

# Manejo de los recursos naturales acuáticos

## UNA VISIÓN INTERDISCIPLINARIA

Oscar Frausto-Martínez  
Adrián Cervantes-Martínez  
Martha Gutiérrez-Aguirre  
*División de Desarrollo Sustentable  
Universidad de Quintana Roo*



### RESUMEN

El presente escrito refuerza la necesidad de tratar, de forma interdisciplinaria, las investigaciones sobre el manejo de los recursos naturales acuáticos por medio de teorías, métodos y técnicas de las siguientes disciplinas: geografía, limnología, ecología y taxonomía. Señalar el quehacer de cada una de éstas permite orientar las líneas de generación y aplicación del conocimiento que cultivan los integrantes del Cuerpo Académico de Manejo de los Recursos Acuáticos de la Universidad de Quintana Roo.

**PALABRAS CLAVE** | Agua, desarrollo sustentable, Península de Yucatán

73

Correos electrónicos: ofrausto@uqroo.mx • adcervantes@uqroo.mx • margutierrez@uqroo.mx

## Introducción

En el verano de 2008, en Zaragoza, España, se llevó a cabo el III Foro Mundial del Agua, dando seguimiento a los compromisos adquiridos en la conferencia de la Ciudad de México en 2006. Estas reuniones tienen como finalidad mostrar los avances de las preocupaciones humanas en torno al recurso natural. En el Foro se analizaron tres aspectos:

- a) El agua como recurso
- b) Agua y las necesidades humanas
- c) El agua y su manejo sustentable

Los tres ejes están íntimamente relacionados y son determinantes para un manejo integral de los recursos acuáticos. Para Grambow (2008), este manejo puede ser de dos tipos: normativo (adaptado a las necesidades humanas: administrativo, de gobernabilidad, estatal o privado, social, hacendario, financiero o de carácter cultural) u operativo (adaptando tecnologías, herramientas administrativas o de eficiencia ecológica, de redes y comunicaciones, de factores humanos y personalidad). Este concepto de manejo de los recursos naturales se basa en los principios de la sustentabilidad.

Flint (2004) resalta que la sociedad siempre se enfrenta a retos en cuestiones relacionadas con la economía, el medio ambiente y la equidad entre las personas. Cada uno de los seres humanos es afectado de alguna manera por las fuerzas que impulsan estas relaciones. Sin embargo, tradicionalmente, los modelos de desarrollo destinados a hacer frente a problemas de la sociedad han adoptado el enfoque singular, al abordar las cuestiones de economía, del medio ambiente o de la equidad de forma aislada. Estos modelos de desarrollo han provocado procesos no sustentables. Así, el desarrollo sostenible es el eje y la clave para determinar la cantidad y calidad de uso de los recursos acuáticos, de tal modo que su manejo propicie la seguridad nacional en las esferas de bienestar económico, ambiental y social.

Desde la perspectiva del desarrollo sustentable, el manejo integral de los recursos acuáticos se fundamenta en el modelo básico de los círculos de la sustentabilidad (Birkmann, 2006), conforme el cual el medio ambiente se considera una prioridad económica y social (figura 1); asimismo, la adopción del manejo sustentable de los recursos naturales en el sector empresarial continúa con el modelo de los “tres ejes” y de Presión-Estado-Respuesta, donde resalta la



implementación de normas de calidad y gestión acreditadas por la International Standards Organization (ISO) (Birkmann, 2004) (figura 2).

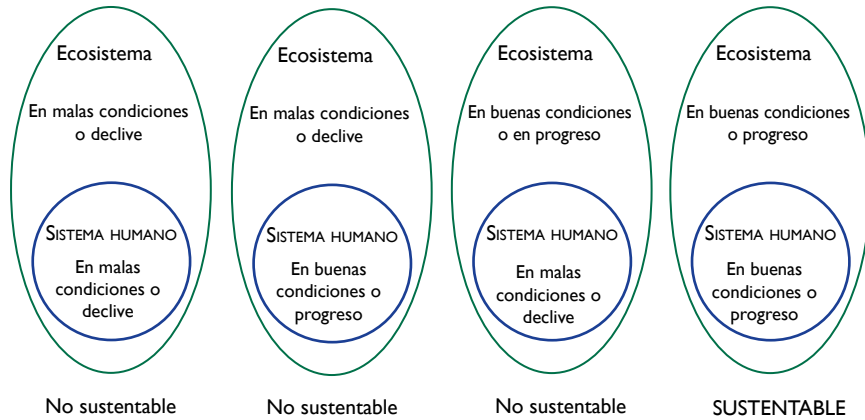


FIGURA 1. MODELO DE LOS CÍRCULOS O “HUEVOS” DE LA SUSTENTABILIDAD (ADAPTADO DE SARAGELDING, 1995).

