

# Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos

Francisco J. Abarca\*

## Introducción

La necesidad de detectar los cambios que ocurren en el medio ambiente, causados de manera natural o por la actividad humana, se ha incrementado drásticamente en los últimos 50 años. Con el crecimiento de las fronteras urbanas, agrícola-ganaderas, forestales, pesqueras, mineras e industriales, hemos pasado de una época en la cual era posible localizar la fuente principal de contaminación o disturbio en un tiempo razonablemente corto, a una en la que los efectos de cambio pueden sentirse o detectarse a miles de kilómetros de distancia del lugar de origen y con consecuencias significativas a través de generaciones (calentamiento global, desertificación, lluvia ácida, especies invasoras, entre otros). Las sinergias entre los factores naturales y artificiales, autóctonos o externos, o entre los bióticos y abióticos, aunadas a los costos cada vez mayores, hacen que los programas de monitoreo ecológico requieran una mejor planeación, ejecución, análisis, almacenamiento de datos y comunicación a los usuarios y autoridades de cada país o región.

El tema de monitoreo ecológico ha sido abordado por numerosos autores en diferentes áreas geográficas y con distintos enfoques (Spellberg, 1991; Chapman, 1992; Loeb y Spacie, 1994; Mudrock y MacKnight, 1994; Asociación Americana de Salud Pública — APHA por sus siglas en inglés— 1995; Díaz *et al.*, 1995; López y Guzmán, 1995; Shear, 1995; Bain y Stevenson, 1999; De la Lanza, 2000; Environmental Protection Agency —EPA por sus siglas en inglés— 2002a; Attrill, 2002). En la mayoría de los casos, el monitoreo ecológico se ha concentrado en medir la calidad ambiental en aire y agua. Sin embargo, en materia de humedales, los esfuerzos serios por establecer lineamientos y directrices para programas de monitoreo han sido relativamente recientes (Convención Ramsar 1995, 1996, 2004 y 2005). Más aún, hasta hace poco se ha cambiado el enfoque de medir meramente la calidad de agua por uno que mida la integridad ecológica del humedal.

El propósito de este capítulo es ofrecer de manera práctica una orientación a los manejadores y administradores de humedales en México sobre el proceso de planeación e implementación de programas de monitoreo básicos. Dada la diversidad en climas, zonas fisiográficas y condiciones geológicas que existen en México y que reflejan la variedad y complejidad de los humedales en el país, no es posible cubrir en

---

\* Arizona Game and Fish Department, 2221.  
West Greenway Road, Phoenix, Arizona 85023.  
Correo-e: fabarca@azgfd.gov.

una sola obra todas las variantes y situaciones que pueden presentarse al monitorear estos sistemas. Sin embargo, se espera que las ideas aquí presentadas sean útiles para la reflexión y consideradas para el diseño e implementación de programas efectivos de monitoreo de humedales en México. Para fines de este capítulo, se usa el término humedal conforme a la Convención de Ramsar.

La información contenida en este documento procede de experiencias propias manejando y evaluando humedales interiores y costeros y también se basa en el *Manual de conservación y manejo de los humedales de México*, coeditado por F. J. Abarca y M. Herzig (2002).

### Definición y tipos de monitoreo

Spellerberg (1991) define el monitoreo como “las observaciones sistemáticas de parámetros relacionados con un problema específico, diseñadas de tal manera que nos provean información sobre las características del problema a tratar y sus cambios a lo largo del tiempo”.

En una acepción más restringida, Shear (1995) menciona que monitoreo es “la colección, análisis e interpretación rutinaria de datos físicos, químicos y biológicos en un sitio definido, a lo largo de un período dado y con una frecuencia de muestreo establecido”.

Por su parte, Roni (2005) lo define como “la evaluación sistemática de algo, con el propósito de coleccionar datos para responder a objetivos específicos”.

Puesto de manera más sencilla, el monitoreo es determinar qué está cambiando y por qué. En ecología se usa el término monitoreo como sinónimo de las acciones para detectar un cambio en los parámetros físicos, químicos o biológicos. MacDonald *et al.* (1991) y Roni (2005) definen varios tipos de monitoreo de humedales (Tabla 1).

El uso de los términos “inventariado”, “evaluación” y “monitoreo” es a veces confuso por la manera en que muchos autores lo utilizan. Por ejemplo, lo que los autores anteriores llaman “Monitoreo base”, puede también llamarse “inventariado”, o bien “Monitoreo del estado o condición” prácticamente es lo mismo que decir “evaluación”. Más aún, el monitoreo en un sentido riguroso debe responder a objetivos muy

TABLA 1. TIPOS DE MONITOREO DE HUMEDALES

TIPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Monitoreo base	Caracterización de la biota existente y de las condiciones físicas y químicas para propósitos de planeación o comparación futura.	Presencia-ausencia de peces, su distribución, entre otros.
Monitoreo del estado o condición	Caracterización de la condición (variabilidad espacial) de los atributos físicos o biológicos en un área dada.	Abundancia de peces, en un tiempo dado y en una cuenca específica.
Monitoreo de la tendencia	Evaluación de los cambios en la biota o las condiciones del ecosistema a través del tiempo.	Tendencias temporales en la abundancia de peces.
Monitoreo de implementación (administrativo)	Evaluación si el proyecto fue implementado como se planeó.	¿El responsable del proyecto plantó el número y tamaño de plantas como lo marca el plan?
Monitoreo de la efectividad de una acción	Evaluación para saber si las acciones tuvieron el efecto esperado en una cuenca, procesos físicos o en el hábitat.	¿Se incrementó el área de una represa?
Validación (investigación)	Evaluación sobre si la hipótesis es válida respecto a la relación causa-efecto entre las acciones de restauración y la respuesta obtenida (física, química o biológica).	¿El cambio en el área de la represa condujo al cambio deseado en la comunidad de peces o su abundancia?

claros, y frecuentemente puede incluir la formulación de una hipótesis, por lo que en estos casos las distinciones entre monitoreo e investigación no son del todo claras.

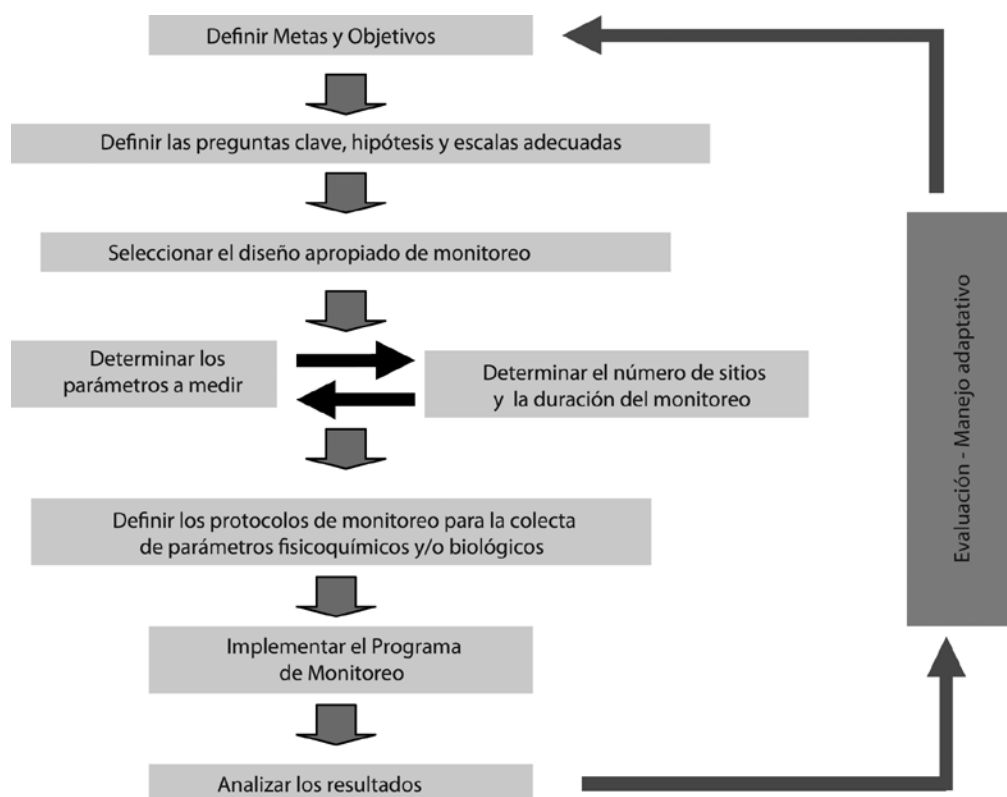
### Entender el concepto programa de monitoreo como un proceso

Las razones por las que se establece un programa de monitoreo son muy diversas; algunas de ellas obedecen a motivos con fines científicos, regulatorios, de demanda social, o por el posible efecto en la salud humana. El concepto de monitoreo no debe entenderse como una mera actividad repetitiva por sí sola, sino como un proceso con propósitos y objetivos específicos y con mecanismos de análisis y retroalimentación que permitan mejorar y adaptar este proceso a las necesidades futuras (Spellberg, 1991). Estos componentes de retroalimentación y ajuste también se conocen como manejo adaptativo. Los elementos esenciales en un monitoreo son los que se muestran en la Figura 1.

A este esquema podemos adicionar dos pasos más, elaboración de reporte y comunicación de resultados, los cuales también pueden servir para una retroalimentación que pueda mejorar el proceso de monitoreo. Aunque no aparece de manera explícita, en el esquema anterior el análisis de resultados incluye el adecuado almacenamiento de las bases de datos producto del monitoreo. En todo momento debe existir un mecanismo y persona encargada del control de calidad, tanto de los protocolos de monitoreo como de la información que se incluya en la base de datos.

No está de más resaltar la necesidad de establecer objetivos claros, ya que no hacerlo tendrá consecuencias graves en todo el proceso, incluyendo el costo del monitoreo, el protocolo y la cantidad de datos obtenidos. Con frecuencia existe la concepción errónea de que mientras más datos se tengan, mejor. Si la cantidad de datos no obedece al propósito y objetivos del monitoreo, entonces su obtención será un desperdicio de esfuerzo, tiempo y dinero.

