



Con el apoyo de la Alianza



FUNDACIÓN  
GONZALO RÍO ARRONTE, I.A.P.

# Memoria del Taller: Propuesta de caudal ecológico

en la cuenca Copalita-Zimatán-Huatulco, 2009

---

Manejo del agua en cuencas hidrográficas:  
desarrollo de nuevos modelos en México



Coordinadores del taller:

Ignacio Daniel González Mora  
Dra. Guadalupe de la Lanza Espino  
Rafael Sánchez Navarro

Participantes:

Nombre	Institución	Especialidad
Rafael Sánchez Navarro	Consultor	Caudal ecológico, hidrología
Guadalupe de la Lanza Espino	Instituto de Biología UNAM	Hidrobiología
José Pedro Ramírez García Armora	Instituto de Biología UNAM	Vegetación acuática
Rafael Enrique Barba Álvarez	Instituto de Biología UNAM	Insectos acuáticos
Edna Naranjo García	Instituto de Biología UNAM	Moluscos
José Luis Villalobos Hiriart	Instituto de Biología UNAM	Crustáceos
Leticia Huidobro Campos	Instituto de Biología UNAM	Peces
Francisco Salvador Hernández Pulido	Instituto de Biología UNAM	Muestreo, calidad del agua
Óscar Arnoldo Escolero Fuentes	Instituto de Geología UNAM	Geología, geohidrología
Sandra Torres Onofre	Instituto de Geología UNAM	Geología
Esteban Velásquez Rodríguez	CONAGUA	Hidráulica, hidrología
Joel García Venegas	UNTA Oaxaca	Antropología, estudios sociales
Eliseo Emmanuel García García	UNTA Oaxaca	Filosofía, estudios sociales
Jorge Eugenio Barrios Ordóñez	WWF-FGRA	Manejo Integrado de Cuencas
Ignacio Daniel González Mora	WWF-FGRA	Calidad del agua
Anuar Iram Martínez Pacheco	WWF-FGRA	Geografía, SIG
Marinhe Concepción Rosas Rodríguez	WWF-FGRA	Vegetación terrestre
Gonzalo Sánchez Santos	WWF-FGRA	Vegetación terrestre

## 1. Antecedentes

En 2004, la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P (FGRA) y el Fondo Mundial para la Naturaleza, (WWF por sus siglas en inglés), establecieron una Alianza con el objetivo de desarrollar nuevos modelos de manejo del agua en el país. Para ello se seleccionaron tres cuencas en las ecorregiones de trabajo de WWF: el río Conchos en el programa Desierto Chihuahuense, los ríos Copalita-Zimatán-Huatulco en la Sierra Costera de Oaxaca, dentro del Programa Bosques Mexicanos, y el río San Pedro-Mezquital, en el programa Golfo de California.

La definición de manejo integrado del agua adoptada (FGRA-WWF, 2003) se enfoca a la conservación de los recursos, la cooperación intersectorial para el manejo de la cuenca y la protección y restauración de ecosistemas acuáticos.

Para WWF, el Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas (MICH), es el proceso que coordina las acciones de conservación, manejo y desarrollo del agua, territorio, y recursos relacionados presentes en una cuenca, para maximizar de manera equitativa los beneficios económicos y sociales derivados de los recursos hídricos, preservando, y en su caso, restaurando, los ecosistemas acuáticos.

De esta manera, para la Alianza WWF-FGRA, el MICH implica preservar o restaurar el funcionamiento natural de los ecosistemas acuáticos, incluyendo los humedales y los acuíferos relacionados, para asegurar el agua y los servicios ambientales de los que todos dependemos (WWF, 2006a).

## 2. Modelo de Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas de la Alianza

El principio fundamental de este modelo es la consideración del funcionamiento natural de los ecosistemas como la forma sustentable de asegurar la provisión de agua y servicios ambientales para el desarrollo. Asumir este principio implica un cambio de paradigma en el manejo del agua; es decir, pasar de un modelo en donde el ambiente es considerado un usuario más del recurso, a otro en donde los ecosistemas son considerados la fuente de servicios que garantizan el desarrollo social y económico.

El objetivo final de la Alianza es instrumentar modelos de gestión racional e integral del agua, y sólo se alcanzará en la medida que se garantice el funcionamiento de los ecosistemas y la conservación del régimen hidrológico en sus diversos componentes. En términos de manejo del agua se traduce en establecer límites de extracción que respeten la renovación anual del recurso, para lo cual se ha adoptado el concepto de caudal ecológico como herramienta de gestión (WWF-MEX, 2006).

El caudal ecológico se entiende como la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad (*10th International River Symposium and Environmental Flows Conference, Brisbane Australia, September, 2007*).



Para determinar las estrategias que permitan implementar este caudal ecológico, se realizó un análisis de las causas directas e indirectas que afectan el estado de conservación de las cuencas en el país, considerando como objetos de conservación los bosques, los ecosistemas dulceacuícolas y los ecosistemas costeros (WWF-MEX 2006). Del modelo conceptual analizado se identificaron cinco grandes estrategias o líneas de trabajo que abordan las principales causas de deterioro del agua y las cuencas del país:

- » la falta de criterios ecosistémicos en el manejo del agua y del territorio
- » el incipiente desarrollo de la gobernanza del agua en la cuenca
- » la nula o limitada valoración de los servicios ambientales del bosque
- » la debilidad de los municipios para proporcionar servicios sustentables de agua, y
- » la falta de conciencia de la sociedad sobre su pertenencia a una cuenca y la importancia de los ecosistemas como proveedores de servicios.