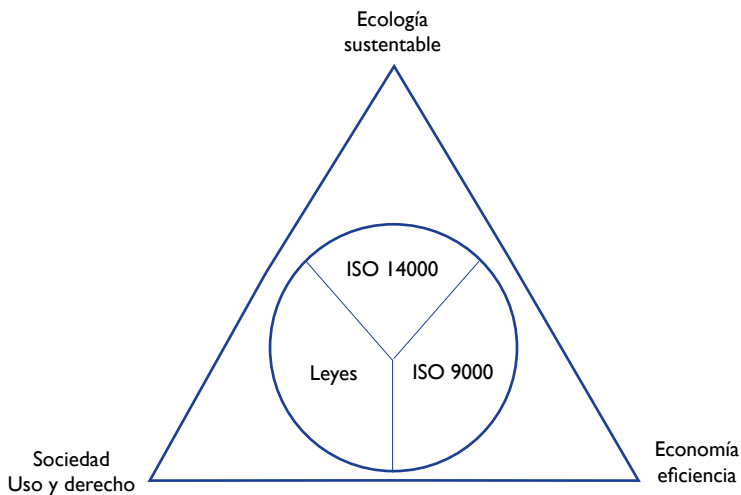


FIGURA 2. EL TRIÁNGULO DE LA SUSTENTABILIDAD (ADAPTADO DE SARAGELDING (1995).



Estas dos aproximaciones parten de la premisa de que el manejo de los recursos acuáticos requiere políticas e instrumentos como eje fundamental de análisis, en el cual se desarrollarán varios objetivos de estudio, con la finalidad de lograr lo siguiente: Equidad en el tratamiento de los usuarios: abastecimiento, dotación, precios, ricos/pobres, urbanos/rurales, etcétera.

- Eficiencia: en el uso, administración, dotación, etcétera.
- Desarrollo y planeación regional: análisis prospectivo y a largo plazo
- Investigación cuantitativa y cualitativa
- Cooperación con la administración local: vinculación de los sectores involucrados federales-locales y reconocimiento del peso de lo local en la gestión del recurso
- Cooperación con los administradores del recurso agua: quiénes y qué papel juegan los actores involucrados en su manejo

Además, en la organización del manejo del agua existen dos componentes centrales: *a)* ciencia-tecnología, y *b)* instrumentos de administración pública. En el primero, la población es el principal actor en el manejo del recurso, y éste depende tanto de su conocimiento tecnológico y científico como del papel que desempeña: tomador de decisiones, profesional administrador o usuario. Los instrumentos pueden ser tecnológicos (monitoreo), legales (control) o económicos (financieros); y las formas institucionales del manejo son de carácter legal, económico o financiero (Toman, 2007).

También se deben considerar los niveles de acción y organización: *a)* el gobierno central (legal y administrativo), organismo coordinador de estadísticas, planeación, estudios e investigaciones, que establece normas nacionales del manejo del recurso; *b)* el nivel estatal o intermedio, que es donde se divulgan las políticas nacionales y se administra la compilación y la dirección; *c)* el nivel de los usuarios, donde lo que está en juego son los aspectos técnicos y tecnológicos municipales o privados.

La evaluación en el manejo natural de los recursos acuáticos usa el monitoreo y control de indicadores de resultados, con la intención de:

- a)* Caracterizar el recurso natural: indicadores descriptivos y de naturaleza general; de uso y explotación; de contaminación y económicos (costo-beneficio)
- b)* Indicadores analíticos, económicos y financieros (precio y financiamiento, apoyos y ayudas financieras e inversiones en general)

- c) Investigaciones y estudios de prospección (demanda-uso, contaminación y prospección, visión y planeación a largo plazo).

Así, el análisis y la solución a los problemas que plantea el estudio de los recursos naturales acuáticos pueden lograrse con una aproximación interdisciplinaria, entendida como el trabajo científico que, metodológicamente, requiere la colaboración de diferentes disciplinas, y que vincula diversas escuelas del pensamiento en la búsqueda de la solución y entendimiento de un objeto de estudio en común. Este pluralismo disciplinar es dinámico; las disciplinas resaltan su propia voz, preservan e incluso privilegian sus diferencias, pero siempre tratando de alcanzar cohesión, integración y coherencia (Beuchot, 2008).

### **Visión disciplinaria de los recursos naturales acuáticos**

A continuación se describen las aproximaciones teóricas y metodológicas de las siguientes disciplinas: geografía, limnología, ecología y taxonomía, con ejemplos de las investigaciones que desarrollan los autores del escrito.

#### *Aproximaciones geográficas en el manejo de los recursos acuáticos*

La geografía es la ciencia que estudia la ubicación de los fenómenos naturales y sociales sobre la Tierra, las causas que los originan, sus consecuencias, los factores y elementos que los determinan y caracterizan, así como las relaciones naturales y humanas de cada fenómeno. Los estudios geográficos parten de cuatro preguntas de la ciencia básica: dónde, cómo, qué y cuánto. El dónde hace referencia a la ubicación y localización del fenómeno como tal, profundizando en los patrones de distribución, el arreglo espacial y las relaciones de localización. Estos tres elementos fundamentan las subdisciplinas de ordenamiento territorial y el análisis regional (Bassols, 2006).