FIGURA 1. ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL MONITOREO



Idealmente, el monitoreo de humedales debe estar enmarcado en un programa interdisciplinario, en el cual se reconozcan las fronteras y limitaciones del tipo de actividades y resultados que los administradores y manejadores de recursos naturales, investigadores y el público en general pueden obtener. Dependiendo del tipo de hábitat de que se trate, el monitoreo de humedales debe incluir un equipo de profesionistas en diferentes campos de la ciencia y la gestión como:

- § Limnología/oceanografía
- § Biología y ecología de comunidades vegetales, animales y microorganismos
- § Análisis fisicoquímicos
- § Computación, bases de datos y sistemas de información geográfica
- § Estadística/sociología/economía
- § Leyes, reglamentos y normas, planes y ordenamientos regionales
- § Manejo integral de cuencas/manejo integral costero
- § Hidrología/hidráulica/aguas subterráneas
- § Planeación y comunicación

### *Monitoreo y cuencas hidrológicas*

Para diseñar un programa de monitoreo necesitamos entender la estructura y función a escala de la cuenca correspondiente, así como las actividades humanas que la afectan y que determinan el “estado de salud” de la misma.

Las cuencas hidrológicas son dinámicas y muestran grandes variaciones temporales y espaciales. Las cuencas presentan períodos naturales de perturbación, como pueden ser inundaciones, sequías o fuegos, que pueden alterar la estructura del hábitat y establecer un nuevo equilibrio dentro de la cuenca. Las actividades humanas frecuentemente afectan también a cada cuenca, en formas a veces muy complejas y sinérgicas. Un buen programa de monitoreo (y restauración) necesita distinguir entre los procesos naturales y aquellos causados por el hombre.

Los procesos ecológicos en una cuenca operan a diversas escalas y dimensiones. Ward (1989) propuso cuatro dimensiones en los sistemas de ríos y la conexión de éstas a escala de paisaje:

- 1) Longitudinal: aquella que se considera en dirección ya sea río abajo o río arriba.
- 2) Lateral: aquella en dirección hacia la planicie de inundación y tierras arriba.
- 3) Vertical: aquella que va desde el subsuelo (manto freático) hacia las zonas ribereñas.
- 4) Temporal: aquella que ocurre a lo largo del tiempo, afectando a las tres primeras.

Como resultado de las acciones antropogénicas, en muchas cuencas varias de estas dimensiones se han perdido o modificado. La conectividad espacial y temporal debe conservarse (o restaurarse) para mantener un sistema saludable y productivo.

### **Inventariado, evaluación y monitoreo**

Idealmente, los monitoreos parten de una serie de datos previos que han caracterizado al humedal en sus aspectos básicos, de tal manera que se puedan comparar las condiciones de cambio actuales con las originalmente obtenidas en muestreos base o inventariados. Sin embargo, la situación sobre inventariados, clasificaciones y programas de monitoreo entre los tres países de Norteamérica es muy desigual (Davidson *et al.*, 1999).

Warner (2002) señala que las clasificaciones de humedales sirven para cuatro propósitos básicos: 1) a los especialistas y a los principiantes proporcionarles en la materia, un marco de referencia taxonómico y terminológico de fácil comprensión acerca de los conceptos relacionados con dichos ecosistemas; 2) ofrecer un punto de partida para definir y reconocer a los humedales en el paisaje; 3) contener los términos comunes y los estándares requeridos para los inventarios de humedales, su cartografía y la regionalización de las zonas de humedal; y 4) ordenar a los humedales en un sistema de fácil acceso para propósitos científicos, legislativos, de manejo y conservación (Mitsch y Goselink, 2000; Scott y Jones, 1995).

### *Situación en los Estados Unidos de América*

En el caso de los Estados Unidos de América, la información sobre inventariado de humedales ha sido completada casi en su totalidad para cada estado. La

agencia de gobierno encargada de coordinar la tarea nacional es el U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) el cual tiene información estandarizada por estado que incluye, entre otras cosas, descripción de los humedales, tipos, función, valor, distribución, forma, jurisdicción y estado de la conservación del lugar. El sistema oficial de clasificación de humedales de los EE.UU. es el desarrollado por Cowardin *et al.* (1979), que tiene como propósito asignar un tipo de humedal a una categoría específica dentro de un sistema jerárquico, basado en interpretación de fotografía aérea y/o de observaciones a nivel de campo. Este sistema incorpora el concepto de “aguas profundas” a fin de diferenciarlo del concepto “humedales”. Además, el grado de consistencia y objetividad alcanzado con este sistema es muy alto, lo cual permite a cualquier persona, con cierta experiencia en este tema, proponer la misma asignación que un experto en humedales. La ventaja de utilizar este sistema de clasificación es su aplicación generalizada en cualquier sistema y su posible regionalización de acuerdo con las características específicas. La desventaja de este sistema es la cantidad de trabajo y costo involucrado y la dificultad del uso práctico de la terminología para el público en general y, en algunos casos, incluso para la parte administrativa encargada del recurso.

El sistema de clasificación de Cowardin *et al.* (1979) define cinco grandes sistemas (marino, estuarino, fluvial, lacustre y palustre) bajo una estructura jerárquica de acuerdo con las siguientes definiciones:

1. *Marino*. Océano abierto sobre la plataforma continental.
2. *Estuarino*. Ambiente mareal, profundos o someros, con acceso al mar de manera esporádica o parcialmente obstruido, y que por lo menos ocasionalmente recibe escurrimientos de agua dulce.
3. *Fluvial (riverine)*. Ambiente contenido dentro de un canal más o menos profundo, con dos condiciones: la salinidad no debe exceder 0.5 ppm y no incluye humedales dominados por árboles, arbustos o emergentes perennes.
4. *Lacustre*. Humedal situado en una depresión topográfica (canal o depresión represada), cuya vegetación arbórea, arbustiva o de emergentes perennes no cubra más del 30% del área, y que tenga una superficie total mayor a 8 hectáreas. Se incluyen en esta categoría los menores de 8 ha cuando la parte más profunda exceda los 2 m (durante el período de aguas más bajas) o cuando exista un litoral activo formado por el oleaje como límite del humedal.
5. *Palustre*. Humedal que no recibe la influencia de las mareas, dominado por árboles, arbustos y/o emergentes perennes. También se incluyen en esta categoría los humedales que no tienen una cubierta de vegetación como la descrita, pero que presentan todas las características siguientes: su área es menor de 8 ha, la profundidad mayor es menor de 2 m, no tienen un litoral activo formado por el oleaje y su afectación por el régimen de mareas no debe producir una salinidad mayor a 0.5 ppm.

De esta categorización general se pasa a subsistemas, clases, subclases y tipos. También, es posible determinar los límites entre uno y otro sistema y describir sus características en cuanto al tipo de plantas (hidrófitas), sustrato y frecuencia de inundación, a fin de poderlos diferenciar tipológicamente. Una vez alcanzado el nivel de tipos, el usuario puede incluir categorías secundarias que describan con mayor precisión el tipo de vegetación, la química del agua, origen (natural o artificial) o algún otro dato de referencia que sea conveniente. De esta manera, este sistema puede llegar a tener más de 100,000 combinaciones diferentes para describir a los humedales.

Es importante entender que este sistema no está diseñado para representar las diferencias entre humedales que pueden estar en términos de su función, es decir, como importadores o importadores/exportadores de energía. Esta función puede estar asociada a otros indicadores del hábitat como son el tamaño y forma de la cuenca, la posición y condición con respecto a otros humedales, usos de la tierra, tipos de paisajes alrededor y gradientes ecológicos (WWE, 1992).

### *La situación en Canadá*

Aunque Canadá tiene un gran porcentaje de los humedales del mundo, no existe un inventariado nacional debido al gran tamaño que tiene el país y a

lo inaccesible de muchas áreas, sobre todo en el norte. Sin embargo, en el ámbito regional y provincial existe gran cantidad de información, no así para los territorios. En Canadá, las provincias y las organizaciones no gubernamentales son los principales actores para sostener este esfuerzo de inventariado.

Canadá tiene una muy buena catalogación de sitios de importancia para las aves acuáticas migratorias, y cuenta con un sistema de clasificación mucho más simplificado que los EE.UU. El sistema de clasificación de humedales canadiense contiene tres niveles jerárquicos: 1) clase, 2) forma, y 3) tipo (Warner y Rubec, 1997). Hay cinco clases reconocidas para este sistema; y están basadas en el desarrollo y origen del humedal:

1. Turbera (*bog*)
2. Turbera minerotrófica (*fen*)
3. Pantano (*swamp*)
4. Marismas/Ciénagas (*marsh*)
5. Aguas someras (*shallow waters*)

Cada clase se subdivide a su vez en formas (75 en total), las cuales se diferencian con base en la morfología y los patrones de superficie, el tipo de agua y la naturaleza del suelo mineral o la roca madre subyacentes. Por último, las clases se subdividen en tipos, que se diferencian con base en la estructura de la vegetación. Pueden encontrarse detalles adicionales acerca de la clasificación de humedales del Canadá en el trabajo del Grupo nacional de trabajo sobre humedales (Nacional Wetlands Working Group, 1988) y en Warner y Rubec (1997). El sistema de Cowardin *et al.* tiene una aplicación limitada en Canadá, ya que la mayoría de los humedales en ese país son turberas y, de acuerdo con Zoltai (1995), el sistema en los EE.UU. está diseñado para humedales que no son predominantemente turberas, de tal manera que 96% de los humedales del Canadá corresponderían a la categoría de sistemas palustres, dejando poco espacio para la diferenciación de clases.

### *La situación en México*

En el caso de México la información es altamente fragmentada y no se cuenta aún con un inventariado nacional, aunque recientemente se ha iniciado un pro-

ceso de planeación para llevar a cabo un inventariado nacional de humedales con la participación de la CONAFOR, CONANP, CNA, CONABIO, INE, instituciones académicas y expertos del país.

A nivel nacional, vale la pena mencionar el esfuerzo que instituciones como el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), diversas gerencias de la misma CNA y, más recientemente, la CONANP (impulsando fuertemente la designación de sitios Ramsar en México), han realizado por caracterizar e inventariar los cuerpos de agua interiores y costeros de México (CNA, 1998, 1998b y 2005; De la Lanza, 2002).

A nivel regional, Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC) ha realizado una importante labor de liderazgo en las labores de inventario y clasificación de humedales en varias partes del país. La primera publicación de esta serie *Inventario y clasificación de humedales en México: Parte I* (Carrera y de la Fuente, 2003) ya está disponible y corresponde al noroeste del país ([www.dumac.org](http://www.dumac.org)). De igual manera, es importante resaltar los trabajos del Instituto de Ecología A.C. y Pronatura A.C. en sus capítulos Chiapas, Noreste, Noroeste, Yucatán, Veracruz, Conservación Internacional, ENDESU, Proesteros, y el mismo USFWS para el inventariado de ciertos humedales de importancia internacional y, sobre todo, como sitios de invernación para aves acuáticas migratorias. En muchos casos, estos esfuerzos han sido posibles gracias al apoyo financiero otorgado por el Acta de conservación de humedales de Norteamérica, (NAWCA por sus siglas en inglés) la cual fue creada en 1989 para dar apoyo al cumplimiento de los objetivos del Plan norteamericano de aves acuáticas migratorias (NAWMP por sus siglas en inglés), establecido en 1989 y del cual México es un socio activo desde 1994. Bajo otro esquema, la Red hemisférica de sitios para aves playeras (WHSRN por sus siglas en inglés) también ha contribuido a la caracterización de varios humedales importantes en México ([www.whsrn.org](http://www.whsrn.org)). En cuestión de programas de monitoreo de ecosistemas acuáticos, es importante resaltar el esfuerzo de grupos de trabajo de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, el Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y la propia Comisión Nacional

del Agua, a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (Díaz y Soto, 1995; López y Guzmán, 1995; De la Lanza, 2002).