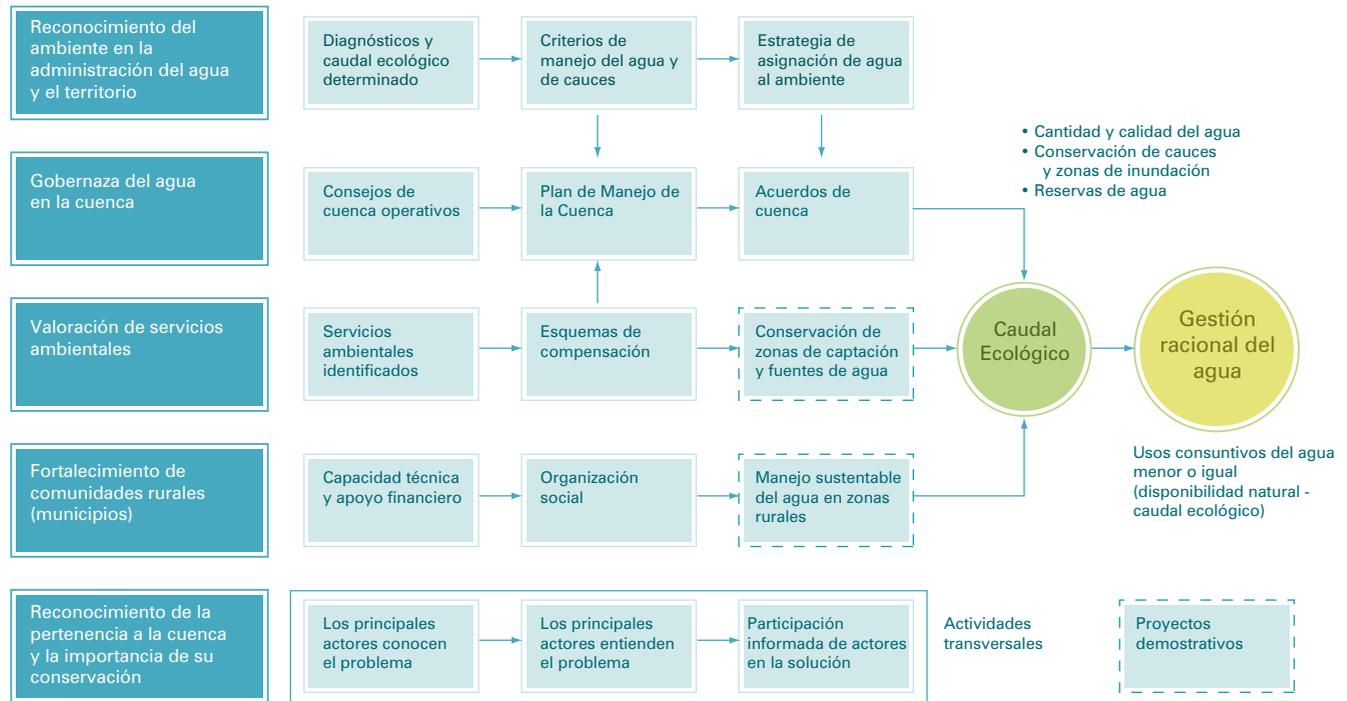


Figura 1. Modelo de Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas de la Alianza WWF-FGRA.

A partir de lo anterior y de la experiencia adquirida en la primera etapa del proyecto de la Alianza, se integró el modelo de manejo de cuenca, que se presenta a manera de cadena de resultados (Figura 1), para enfocar y ajustar los alcances del proyecto de la Alianza WWF-FGRA.

Este modelo se ha planteado para asumir el reto de integrar criterios ecosistémicos a las políticas públicas de manejo del agua y de desarrollo local, y que éstas sean apoyadas por la sociedad y los principales usuarios, para recuperar el funcionamiento del régimen hidrológico a través del concepto de caudal ecológico.

Es importante mencionar que este modelo no pretende interferir la estructura de administración del agua en el país, la cual ha tenido un gran avance en los últimos años, sino de aprovecharla y renovarla incorporando criterios ecosistémicos que mejoren su desempeño.

### 3. Las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco

El complejo hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH) en el estado de Oaxaca (Fig. 2), cubre una superficie total de 268,023 ha. La cuenca del río Copalita abarca 152,945 ha y la constituyen las subcuencas Copalita, Yuviaga, Pluma Hidalgo y Río Hondo. La cuenca de río Zimatán tiene 47,270 ha, las cuencas de Huatulco 34,631 ha y la de Coyula 33,176 ha. Se extiende en rangos de altitud que van desde los 3,750 msnm en las montañas Nube Flandes y Quiexhoba, hasta el nivel del mar. Se divide en tres zonas altitudinales: la alta de 1501 m o más sobre el nivel del mar, la media que va de 501 a 1500 msnm y la baja de 0 a 500 msnm (SAGAR 2000).

Dentro del complejo se localiza el desarrollo turístico Bahías de Huatulco y las poblaciones de la Cruccecita y Santa María Huatulco, que se cuentan entre los principales asentamientos humanos de la región, para los cuales estas cuencas son el principal abastecedor de agua.

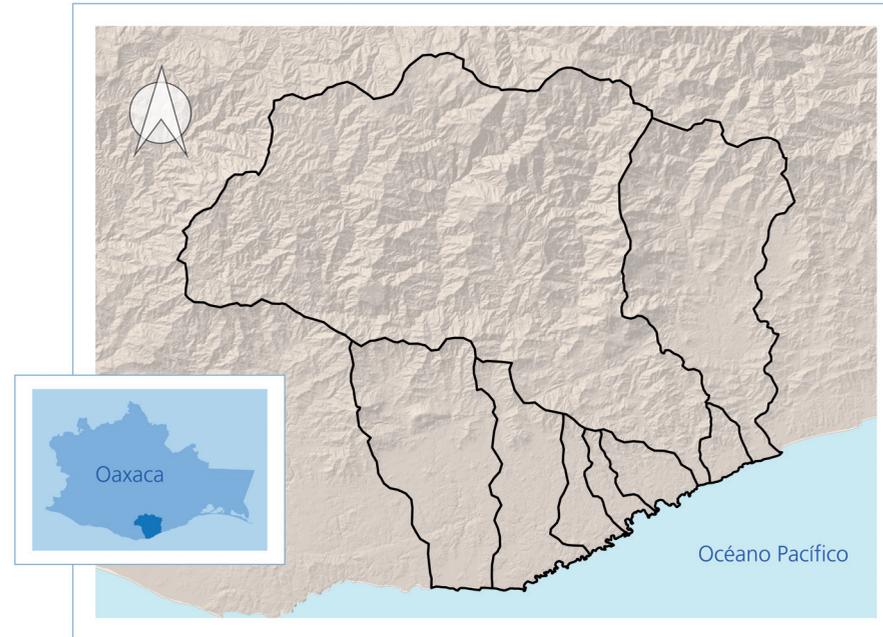


Figura 2. Ubicación de las cuencas Copalita, Zimatán y Huatulco.

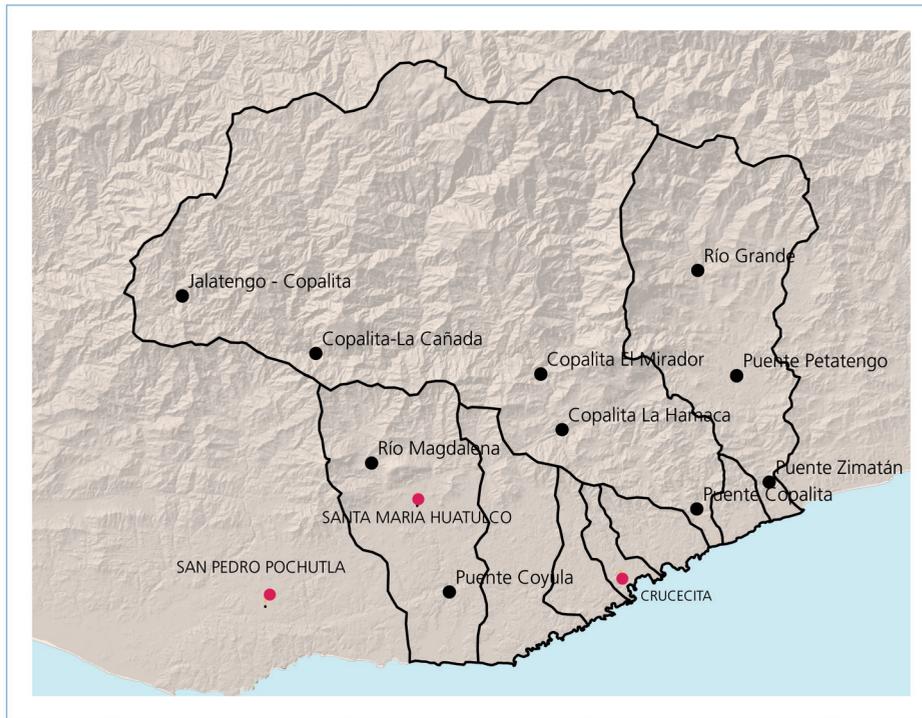


Figura 3. En negro se indican los sitios para el estudio de caudal ecológico en las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco y en rojo se indican las principales localidades.