Caracterizar *cómo* se encuentran estos fenómenos permite describir el estado que guardan en el momento del análisis. La fisiografía es, por antonomasia, la subdisciplina encargada de este diagnóstico, el cual señalará tres componentes básicos del recurso: el estado natural, el estado social y el estado humano. Por otro lado, las clasificaciones y tipologías se basan en el *qué* y describen los aspectos esenciales de orden: qué forma se encuentra el fenómeno a estudiar,



en qué estado y en qué territorios; genera un principio de organización y orden que fundamenta las disciplinas de la organización del territorio y del ordenamiento territorial. Finalmente, describir el *cuánto* de cada fenómeno fundamenta el aspecto morfológico (extensión, volumen, profundidad, tiraje, densidad, entre otras) y morfográfico (causas de los aspectos morfológicos). En geografía física, la geomorfología y la hidrogeografía serán las subdisciplinas principales de este tipo de caracterizaciones. Conjuntamente, en la geografía social se dará importancia al uso y demanda de los recursos por la población; la geografía cultural se especializará en el valor ético de los mismos y en la geografía económica se analizará el valor económico, por citar unos ejemplos. Cabe destacar que los aspectos políticos, administrativos, religiosos, etc., son analizados desde las subdisciplinas que integran el campo geográfico, y tienen en común la búsqueda de los elementos y factores que determinan su distribución en el espacio.

### El manejo geográfico de los recursos naturales acuáticos

En el manejo geográfico de los recursos acuáticos se parte de los principios de Bassols (2006) y Grambow (2008): por un lado, las determinantes espaciales –de ubicación y relación territorial– y, por otro, los aspectos normativos y operativos. Asimismo, se abordan los temas emergentes del Foro Mundial del Agua con el fin de ejemplificar la línea de generación y aplicación del conocimiento de la geografía de los indicadores de desarrollo sustentable.

En la perspectiva del desarrollo sustentable, el manejo integral de los recursos acuáticos se fundamenta en el modelo básico de los círculos de la sustentabilidad, en donde el medio ambiente se ubica como prioridad económica y social; asimismo, la adopción del manejo sustentable de los recursos acuáticos en el sector empresarial continúa con el modelo de los “tres ejes” y de Presión-Estado-Respuesta. Por lo que el objetivo de las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento (LGAC) es diseñar, usar, monitorear y evaluar indicadores, que permitan conocer el estado de sustentabilidad que guardan los recursos naturales acuáticos y su reflejo en el territorio (patrones y arreglos espaciales).

### *Ejemplos de la geografía de los recursos acuáticos*

a) *Para la prevención de las inundaciones.* La identificación de los territorios susceptibles de inundación es el eje de la ubicación de los cuerpos de agua

en la superficie terrestre; éstos se someten a tres procesos de inundación: permanentes, ordinarios y extraordinarios (Goldacker et al., 2005). Conocer dónde, qué recurrencia y cuáles son las localidades susceptibles de inundación fue el objetivo del proyecto “Identificación de áreas de riesgo en el cono sur de Yucatán” (Frausto et al., 2006), y la perspectiva de este tipo de análisis se ha extrapolado a todo el estado de Yucatán (Ihl et al., 2007). En la política del manejo de los recursos acuáticos, este tipo de proyectos es de carácter prospectivo y de planeación a largo plazo.

b) *Organización en el manejo del recurso acuático para abastecimiento de agua de uso urbano.* Se ha señalado que en la organización del manejo del agua existen dos componentes centrales: ciencia-tecnología, y instrumentos de administración pública. La generación de un sistema de información geográfica de la calidad del agua en el noreste de la Península de Yucatán fue la contribución al proyecto “Estudio geohidrológico y evaluación de fuentes contaminantes del acuífero norte de Quintana Roo” (Ihl y Frausto, 2008); el Sistema de Información Geográfica (SIG) se usa como herramienta para modelar el monitoreo de los parámetros establecidos por la ley (o los sistemas de estandarización nacional de la calidad del agua potable), por lo cual se deduce como instrumento legal del manejo de los recursos acuáticos. Los resultados de los estudios de organización en el manejo de los recursos naturales acuáticos han sido discutidos en Frausto et al. (2008) y Scholz y Frausto (2006); en el primero se evalúa la calidad del agua potable en el sistema de pozos para uso doméstico y su relación con el estándar nacional. En el segundo, se relacionan las actividades humanas (uso y explotación del agua) y sus consecuencias en el sistema de pozos de uso potable de la isla de Cozumel, determinando un monitoreo continuo para prevenir la salinización y abatimiento de los pozos.

c) *Evaluación en el manejo de los recursos acuáticos a través de indicadores.* En geografía, el uso de indicadores de resultados se usa comúnmente para monitorear y controlar procesos regionales. A través de metas y objetivos concretos, en el tiempo y en el espacio, es posible realizar una evaluación continua de avances o retrocesos. Un ejemplo claro del uso de los indicadores se señala en el monitoreo de la Agenda Habitat y las Metas del Milenio, en especial el logro de las metas al 2015 en el rubro de la sustentabilidad y las condiciones del habitat (Frausto y Welch, 2008). En el contexto de los recursos acuáticos, el indicador clave “acceso a agua segura” tiene como meta reducir a



la mitad, en el año 2015, el porcentaje de personas que no cuenta con acceso sustentable a fuentes seguras de agua potable. Se reconoce que, en el año 2000, 2 573 personas carecían de acceso al vital líquido en Cozumel y 3 115 en Playa del Carmen, por lo que reducir las cifras a 1 287 y 1 558, respectivamente, es la meta deseada al 2015 (Frausto, Ihl y Rojas, 2006 y Tun, Frausto e Ihl, 2007).