Lot y Novelo (1990) y Olmsted (1993) han aportado los intentos más serios para sintetizar lo que se conoce de los tipos de humedales mexicanos. Estas publicaciones dejan en claro que la mayor atención se ha concentrado a lo largo de los humedales costeros. Olmsted (1993) hizo uno de los primeros intentos por utilizar sistema de Cowardin *et al.* (1979) para los humedales de México. Olmsted (1993) modifica el sistema de Cowardin *et al.* (1979) para adecuarlo a las condiciones de los humedales del sureste de México. En este caso, los sistemas asociados con cursos fluviales son incluidos en la categoría de estuarinos y palustres, argumentando que no existe una descripción de ríos en la literatura disponible que contenga los elementos de Cowardin *et al.* Sin embargo, para aplicar en México este sistema al nivel de subclases y tipos y particularmente a las condiciones de la Península de Yucatán, será necesario realizar adecuaciones con base en una información más específica de los humedales del país, la cual aún no se encuentra disponible.

Un aspecto poco desarrollado en México es promover la participación comunitaria y voluntaria de personas que, sin tener una preparación profesional pero con un interés muy fuerte por la conservación del medio ambiente, pueden contribuir a lograr los programas de monitoreo. Tanto en los EE.UU. como en Canadá existen redes y programas bien establecidos para diferentes regiones, con metodologías estándar y relativamente sencillas, que el ciudadano común puede entender y aplicar de manera adecuada. Hay que considerar que el tipo de datos que colecta una persona en estas circunstancias puede tener validez científica, siempre y cuando exista la participación de una persona o grupo con el entrenamiento y educación adecuados, para asegurar que se sigan los protocolos y que exista un control de calidad durante el proceso. Estas redes de monitoreo voluntario pueden funcionar como un esfuerzo de “alerta temprana” de la salud del sistema e incrementan el esfuerzo y cobertura de algún programa de monitoreo que, de otra manera, las instituciones académicas o dependencias gubernamentales no podrían cubrir. Hoy en día existen aparatos de toma

de datos y equipo práctico de análisis de agua, económicamente muy accesibles, lo que permite que estos programas sean mucho más viables que hace 10 ó 20 años. A largo plazo, los beneficios de la participación ciudadana se traducen en la aportación en especie (tiempo de cada persona), que representa miles de pesos, y mantiene el interés por conservar los recursos acuáticos de los cuales depende la sociedad.

### **Consideraciones generales sobre inventariado, evaluación y monitoreo, recomendadas por la Convención Ramsar**

Desde el año 2002, el Grupo de Examen Científico y Técnico (GECT) de la Convención Ramsar ha venido desarrollado importantes recomendaciones y directrices para que los países miembros puedan entender la relación, así como la diferencia que existe entre los conceptos y procesos de evaluación rápida, inventariado, evaluación y monitoreo. Por lo tanto, aquí se incluyen los aspectos más relevantes de estas definiciones y recomendaciones, algunas de ellas discutidas durante la Conferencia de las Partes de la Convención en noviembre del 2005. Para mayor información y actualización, se recomienda consultar la página de Ramsar en internet ([www.ramsar.org](http://www.ramsar.org)).

*Evaluación rápida:* una evaluación sinóptica, que a menudo se lleva a cabo de manera urgente, en el menor tiempo posible, para producir resultados aplicables y fiables, con un propósito definido.

*Inventario:* recolección y/o reunión de información básica para la gestión de los humedales, incluido el establecimiento de una base de información para actividades de evaluación y monitoreo específicas.

*Evaluación:* determinación del estado de los humedales y de las amenazas que pesan sobre ellos, como base para reunir información más específica mediante actividades de monitoreo.

*Monitoreo:* reunión de información específica a largo plazo, atendiendo a hipótesis derivadas de actividades de evaluación, y aplicación de estos resultados de monitoreo a las actividades de gestión.

Para lograr la conservación y el uso racional de los humedales, en línea con los compromisos delineados en la Convención de Ramsar, se necesita:

- a) Establecer la ubicación y las características ecológicas de los humedales (inventario de referencia);
- b) evaluar el estado y las tendencias de los humedales y las amenazas que enfrentan (evaluación);
- c) monitorear el estado y las tendencias, incluida la identificación de disminuciones en las amenazas existentes y la aparición de nuevas (monitoreo), y
- d) emprender acciones (tanto *in situ* como *ex situ*) para corregir los cambios que provocan o pueden provocar cambios en las características ecológicas (manejo).

El criterio y el alcance de las actividades de inventario, evaluación y monitoreo, como componentes separados del proceso de manejo, son sustancialmente diferentes, pero en los proyectos de ejecución no siempre se los distingue correctamente.

Es importante señalar que la información necesaria para el inventario y el monitoreo de humedales es diferente. Si bien el inventario de los humedales sienta las bases para guiar la preparación de una evaluación y un monitoreo adecuados, la mera repetición de los inventarios en plazos determinados no necesariamente constituye un monitoreo.

Esencialmente, el inventario (de referencia) de humedales se utiliza para reunir información que describa las características ecológicas de los humedales; la evaluación considera las presiones y los riesgos conexos de los cambios negativos en las características ecológicas; y el monitoreo, que puede incluir tanto estudios como reconocimiento, brinda información sobre la cuantía de los cambios. Las tres son actividades de reunión de datos importantes e interactivas, que se deben considerar elementos vinculados de este marco integrado general que, cuando se pone en práctica, permite identificar los rasgos fundamentales de los humedales. Tomadas en conjunto, proporcionan los datos necesarios para formular estrategias e intervenciones normativas y de manejo para mantener el carácter definido del ecosistema de humedales y, por tanto, los servicios de los ecosistemas (Ramsar, 2005). Sin embargo, en la práctica es difícil establecer una distinción entre inventario y evaluación, y en muchos proyectos y actividades descritas como inventario de

humedales se incluyen también elementos propios de la evaluación del estado en que se encuentran estas áreas y las presiones y amenazas de que son objeto.

La evaluación de humedales, así como el inventario y el monitoreo, se pueden llevar a cabo a escalas espaciales distintas, utilizando (diferentes) técnicas adecuadas para cada uno. Siempre que sea posible, se debe elaborar y realizar un programa integrado del inventario, la evaluación y el monitoreo, orientados hacia una única escala (la que resulte apropiada). Esto se podrá conseguir cuando se planifique y lleve a cabo un análisis integrado que englobe los componentes del inventario, la evaluación y el monitoreo. Sin embargo, estos componentes normalmente se planifican o se abordan de forma separada. La evaluación se debería realizar a una escala que sea compatible con la escala de la información contenida en el inventario de los humedales. El monitoreo posterior también debería llevarse a cabo a una escala compatible con la de la evaluación.

Dado que hablamos de una evaluación y/o monitoreo, se supone que queremos evaluar algún cambio en uno o más de los siguientes componentes del sistema (Ramsar, 1996):

- Los atributos de un humedal incluyen: diversidad biológica así como características culturales y patrimoniales únicas. Estos atributos pueden conducir a ciertos usos o a la obtención de productos particulares, pero también pueden tener una importancia intrínseca y no cuantificable.
- Los procesos son cambios o reacciones que tienen lugar de forma natural en los ecosistemas de humedales. Pueden ser físicos, químicos o biológicos.
- Las funciones son actividades o acciones de mayor nivel, que tienen lugar de forma natural en los humedales como resultado de las interacciones entre la estructura y los procesos del ecosistema. Las funciones abarcan acciones como la regulación de las crecidas; la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; el mantener la cadena trófica; la estabilización de orillas y control de la erosión; la protección contra las tormentas y la estabilización de las condiciones climáticas locales, en particular la lluvia y la temperatura.

- Los valores son los beneficios percibidos por la sociedad, tanto directos como indirectos, que resultan de las funciones de los humedales. Estos valores incluyen el bienestar humano, la calidad ambiental y el albergar vida silvestre.
- Los productos generados por los humedales incluyen: recursos de vida silvestre, pesca, recursos forestales, forrajes, recursos agrícolas, y abastecimiento de agua. Estos productos son generados por las interacciones entre los componentes biológicos, químicos y físicos del humedal.

En su Resolución 6.1, la Convención Ramsar propone un diagrama descriptivo (Tabla 2) para establecer un programa de monitoreo de un humedal. Este diagrama no es una receta obligatoria para ningún programa de este tipo. Simplemente establece una serie de pasos, en secuencia lógica, que pueden ser utilizados y adaptados por manejadores/administradores y planificadores de humedales, que trabajan junto con los usuarios y manejadores locales, para diseñar un programa de monitoreo basado en sus circunstancias y necesidades particulares. Bajo este esquema, es necesaria la retroalimentación, de modo que haga posible la evaluación de la efectividad del programa de monitoreo para el logro de sus objetivos.

### **Nociones básicas sobre los parámetros fisicoquímicos**

En México, la calidad del agua se monitorea de manera sistemática desde 1973 a través de la Red Nacional de Monitoreo (RNMCA) de la CNA, en aguas superficiales epicontinentales, costeras y subterráneas. Para cumplir con los objetivos de diseño, la RNMCA ha establecido en los principales cuerpos de agua y en las principales zonas de impacto sobre el recurso diferentes componentes. En el año 2004, la RNMCA contaba en su red primaria con 379 estaciones permanentes, de las cuales 210 se ubicaban en cuerpos de agua superficiales, 42 en zonas costeras y 127 en acuíferos. En la red secundaria (control de la contaminación) se tenían 283 estaciones semifijas o móviles, de las cuales 232 estaban localizadas en aguas superficiales, 21 en zonas costeras y 30 en aguas subterráneas. Los estudios especiales (componente específico) tienen

208 estaciones para este año, de las cuales 85 estaban localizadas en aguas superficiales, 47 en zonas costeras y 76 en aguas subterráneas. Finalmente, la red de referencia (naturaleza geohidrológica de los acuíferos) contaba con 117 sitios (CNA, 2005). Además de los parámetros fisicoquímicos, la CNA realizó en el 2004 un monitoreo biológico (índice de diversidad con organismos bentónicos) en 6 gerencias regionales de la CNA, con un total de 135 muestreos.

