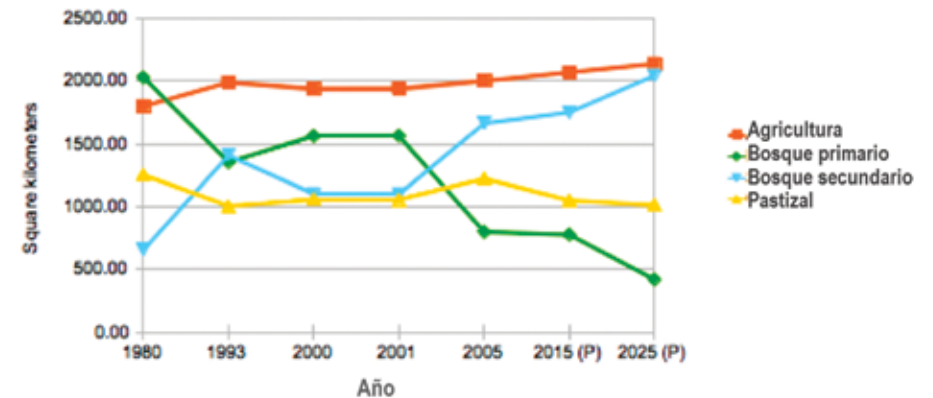
y un incremento de 1,006 km² respectivamente), mientras que la agricultura y los pastizales permanecen casi constantes.

En términos globales, los terrenos urbanos de uso agrícola, pastizales y bosques secundarios muestran tendencias al incremento, mientras que los bosques primarios y de niebla disminuyen a lo largo del periodo de estudio.

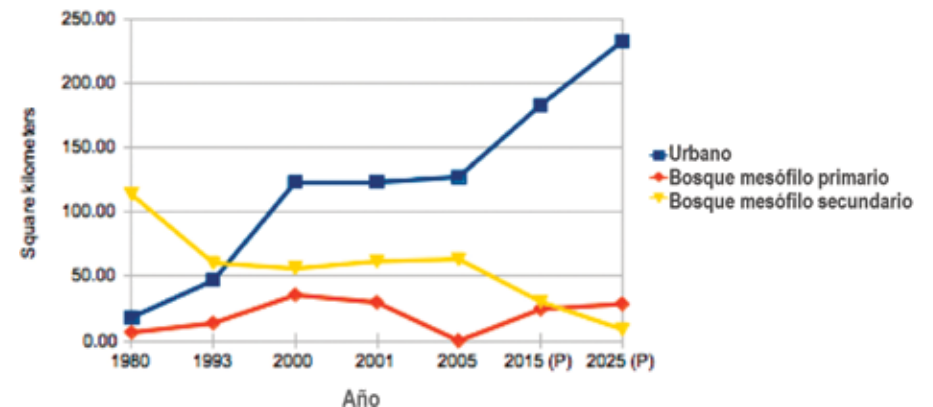
Dados los cambios no lineales en algunas clases de uso del suelo, las proyecciones futuras tienen grados variables de precisión. Debido a esto, la extrapolación de cobertura de pastos y bosques