### Conocimiento limnológico de sistemas acuáticos kársticos

El agua accesible para la población de la Península de Yucatán se encuentra almacenada en sistemas dinámicos y sensibles conocidos en la región como cenotes, aguadas, sartenejas y poljes. Culturalmente, en el sureste de México es aceptado usar estos sistemas como suministro de agua potable, darles un uso recreativo y para extracción de productos de consumo, a partir de la pesca (no sólo de peces, sino también de moluscos, crustáceos, etc.) Es decir que los sistemas antes mencionados son fundamentales para el desarrollo y subsistencia de las comunidades rurales de Quintana Roo, Yucatán y Campeche.

Por otro lado, los sistemas mencionados también son esenciales para las áreas urbanas de la Península debido al incremento exponencial de la población, principalmente por el crecimiento de polos turísticos como Cancún y la Riviera Maya. En esta región se ha observado un incremento de la población de hasta 350 % en los últimos 20 años (Azuz-Adeath y Rivera-Arriaga, 2004), la cual demanda agua de calidad.

Este escenario produce un ambiente propicio para el desarrollo de líneas de investigación relacionadas con los siguientes aspectos:

1. Características básicas (generales) del acuífero. Los suelos de la región son relativamente jóvenes y están conformados por diferentes componentes calcáreos (evaporitas, anhídritas, yesos, dolomitas y calizas del Cretácico medio (Lugo-Hubp, Aceves-Quesada y Espinasa-Qureña, 1992). Estas características permiten que el suelo sea altamente permeable, lo cual produce que el agua precipitada se infiltre rápidamente hacia el subsuelo; sin embargo hay particularidades, por ejemplo en Quintana Roo los suelos de tipo vertisol son profundos e impermeables (Gobierno del estado de Quintana Roo, 1987). El conocimiento generado hasta hoy ha permitido detectar la formación de corrientes subterráneas que eventualmente son descargadas hacia regiones costeras de forma



intermitente (Steinich y Marín, 1997; Herrera-Silveira, 2006). Es evidente que este tipo de fenómenos aún no se pueden generalizar con certeza a toda la región, debido a que el conocimiento sobre el comportamiento geohidrológico de su acuífero es escaso y fragmentado (Cervantes-Martínez, 2007). Por otro lado, hay que considerar que la principal fuente de recarga del acuífero es la precipitación pluvial, aunada a la descarga de aguas residuales, lixiviados y desechos de granjas, que más que como recarga, actúan como fuentes contaminantes (Gutiérrez-Aguirre, Cervantes-Martínez y Coronado-Álvarez, 2008).

2. Descripción limnológica de los cuerpos de agua kársticos. Por lo general, la información relacionada con las características físico-químicas básicas del agua en la región ha sido generada por consultoras particulares, lo que dificulta su acceso; se requiere la generación de datos a partir de la realización de proyectos de investigación, y la vinculación inter- e intrainstitucional para lograr este objetivo en el corto plazo.
3. Variación espacio-temporal de características físicas y químicas del agua. La dinámica de los recursos naturales en el Caribe es un aspecto fundamental para caracterizar un sistema acuático y, con base en ello, lograr establecer medidas de manejo, seguimiento y conservación.

Considerando lo anterior, se han sentado las bases sobre la limnología de sistemas acuáticos kársticos por medio de la evaluación morfométrica y batimétrica de cenotes al sur-centro de Quintana Roo (Cervantes-Martínez, Elías-Gutiérrez y Suárez-Morales, 2002; Elías-Gutiérrez *et al.*, 2007). Con esta información es posible conocer el volumen de agua almacenado en sistemas naturales, y es factible inferir el potencial de producción secundaria; es decir, es posible calcular la cantidad de peso húmedo (peces) que se puede extraer para el consumo humano. Un tema relevante y de gran trascendencia para el aprovechamiento adecuado del recurso agua es la evaluación de los flujos subterráneos, sin embargo, este conocimiento aún es incipiente (Cervantes-Martínez, 2007) y queda una gran línea de investigación que debe ser atendida por los manejadores de los recursos acuáticos.

Por otro lado, mediante modelos matemáticos y análisis de poblaciones es posible conocer el potencial pesquero que puede desarrollar un sistema acuático. Estos modelos se han explorado en cenotes del municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, donde ha sido posible evaluar la abundancia



poblacional y aspectos reproductivos de especies nativas de peces para consumo humano, tal como *Cichlasoma urophthalmus* (Günter, 1862) (Cervantes-Martínez y Coronado-Álvarez, 2007; Poot-López et al., 2008).