Como una herramienta para evaluar la calidad del agua, se ha calculado el Índice de Calidad del Agua (ICA). El ICA se calcula a partir de una ponderación de 18 parámetros fisicoquímicos, entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto, coliformes, fosfatos, pH, sólidos suspendidos, etc. El índice toma valores en una escala de 0 a 100% conforme la siguiente clasificación:

- § ICA mayor a 90: Excelente
- § ICA mayor a 70 y menor o igual a 90: Aceptable
- § ICA mayor a 50 y menor o igual a 70: Contaminada
- § ICA mayor a 20 y menor o igual a 50: Fuertemente contaminada
- § ICA menor o igual a 20: Inaceptable

Para mayor información sobre cómo calcular el ICA, se recomienda consultar la página web de la CNA ([www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)).

Una de las mayores preocupaciones de los gobiernos de todo el mundo es el efecto de eutrofización, que es el proceso de acumulación de nutrientes, sedimentos y material orgánica provenientes de la cuenca hidrológica, principalmente provocado por acciones humanas sin control. Este proceso involucra cambios físicos y químicos en las aguas, por lo cual deben medirse factores fisicoquímicos relevantes.

Para entender mejor los parámetros fisicoquímicos comúnmente utilizados en la evaluación de la calidad del agua, describiremos brevemente cuáles son y su importancia para el ecosistema o su posible efecto en el ser humano. Vale la pena remarcar que esta descripción básica está enfocada hacia un programa de monitoreo de calidad de agua y no incluye todos los parámetros que en un momento el manejador de humedales necesitara para desarrollar un monitoreo

TABLA 2. DIAGRAMA DESCRIPTIVO CON LOS COMPONENTES NECESARIOS PARA ESTABLECER UN PROGRAMA DE MONITOREO DE UN HUMEDAL (RAMSAR, 2005)

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DEL PROPÓSITO Y CONSIDERACIONES DE CADA COMPONENTE
Descripción del problema	§ Definir claramente el problema sin ambigüedades.
	§ Indicar el alcance conocido del problema/cuestión y su causa más probable.
	§ Identificar la situación básica original o de referencia.
Objetivo	§ Sirve de base para la recopilación de la información.
	§ Debe ser posible lograrlo en un plazo razonable.
Hipótesis	§ Supuesto que permite comprobar la validez de los objetivos.
	§ Sirve de fundamento para el objetivo propuesto y puede ser comprobada.
Métodos y variables	§ Son específicos, según el problema que se plantee, y proporcionan la información que permite comprobar la hipótesis.
	§ Permiten detectar la presencia de cambios y evaluar su importancia.
	§ Permiten identificar o aclarar la causa del cambio.
Viabilidad/ efectividad de costos	§ Establecer si el monitoreo puede realizarse, o no, de forma periódica y continua.
	§ Evaluar los factores que influyen en la labor de muestreo: disponibilidad de personal capacitado; acceso a los lugares de muestreo; disponibilidad y fiabilidad de equipo especializado; medios para analizar e interpretar los datos; utilidad de los datos y la información; medios para informar a tiempo.
	§ Establecer si los costos para la compilación y análisis de datos pueden ser cubiertos por el presupuesto establecido.
Estudio piloto	§ Tiempo necesario para comprobar y afinar el método y el equipo especializado.
	§ Evaluar las necesidades de capacitación del personal.
	§ Confirmar los medios de análisis e interpretación de los datos.
Muestreo	§ El personal debe conocer todas las técnicas de muestreo.
	§ Todas las muestras deben estar documentadas: fecha y localización; nombre del personal; métodos de muestreo; equipo utilizado; medios de almacenamiento o transporte; cualquier modificación de los métodos.
	§ Las muestras deben ser examinadas en un plazo adecuado y todos los datos deben estar documentados: fecha y localización; nombres del personal; métodos de muestreo; equipo utilizado; medios de almacenamiento o transporte; y cualquier cambio en los métodos.
	§ El muestreo y el análisis de los datos deben realizarse con métodos rigurosos y comprobados científicamente.
Análisis	§ Los análisis deben estar documentados: fecha y lugar (o límites del área de muestreo); nombres del personal que realizó los análisis; métodos utilizados; equipo utilizado; métodos de almacenamiento de datos.
Informes	§ Interpretar y dar a conocer todos los resultados en un tiempo y con un costo adecuados.
	§ El informe debe ser conciso e indicar si los resultados apoyan la hipótesis o no.
	§ El informe debe contener recomendaciones sobre medidas para el manejo/gestión, incluyendo nuevo monitoreo.

más completo, el cual también pudiera incluir a las comunidades biológicas. Para mayor información sobre los conceptos, técnicas, procedimientos e interpretación de los parámetros fisicoquímicos, se recomienda consultar Chapman (1992), APHA (1995), Bain y Stevenson (1999), De la Lanza (2002) y Luna *et al.* (2004). Para el caso de los biomonitoreos, Loeb y Spacie (1994), De la Lanza (2000), Attrill (2002) y EPA (2002a, b, c, d, e, f, g, h) y Pérez Munguía *et al.* (en este volumen).

### Temperatura

Muchos factores afectan directamente la temperatura del agua, pero entre los principales tenemos la ubicación geográfica del cuerpo de agua (en regiones templadas, tropicales o subtropicales) y la estación del año. Es de esperarse que un cuerpo de agua localizado en regiones templadas pudiera tener variaciones más amplias a lo largo del año que aquellos ubicados en regiones tropicales donde las variaciones de temperatura son más estrechas. En zonas costeras de México los máximos alcanzan usualmente valores por arriba de los 32 °C en el agua. La temperatura promedio de un cuerpo de agua costero presenta un incremento en la medida de su ubicación hacia el sur del país (Contreras, 2002).

En cuerpos de agua lo suficientemente profundos se presenta una mayor probabilidad de estratificación de temperaturas durante el verano, llamándosele epilimnion a la capa de agua superior, más cálida que la capa de abajo o hipolimnion, en la cual el agua tiene relativamente poco movimiento. Estas dos capas están separadas por una zona de transición llamada metalimnion. Mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre las capas, más difícilmente se pueden mezclar sus aguas. A medida que pasa el año y ayudados por la acción del viento y la disminución de la temperatura, estas capas pueden llegar a circular. En algunos lagos, puede presentarse un período de estratificación más, durante el invierno, aunque en este caso la capa superior será más fría que la inferior.

La temperatura afecta directamente muchos de los procesos biológicos y fisicoquímicos, incluyendo a los nutrientes que se encuentran en el agua. En especial, afecta la solubilidad de muchos elementos y principalmente el oxígeno disuelto. En condiciones normales, a

medida que aumenta la temperatura, la solubilidad del oxígeno es menor (Chapman, 1992; APHA, 1995).

### Oxígeno disuelto

Muchos autores señalan que la cantidad de oxígeno disuelto es una de las principales características para definir la salud del ecosistema (APHA, 1995). El oxígeno disuelto es vital para la mayoría de los organismos que viven en el agua. Algunas especies, como la trucha arco iris (*Onchorhynchus mykiss*) únicamente pueden vivir en condiciones de alta concentración de oxígeno, mientras que otras, como la carpa común, pueden tolerar concentraciones relativamente bajas o fluctuantes de este elemento. El oxígeno proviene del intercambio con la atmósfera y como producto de la fotosíntesis, llevada a cabo por las plantas acuáticas y algas. El oxígeno es usado durante la respiración, incluyendo en ello la de productores, consumidores y descomponedores. Es común observar variaciones diarias y estacionales en los valores de oxígeno en el agua. El oxígeno se mide en partes por millón (ppm) o su equivalente en miligramos por litro (mg/l) y esto puede hacerse con un oxímetro o fijando una muestra de agua para su posterior determinación (Chapman y Kimstach, 1992).

El crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas y la alta concentración de materia orgánica pueden afectar negativamente los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Cuando estos niveles caen por debajo de 5.0 mg/L, la vida acuática corre riesgo. Al llegar a niveles menores a 2 mg/L los peces y muchos de los invertebrados sufrirán grandes mortalidades, al punto de alcanzar un cuerpo de agua condiciones de virtual anoxia.

Debido a la elevada productividad primaria de los humedales costeros, normalmente se manifiesta una sobresaturación de este gas (Contreras, 2002). Los casos permanentes de anoxia se detectan en lugares o áreas aislados de la circulación general de la laguna o en el fondo de ésta (fenómeno más común en lagos). La disminución y/o falta de oxígeno se asocia también con áreas cercanas a manglares, en donde se presentan intensos procesos de descomposición de materia orgánica (véase Flores Verdugo *et al.*, en este volumen).

### *Demanda bioquímica de oxígeno*

La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas. Cuando los niveles de la DBO son altos, los niveles de oxígeno disueltos serán bajos, ya que las bacterias están consumiendo ese oxígeno en gran cantidad. Al haber menos oxígeno disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menor posibilidad de sobrevivir.

Relacionado con la DBO, encontramos a la  $DBO_5$ , que es la prueba en el laboratorio en el cual una muestra de agua se alimenta con bacteria y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20°C durante 5 días en la oscuridad (APHA, 1995). El valor de DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente. La diferencia entre los dos valores de OD representa la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra

y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L (Chapman y Kimstach, 1992; APHA, 1995; Bain, 1999). Los valores de  $DBO_5$ , pueden interpretarse con base en la información de la Tabla 3 (CNA, 2005).

### *DQO, demanda química de oxígeno*

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. Los valores de  $DQO_5$  pueden interpretarse con base en la información de la Tabla 4 (CNA, 2005)

### *Potencial de hidrógeno (pH)*

El pH es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución. Es también una medida del balance de los iones de hidrógeno  $[H^+]$  y los iones hidroxilo negativo  $[OH^-]$  en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutral el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrógeno es ácida (valores menores a 7), mientras que el agua que tiene más iones hidroxilo es básica (valores mayores a 7). La escala de pH es una escala logarítmica de base 10, lo que significa que cada número sucesivo de pH

TABLA 3. ESCALA DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, CON BASE EN LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ( $DBO_5$ )

DBO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 3 mg/L	Excelente	No contaminada.
Mayor a 3 mg/L y menor o igual a 6 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
Mayor de 6 mg/L y menor o igual a 30 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
Mayor de 30 mg/L y menor o igual a 120 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
Mayor de 120 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

TABLA 4. ESCALA DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, CON BASE EN LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

DQO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Menor o igual a 10 mg/L	Excelente	No contaminada
Mayor a 10 mg/L y menor o igual a 20 mg/L	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
Mayor de 20 mg/L y menor o igual a 40 mg/L	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
Mayor de 40 mg/L y menor o igual a 200 mg/L	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
Mayor de 200 mg/L	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales

es 10 veces mayor que el anterior. Un intervalo de pH de 6.0 a 9.0 parece brindar protección a la vida de los peces de agua dulce y a los invertebrados que habitan en el fondo. El impacto medio ambiental más significativo del pH comprende efectos sinérgicos (Chapman y Kimstach, 1992). La sinergia comprende la combinación de dos o más sustancias que producen efectos mayores a su simple adición. Este proceso es importante en aguas superficiales. El escurrimiento de áreas agrícolas, residenciales e industriales puede contener hierro, aluminio, amoníaco, mercurio u otros componentes. El pH del agua puede determinar los efectos tóxicos, si los hubiere, de estas sustancias.