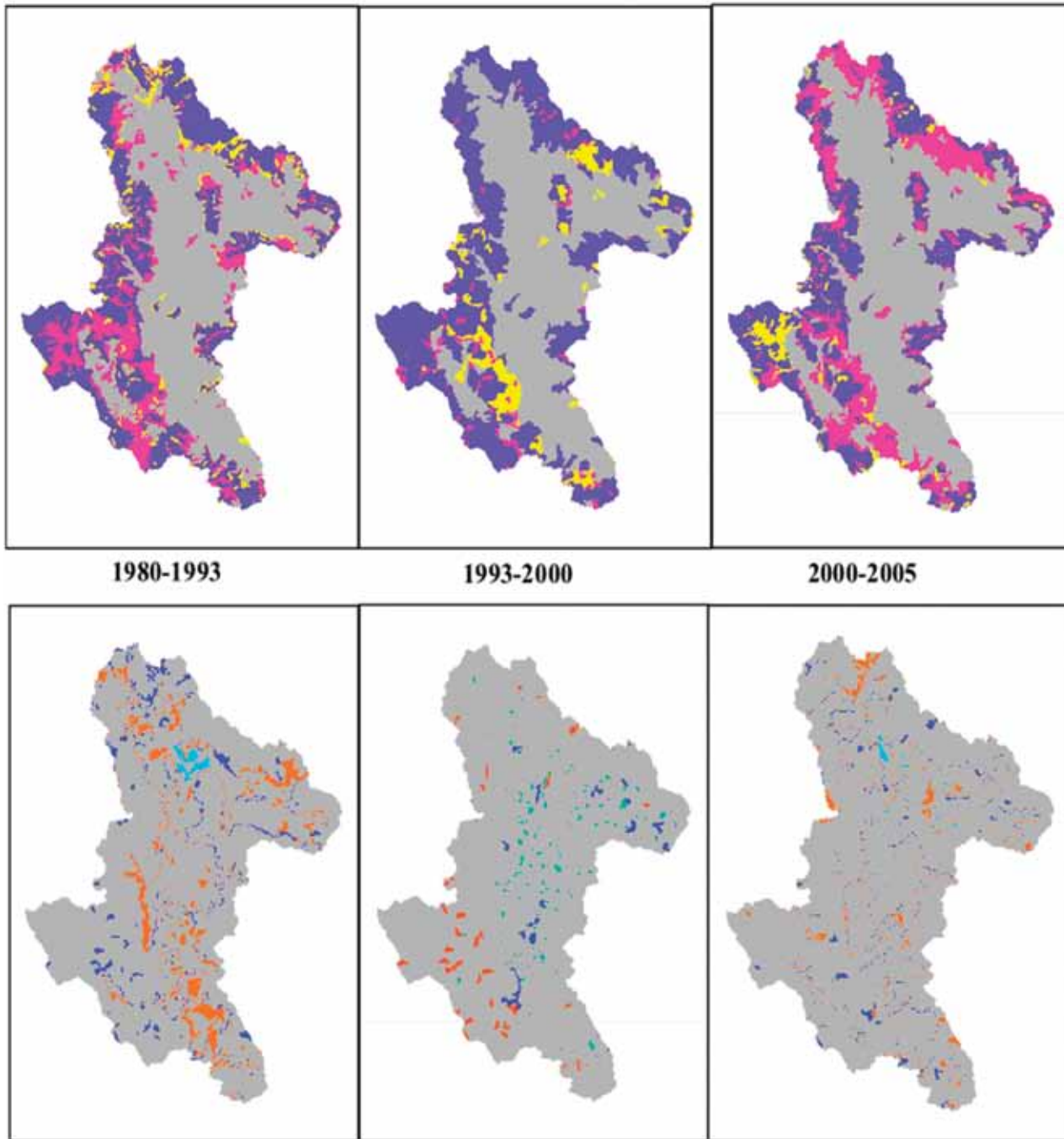
CUADRO 26

Cobertura total por clases mayores de uso del suelo



Cobertura total por clases menores de uso del suelo





Deforestación, forestación y conservación

- Otras conversiones
- Abandono agrícola
- Expansión urbana
- Expansión agrícola



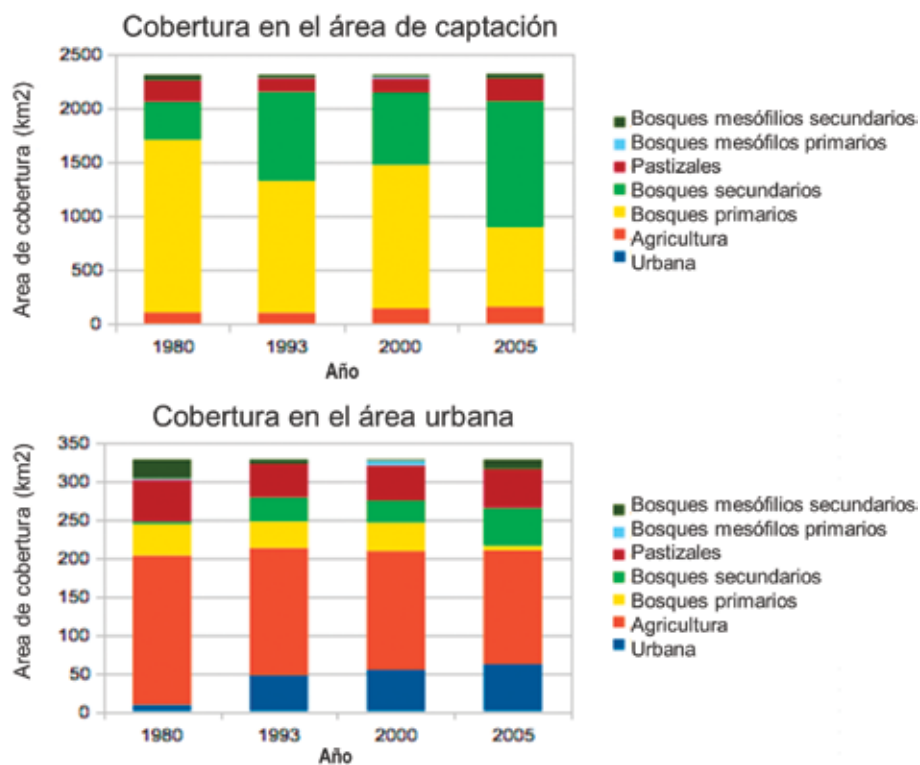
Conversiones agrícolas y expansión urbana

- Otras conversiones
- Abandono agrícola
- Expansión urbana
- Expansión agrícola

primarios no puede considerarse representativa de proyecciones realistas. Sin embargo, las extrapolaciones de las otras cinco clases de uso del suelo produjeron resultados acordes con las tendencias pasadas. A pesar de la discrepancia en las capacidades predictivas, todas las clases de uso se proyectaron para examinar cambios en el acomodo espacial de uso del suelo en el futuro.

La proyección de tendencias crea un paisaje drásticamente distinto al de 1980. Las áreas urbanas pasan de menos de 18 km² a casi 250, mientras que los bosques primarios pasan de más de 2,000 km² a menos de 500 (Véase Cuadro 27). A pesar de que el decremento de bosques primarios es acompañado por aumento en los secundarios, este cambio tiene implicaciones importantes para temas como la biodiversidad y la cosecha de agua.

CUADRO 27 • DISTRIBUCIONES ANUALES DE COBERTURAS EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN (ARRIBA DE 1,600 MSNM) Y EL ÁREA URBANA (RADIO DE 5 KM ALREDEDOR DE LA CIUDAD).



Discusión

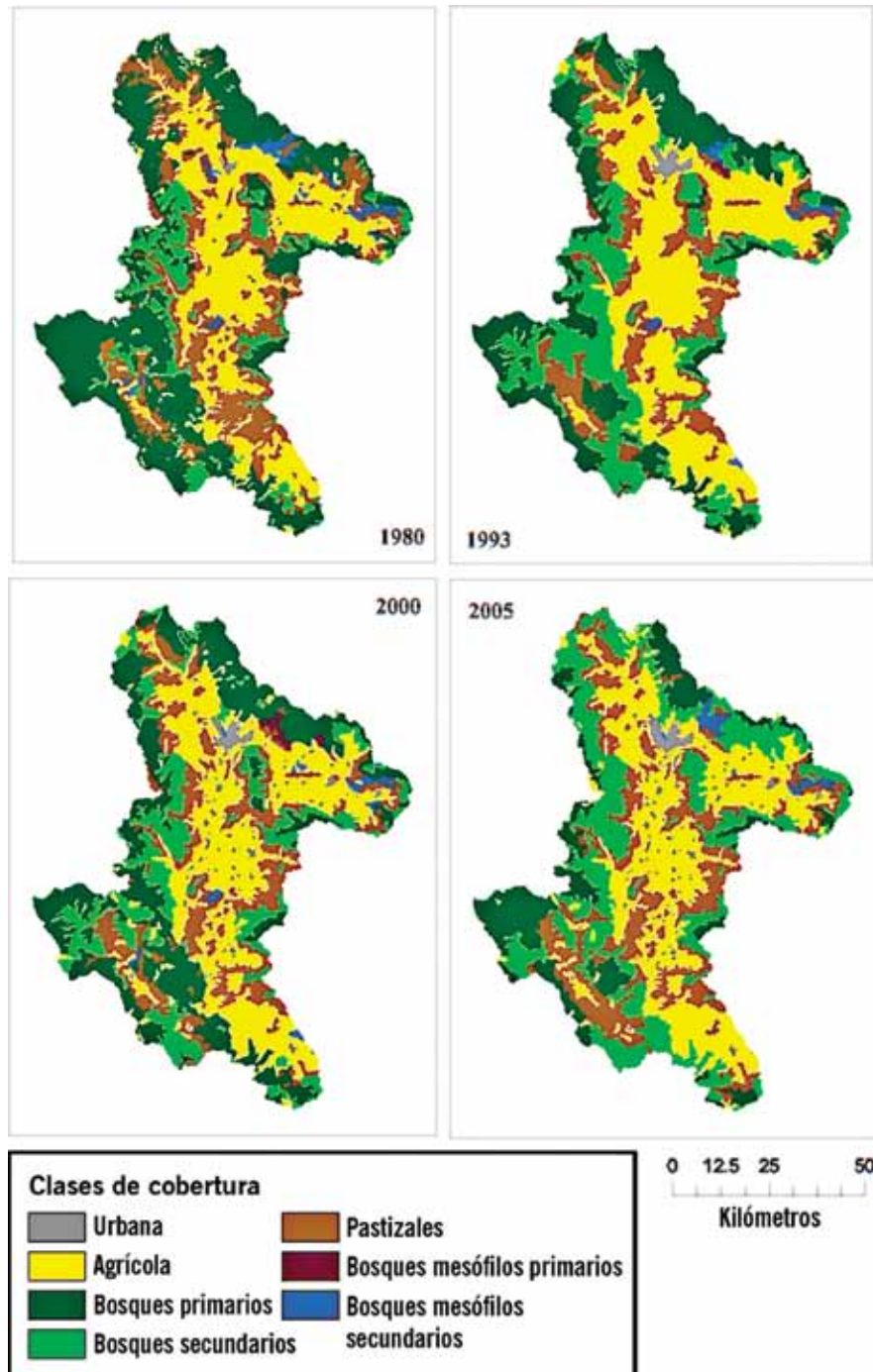
El impacto de este proceso de cambio de uso del suelo en cantidad y calidad de agua dependerá tanto de decisiones en la gestión como de características geomorfológicas. Por desgracia no pueden hacerse aseveraciones muy confiables al respecto por falta de datos, pero es posible comparar las tendencias generales con otros casos en la literatura.