### Ecología y taxonomía en sistemas acuáticos

La Península de Yucatán es de origen calcáreo; esta conformación química ha permitido la formación de oquedades (cenotes) y cavernas a partir de la disolución de rocas de naturaleza calcárea (Schmitter-Soto, et al., 2002).

En Quintana Roo, este tipo de sistemas es muy abundante, de hecho se considera que actualmente estamos lejos de contar con un inventario completo del número de cuerpos de agua superficiales, así como de la diversidad que habita en ellos (Arriaga-Cabrera et al., 1998). Tal como se ha analizado, los cenotes son importantes cuando se consideran los beneficios que ofrecen a las comunidades rurales y urbanas de la región y, más todavía, desde el punto de vista ambiental son muy interesantes debido a la fauna que albergan. Aunque en las últimas dos décadas los invertebrados zooplácticos que habitan en los cenotes, lagunas y cavernas del sureste mexicano han llamado la atención por la gran cantidad de especies endémicas que ahí viven,<sup>1</sup> es un hecho que el inventario de la riqueza específica aún es incompleto. Algunas regiones de Quintana Roo se han estudiado con más intensidad (por ejemplo la centrosur del estado), pero existen áreas que todavía guardan hallazgos interesantes. Por ejemplo, en una buena cantidad de los sistemas acuáticos, tanto interiores de la isla como costeros, de Cozumel la dinámica estacional de comunidades de invertebrados prácticamente se desconoce (Arriaga-Cabrera et al., 1998).

Por ello los estudios sobre el inventario de especies zooplácticas son tan importantes, ya que por un lado se establecen nuevos registros para el sureste mexicano y por el otro permiten el conocimiento de sus patrones de distribución (Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez, 2006 y 2008a), lo cual podría aportar información útil para estudios biogeográficos. Asimismo, es posible conocer los patrones de distribución de especies exóticas (no nativas) y en algunos casos invasoras (Gutiérrez-Aguirre, Reid y Suárez-Morales, 2003).

Se ha observado que, cuando el esfuerzo de colecta se incrementa (tanto en escala temporal como geográfica), es posible encontrar nuevas especies o

<sup>1</sup>Véase revisión de Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez (2008a).

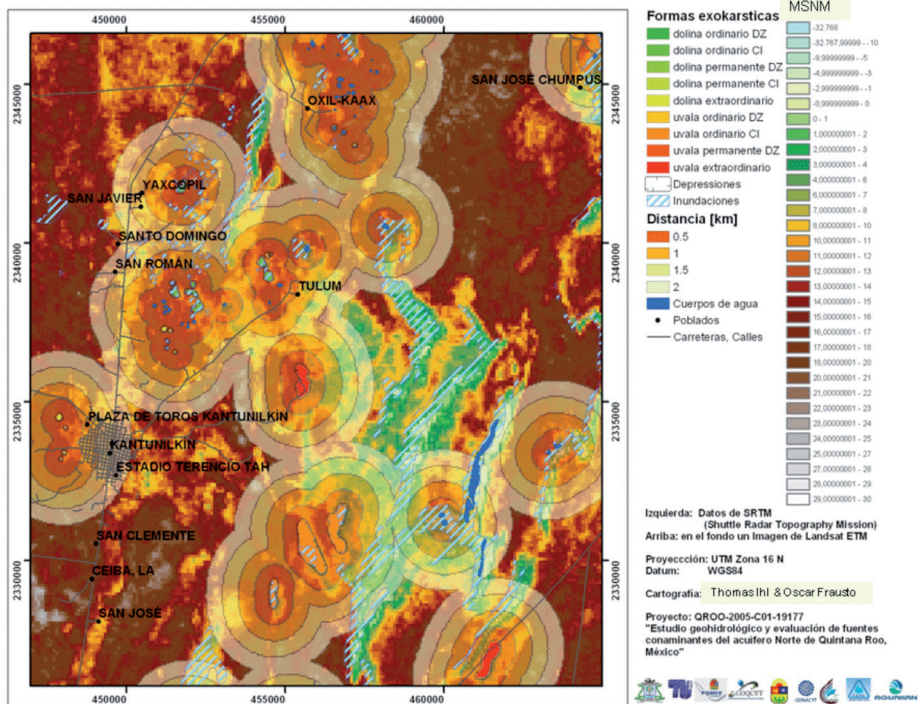
subespecies de microcrustáceos (Gutiérrez-Aguirre y Suárez-Morales, 2001), de gran trascendencia por su papel ecológico como el segundo eslabón de la cadena alimenticia de cualquier sistema acuático (por su diversidad y abundancia), y porque son un vehículo eficiente en la transferencia de energía de los productores primarios hacia los consumidores secundarios (Suárez-Morales *et al.*, 1996).