En el caso de sistemas costeros, Conteras (2002) señala que los valores de pH están dados por el intercambio de  $\text{CO}_2$  atmosférico y el agua, el cual genera ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). La inestabilidad de este compuesto hace que forme sales, las cuales quedan disueltas en el agua como carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) asociados a iones de carga positiva ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ). Al existir un mayor número de compuestos de carga negativa se provoca que el pH, en el agua de mar, resulte levemente alcalina, presentando un valor promedio de 8.2 (Broecker, 1974). En cambio, el agua de origen continental tiende a valores neutros de 7.0; por lo anterior, se esperaría que los registros de pH naturales dentro de una laguna varíen en torno a ese último valor.

Las variaciones de pH hacia la alcalinidad (valores mayores de 8.5) se deben principalmente a la actividad de organismos que intervienen en el ciclo del  $\text{CO}_2$ , tales como moluscos y bivalvos que, a su muerte, liberan cantidades significativas de carbonatos. Otra causa es la precipitación de  $\text{CaCO}_3$  a partir de suelos calcáreos y su resuspensión. En cambio los pH bajos (menores a 7) se localizan íntimamente relacionados con procesos de descomposición de materia orgánica y liberación de ácidos. La introducción de sustancias tóxicas provenientes de la industria generalmente hace bajar los valores de pH. Se han detectado valores bajos, cercanos a 5, frecuentemente asociados a desechos provenientes de actividades industriales. Las áreas anóxicas, que son el reflejo de extensiones aisladas de la circulación general de una laguna dada, son detectadas, junto con las de escasos contenidos de oxígeno disuelto, por sus valores bajos en el pH. Las extensiones cubiertas y asociadas a bosques de manglar comúnmente reflejan valores bajos, ocasionados principalmente por el contenido de ácidos húmicos disueltos en el agua, que provienen precisamente de esta vegetación. Estos ácidos son compuestos de peso molecular muy elevado por lo que su persistencia, aún en el océano, es considerable. Durante la época lluviosa, la presencia de una coloración oscura invade grandes extensiones lagunares que son transportadas hacia

el mar por el efecto mareal. De no ocurrir lo anterior, estos ácidos tenderían a permanecer dentro de la laguna propiciando la proliferación de bacterias y el consecuente agotamiento del oxígeno por los procesos de degradación a que son sometidos *in situ* (Contreras, 2002).

### *Sólidos totales disueltos*

Los sólidos totales disueltos son las sustancias que no pasan a través de un filtro de 0,45 micra pero que quedarán como residuo cuando el agua se evapora. La magnitud de TDS es la suma de los cationes, aniones y sílice disueltos en el agua. Existe una relación estrecha entre la cantidad de TDS y la conductividad eléctrica (la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica). Mientras mayor sea el valor de la conductividad eléctrica (medida con un conductímetro), mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua (Chapman y Kimstach, 1992). La conductividad eléctrica se puede expresar en diferentes unidades, pero la unidad más común es  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (micro Siemens/centímetro). De tal manera que se equiparan 30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad con 1 mg/L de sales disueltas totales. La segunda unidad más comúnmente usada es milimhos por centímetro (mhs/cm o mhos/cm), donde 1 mhs/cm es igual a 1,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La temperatura del agua afectará a la conductividad eléctrica, de tal forma que su valor aumenta de 2 a 3% por cada grado Celsius de incremento.

### *Turbidez y transparencia*

La turbidez (o turbiedad) es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Las algas, los sedimentos en suspensión (arcillas, limos, partículas de sílice) y la materia orgánica en el agua pueden aumentar la turbidez hasta niveles peligrosos para ciertos organismos (Chapman y Kimstach, 1992). La turbidez aumenta con la erosión de las orillas, con el crecimiento excesivo de las algas y con los cambios en el flujo del río. También crece por la actividad de algunos organismos bentívoros, que resuspenden los sedimentos (Lindig-Cisneros y Zambrano, en este volumen). Las partículas en suspensión dispersan la

luz, lo que provoca una disminución de la actividad fotosintética en plantas y algas, que trae como consecuencia una baja en la concentración de oxígeno. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para aguas potables, la turbidez no debe de pasar las 5 NTU. El instrumento usado para su medición es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada, a 90 grados, cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua (Chapman y Kimstach, 1992).

En cuerpos de agua lóticos podemos medir el inverso de la turbidez, o sea la transparencia, utilizando un disco Secchi (es un disco dividido en cuatro cuartos, dos blancos y dos negros) el cual se sumerge en el agua atado a una cuerda. La profundidad a la que el disco se pierde de vista, se usa como medida de la transparencia del cuerpo de agua. De manera más reciente, para medir transparencia en los cuerpos de agua lóticos, se utiliza el llamado tubo de transparencia, un tubo de plástico transparente de aproximadamente un metro de largo y 12 cm de diámetro, con un mini disco de Secchi adherido a un extremo y abierto del otro. La muestra de agua se vacía en el tubo y se deja escapar el agua por una manguera cerca del extremo que contiene el mini disco de Secchi, hasta que aparecen los colores del disco.

### *Alcalinidad*

Es la medida de la capacidad que presenta el agua como neutralizadora de ácidos. Esta característica depende de la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, los cuales remueven los iones  $\text{H}^+$  y disminuyen la acidez del agua, es decir, aumentan el valor del pH. Medir la alcalinidad es importante para determinar la capacidad del agua de neutralizar los contaminantes ácidos provenientes de la lluvia o de los desechos municipales e industriales. La alcalinidad total se determina midiendo la cantidad de ácido (por ejemplo, ácido sulfúrico) que se requiere para llevar la muestra de agua a un valor de pH de 4.2. A este valor de pH, los compuestos alcalinos de la muestra de agua se han agotado. La alcalinidad se expresa en miligramos de carbonato cálcico equivalente por litro ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ ) (Chapman y Kimstach, 1992).

## Nitratos

El nitrógeno es uno de los elementos más abundantes. Es también uno de los dos nutrientes más importantes (el otro es el fósforo) para el crecimiento de algas y plantas acuáticas. El nitrógeno inorgánico puede existir en estado libre como un gas  $[N_2]$ , o como nitrato  $[NO_3^-]$ , nitrito  $[NO_2^-]$ , o amoníaco  $[NH_3^+]$ . El nitrógeno orgánico se encuentra en las proteínas y es continuamente reciclado por plantas y animales (Chapman y Kimstach, 1992; Bain, 1999).

Muchas sustancias que llegan al agua contienen nitrógeno y actúan como nutrientes para la vida vegetal. Las reacciones de los nitratos  $[NO_3^-]$  en el agua dulce pueden causar el agotamiento del oxígeno. En tal caso, los organismos acuáticos que dependen del suministro de oxígeno en el curso de agua morirán. Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son las aguas residuales de la industria y los municipios, tanques sépticos, descargas de corrales de engorda de ganado, residuos animales (incluyendo aves y peces) y descargas de la emisión de gases de vehículos. Las bacterias presentes en el agua rápidamente convierten los nitritos  $[NO_2^-]$  en nitratos  $[NO_3^-]$ . Para mayor detalle sobre el ciclo del nitrógeno en humedales se recomienda consultar Flores (2002).

Los nitratos en el agua potable son medidos ya sea en términos de la cantidad de nitrógeno presente como de oxígeno. El estándar máximo aceptado para el nitrato en agua potable es de 10 mg/L nitrato-N, o 50 mg/L nitrato- $NO_3$ , cuando el oxígeno es medido a la vez que el nitrógeno. A menos que se especifique de otra forma, normalmente los niveles de nitrato se refieren solamente a la cantidad de nitrógeno presente, y el estándar normal, por lo tanto, es de 10 mg/L. En general, los peces empiezan a morir cuando los niveles alcanzan los 90 mg/L de nitratos en el agua.

Existe una preocupación respecto al posible daño a la salud originado por concentraciones altas de nitratos ya que pueden provocar metahemoglobinaemia, o “la enfermedad de los bebés azules” (excesiva conversión de hemoglobina a metahemoglobina, que es incapaz de enlazar y transportar oxígeno). Aunque los niveles de nitratos que afectan a los bebés no son peligrosos para niños mayores y adultos, sí indican la posible presencia de otros contaminantes más peligro-

sos procedentes de las residencias o de la agricultura, tales como bacterias o pesticidas.

En ecosistemas costeros, todo parece indicar que las concentraciones normales para el amonio van de 5.0 a 10.00 microgramos-átomo por litro ( $\mu\text{g-at/L}$ ) y de nitratos más nitritos de  $< 0.01$  a  $5.0 \mu\text{g-at/L}$ . El nitrógeno es considerado como el limitante en muchos ecosistemas costeros, debido a que la relación N:P es usualmente baja (en promedio de 6) (Contreras 2002).

## Fosfatos

El fósforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de plantas y animales, y en forma elemental es muy tóxico. Los fosfatos  $[PO_4^-]$  se forman a partir de este elemento. Su presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos. Pueden existir en solución, como partículas, como fragmentos sueltos, o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede provocar que distintas cantidades de fosfatos se filtren de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos. El fosfato estimulará el crecimiento del plancton y de plantas acuáticas que proveen alimento para los peces. Este mayor crecimiento puede provocar un aumento en la población de peces y mejorar la calidad general del agua. Sin embargo, si un exceso de fosfato ingresa en el curso de agua, las algas y plantas acuáticas crecerán demasiado, llegando a saturar el curso de agua y a utilizar grandes cantidades de oxígeno. Para mayor detalle sobre el ciclo del fósforo en humedales se recomienda consultar Flores (2002).