Dentro de las cuencas CZH se encuentran 26 de los 34 tipos de vegetación que existen en el territorio nacional. Además, existe una gran diversidad de especies prioritarias de interés para la conservación, especialmente las consideradas endémicas (96 hasta ahora), de las cuales, al menos la tercera parte son nuevas especies de plantas para México (González y Palacios 2005). Por otra parte, Salas *et al.* (2003) señalan que esta región es el único lugar del país que alberga selva mediana caducifolia, encontrándose en un excelente estado de conservación y con alto grado de endemismos (entre el 50% y el 70%).

Por su importancia biológica, algunos sitios de la zona han sido declarados como regiones prioritarias para la conservación: la Región Terrestre Prioritaria ATP 129 Sierra Sur y Costa (CONABIO, 2004a) y la Región Marina 36 Huatulco (CONABIO 2002). Aquí también se localiza el Área de Interés para la Conservación (AICA) C-17 Sierra de Miahuatlán (CONABIO, 2004b).

A pesar del grado de conservación de las cuencas, se han identificado factores de deterioro ambiental. Estas amenazas calificadas como prioritarias para su atención en las cuencas CZH (WWF, 2006b) son: la deforestación, los incendios, el avance de la frontera agrícola, la disminución de la disponibilidad del agua, el arrastre de sedimentos a la zona costera, las prácticas turísticas desordenadas y la contaminación del agua.

Para el estudio de caudal ecológico, se definieron 10 sitios representativos (Fig. 3), donde se realizaron los estudios de flujos base y de organismos acuáticos como indicadores de la salud de la cuenca.

#### 4. Proceso de propuesta de caudal ecológico. El taller

##### Consideraciones iniciales

Los caudales ecológicos son escurrimientos que se dejan fluir por el río, con el objetivo amplio de mantener un ecosistema ribereño sano, o tan específico como aumentar las probabilidades de supervivencia de alguna especie amenazada, ya que preservan la integridad ecológica (Fig. 4) sin menoscabo del desarrollo social, cultural y económico de los habitantes. Dicha integridad se alcanza cuando el régimen de caudales considera cinco componentes: magnitud, frecuencia, duración, momento y tasa de cambio, definidos bajo los enfoques de régimen natural de caudales (Poff *et al.* 1997) y de rango de variabilidad (Richter *et al.* 1997).

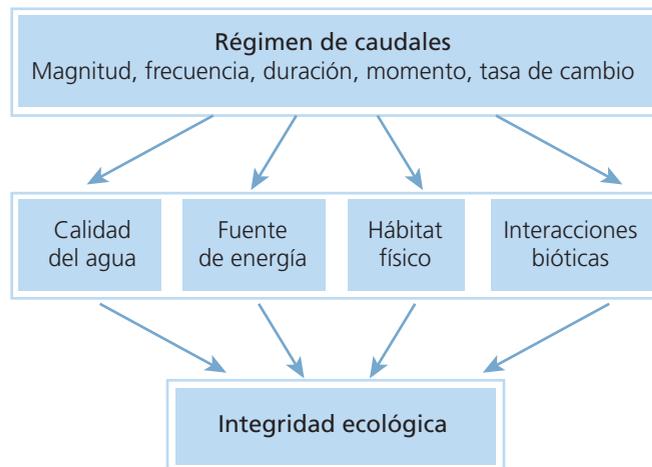


Figura 4. Integridad ecológica de un río (traducido de Poff *et al.*, 1997).

A través de una década de cooperación, el grupo nacional de expertos del Departamento de Asuntos del Agua y Bosques de Sudáfrica (DWAF, por sus siglas en inglés) y la Comisión de Investigación en Agua (WRC), junto con administradores e ingenieros desarrollaron la *Building Block Methodology* (BBM), que se traduce como metodología por bloques o fases (King *et al.*, 2000).

La BBM apunta en una dirección totalmente nueva ya que se orienta a la salud de todos los componentes del sistema ribereño, considerando su estructura y funcionalidad. Esta metodología tiene esencialmente un enfoque prescriptivo, diseñado para construir un régimen de flujos que mantengan los ecosistemas dulceacuícolas. La evaluación del caudal ecológico es específica para cada río, dado que en cada uno existe una mezcla diferente de elementos y valores así como su carácter hidrológico único. Esta metodología se empleó para definir los caudales ecológicos en las cuencas CZH.

##### Metodología

La BBM es un conjunto de métodos que producen más que la suma de cada parte; es una herramienta para organizar de un modo estructurado grandes cúmulos de conocimientos que permiten comprender la complejidad del sistema. Cada especialista puede escoger los métodos más apropiados desde su disciplina para producir la información necesaria para integrarla a los procedimientos.

Esta metodología se usa tanto para guiar y organizar la información y conocimiento como para obtener un producto específico, a través de reuniones de expertos (talleres). Este producto es un régimen de caudal cuantificado en espacio y tiempo y consensado por los especialistas. La evaluación puede realizarse con fines de mitigación de impactos, para la restauración de un sistema o para la conservación de su funcionamiento ecológico.