El estudio de la riqueza biológica de los recursos naturales es fundamental para complementar el conocimiento de las características de los sistemas acuáticos y, con base en ello, lograr establecer medidas de manejo y conservación. Uno de los aspectos primordiales para avanzar en este sentido es la identificación correcta de las especies que habitan en los sistemas, lo que subsecuentemente permitiría analizar las interacciones ecológicas que se establecen entre las especies que habitan una región, definir patrones biogeográficos y usarlas como potenciales indicadores de sistemas prioritarios para conservación, o de contaminación.

### **Ejemplo interdisciplinario en el manejo de los recursos naturales acuáticos**

Por medio del análisis de las características físicas y químicas del agua albergada en sistemas acuáticos kársticos, como pozos profundos, cenotes y aguadas de uso comunitario y con influencia urbana y suburbana, es posible determinar el inventario de los sistemas presentes en la Península de Yucatán, y además, monitorear su calidad para determinar su uso potencial en cuanto suministro de agua para la población (Cervantes-Martínez, 2008; Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez, 2008b).

Así, a través de la geografía física se determinaron los componentes del relieve (altimetría, pendientes y elevación del terreno) y sus características morfológicas (depresiones y elevaciones), y, a través de un análisis de los cuerpos de agua, se identificó el patrón de distribución de las formas exokársticas, su densidad y los procesos de inundación (ordinarios, permanentes y extraordinarios (Ihl y Frausto, 2008; Frausto *et al.*, 2010). Lo anterior constituye parte de la base de datos del sistema de información geográfica con la cual se determinaron los modelos de muestreo para el análisis fisicoquímico de la calidad del agua (figura 3) (Ihl y Frausto, 2008; Matthes *et al.*, 2006; Frausto *et al.*, 2010).



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 3. EJEMPLO DEL MAPA BASE DE TIPO, DENSIDAD Y PROCESOS DE INUNDACIÓN EN EL RELIEVE KÁRSTICO, ELABORADO ESPECÍFICAMENTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS MODELOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Finalmente, en el contexto del muestreo de las propiedades fisicoquímicas del agua se identificaron tendencias en torno a los estándares mexicanos de la calidad del agua potable como se resume en el Cuadro I. Este modelo se constituye de 188 unidades de muestreo diferenciadas por su ubicación y características de extracción (Matthes, 2008; Frausto et al., 2010).

CUADRO I. PORCENTAJE DE VALOR EXCEDENTE CON RESPECTO AL ESTÁNDAR DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL NORESTE DE QUINTANA ROO, MÉXICO

Parámetros	Pozos (%)
TSD	23
Cl	19
NO3-N	16
NH3-N	73
SO4	3
Na	23
Total de pesados	22

Fuente: Elaboración propia con base en Ihl y Frausto (2008).

Otros indicadores desarrollados en las LGAC determinantes para el manejo de los recursos naturales acuáticos son:

- Ecosistemas. Conocimiento de flora y fauna: peces, crustáceos, parásitos de peces y algas (Gutiérrez-Aguirre y Cervantes-Martínez, 2008b).
- Económicos: fuente y tipos de contaminantes en el sistema de pozos de agua potable (Matthes, 2008).
- Sociales: acceso de la población al agua potable, consumo de agua potable y precio del agua (Frausto, Ihl y Rojas, 2006).

## Consideraciones finales

El estudio interdisciplinario del manejo de los recursos naturales acuáticos es un tema relevante que pone de manifiesto la interrelación científica de los diversos componentes del entorno natural y humano del recurso natural agua. Tres aproximaciones se han cultivado en las investigaciones de los autores; el geográfico, el limnológico y el biológico. Asimismo, los ejes de interacción son: el recurso, las necesidades humanas y el manejo del agua.

Con referencia al recurso, se identifican y analizan las características físicas, químicas y biológicas del agua y sus componentes en el ecosistema,



sistematizando información mediante la generación de bases de datos georreferenciadas e inventarios de estado, produciendo estudios de prospección orientados a la explotación del acuífero, los impactos por uso y la vulnerabilidad a inundaciones o contaminación.

En el contexto de las necesidades humanas, los diagnósticos de calidad, abasto y uso del agua han permitido la generación de modelos de manejo; asimismo, se han determinado tasas de demanda a mediano y largo plazo (10 a 15 años) para ambientes urbanos, insulares o costeros.

Finalmente, el manejo del agua bajo el paradigma de la sustentabilidad permite la fusión científico-técnica con los aspectos de política administrativa del recurso. Así, a través de la legislación vigente, se ha establecido un sistema estándar de monitoreo y control del agua, ya sea para el conocimiento básico del recurso, para el seguimiento del uso en sus diversos contextos, o para la evaluación de los instrumentos de gestión. La visión de la sustentabilidad se centra en el conocimiento del consumo del recurso, no así en las medidas de atenuación de los impactos.

Este ejercicio permite identificar la necesidad de enriquecer la investigación de los recursos naturales acuáticos desde una perspectiva multidisciplinaria, cuyo modelo de estudio usa el criterio de *integración* y cuyo concepto central es la *comprensión y extensión* del objeto de estudio. Se deben resaltar los nexos y relaciones con diversas escalas (puntuales, lineales o de área y sus jerarquías) o entornos (paisajes o ambientes) con el paradigma que se asume en este escrito: el manejo sustentable del recurso.