A diferencia de lo que sucede en los lagos interiores, donde el fósforo es considerado como el elemento limitante por excelencia, los sistemas costeros son levemente eutróficos debido principalmente a la presencia de cantidades significativas de fósforo (Contreras, 2002). La relación entre la clorofila *a* y el fósforo ha sido demostrada (Contreras y Kerekes, 1993). Las eventuales entradas de fósforo deben ser vigiladas estrictamente, aunque todo parece indicar que es el nitrógeno el principal causante de la eutrofización en sistemas costeros mexicanos. El valor normal para ortofosfatos (fosfatos inorgánicos) es de  $< 0.01$  a  $5.00 \mu\text{g-at/L}$ . Recientemente se ha comprobado que más

que la cantidad de nitrógeno o fósforo individual, es la relación entre ellos, conocida como relación N: P (Redfield *et al.*, 1963), la causante de las peculiaridades de los procesos de productividad primaria y/o eutrofización (Rhee, 1978).

### *Clorofila a*

Este pigmento es usado para medir la potencialidad productiva del sistema, y también como un indicativo de la eutrofización (Carlson, 1977; Contreras, 1994), ya que aunque no siempre mantiene correlación directa con la productividad primaria, sí indica la biomasa fitoplanctónica presente, la cual, en la medida en que se desenvuelva bajo condiciones adecuadas, se manifestará en la productividad. La medición sistemática de la clorofila *a* se recomienda ampliamente como un índice confiable, que permitiría una pronta diagnosis de la salud del ecosistema (Contreras, 2002).

### **Consideraciones generales sobre la selección de parámetros fisicoquímicos**

Algunas de las preguntas básicas en proyectos de evaluación y monitoreo son:

- § ¿Qué parámetros fisicoquímicos se deben considerar?
- § ¿Con qué frecuencia?
- § ¿Cuántas estaciones de muestreo?

Cómo contestar estas preguntas depende de los objetivos a lograr, del tipo de sistema acuático que se trate y del tiempo y presupuesto disponibles. Los manejadores de recursos naturales deben consultar con expertos sobre el tema y discutir en detalle estos aspectos. Para la realización de este tipo de actividades comúnmente se tiene que equilibrar entre lo necesario y lo deseable; lo económicamente viable y lo técnicamente factible (Luna *et al.*, 2004).

Otro aspecto importante es si estas actividades se llevarán a cabo bajo un muestreo manual o automatizado:

1. Muestreo manual: requiere de una mínima inversión en equipo, pero para programas de muestreo

a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo un tanto dispendioso.

2. Muestreo automatizado: los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos (inherentes al muestreo manual) y permitir aumentar la frecuencia del muestreo. Sin embargo, el costo puede ser alto dependiendo de la calidad del equipo, la duración del programa de monitoreo y la diversidad de parámetros fisicoquímicos a medir.

También, existen dos niveles a tomar en cuenta en el tipo de muestreo considerando el balance entre precisión y el presupuesto disponible:

- Muestreo de nivel I. Usando protocolos relativamente sencillos, donde se tienen limitaciones presupuestales severas por lo que la inversión en equipo será mínima. Para este nivel se pueden utilizar los llamados *kits* de evaluación rápida, en los que los reactivos son premezclados y cualquier persona, con entrenamiento básico, los puede usar. Estos *kits* tienen la ventaja de ser accesibles económicamente, pero no tienen la misma precisión y exactitud que aparatos más sofisticados. Este nivel de medición básica se está aceptando cada día más como un sistema de monitoreo de detección temprana, siempre y cuando se sigan los protocolos establecidos y exista un control de calidad de la información. Otra ventaja es que en el proceso pueden participar voluntarios, quienes con mucho interés y mínima preparación ya han aportado importantes datos a la red de monitoreo, al menos en los EE.UU. y Canadá.
- Muestreo de nivel II. Se efectúa usando protocolos estándares de evaluación de calidad de agua. Para este nivel se requiere una gran inversión en aparatos de precisión y en reactivos. Es adecuado para evaluar calidad de agua que necesite ser cuantificada con la mayor precisión y exactitud, en respuesta a cuestiones normativas o científicas. En este caso, las personas participantes requieren de mayor capacitación y, por ello, su número puede ser limitado. Los objetivos del muestreo pueden ser más cuantitativos.

En todas las actividades de evaluación y monitoreo es imperativo el reconocimiento previo de la zona de estudio, o al menos contar con antecedentes documentales al respecto. En todo caso, es altamente recomendable realizar una valoración global del área de interés (muestreo preliminar), para contar con mayor información en el momento de efectuar la selección de aquellos puntos de mayor utilidad y decidir el protocolo final.

Muchas de las metodologías y protocolos de monitoreo de agua que se llevan a cabo en México toman como base en lo establecido por la Comisión Nacional de Agua (CNA), por lo que se hace referencia constante a estos procedimientos con validez oficial vigente. Sin embargo, es importante recordar que estos procedimientos, en su gran mayoría, están enfocados a estudios de aguas residuales y de calidad de agua y no necesariamente a estudios con enfoque ecológico, por lo que es necesario desarrollar mayores investigaciones en México que describan también la integridad ecológica del ecosistema (véase Pérez-Munguía *et al.*, en este volumen).

Después de leer la siguiente sección sobre la recolección y preservación de muestras de agua, el lector o lectora deberá pasar al Apéndice A, donde se presenta una serie de tablas a manera de recomendaciones generales para poder tomar una decisión final sobre el tipo de parámetros fisicoquímicos a medir, su frecuencia, el lugar y la profundidad ideal donde se debe de tomar la muestra de agua, intervalos de la concentración en los valores de varios parámetros básicos para diferentes cuerpos de agua en México, así como la relación de parámetros requeridos por las autoridades competentes en materia de contaminación de agua, aplicado a ríos y lagos de nuestro país.

### *Recolecta y preservación de muestras de agua*

La recolección de las muestras depende de los objetivos del estudio y de los procedimientos analíticos empleados (análisis manuales o con aparatos de medición). Cuando se toma una muestra de agua para propósitos de evaluación y monitoreo, el objetivo principal es que esta muestra sea representativa de las condiciones del cuerpo de agua en el momento y circunstancias dadas (o requeridas) y con la cual determinaremos una serie

de parámetros fisicoquímicos y/o biológicos. Aunque algunos de estos parámetros se midan directamente en el campo, otros deben medirse posteriormente en el laboratorio, por lo que es importante hacer una serie de consideraciones para la toma de muestras de agua (para detalles véase la Tabla A5 del apéndice A).

1. Todos los participantes en el muestreo deben tener muy claras sus responsabilidades en la toma, preservación, transporte y análisis de cada muestra de agua.
2. Habrá que asegurar que se conoce el protocolo adecuado sobre el volumen de agua que la muestra debe contener y si es necesaria su preservación en condiciones de refrigeración o por medios químicos. Esto es de vital importancia para mantener una muestra de agua con las condiciones lo más cercanas posible a las originales y detener (fijar) los procesos bioquímicos y de descomposición que ocurren en el agua. Si logramos esto, entonces aseguraremos que los análisis posteriores tengan la precisión, exactitud y representatividad que necesitamos.
3. También debe asegurarse que todas las muestras estén bien rotuladas, identificadas y fechadas, y correcta y completamente llenos los formularios y libretas de campo. No debe olvidarse hacer un croquis o mapa del sitio de muestreo, para su posterior visita en caso de repetición.
4. Es necesario revisar las normas oficiales y métodos estándares aplicables para saber si se necesita una muestra sencilla o una muestra compuesta, para el parámetro que queremos determinar, con base en tipo de cuerpos de agua a evaluar (arroyos, ríos, lagos, estanques, aguas normales, aguas contaminadas, entre otros). Una muestra sencilla se toma en un punto o efluente dado, en un tiempo definido. Una muestra compuesta es la combinación de varias muestras sencillas tomadas en el mismo sitio durante diferentes tiempos, pudiendo variar minutos hasta 24 horas. El uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo del laboratorio, en comparación con el análisis por separado de un gran número de muestras y su consecuente cálculo de promedios. Cuando se evalúe algún

- efluente, es necesario determinar el volumen de agua del sistema en ese punto.
5. Habrá que asegurarse de tomar las muestras a las profundidades establecidas, si el cuerpo de agua lo amerita.
  6. Deberá utilizarse el tipo de recipiente adecuado (plástico o vidrio) para la recolecta de agua, con base en las recomendaciones que se hacen al respecto más adelante en este capítulo.
  7. Si el protocolo de muestreo indica la toma de agua en puntos mínimos indispensables, se recomienda incluir la(s) entrada(s) y salida(s) de agua. También deben seleccionarse aquellos puntos afluentes que, por su volumen y/o contenido (puntos de disturbio ecológico o contaminación), resulten importantes de cuantificar.
  8. La medición de la temperatura, el pH, color, conductividad, turbiedad y oxígeno disuelto debe hacerse en el campo. En la práctica, la conductividad también puede determinarse en el laboratorio.
  9. Cuando se trate de ríos y arroyos, es necesario calcular el flujo de agua, expresado en litros por segundo. Para la estimación del flujo de agua, se recomienda consultar Wetzel y Likens (2000).
  10. Ubicar cada estación o punto de muestreo, en mapas, de preferencia con base en lecturas de GPS, con ayuda de una descripción por escrito y la toma de fotografías. En el caso de ríos y arroyos, se recomienda tomar una foto mirando río abajo y otra mirando río arriba.
  11. Debe asegurarse la limpieza de botas, zapatos y equipo después de terminar las actividades de evaluación o muestreo. Con esto se evitará estar transportando semillas y organismos indeseables a otros sistemas acuáticos.
  12. Si el protocolo de muestreo señala la toma de muestras biológicas (plantas, insectos, peces, entre otros), debe asegurarse de obtener anticipadamente los permisos necesarios y consultar previamente con un investigador sobre los procedimientos y las cantidades adecuadas de ejemplares.
  13. Debe tomarse la precaución de hacer copias (en papel o electrónicas) de los formularios, libretas de campo y bases de datos generados durante la evaluación y/o monitoreo.

## Conclusiones

Un programa de monitoreo bien planeado, ejecutado y comunicado, es indispensable para entender las dinámicas propias del sistema y sus amenazas, y para poder hacer un manejo adecuado de los humedales, tal que asegure la cantidad y calidad de los servicios ecológicos que ofrecen. En muchos casos, el monitoreo de humedales ha servido para la detección temprana de disturbios al sistema que pudieran haber tenido consecuencias graves para la salud humana.