Los datos disponibles muestran que la extensión completa de la subcuenca del Río Atoyac se usa para propósitos antropogénicos. Por ejemplo, todos los pastizales se usan para ganadería y por los tanto están sujetos a cierto grado de compactación de suelo y a una sucesión vegetal suprimida. Igualmente, casi todos los bosques tienen algún aprovechamiento, lo que cambia la sucesión natural y los beneficios potenciales de la infiltración.

Las variaciones en las conversiones de cobertura entre periodos arrojan luces sobre el efecto general de la cobertura en la subcuenca (Véanse Mapas 30 y 31). Por ejemplo, solo 59% de los 1,353 km² de bosques presentes eran primarios en 1980; esto implica que 41% provino de crecimiento de recuperación, que usualmente requiere una gran cantidad de agua, lo que provoca un decremento en la producción total de agua en la subcuenca. De igual modo, 93% del bosque primario en 2000 ya era bosque primario en 1993, lo que implica una tasa de sucesión mucho más baja desde las clases de cobertura secundaria. De esto se puede concluir que la evapotranspiración total de los bosques primarios en un periodo dado se minimizaría, lo que incrementaría la disponibilidad total de agua, con potencial de una distribución más pareja a lo largo del año.

La desagregación espacial de conversiones de cobertura nos da perspectivas valiosas sobre la expansión urbana en la ciudad de Oaxaca. Específicamente, mientras que las tasas de urbanización promedio son similares entre toda la subcuenca y la zona urbana, varían enormemente entre periodos. Entre 1980 y 1993 se registraron tasas elevadas de expansión urbana (~14% de crecimiento dentro de la zona urbana). Pero entre 1993 y 2000 las tasas de urbanización cayeron drásticamente cerca de la ciudad de Oaxaca y se

MAPA 30 • CAMBIOS HISTÓRICOS DE COBERTURAS



incrementaron considerablemente en el resto de la subcuenca. Esta tendencia se invirtió entre 2000 y 2005, cuando la urbanización creció en la zona urbana y disminuyó en el resto de la subcuenca. Otra tendencia interesante es que las tasas anuales de deforestación son mucho más elevadas en la zona urbana. Es posible que las opciones de vivienda dentro de la ciudad redujeran la demanda de terrenos agrícolas y permitieran la sucesión de bosques secundarios y pastizales hacia bosques primarios y secundarios. En términos de salud hidrológica y social, probablemente estas tendencias incrementaron la infiltración y pudieron hasta cierto punto contrarrestar los efectos negativos sobre el acuífero debidos a la urbanización.

En otros estudios se ha demostrado que el área forestada proporciona una filtración de aire y una regulación climática considerables dentro de las áreas urbanas. Sin embargo, estos efectos deben ser contrastados con los de la urbanización en su conjunto, que incluye una producción ecosistémica disminuida, así como disponibilidad y calidad de agua reducidas.

Conclusión

Como el estudio muestra, la investigación de la dinámica histórica de cambios de uso del suelo tiene el potencial de aumentar significativamente nuestra comprensión de la subcuenca del Río Atoyac. Las tendencias consistentes de degradación ambiental, urbanización y deforestación han alterado las funciones hidrológicas y conducido a una distribución terriblemente desigual de la disponibilidad de agua a lo largo del año, una reducción de la calidad del agua, mayores riesgos por deslaves, inundaciones, etc., y en general una disminución de la calidad de vida.

La extrapolación de tendencias permite predecir una distribución de usos del suelo que exacerbará los problemas hídricos de la región, además de disminuir elementos clave como la diversidad. Las proyecciones presentadas en este estudio tienen limitaciones, pero se sustentan en una verificación de la serie IV del INEGI (2010d).

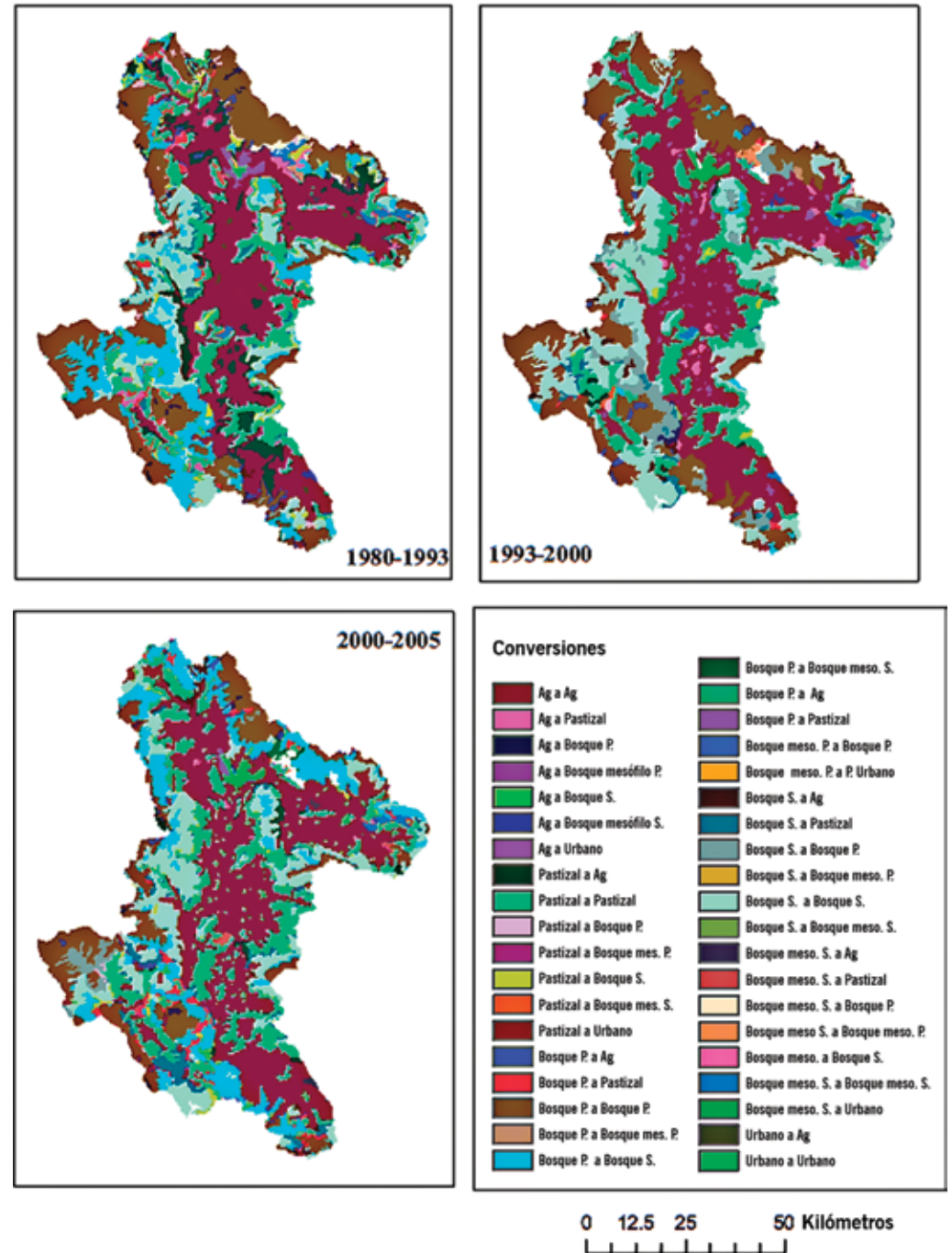
Este estudio puede funcionar como una sólida línea base para medir futuros cambios de cobertura en la subcuenca. Subraya ade-