### **Agradecimientos:**

El presente artículo es resultado de la colaboración de los profesores-investigadores de la Licenciatura en Manejo de los Recursos Naturales, los cuales desarrollan sus actividades dentro del marco del Cuerpo Académico de Manejo de los Recursos Acuáticos de la División de Desarrollo Sustentable de la Universidad de Quintana Roo.

### **Fuentes consultadas**

Arriaga-Cabrera, L., et al. (coords.) (1998). *Regiones hidrológicas prioritarias. Escala de trabajo 1:4 000 000*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

- Azuz-Adeath, I. y E. Rivera-Arriaga (2004). "Escalas espaciales y temporales del manejo costero", en E. Rivera-Arriaga et al. (eds.). *El manejo costero en México*. México: Universidad Autónoma de Campeche/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/CETYS-Universidad/Universidad de Quintana Roo (UQROO), 27-37.
- Bassols, B. A. (2006). *Recursos naturales de México: teoría, conocimiento y uso*. México: Cenzontle.
- Beuchot, M. (2008). "La hermenéutica analógica en la multidisciplinariedad de las ciencias humanas", en G. Chávez, C. Menkes y B. Solares. *Ciencias sociales y multidisciplinaria*. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM)-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 33-42.
- Birkmann, J. (2004). *Monitoring und Controlling einer nachhaltigen Raumentwicklung: Indikatoren als Werkzeuge im Planungsprozess*. Dortmund: Dortmunder Vertrieb für Bau Und Planungsliteratur.
- , (2006). *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*. Tokio: United Nations University Press.
- Cervantes-Martínez, A. (2007). "El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la península de Yucatán: realidades y retos". *Teoría y Praxis*, 3, 163-172.
- (2008). "Estudios limnológicos de sistemas cársticos (cenotes)", en L. Mejía-Ortiz (ed.). *Biodiversidad acuática de la isla de Cozumel*. México: Plaza y Valdés, 349-359.
- y L. Coronado-Álvarez (2007). "Evaluación del potencial pesquero de cenotes de Quintana Roo, una aproximación metodológica". *Teoría y Praxis*, 4, 37-46.
- , M. Elías-Gutiérrez y E. Suárez-Morales (2002). "Limnological and Morphometrical Data of Eight Karstic Systems 'Cenotes' of the Yucatan Peninsula, Mexico, during Dry Season (February-May 2001)". *Hydrobiologia*, 482 (1-3), 167-177.
- Elías-Gutiérrez, M., et al. (2007). "Los cenotes y lagunas del centro y sur de la Península de Yucatán", en G. de la Lanza Espino (comp.). *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*. México: AGT Editor, 423-446.
- (2008). *Cladóceros y Copépodos de las aguas continentales de México*. México: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)/Consejo Nacional



- de Ciencia y Tecnología (Conacyt).
- Flint, R. (2004). "The Sustainable Development of Water Resources". *Water Resources Update*, 127, 41-51 [en línea]. Disponible en: <http://www.ucowr.siu.edu/updates/127/Flint.pdf> [2010, 12 de octubre].
- Frausto, O. y M. Welch (2008). "Monitoring of the Habitat Agenda in Mexico: the Local Urban Observatory". *Transactions on Ecology and the Environment*, 117, 175-182.
- , Ihl, T., Cervantes (2010). "Vulnerabilidad a la inundación en las formas exocarsticas del noreste de la península de Yucatán". *II Seminario Iberoamericano de Geografía Física*. Mayo de 2010, Universidad de Coimbra, Portugal. <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/ind3>
- , T. Ihl y J. Rojas (2006). "Acceso a agua potable: indicador clave de desarrollo humano". *Teoría y Praxis*, 2, 171-180.
- , T. Ihl y J. Tun (2008). "Retos y perspectivas de los observatorios urbanos locales del sureste de México", en C. Garrocho y J.A. Álvarez (eds.). *Observatorios urbanos en México: Lecciones, propuestas y desafíos*. México: El Colegio Mexiquense, 92-114.
- , et al. (2006). "Áreas susceptibles a riesgo en localidades de pobreza extrema en el sur de Yucatán". *Teoría y Praxis*, 2, 87-103.
- , (2008). "Groundwater Quality Monitoring on Northeast Yucatan Peninsula, Mexico". *Florida. 20<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting*, 80-83.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (1987). *Enciclopedia de los municipios de México. Tomo: Los municipios de Quintana Roo*. México: Centro Nacional de Estudios Municipales de la Secretaría de Gobernación.
- Goldacker, S., et al. (2005). "Identification of Areas at Risk of Flooding in the South of the Yucatan Peninsula, Mexico", en E. Kauffer (ed.). *El agua en la frontera México-Guatemala-Belice*. México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (Unicach)/Ecosur, 483-496.
- Grambow, M. (2008). *Wassermanagement: Integriertes Wasserressourcenmanagement von der Theorie zur Umsetzung*. Alemania: Vieweg.
- Gutiérrez-Aguirre, M. A. y A. Cervantes-Martínez (2006). "Distribución de las especies de *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida) en el sureste mexicano y región Norte de Guatemala". *Hidrobiológica*, 16, 259-265.
- (2008a). "Cladóceros y copépodos dulceacuícolas", en L. Mejía-Ortiz (ed.). *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel*. México: Plaza y Valdés.