México tiene una gran diversidad de humedales, muchos de ellos aún no cuentan con la información básica de un inventario o evaluación, como se discutió anteriormente. Por lo tanto, es muy importante impulsar programas de inventariado, evaluación y monitoreo a nivel regional y nacional, así como mantener congruencia y retroalimentación entre sus componentes. Es también de sumo interés desarrollar mayor número de investigaciones que permitan monitorear integralmente a los humedales de México, considerando los aspectos fisicoquímicos, así como los biológicos, sociales y económicos. Desafortunadamente los humedales de México están siendo destruidos y transformados a una tasa alarmante, por lo que su inventariado, evaluación y monitoreo es una carrera contra el tiempo.

Finalmente, las personas que inicien un programa de monitoreo deben tener muy claros los objetivos del proyecto y consultar con un grupo interdisciplinario de especialistas y personas clave en la comunidad y con voluntarios que estén interesados en los sistemas de humedales objeto del monitoreo. Una vez que los objetivos hayan sido aceptados y entendidos, es importante seleccionar las técnicas de determinación de calidad de agua y biomonitoreo, basadas en un análisis de costo-beneficio. Un buen programa de monitoreo lleva tiempo, esfuerzo y requiere de un liderazgo por parte de alguna de las partes involucradas, sin embargo, los beneficios a largo plazo para los humedales y para las comunidades que de ellos dependen, son invaluable.

## Agradecimientos

Un profundo agradecimiento al doctor Francisco Contreras<sup>†</sup>, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa y a la doctora Guadalupe de la Lanza, Ins-

TABLA 5. RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS (TOMADO DE LUNA *ET AL.* 2004  
Y MODIFICADO DE LA APHA 1995)

DETERMINACIÓN	RECIPIENTE	VOLUMEN MÍNIMO	PRESERVACIÓN	ALMACENAMIENTO MÁXIMO
Acidez	P, V	100	Refrigerar	14 d
Alcalinidad	P, V	200	Refrigerar	14 d
Boro	P, V	100	No requiere	6 meses
Bromuro	P, V	100	No requiere	28 d
Carbono orgánico total	P, V	100	Análisis inmediato o refrigerar y agregar $H_3PO_4$ o $H_2SO_4$ hasta $pH < 2$	28 d
Cianuro total	P, V	500	Agregar NaOH hasta $pH < 12$ refrigerar	
Cianuro clorable	P, V	500	Agregar 100 mg $Na_2S_2O_3/L$	14 d
Cloro residual	P, V	500	Análisis inmediato	0.5 h/ inmediato
Clorofila	P, V	500	30 días en oscuridad	30 d
Cloruro	P, V	50	No requiere	28 d
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h
<b>Compuestos orgánicos</b>				
Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	Refrigerar	48 h
Plaguicidas	P, V	1000	Refrigerar; agregar 1g ácido ascórbico/L si hay cloro	7 días hasta la extracción
Fenoles	P, V	500	Refrigerar; agregar $H_2SO_4$ hasta $pH < 2$	40 días después de extraer
DBO	P, V	500	Refrigerar	48 h
DQO	P, V	100	Analizarlo refrigerar y agregar $H_2SO_4$ hasta $pH < 2$	28 días
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d
Dióxido de carbono	P, V	100	Análisis inmediato	-
Dióxido de cloro	P, V	500	Análisis inmediato	-
Dureza	P, V	100	Agregar $HNO_3$ hasta $pH < 2$	6 meses
Fluoruro	P	300	No requiere	28 d
Fosfato	V (A)	100	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h
Grasas y aceites	V boca ancha, calibrado	1000	Agregar HCl hasta $pH < 2$ , refrigerar	28 d
Metales en general	P(A), V(A)	500	Filtrar, agregar $HNO_3$ hasta $pH < 2$	6 meses
Cromo VI	P(A), V(A)	300	Refrigerar	24 h
Cobre, colorimetría	P(A), V(A)	500	Agregar $HNO_3$ hasta $pH < 2$ , $4^\circ C$ , refrigerar	28 d
Mercurio	P(A), V(A)	500	Agregar $HNO_3$ Hasta $pH < 2$ , $4^\circ C$ , refrigerar	28 d

TABLA 5. RECOMENDACIONES PARA EL MUESTREO Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS (TOMADO DE LUNA ET AL. 2004 Y MODIFICADO DE LA APHA 1995) (continúa)

DETERMINACIÓN	RECIPIENTE	VOLUMEN MÍNIMO	PRESERVACIÓN	ALMACENAMIENTO MÁXIMO
<b>Nitrógeno</b>				
Amoníaco	P, V	500	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Nitrato	P, V	100	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Nitrito	P, V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h
Orgánico Kjeldhal	P, V	500	Agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2, refrigerar	28 d
Olor	V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	-
<b>Oxígeno disuelto</b>				
Electrodo	V	300	Analizar inmediatamente	-
Winkler	V	300	Puede retrasarse la titulación después de la acidificación	8 h
Ozono			Análisis inmediato	-
pH			Análisis inmediato	-
Sabor	V	500	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	-
Salinidad	V, sello de cera	240	Análisis de inmediato o usar sello de cera	-

Nota: P= plástico (polietileno o equivalente); P(A)= plástico enjuagado con HNO<sub>3</sub>; V= vidrio; V(A)= vidrio enjuagado con HNO<sub>3</sub>.

título de Biología-UNAM, por permitirme reproducir importante información sobre la toma e interpretación de parámetros fisicoquímicos en aguas interiores y costeras. El doctor Barry Warner de la Universidad de Waterloo y el señor Clayton Rubec del Canadian Wildlife Service, ofrecieron valiosos comentarios y sugerencias. El manuscrito de este capítulo mejoró gracias a la excelente revisión por parte de Óscar Sánchez, de la maestra Mónica Herzig y de un revisor anónimo.

## Bibliografía

Abarca, F. J. y M. Herzig (eds.). 2002. *Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera

edición actualizada y corregida. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona.

American Public Health Association. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Nueva York.

Attrill, E. E. 2002. Community-level indicators of stress in

- aquatic ecosystems. En: S.M. Adams (ed.). *Biological Indicators of Aquatic Ecosystem Stress*. American Fisheries Society. Bethesda. Pp. 473-508.
- Bain, M.B. y N.J. Stevenson (eds.) 1999. *Aquatic Habitat Assessment Common Methods*. American Fisheries Society. Bethesda EE.UU.
- Broecker, W.S., 1974. *Chemical oceanography*. Hartcourt Brace J. Inc. 214 pp.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22 (2): 361-368.
- Carrera, E. y G. de la Fuente. 2003. *Inventario y clasificación de humedales en México. Parte I*. Ducks Unlimited de México, A.C., México.
- Chapman, D. 1992. *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres.
- Chapman, D. y V. Kimtsach. 1992. Selection of water quality variables. En: D. Chapman (ed.). *Water quality assessments*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme, E & FN Spon, Londres. Pp. 59-126.
- Comisión Nacional del Agua. 1998. *Inventario de Cuerpos de Agua Epicontinentales Superficiales, Costeros y Humedales de la República Mexicana*. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, México.
- . 1998b. *Definición de Perfiles Generales de Monitoreo Integrados a la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua*. Informe final. Instituto de Biología, México. 135 pp.
- . 2005. *Estadísticas del Agua 2005*. Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, México.
- Contreras E. F., 1994. La clorofila *a*, como base para un índice trófico en lagunas costeras. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM 21(1-2): 55-66.
- . 2002. Los humedales costeros mexicanos. Capítulo 4. En: F. J. Abarca y M. Herzig (eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera Edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona, EE.UU.
- Contreras, E.F. y J. Kerekes. 1993. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 448-451.
- Cowardin, L.M., V. Carter, F. C. Golet y E. T. LaRoe. 1979. *Classification of Wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS 79/31.
- De la Lanza, G. 2000. Criterios Generales para la Elección de Bioindicadores. En: G. De la Lanza, S. Hernández y J.L. Carvajal (comps.). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (biondicadores)*. SEMARNAT, CNA, UNAM, Instituto de Biología, México, pp. 17-42.
- . 2002. Recursos hidrológicos de México. Capítulo 3. En: F. J. Abarca y M. Herzig (Eds.). *Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales de México*. Tercera Edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona, EE.UU.
- Davidson, I., R. Vanderkamp y M. Padilla. 1999. Review of wetland inventory information in North America. En: M. Fynlanson y A. G. Spiers (eds.). *Global Review of Wetland Resources and Priorities for Wetlands Inventory*. Supervising Scientist Report 144. Supervising Scientists Group, Environment Australia, Canberra.
- Díaz, E., E. López y E. Soto. 1995. Monitoreo Ambiental en Ecosistemas Acuáticos de México. En: C. Aguirre (Ed.) *Taller norteamericano sobre monitoreo para la evaluación ecológica de ecosistemas terrestres y acuáticos*. Septiembre 18-22. General Technical Report RM-GTR-284. Fort Collins, CO, U.S. Department of Agriculture, Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station. Pp. 264-273.
- Environmental Protection Agency. 2002a. *Methods for evaluating wetland condition: #1. Introduction to Wetland Biological Assessment*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-011. Washington, D.C.
- . 2002b. *Methods for evaluating wetland condition:*