más las lagunas de conocimientos y revela la importancia de examinar factores dinámicos como la evolución de uso del suelo y los ciclos hidrológicos. La instauración de buenas prácticas de gestión en la cuenca podría eliminar la crisis hídrica actual de una manera mucho más efectiva que con las medidas que hasta ahora han impulsado los gobiernos estatal y federal. Adicionalmente, aumentar nuestro enfoque en un uso del suelo responsable podría aumentar la productividad y repercutir en el bienestar rural y la disminución de la pobreza.

El presente análisis y otros estudios referidos en este documento tienen escalas temporales y espaciales distintas, pero coinciden en el hecho central de la degradación de ecosistemas y en el aumento rápido de la urbanización. Retomaremos estos fenómenos en el análisis del ciclo hidrosocial de la sección siguiente.



MAPA 31 • CONVERSIÓN DETALLADA



II.4. EL MODELO HIDROSOCIAL EN LOS VALLES CENTRALES

4.1. EL CICLO DEL AGUA

En el transcurso de su ciclo, el agua se mueve constantemente de una manera compleja, a diferentes velocidades y en distintos estados físicos. Una versión simplificada del ciclo hidrológico se muestra en el Cuadro 28, que representa una parte de los Valles Centrales de Oaxaca. El ámbito geográfico corresponde muy aproximadamente a la ubicación del acuífero utilizada por la CNA y la mayoría de las fuentes, con el objeto de comparar más fácilmente la información. Su superficie es de 3,714.4 km² (Véa-

se Mapa 32). Consideramos también un nivel de más detalle, las microcuencas, cuya delimitación presentamos en el Mapa 33.

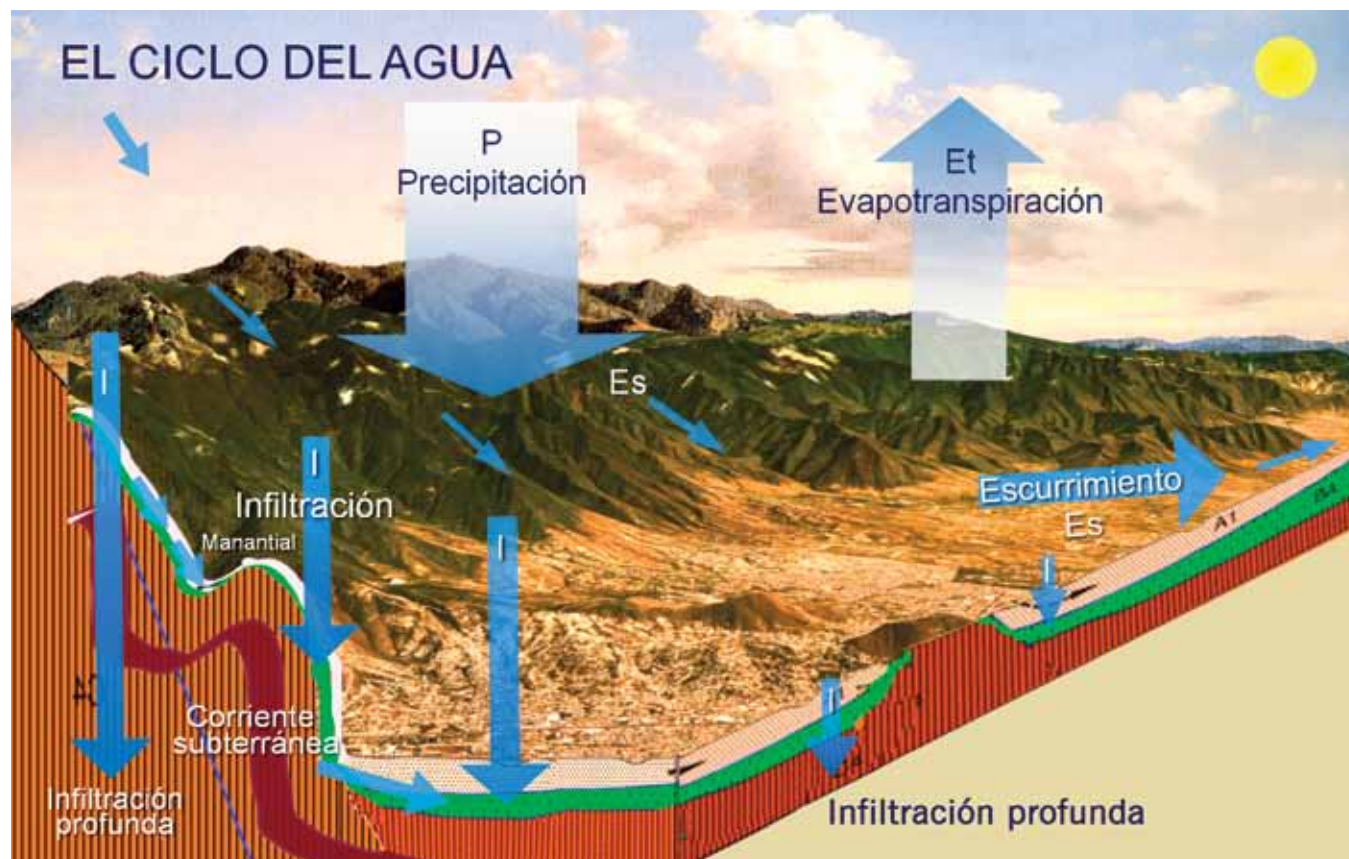
El ciclo hidrosocial integra lo social y lo hidrológico en un solo proceso en el que el agua influye en las comunidades humanas y a la vez es influida por ellas. Debe ser parte de la ecología política y de las prácticas de gestión del agua. Representa la relación profunda de los flujos del agua y las actividades sociales. Es imposible sustraer el agua de las sociedades por las que fluye.