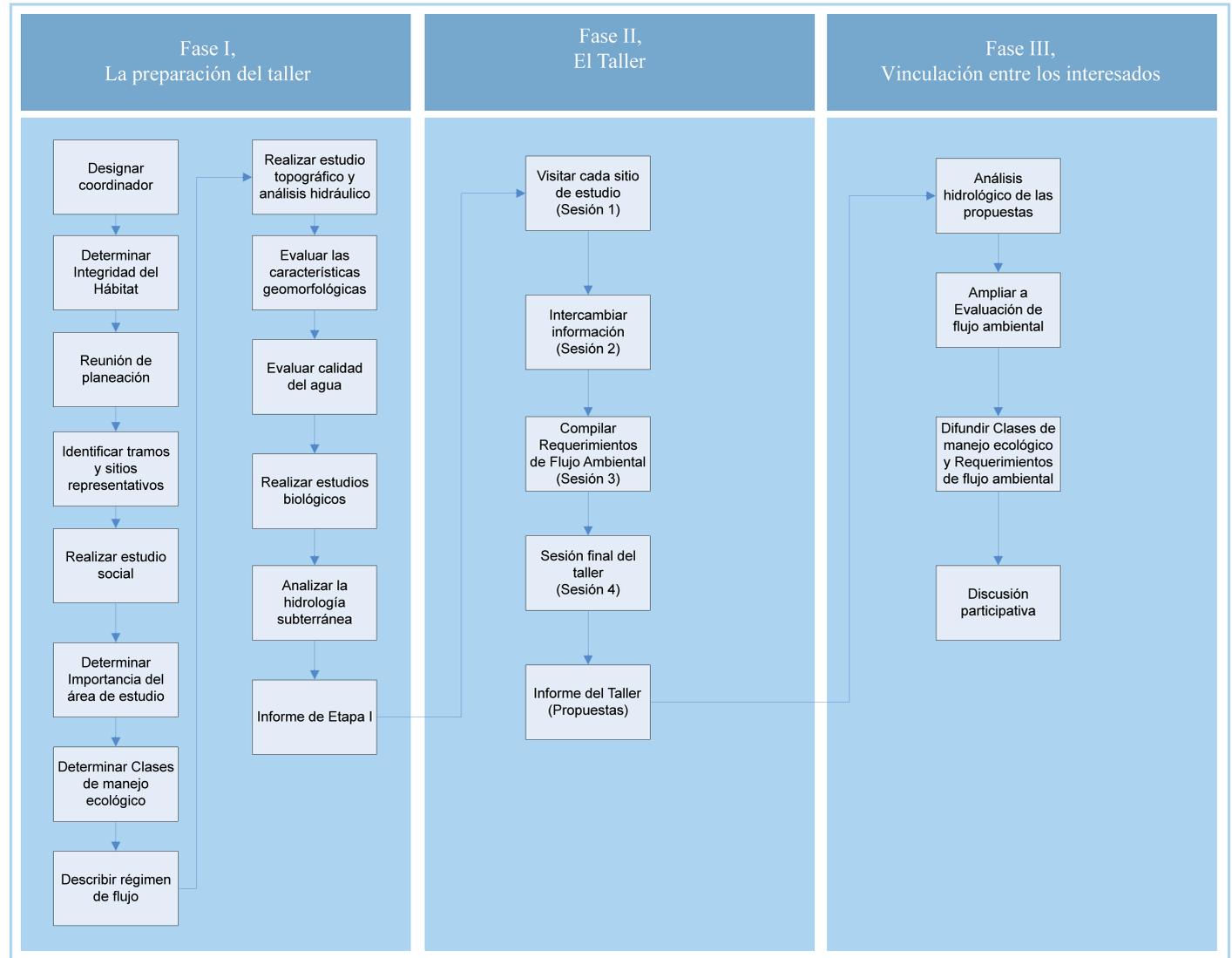


Figura 5. El procedimiento de la metodología por bloques (Building Block Methodology).

La BBM consta de tres fases (Fig. 5). La primera se caracteriza por la compilación, organización y evaluación de la información disponible, así como para generar aquella imprescindible para la propuesta de caudales. La segunda se enfoca a una reunión de discusión de los especialistas para que, mediante juicio experto, propongan los caudales ecológicos desde la perspectiva de sus áreas de conocimiento. La tercera tiene como objetivo socializar la propuesta, involucrar a los tomadores de decisiones y ampliar la evaluación bajo otros enfoques, como el de gestión del agua. De esta tercera fase debe salir una propuesta consensuada y las líneas de acción para su implementación.

La metodología fue ajustada por personal de la Alianza WWF-FGRA para responder a las características de las cuencas de interés y su disponibilidad de información. De esta manera se construyó un método práctico para avanzar en la definición de los caudales ecológicos e ir adecuando, mediante un enfoque adaptativo, la mejor propuesta asequible en cada fase de la evolución del estado del conocimiento. El equipo coordinador de la Alianza preparó la información, desarrolló la logística y facilitó el taller.

### Desarrollo de los trabajos

Con la información integrada como insumo principal para el taller, se celebró una reunión con 18 especialistas y profesionales para discutir durante tres días las propuestas de caudal ecológico, lo que inició la Fase II de la metodología.

Cada participante presentó de manera breve el estado actual del conocimiento de la cuenca en su ámbito de competencia, señalando los aspectos y datos relevantes para la propuesta de caudal ecológico.

Se analizó la información hidrológica disponible. Se depuró y se categorizó en percentiles. Bajo criterios técnicos y mediante juicio experto, se hicieron las extrapolaciones de datos para aquellas subcuencas que carecen de información, así como los cálculos necesarios para estimar las series hidrológicas. Para ello se realizaron correlaciones entre caudales y áreas de escurrimiento, comparación y correlación de datos entre cuencas y comparación de flujos base por superficie de cuenca para generar las series históricas para los ríos Zimatán y Coyula.

### Dinámica del taller.

Los especialistas, divididos en grupos temáticos de biología, geología, calidad del agua y aspectos sociales, propusieron los caudales para cada uno de los 10 sitios, basados en el conocimiento de los procesos relevantes para su disciplina. Las propuestas se cotejaron con los datos hidrológicos para ubicarlos en la serie histórica y se analizó su idoneidad. Para llegar a la propuesta consensuada se consideraron los años secos y los húmedos, tanto en régimen de estiaje (caudales bajos) como de lluvias (caudales altos), así como lo concerniente a las avenidas (caudales extraordinarios). Cada propuesta fue fundamentada con una justificación multidisciplinaria.

Por otra parte, los expertos calificaron la importancia, sensibilidad y estado (clase de manejo) ecológicos y la presión de uso de los tramos de río definidos. Estos criterios ecológicos permiten definir escenarios para el manejo del agua. Cabe destacar que por la estrecha vinculación entre las comunidades y los cuerpos de agua (en especial ríos y manantiales), el valor social y cultural asignado a los criterios antes mencionados, obtuvo en todos los casos la más alta puntuación.

Una vez obtenidos los caudales se compararon con los escenarios teóricos de caudales ecológicos (Fig. 6) y se correlacionaron con los criterios arriba mencionados de importancia, sensibilidad y uso. La integridad hidrológica es el estado de mayor conservación de las características naturales de los ríos y el máximo potencial hidrológico representa el mayor deterioro de esas características debido a los usos de los ríos y sus recursos asociados.

IMPORTANCIA ECOLOGICA	ALTO	Integridad hidrológica	60%	30%
	MEDIO	60%	30%	10%
	BAJO	30%	10%	Máximo Potencial Hidrológico
		BAJO	MEDIO	ALTO
		PRESION DE USOS		

Figura 6. Escenarios de caudales ecológicos.

## 5. Resultados

Se contó con información de una estación hidrométrica para el río Copalita (1972-1990, Fig. 7) y una para el río Zimatán (1984-1985), así como la disponibilidad oficial para los ríos Copalita, Zimatán y Huatulco (DOF 2007).

El análisis hidrológico permitió separar los datos para años secos y húmedos (Fig. 8), las avenidas y determinar las aportaciones anuales (Fig. 9).

La serie histórica del sitio Copalita La Hamaca fue fundamental ya que el análisis de sus datos sirvió para establecer las extrapolaciones de datos a otras subcuencas que no tienen información.