- , (2008b). *Estudio geohidrológico del norte de Quintana Roo, México*. México: UQROO/Conacyt.
- , y E. Suárez-Morales (2001). "A New Species of *Mesocyclops* (Copepoda, Cyclopoida, Cyclopidae) from Southeastern Mexico". *Journal of Limnology*, 60, 143-154.
- , A. Cervantes-Martínez y L. Coronado-Álvarez (2008). "Limnology of Groundwater Exposures with Urban Influence in Cozumel Island, Mexico". *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 30, 493-496.
- , J. W. Reid y E. Suárez-Morales (2003). "An Afro-Asian Species of *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoida) in Central America and Mexico". *Journal of Crustacean Biology*, 23, 352-363.
- Herrera-Silveira, J. A. (2006). "Lagunas costeras de Yucatán (SE México): Investigación, diagnóstico y manejo". *Ecotrópicos*, 19, 94-108.
- , y F.A. Comín (2000). "An Introductory Account of Types of Aquatic Ecosystems of Yucatan Peninsula (SE Mexico)", en M. S. Manunawar, I. F. Lawrence y D. F. Malley (eds.). *Aquatic Ecosystems of Mexico Status y Scope*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Ihl, T. y O. Frausto (2008). "Estructura del sistema de información geográfica del estudio geohidrológico y evaluación de fuentes contaminantes del acuífero norte de Quintana Roo, México", en M.A. Gutiérrez y A. Cervantes-Martínez (comps.). *Estudio geohidrológico del norte de Quintana Roo, México*. México: Conacyt/UQROO, 59-66.
- Ihl, T., et al. (2007). "Identification of Geodisasters in the State of Yucatan, Mexico". *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 246, 299-311.
- Lugo-Hubb, J., J. F. Aceves-Quesada y R. Espinasa-Pereño (1992). "Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán". *Revista del Instituto de Geología*, 10 (2), 143-150.
- Matthes, L. (2008). "Analysis and evaluation of ground and surface water quality and groundwater flow in the northern aquifer of Quintana Roo, Mexico", en: Gutiérrez-Aguirre, M. y A. Cervantes Martínez (comps.). *Estudio geohidrológico del norte de Quintana Roo, México*, México: UQROO, 67-107.
- Matthes, L., U. Tröger y O. Frausto (2006). "Dynamik der Salz-Süßwasser-Grenzschicht durch Übernutzung des Grundwasserleiters von



- Cozumel, Mexiko”, en H. Voigt (ed.). *Indikatoren in Grundwasser, Conference of Hydrogeology Section, SDGG 2006*. Hannover, 43, 92.
- Poot-López, G., et al. (2008). “Differences in Reproductive Seasonality of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* from Three Cenotes (Sinkholes)”. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 85-90.
- Schmitter-Soto, J. J., E. Escobar-Briones, J. Alcocer, E. Suárez-Morales, M. Elías-Gutiérrez y L. E. Marín (2002). “Los cenotes de la Península de Yucatán”, en: De la Lanza-Espino, G. y J. L. García Calderón (comps.). *Lagos y presas de México*. México: AGT, 337-381.
- Scholz, A. y O. Frausto (2006). “Hydrogeochemie und anthropogene Einflüsse auf das Grundwasser von Cozumel, Mexico”, en H. Voigt (ed.). *Indikatoren in Grundwasser*. Hannover: Schriftenreihe del DGG, 129-143.
- Serageldin, I. (1995). “Promoting Sustainable Development: Toward a New Paradigm”, en I. Serageldin y A. Steer. *Valuing the Environment: Proceedings of the First Annual International Conference on Environmentally Sustainable Development held at the World Bank, Washington, D. C., September 30-October 1, 1993*. Washington: World Bank, 12-23.
- Steinich, B. y L. E. Marín (1997). “Determination of Flow Characteristics in the Aquifer of the Northwestern Peninsula of Yucatan, Mexico”. *Journal of Hydrobiology*, 191, 315-331.
- Suárez-Morales, E., et al. (1996). *Catálogo de los copépodos (Crustacea) continentales de la Península de Yucatán, México*. México: Conabio/Ecosur.
- Toman, M. (2007). “Utilization of Knowledge Management and Information Technologies Theory in Water Resources Management”, en C. A. Brebbia y A. Kungolos (eds.). *Water Resources Management*. UK: WIT Press, 667-677.
- Tun, J., O. Frausto y T. Ihl (2007). “Indicadores de desarrollo humano del destino turístico de Cozumel (2000-2005): seguimiento de los ODM al año 2005”, en C. Silva y A. Iracheta (comps.) *El futuro de las ciudades y el turismo*. México: El Colegio Mexiquense/Universidad del Caribe, 265-284.