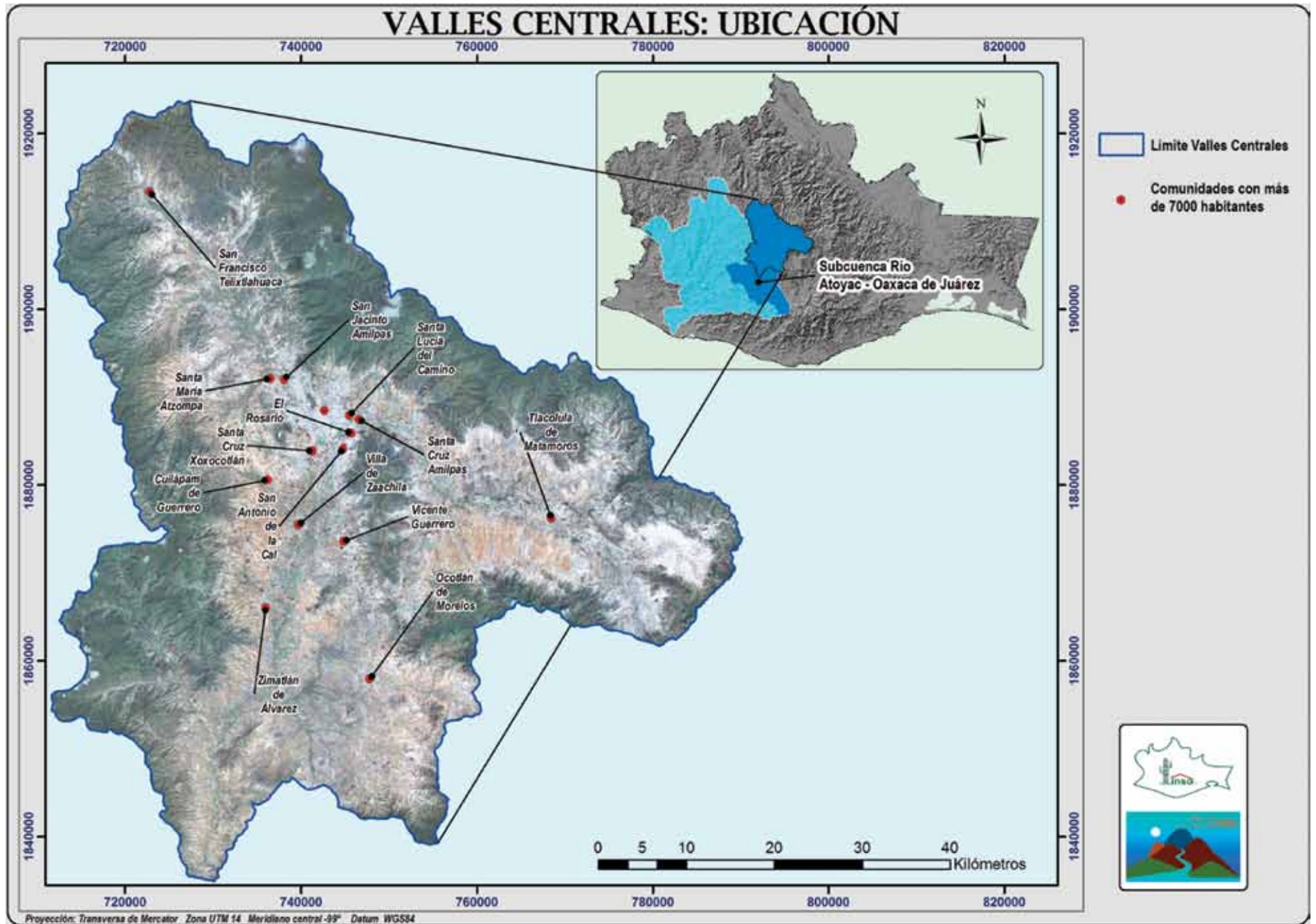
Hay dificultades considerables para caracterizar los ciclos hidrológicos y un punto de partida común es equiparar las distintas fases a los términos de una ecuación que se conoce como balance hídrico:

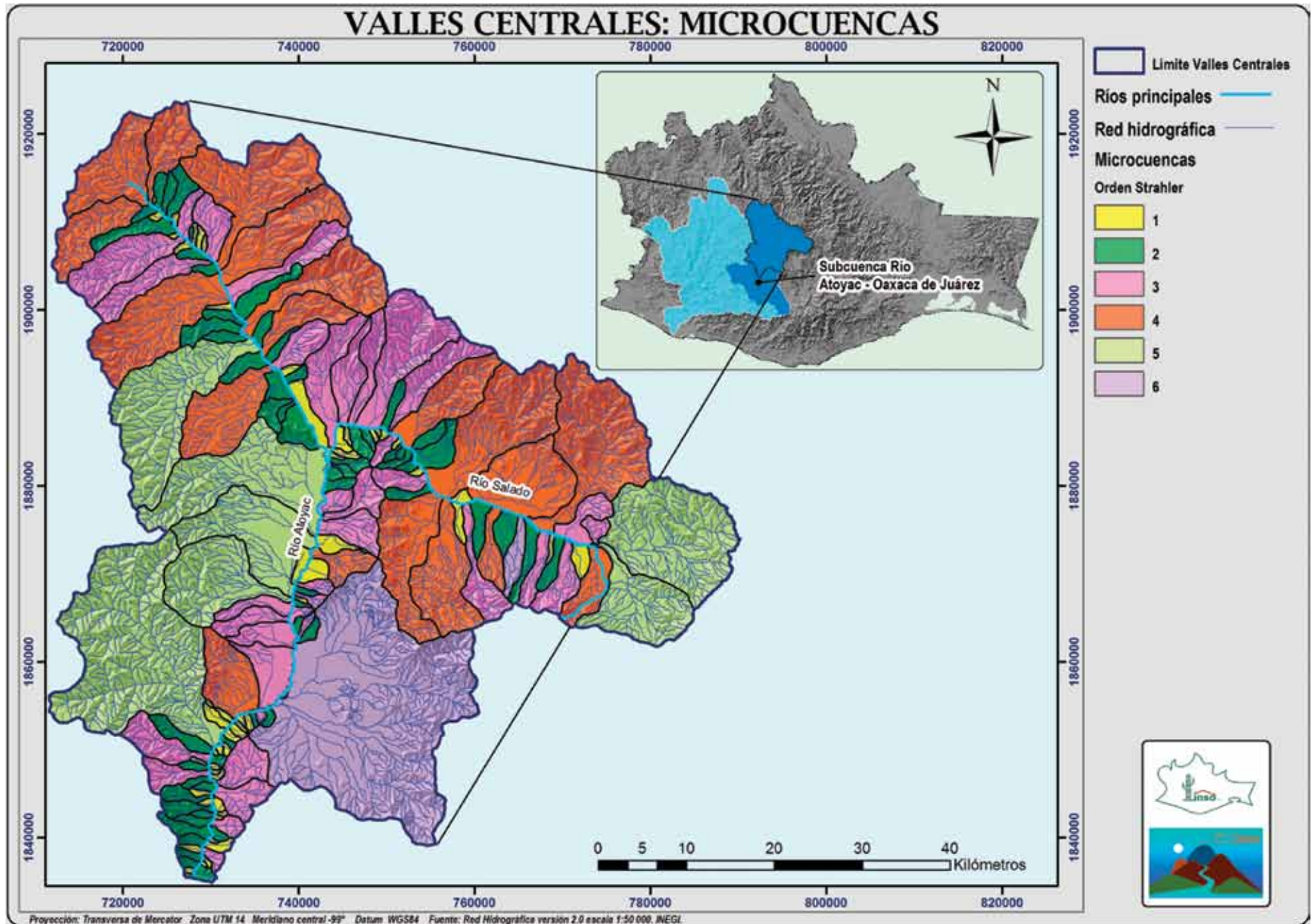
$$\begin{aligned} \text{Precipitación} = \\ \text{Evapotranspiración} \\ + \text{Esguerrimiento} \\ + \text{Infiltración} \end{aligned}$$

Se trata de un esquema muy simplificado, pero representa un buen inicio para entender los procesos. Es además el punto de partida para los estudios de disponibilidad que por norma debe elaborar la CNA. Veremos a continuación lo que sabemos de cada una de estas fases.