Se consideraron además los datos de caudales medidos en el estudio de flujo base y los generados durante los muestreos biológicos. Todos ellos estuvieron dentro del intervalo de la serie histórica y se consideraron datos para año húmedo.

Para calificar el estado ecológico (clase de manejo ecológico) de los tramos de río definidos por los sitios representativos, se empleó la escala que se muestra en la Tabla 1.

Los sitios representativos una vez analizada la información generada por las campañas de muestreo biológico (IBUNAM, 2008) fueron considerados, en términos generales, con integridad de hábitat e importancia y sensibilidad ecológicas altas.

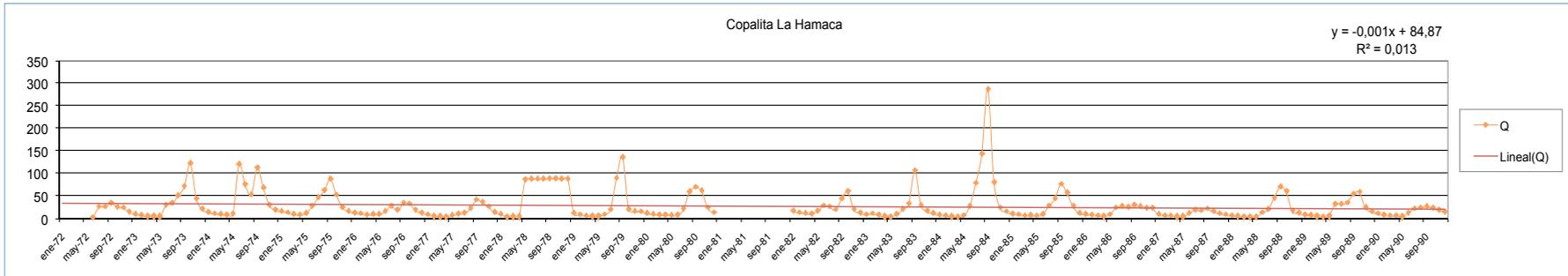


Figura 7. Serie histórica para el sitio Copalita La Hamaca (Fuente: Comisión Nacional del Agua).

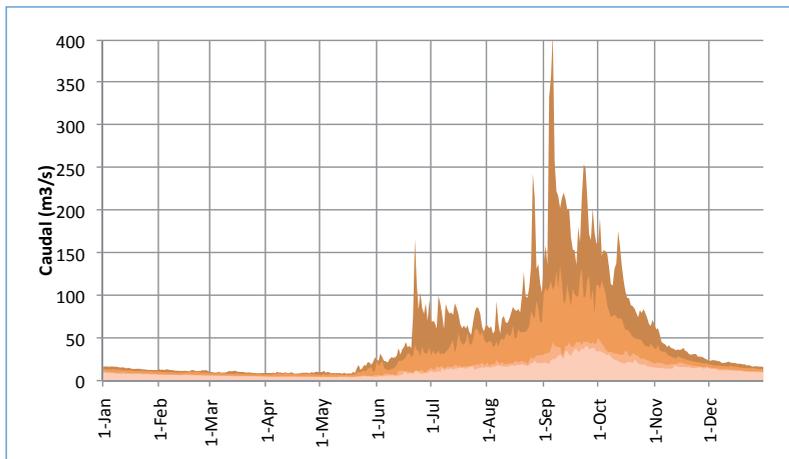


Figura 8. Caudales del sitio Copalita La Hamaca (Fuente: Comisión Nacional del Agua).

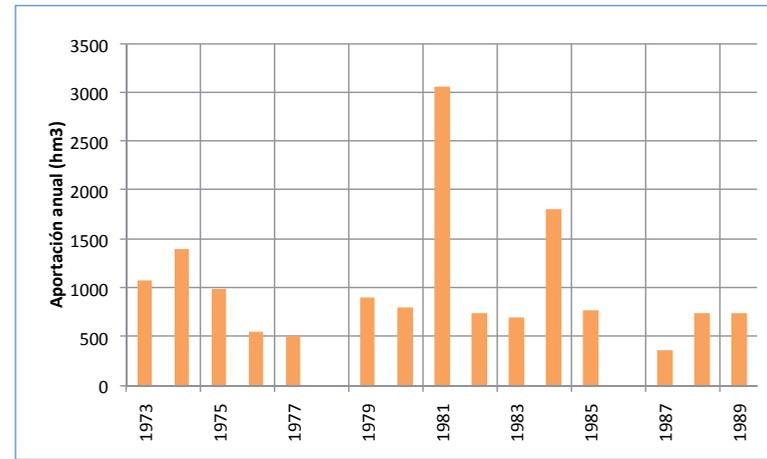


Figura 9. Aportaciones anuales de Copalita La Hamaca (Fuente: Comisión Nacional del Agua).

Estado Ecológico (Clase de manejo ecológico)	Descripción
A	En estado natural, sin modificaciones relevantes.
B	Muy buen estado, con modificaciones evidentes que no alteran las funciones básicas del ecosistema.
C	Moderadamente perturbado, con cambio en las funciones del ecosistema.
D	Muy perturbado con pérdida de hábitat, biota y funciones del ecosistema.

En las respectivas sesiones de discusión con los especialistas y mediante el consenso se llegó a los datos finales sobre el estado ecológico de los tramos de río (Tabla 2). Los sitios El Mirador, de la cuenca del Copalita, y Río Grande y Puente Zimatán, de la cuenca del Zimatán, fueron los que calificaron más alto. El estado ecológico más deteriorado se encontró en Puente Coyula. Los sitios que se pretende mejorar con la propuesta de caudales ecológicos son La Cañada, La Hamaca, Puente Copalita y Puente Coyula; los demás se mantendrán en su condición presente.

◀ *Tabla 1. Escala de valoración del estado ecológico de tramos de sistemas ribereños.*

Cuenca	Sitio	Estado ecológico presente	Estado ecológico deseado
Copalita	Jalatengo	B	B
Copalita	La Cañada	B	A
Copalita	El Mirador	A	A
Copalita	La Hamaca	B	A
Copalita	Puente Copalita	B	A
Zimatán	Río Grande	A	A
Zimatán	Puente Petatengo	B	B
Zimatán	Puente Zimatán	A	A
Coyula	Magdalena	B	B
Coyula	Puente Coyula	C	B

*Tabla 2. Valoración del estado ecológico de los tramos en las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.*

Para sustentar las propuestas de caudales ecológicos los aspectos relevantes considerados por los especialistas fueron:

Al no existir estructuras de control de flujo en los ríos, los caudales y las avenidas deben dejarse fluir de manera natural para mantener los cauces limpios con una estructura adecuada de rocas y sedimentos. En estas cuencas no es un factor crítico la geomorfología. Debe ponerse especial atención a la gestión del agua de los manantiales que abastecen de agua a las localidades y son fuente importante del flujo base de los ríos.

La sobrevivencia y producción de la planta acuática *Marathrum schiedeanum*, mostraron la necesidad de caudales adecuados para no ser colonizada por algas clorofíceas epífitas. Dos especies emergentes, *Hymenochallis littoralis* de amplia distribución y *Arundo donax* una gramínea de comportamiento malezoide, son controladas con los flujos propuestos. Para obtener los caudales ecológicos altos, el criterio aplicado fue el crecimiento de las plantas acuáticas y se calcularon mediante un análisis de regresión entre la cobertura vegetal y el caudal medido.

Con los caudales propuestos, la vegetación terrestre, caracterizada principalmente por los sauces *Salix spp.*, no puede establecerse en los cauces. En los sitios con amplios márgenes y pequeñas pendientes, se observaron conspicuos bosques de galería dominados por *S. humboldtiana*, mezclado con diversos elementos malezoides como la *Acacia cornigera* y otras especies de leguminosas asociadas, importantes para la estabilidad de los cauces. Los caudales propuestos permiten la dispersión de la vegetación, pero no la invasión de los cauces.

Se requieren caudales y profundidades pequeñas para la sobrevivencia, alimentación, reproducción y dispersión de los moluscos, por lo que sus requerimientos no son los más estrictos; la excepción y cuya presencia ayudó a la propues-

ta de caudales fue el molusco *Neritina latissima*. La fauna malacológica no es muy abundante en las cuencas. Sin embargo los caudales altos son necesarios para que, al terminar la temporada, se formen microhábitats de aguas someras lentas. Se encontraron dos especies introducidas de las ocho colectadas.

Para los insectos acuáticos el factor más importante fue la velocidad de corriente y con base en ello se propusieron los caudales, dado que se observó cierta tendencia entre ésta, la riqueza y la abundancia de especies. Estos dos parámetros fueron los factores principales para indicar un buen estado ecológico de los ríos. La riqueza y abundancia fue mayor en las partes altas de las cuencas.

La abundancia de hembras ovígeras y juveniles de las especies de crustáceos *Atya margaritacea*, *Potimirim glabra* y *Macrobrachium sp.*, fue el aspecto principal para las propuestas de caudales ecológicos, ya que permiten las condiciones adecuadas para que se desarrollen estas fases del ciclo biológico. Los caudales propuestos a lo largo del año, permiten la creación y mantenimiento de lugares propicios como refugio, maduración y crianza de las formas juveniles. Además promueven, en casos particulares que se logre completar el ciclo biológico sin necesidad de los nutrimentos, ni la composición química de las aguas estuarinas. Los langostinos como *Macrobrachium tenellum*, por ejemplo, se reproducen durante la época de secas, de ahí la importancia de mantener los caudales ecológicos bajos. Las avenidas minimizan los tamaños poblacionales de los crustáceos. Pero después de la época de lluvias, cuando baja el volumen de agua, las especies vuelven a colonizar todos los hábitats disponibles y el río recupera su riqueza biológica.

A nivel especie, fue posible identificar al pez *Gobiesox mexicanus* como indicador de caudales y velocidades de corriente mínimos, además de que cumple con dos de los crite-

rios que deben cubrir las especies seleccionadas para determinar los caudales ecológicos bajos y altos: ser endémica (del sur de México) y ser intolerante a contaminantes. Aunado a esto, está incluida en la NOM-059-2001, en la categoría de Protección especial (Pr), porque sus poblaciones son susceptibles de ser disminuidas por la pérdida del hábitat. El Índice de Integridad Biológica (IIB) calificó a los sitios con condición biológica de regular a buena.

Los aspectos sociales que integran los ámbitos culturales y de actividades productivas de los habitantes, fueron siempre puestos en un lugar preponderante. De esta manera se propusieron caudales que permitan mantener esos vínculos entre el hombre y su ambiente, en las diferentes épocas del

año. Un río que fluye suministra a las personas los productos y servicios necesarios para su desarrollo, sobre todo en la parte media y baja de las cuencas; también proporciona el goce estético y el sentido místico en la parte alta, donde predomina la población indígena zapoteca, que percibe a los cuerpos de agua naturales como entidades con vida propia.

Las propuestas de caudales ecológicos (Tabla 3), que se revisaron contra la serie histórica de datos para comprobar su verosimilitud.

En todos los casos los caudales obtenidos estuvieron dentro los intervalos observados en la serie histórica. Al no haber sistemas de regulación de caudales en esta cuenca, no

Cuenca	Sitio	Año seco			Año húmedo		
		Caudales bajos	Caudales altos	Avenidas	Caudales bajos	Caudales altos	Avenidas
Copalita	Jalatengo	0.5	2.5	Naturales	0.8	5.5	Naturales
Copalita	La Cañada	1.5	8.0	Naturales	2.5	17.0	Naturales
Copalita	El Mirador	4.0	20.0	Naturales	5.5	40.0	Naturales
Copalita	La Hamaca	5.0	25.0	Naturales	7.5	55.0	Naturales
Copalita	Puente Copalita	5.5	28.5	Naturales	8.5	60.0	Naturales
Zimatán	Río Grande	0.5	2.5	Naturales	0.8	5.0	Naturales
Zimatán	Puente Petatengo	1.0	5.0	Naturales	1.5	10.0	Naturales
Zimatán	Puente Zimatán	1.4	8.0	Naturales	2.5	16.0	Naturales
Coyula	Magdalena	0.5	3.0	Naturales	0.7	7.0	Naturales
Coyula	Puente Coyula	0.6	4.0	Naturales	1.0	9.0	Naturales

Tabla 3. Caudales ecológicos definidos para Copalita-Zimatán-Huatulco ( $m^3*s^{-1}$ )

se emitió opinión alguna sobre la magnitud interanual de las avenidas, considerando que éstas deben ser las normales en el sistema hidrológico, que permiten recuperar las características geomorfológicas y el funcionamiento sano de los ríos.

La propuesta fue llevada a los hidrogramas mensuales y se presentan los caudales ecológicos para cada sitio de la cuenca baja de cada uno de los tres ríos principales (Fig. 10). Como referencia se marca el caudal 10%.

Una vez cotejados los caudales propuestos contra los datos históricos, se obtuvo el porcentaje que representa el caudal medio anual. Como puede observarse, los datos de caudales ecológicos obtenidos (Tabla 5), re-

presentan en términos generales el 61% de los caudales medios si se considera el caudal ecológico promedio, y el 42% para el caso de los caudales en año seco. Estos resultados corresponden a la importancia ecológica alta o media y a presiones de uso bajas o medias en el cuadro de escenarios de caudales ecológicos.

Por otra parte, los especialistas en temas biológicos, geológicos, hidrológicos y sociales calificaron la presión de uso del agua y compartieron sus estimaciones de la importancia y sensibilidad ecológicas en los tramos de río de finidos por los sitios en las subcuencas. Los resultados consensuados (Tabla 6) fueron incorporados al SIG de las cuencas y se generaron mapas (Figs. 11 y 12).