CUADRO 28





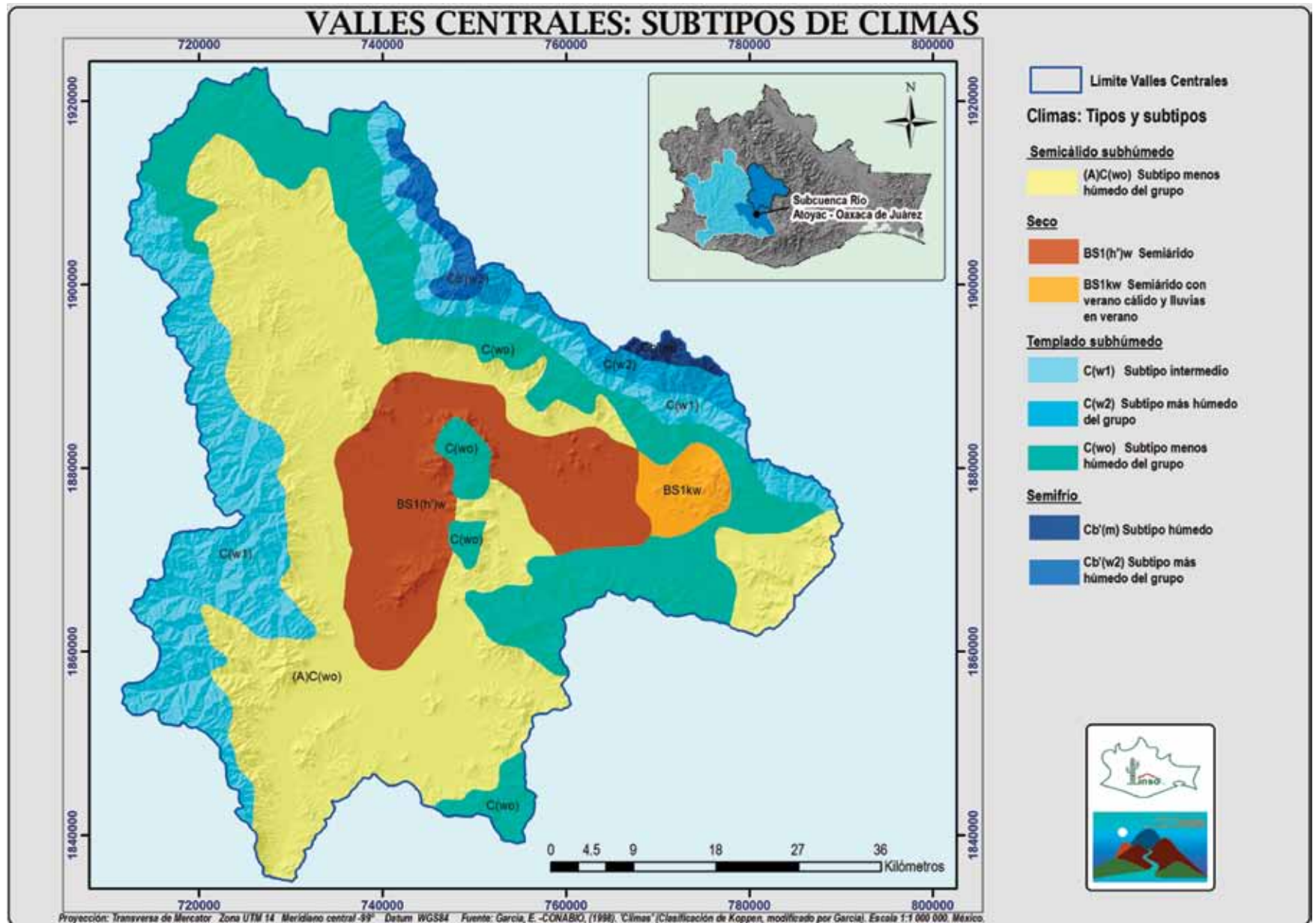


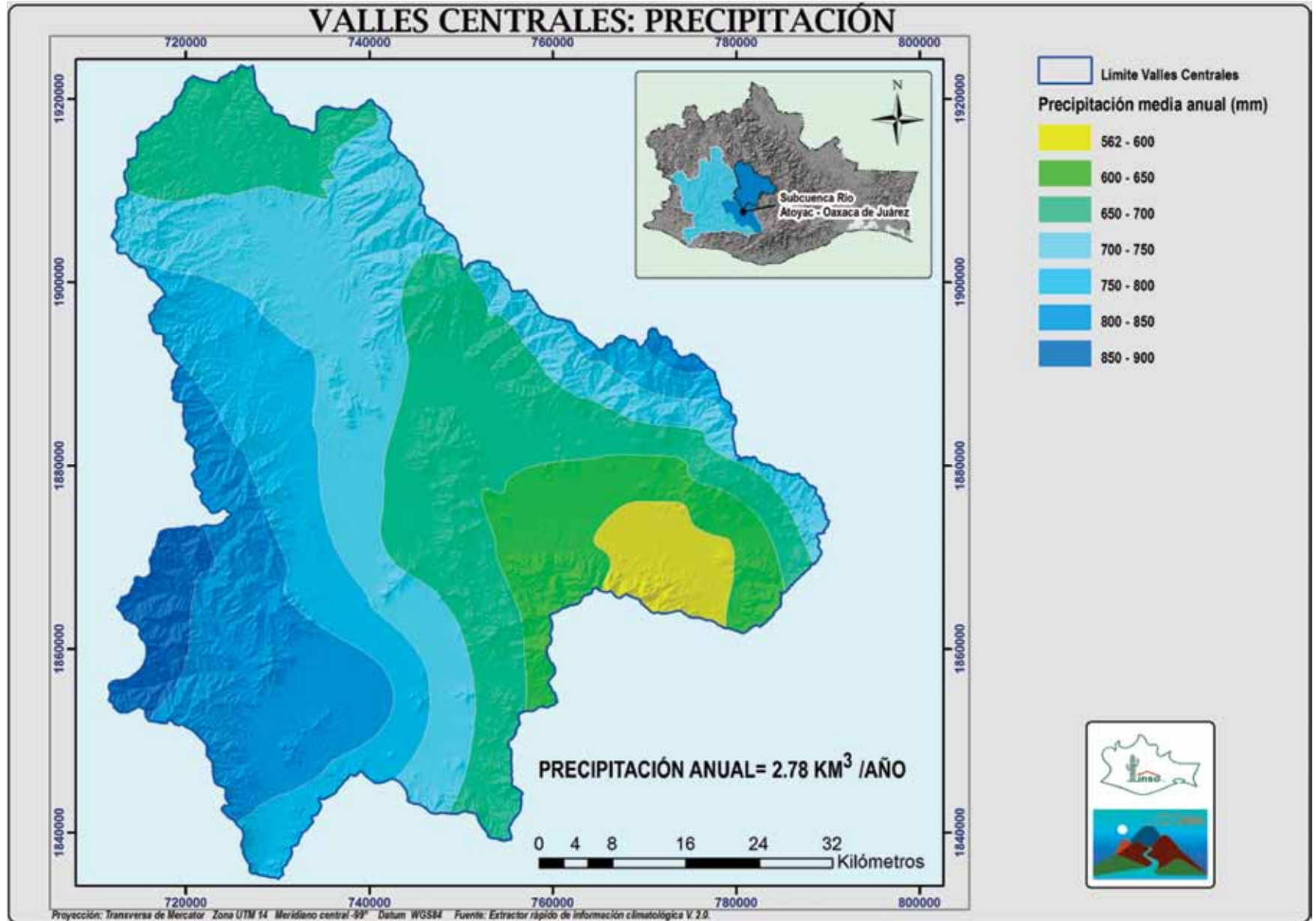
Precipitación

Hay varios cálculos de cuánto llueve en los Valles Centrales. Se basan en mediciones de estaciones meteorológicas y en clasifica-

ciones de climas (Véase Mapa 34). Nuestras propias estimaciones requirieron un modelo geográfico que corresponde al Mapa 35.

MAPA 34





De acuerdo con estas estimaciones, en la región llueve anualmente dos mil 780 millones de metros cúbicos en promedio. Posteriormente presentaremos y comentaremos las diferencias con otros cálculos. La siguiente variable por dilucidar es la evapotranspiración,

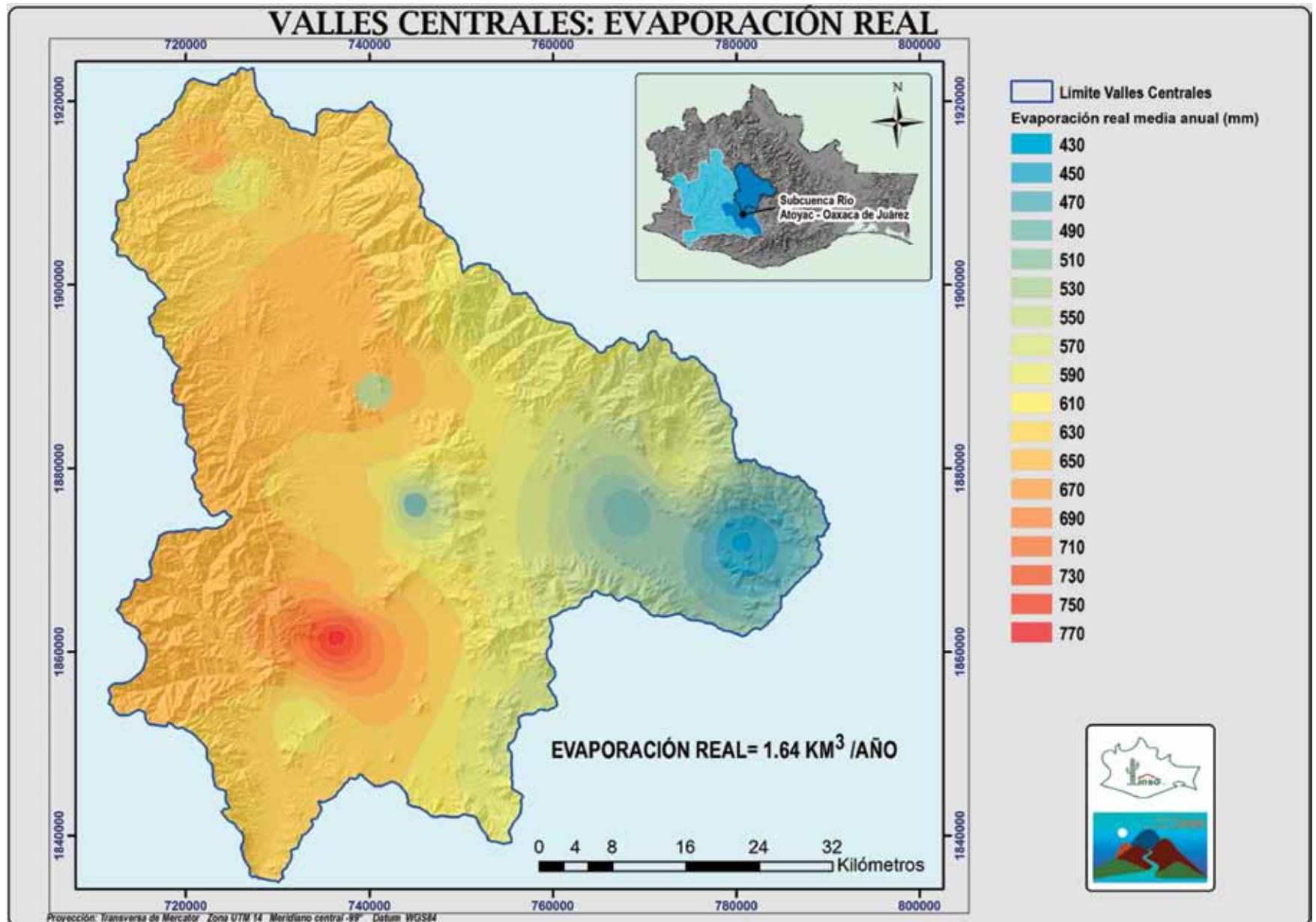
es decir, la suma de lo que se evapora del suelo, los cuerpos de agua y el aire, más lo que transpiran los seres vivos, fundamentalmente las plantas. Su cálculo es más complejo; depende de temperaturas, de tipos de superficies y otros factores. En general, la