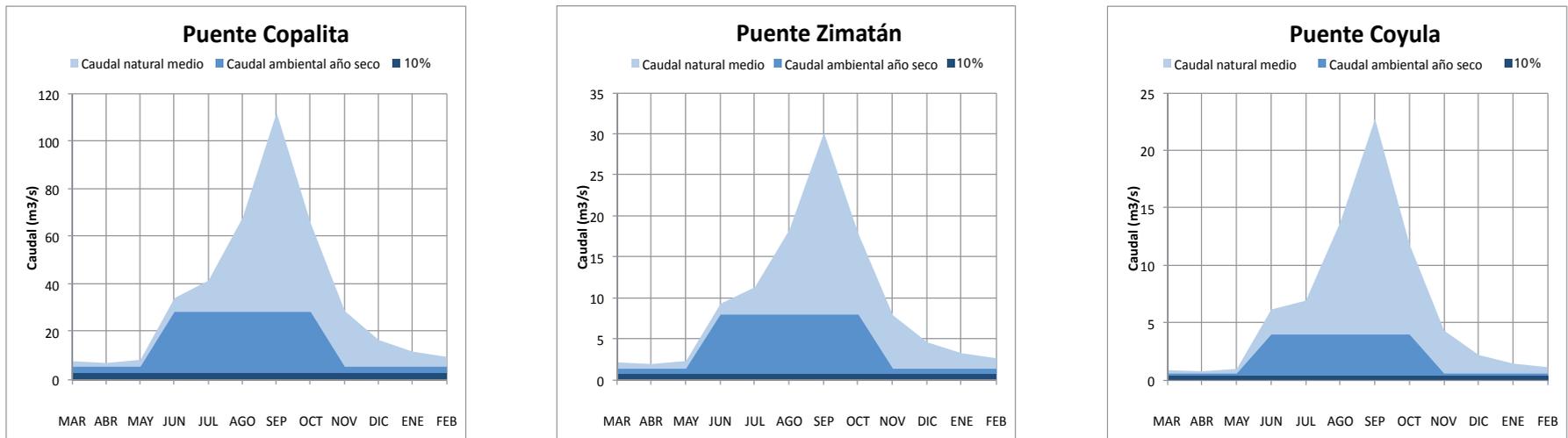


Figura 10. Hidrogramas con los caudales medios, ecológicos para año seco y caudales 10% de los ríos principales en CZH: A) Copalita, B) Zimatán y C) Coyula. Los hidrogramas corresponden a los sitios estudiados en la parte baja de las cuencas.

En los mapas se observan zonas con claro deterioro de la cubierta vegetal original y la mayor presión de uso sobre el agua. Estos escenarios permiten establecer vínculos importantes para unificar criterios de manejo del agua y territorio, necesarios para una gestión integrada de cuencas efectiva. Los resultados concuerdan con en la alta importancia ecológica de la zona y su baja presión de uso, que se obtuvo a través de los caudales definidos y los escenarios de caudales de la Fig. 6.

## 6. Conclusiones

» Se determinó el caudal ecológico para 10 sitios representativos de la cuenca. Los caudales definidos corresponden a los datos esperados para una cuenca con baja presión de uso, alta importancia y sensibilidad ecológicas, que resultan de manera general en un estado ecológico muy bueno (clase B), por lo que se obtuvieron valores cercanos al 61% del caudal medio anual si se considera el caudal ecológico promedio y 42% para el de año seco.

Cuenca	Copalita					Zimatán			Coyula	
	Jalatengo	La Cañada	Mirador	La Hamaca	Puente Copalita	Río Grande	Petatengo	Puente Zimatán	Magdalena	Puente Coyula
Sitios										
Año seco	42.7	44.9	45.5	42.7	43.9	44.0	42.6	44.4	36.0	32.9
Año húmedo	87.4	91.2	84.9	87.4	87.2	83.2	80.6	87.0	77.6	70.8
Promedio	65.1	68.1	65.2	65.1	65.6	63.6	61.6	65.7	56.8	51.9

Tabla 5. Caudales ecológicos como porcentajes del caudal medio anual. Resultado del taller de especialistas.

Cuenca	Sitio	Importancia ecológica	Sensibilidad ecológica	Presión de uso
Copalita	Jalatengo	Alta	Media	Baja
Copalita	La Cañada	Alta	Media	Media
Copalita	El Mirador	Alta	Alta	Baja
Copalita	La Hamaca	Media	Media	Media
Copalita	Puente Copalita	Alta	Media	Media
Zimatán	Río Grande	Alta	Alta	Baja
Zimatán	Puente Petatengo	Media	Media	Baja
Zimatán	Puente Zimatán	Alta	Alta	Media
Coyula	Magdalena	Alta	Media	Baja
Coyula	Puente Coyula	Alta	Alta	Alta

Tabla 6. Presión de uso, importancia y sensibilidad ecológicas para los tamos de río de las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.

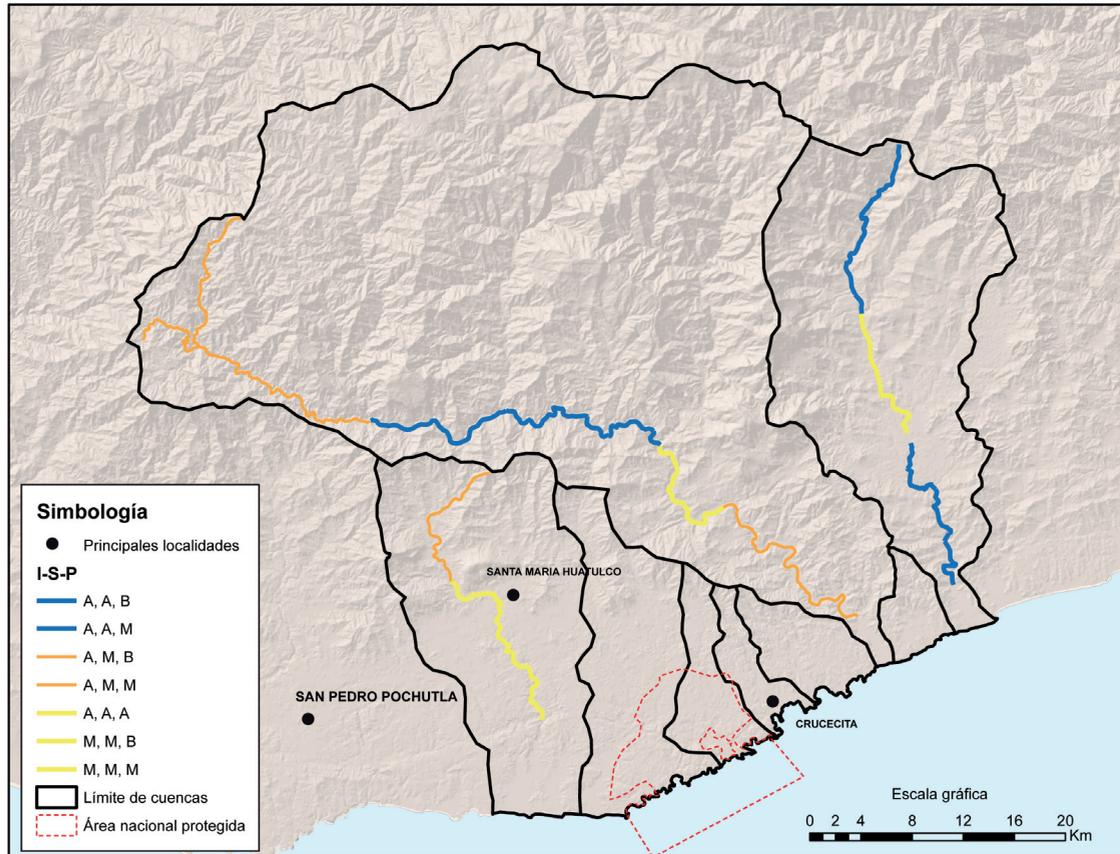


Figura 11. Resultado de la calificación de los tres criterios: presión de uso, integridad y sensibilidad ecológicas en las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.