deforestación y la urbanización disminuyen la evapotranspiración. A partir de datos de Pérez *et al.*, (2010) hemos elaborado el Mapa 36: se evaporarían en promedio unos mil 640 millones de metros cúbicos al año, esto es, 59% de lo que cae. El cálculo es algo burdo

pero es consistente con referencias de otros estudios (Galindo *et al.*, 2010; IMTA *et al.*, 2008; Burns, 2009).

La estimación del escurrimiento debería ser sencilla. En diferentes puntos de la cuenca hay estaciones hidrométricas, precisa-

MAPA 36

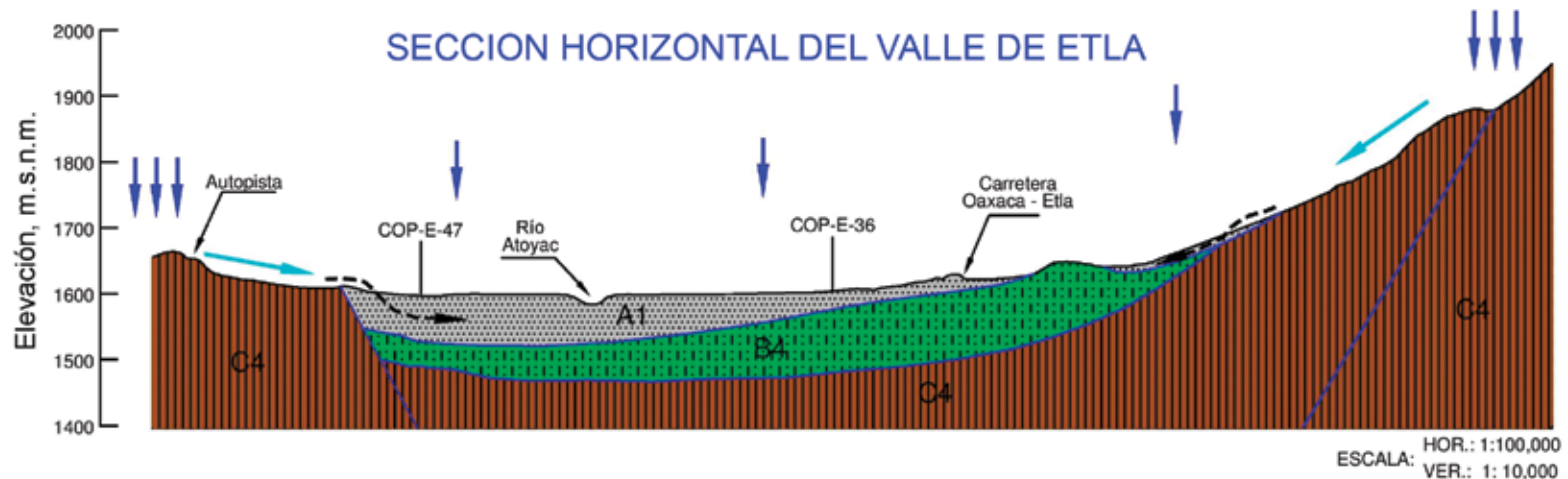


mente las que se usaron para el cálculo del caudal ecológico que presentamos en la sección II.3. En la estación Atoyac-Tlapacoyan, que registraría todo lo que escurre, el valor promedio anual es de 339 millones de metros cúbicos, 12% de lo que llueve. Sin embargo este valor no es congruente con la literatura ni con lo que sabemos de la cuenca. Regresaremos a eso más adelante.

La estimación más difícil de hacer es la de infiltración, pues aquí entran en juego no sólo los factores atmosféricos y superficiales sino también los subterráneos. Además, no contamos con muestreos sistemáticos de infiltración y mucho menos de los efectos que provocan los cambios de usos del suelo.

La región de los Valles Centrales de Oaxaca se sitúa entre dos provincias geológicas regionales cuyo límite es la gran estructura de la Falla Oaxaca (Véase la parte de geología en la sección EL ESCUE-

CUADRO 29



UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- A1 ACUIFERO GRANULAR DE EXTENSION VARIABLE, TIPO LIBRE
- B3 ACUIFERO DE EXTENSION VARIABLE, RESTRINGIDO A ZONAS FRACTURADAS TIPO LIBRE Y/O CONFINADO
- B4 ACUIFERO LOCAL DE EXTENSION VARIABLE, RESTRINGIDO A ZONAS FRACTURADAS, LIBRE Y/O CONFINADO

- C1 MATERIALES GRANULARES QUE POR SU LITOLOGIA , POCO FRACTURAMIENTO Y ALTA COMPACIDAD, FORMA ACUIFEROS Y/O ACUITARDOS DE MINIMA IMPORTANCIA
- C4 MATERIALES DONDE LOS ACUIFEROS ESTAN PRACTICAMENTE AUSENTES, CONSISTE DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS MUY COMPACTAS Y ALGUNAS SEDIMENTARIAS DE GRANO FINO (ARCILLAS)

NARIO NATURAL, CAP. II). Lo que corrientemente se llama el acuífero de Valles Centrales es la parte aluvial, superficial del subsuelo, formado por una mezcla no consolidada de grava, arena, limo y arcilla. El espesor de los sedimentos que conforman la zona más productora del acuífero varía de 20 a 200 m en el Valle de Etla; de 15 a 100 m en el Valle de Tlacolula, y de 10 a 100 m en el Valle de Zimatlán (Reyes *et al.*, 2009). Más abajo, después de una capa más o menos impermeable, hay otro acuífero, a partir de unos 150 m de profundidad (Flores, *et al.*, 2008), que contiene agua de mala calidad (con alto contenido de sales, hierro y manganeso) y de muy difícil extracción. Una representación gráfica para el Valle de Etla se muestra en el Cuadro 29 (CNA, 2001).

La geohidrología de los Valles Centrales corresponde al Mapa 37.