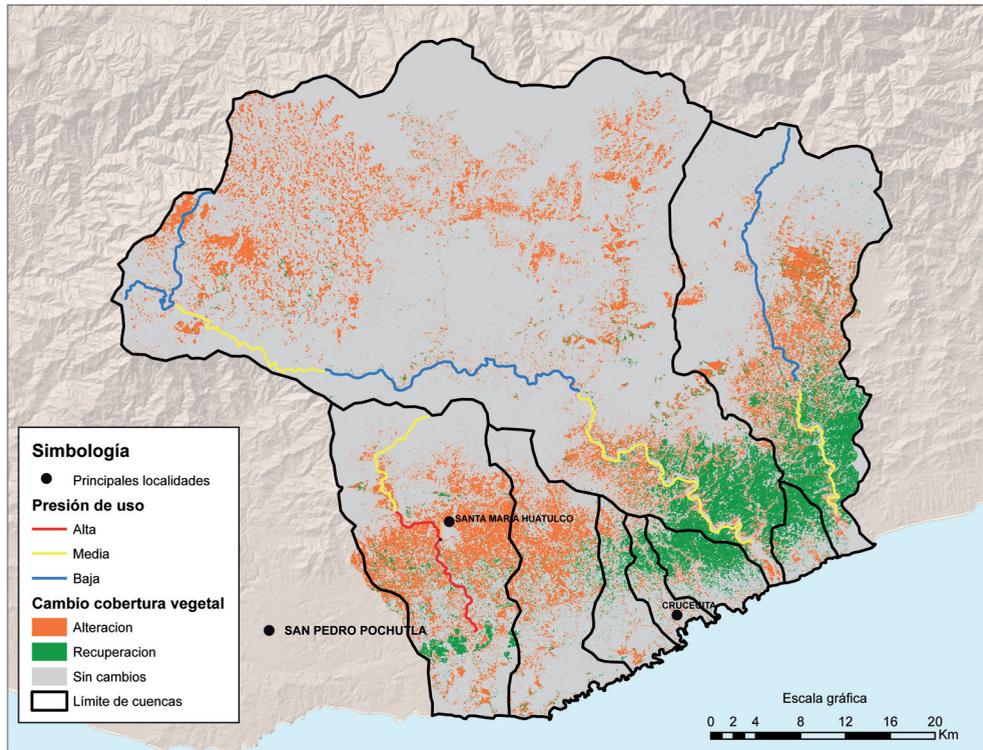


Figura 12. Cambio de uso del suelo y presión de uso del agua en las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco.

- » Las propuestas de caudal ecológico se basan en un trabajo intenso de especialistas y profesionales, que adoptaron con un enfoque práctico la metodología por bloques (BBM), con la mejor información disponible al momento.
- » Se cuenta con la información hidrológica, biológica, social y de calidad del agua, además de la justificación multidisciplinaria para cada propuesta de caudal ecológico, y se establecen las bases para un sistema de seguimiento que incluye la medición periódica de las variables relevantes para el ajuste de esta propuesta.
- » Se identificaron escenarios para el manejo del agua y del territorio en la cuenca CZH bajo el enfoque de caudal ecológico.
- » Se inicia la fase de difusión y el proceso de involucrar a los actores.
- » El caudal ecológico, como una herramienta de gestión del agua y del territorio, debe entenderse como la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos, que proporcionan bienes y servicios a la sociedad.

## 7. Literatura citada

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2002. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/docts/rmp\\_036.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/docts/rmp_036.html)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004a. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalización/doctos/rtp> 129.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004b. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/C-17.html>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2007. ACUERDO por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas de los ríos San Francisco, Río Grande, Río Manialtepec, Río Colotepec 1, Río Colotepec 2, Río Cozoaltepec 1, Río Cozoaltepec 2, Río Tonameca 1, Río Tonameca 2, Río Copalita 1, Río Copalita 2, Río Coyula, Río Zimatán 1, Río Zimatán 2, Río Ayuta 1, Río Ayuta 2, Río Astata 1, Río Astata 2 y Río Mazatán, mismos que forman parte de la región hidrológica número 21 denominada Costa de Oaxaca. Viernes 8 de junio de 2007.
- FGRA-WWF. 2003. *Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México*. Propuesta de Alianza entre la Fundación Gonzalo Río Arronte y World Wildlife Fund. 10 noviembre de 2003. 29 pp y Anexos.
- González, M. A. y P. Palacios. 2005. *Diseño del Proceso de Planeación y Concertación para la Elaboración del Programa de Manejo del Complejo Hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco, Oaxaca*. WWF-México. Programa Bosques Mexicanos. Convenio KE73. Oaxaca, México. 55 pp.
- Instituto de Biología, UNAM (IBUNAM). 2008. *Propuesta de indicadores de la salud de la cuenca para el monitoreo biológico del sistema hidrológico Copalita-Zimatán-Huatulco, Oax.* Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Documento interno. Convenio KG69. Oaxaca, México. 108 pp.
- King J., R. Tharme and M. DeVilliers. 2000. *Environmental Flow Assessments For Rivers: Manual for the Building Block Methodology*. WRC, Pretoria South Africa. 340 pp.
- Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. *The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration*. *BioScience* 47 (11): 769-784.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wiginton and D.P. Braun. 1997. *How much water does a river need?* *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), 2000, *Diagnóstico Socioeconómico, Productivo y de Análisis Económico-Financiero de Proyectos Tipo, Región Ozolotepec-Loxichas*. Estado de Oaxaca, SAGAR, México.
- Salas, S., S. Saynes-Vásquez y L. Schibli. 2003. *Flora de la Costa de Oaxaca, México: Lista Florística de la Región de Zimatán*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 72:21-58. México.
- WWF. 2006a. *Applying the principles of integrated water resources and river basin management – an introduction*. A Report to WWF-UK prepared by Tim Jones, Meter Newborne and Bill Phillips. 35 pp.
- WWF. 2006b. *Problemática ambiental y socioeconómica en las cuencas Copalita, Zimatán y Huatulco, Oaxaca: la perspectiva de los especialistas*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. Documento interno. 23 pp.
- WWF-MEX. 2006. *Estrategia General del Programa de Manejo de Cuencas Desarrollo de Nuevos Modelos en México*. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. (FGRA). Documento Interno. Julio, 2006.