- #4 *Study Design for Monitoring Wetlands*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-014. Washington, D.C.
- . 2002c. *Methods for evaluating wetland condition: #6 Developing Metrics and Indexes of Biological Integrity*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-016. Washington, D.C.
- . 2002d. *Methods for evaluating wetland condition: #9 Developing an Invertebrate Index of Biological Integrity for Wetlands*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-019. Washington, D.C.
- . 2002e. *Methods for evaluating wetland condition: #10 Using Vegetation to Assess Environmental Conditions in Wetlands*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-020. Washington, D.C.
- . 2002f. *Methods for evaluating wetland condition: #12 Using amphibians in Bioassessments of Wetlands*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-022. Washington, D.C.
- . 2002g. *Methods for evaluating wetland condition: #13 Biological Assessment Methods for Birds*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-023. Washington, D.C.
- . 2002h. *Methods for evaluating wetland condition: #15 Bioassessment Methods for Fish*. United States Environmental Protection Agency. EPA-822-R-02-025. Washington, D.C.
- Flores, F. 2002. Procesos ecológicos en humedales. Capítulo 5. En: F. J. Abarca y M. Herzig (eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona.
- Loeb, S.L. y A. Spacie. 1994. *Biological monitoring of aquatic systems*. Lewis Publishers, Londres.
- López, M. y M. Guzmán. 1995. Monitoreo en reservorios de México. En: C. Aguirre (ed.). *Taller norteamericano sobre monitoreo para la evaluación ecológica de ecosistemas terrestres y acuáticos*. Septiembre 18-22. General Technical Report RM-GTR-284. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agricultura, Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station. Pp. 273-279.
- Lot, A. y A. Novelo. 1990. Forested Wetlands of México. En: A.E. Lugo, M. Brinson y S. Brown (eds.). *Ecosystems of the world 15: Forested wetlands*. Elsevier, Amsterdam, pp. 287-298.
- Luna, V., A. Alva y A. Bernal. 2004. Cuerpos de agua superficiales. En: F. Bautista (ed.). *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 117-143.
- MacDonald, L.H., A.W. Smart y R.C. Wismar. 1991. *Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams on the Pacific Northwest and Alaska*. U.S. Environmental Protection Agency, Region 10, NPS Section, Seattle.
- Mitsch, W.J. y Goselink, J.G. 2000. *Wetlands*. Tercera edición. John Wiley and Sons, Nueva York.
- Mudrock, A. y S.D. MacKnight. 1994. *Handbook of techniques for aquatic sediments sampling*. Lewis Publishers, Londres.
- National Wetlands Working Group. 1988. *Wetlands of Canada*. Polyscience Publishers Co., Montreal.
- Olmsted, I. 1993. Wetlands of México. En: D.F. Whigham, D. Dykyjova y S. Hejny (ed.). *Wetlands of the world I: Inventory, ecology and management*. Handbook of Vegetation Science, Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 637-677.
- Redfield A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. En: Hill, M. N. (ed.). *The Sea 2*: 26-77. Wiley-Interscience.
- Rhee, G.Y. 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnology and Oceanography* 23 (1): 10-25.
- Roni, P. 2005. Overview and Background. En: *Monitoring Stream and Watershed Restoration*. P. Roni (ed.). American Fisheries Society, Bethesda. Pp. 1-11.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 1995. La planificación para el manejo de los sitios Ramsar y otros humedales. Resolución 5.7. Convención Ramsar COP5. Kushiro, Japón.
- . 1996. Definición de trabajo de características ecológicas, lineamientos para describir y mantener las características ecológicas de los sitios incluidos en la Lista, y funcionamiento del Registro de Montreux.

- Resolución 6.1. Convención Ramsar COP6. Brisbane, Australia.
- . 2004. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971), Tercera edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- . 2005. Herramientas de Evaluación contenidas en el Marco Integrado de Inventario de Humedales, Evaluación y Monitoreo (IF-WIAM). Documento 24 de Discusión. Convención Ramsar COP9. Kampala, Uganda.
- Scott, D. A. y T. A. Jones. 1995. Classification and inventory of Wetlands: A global overview. *Vegetation* 118: 3-16.
- Shear, H. 1995. Ecological Assessment in Canada. En: C. Aguirre (ed.). *Taller Norteamericano sobre Monitoreo para la Evaluación Ecológica de Ecosistemas Terrestres y Acuáticos*. Septiembre 18-22. General Technical Report RM-GTR-284. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agricultura, Forest Service Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station. Pp. 20-30.
- Spellerberg, I. F. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, New York. 374 p.
- Ward, J. V. 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8:2-8.
- Warner, B. G. 2002. Clasificación de humedales. Capítulo 2. En: F.J. Abarca y M. Herzig (eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales de México*. Tercera edición. Publicación especial bajo colaboración de la Dirección General de Vida Silvestre-SEMARNAT, Arizona Game and Fish Department, North American Wetland Conservation Act, U.S. Fish and Wildlife Service, Convención Ramsar, U.S. State Department, Ducks Unlimited of Mexico-A.C., Pronatura Noreste, Canadian Wildlife Service y Society of Wetlands Scientists. Phoenix, Arizona.
- Warner, B.G. y C.D.A. Rubec. 1997. *The Canadian wetland classification system*. Edición revisada. Wetlands Research Centre, University of Waterloo, Waterloo.
- Wetzel, R.G y G.E. Likens. 2000. *Limnological Analyses*. Springer, Nueva York.
- World Wildlife Fund. 1992. *Statewide wetlands strategies*. World Wildlife Fund. Island Press, Washington, D.C.
- Zoltai, S.C. y D.H. Vitt. 1995. Canadian wetlands: environmental gradients and classification. *Vegetatio* 118: 131-137.

## Apéndice A. Tablas de referencia para la selección de parámetros fisicoquímicos en diversos cuerpos de agua

TABLA A 1. LISTA DE PARÁMETROS BÁSICOS A TOMAR, EN UN COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES CUERPOS DE AGUA (DE LA LANZA, 2002)

	RÍOS	LAGOS Y EMBALSES	AGUAS SUBTERRÁNEAS	ZONA COSTERA
Temperatura	X	X	X	X
pH	X	X	X	X
Conductividad eléctrica	X	X	X	
Salinidad				X
Oxígeno disuelto	X	X	X	X
Nitratos	X	X	X	X
Nitritos			X	X
Amonio	X	X	X	X
Calcio	X	X	X	
Magnesio	X	X	X	
Sodio*	X	X	X	
Potasio*	X	X	X	
Cloruros*	X	X	X	
Sulfatos*	X	X	X	
Alcalinidad	X	X	X	
DQO	X	X		X
Sólidos suspendidos totales	X	X		
Clorofila <i>a</i>		X		X
Transparencia (Disco Secchi)		X		X
Ortofosfatos	X	X		X
Fósforo total (no filtrado)	X	X		X

\*Pueden estar representados por la dureza.

TABLA A-2. SELECCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN RELACIÓN CON SU USO (NO INCLUYE EL INDUSTRIAL). EL NÚMERO DE "X" DENOTA LA RELEVANCIA DE CADA PARÁMETRO PARA CADA TIPO DE SISTEMA (DE LA LANZA, 2002)

PARÁMETROS GENERALES	MONITOREO BÁSICO	VIDA ACUÁTICA Y PESCA	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	SALUD Y RECREACIÓN	AGRICULTURA	
					IRRIGACIÓN	ESCURRIMIENTO GANADERO
Temperatura	XXX	XXX		X		
Color	XX		XX	XX		
Olor			XX	XX		
SST	XXX	XXX	XXX	XXX		
Turbiedad/transparencia	X	XX	XX	XX		
Conductividad	XX	X	X		X	
SDT		X	X		XXX	X
pH	XXX	XX	X	X	XX	X
Oxígeno disuelto	XXX	XXX	X		X	
Dureza		X	XX			
Clorofila <i>a</i>	X	XX	XX	XX		
Nutrimientos						
Amonio	X	XXX	X			
Nitratos/nitritos	XX	X	XXX			XX
Fosforo/fosfatos	XX					
Materia orgánica						
COT	XX		X	X		
DQO	XX	XX				
DBO	XXX	XXX	XX			
<b>Iones mayores</b>						
Sodio	X		X		XXX	
Potasio	X					
Calcio	X				X	X
Magnesio	XX		X			
Cloro	XX		X		XXX	
Sulfatos	X		X			X
Otras variables inorgánicas						
Flúor			XX		X	X
Boro					XX	X
Cianuro		X	X			
Elementos traza						
Metales pesados		XX	XXX		X	X
Arsénico/selenio		XX	XX		X	X
Contaminantes orgánicos						
Grasas e hidrocarburos		X	XX	XX	X	
Solventes orgánicos	X	XXX				X
Fenoles		X	XX			X
Pesticidas		XX	XX			X
Surfactantes		X	X	X		X
Indicadores microbiológicos						
Coliformes fecales			XXX	XXX	XXX	
Coliformes totales			XXX	XXX	X	
Patógenos			XXX	XXX	X	XX

TABLA A 3. PROFUNDIDAD RECOMENDADA PARA EL MUESTREO EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA (CNA, 1998)

PROFUNDIDAD TOTAL EN LA ESTACIÓN DE MUESTREO	PROFUNDIDAD DE MUESTREO
1.5 m	Profundidad media
> 1.5 a 3 m	0.5 m de la superficie y a 0.5 m del fondo
> 3 a 10 m	0.5 de la superficie, profundidad media y 0.5 del fondo
Profundidades > 10 m	0.5 m de la superficie, 10 m de profundidad y 0.5 del fondo.
Para presas	0.5 de la superficie, 10, 25, 50 m de profundidad y 0.5 m del fondo.

TABLA A 4. FRECUENCIA EN LA TOMA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA ESTUDIOS BÁSICOS DE CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES INTERIORES

	Ríos	EMBALSES Y LAGOS
* Temperatura	Mensual	Mensual
* Conductividad	Mensual	Mensual
* Ph	Mensual	Mensual
* Oxígeno disuelto	Mensual	Semanal
Nitratos	Mensual	Mensual
* Nitritos	Mensual	Semanal
* Amonio	Mensual	Semanal
Calcio	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Magnesio	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Sodio	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Potasio	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Sulfatos	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Alcalinidad	Cuatrimstral	Cuatrimstral
Dureza	Cuatrimstral	Cuatrimstral
* DBO o DQO	Semanal	Semanal
* STS	Mensual	Mensual
Clorofila	Mensual	Mensual
* Transparencia	Mensual	Mensual
* Ortofosfatos	Mensual	Quincenal
Fosforo total	Mensual	Mensual
* Coliformes fecales	Mensual	Mensual
*Detergentes	Mensual	Mensual

\* Fuente: CNA, (1998).

TABLA A 5. FRECUENCIA EN LA TOMA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA ESTUDIOS BÁSICOS DE CALIDAD DE AGUA EN HUMEDALES COSTEROS (CNA, 1998)

VARIABLE	FRECUENCIA
Temperatura	Estacional
Salinidad	Estacional
Oxígeno disuelto	Mensual
Nitritos	Mensual
Amonio	Mensual
Ortofosfatos	Mensual
Clorofila	Estacional
DQO	Mensual
Coliformes fecales	Mensual

TABLA A 6. PARÁMETROS ADICIONALES PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA, CON BASE EN EL TIPO DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL Y LA FRECUENCIA CON QUE DEBEN TOMARSE LOS PARÁMETROS (CNA, 1998B)

INDUSTRIA	COMPUESTO QUÍMICO	FRECUENCIA
Agricultura	Herbicidas Fungicidas Insecticidas	Posterior a la aplicación; en dos estaciones al año
Pecuaria	Plaguicidas Acaricidas	Posterior a la aplicación
Minera	Metales pesados	Cuatrimestral
Textil	Metales pesados Fenoles Hidrocarburos Alifáticos Aromáticos Policíclicos	Cuatrimestral
Farmacéutica	Metales pesados Fenoles Hidrocarburos Alifáticos Aromáticos Policíclicos	Cuatrimestral
Petrolera y petroquímica	Hidrocarburos Aceites-grasas Metales pesados Aromáticos Alifáticos Fenoles	Cuatrimestral Estacional
Curtiduría	Metales pesados	Estacional

TABLA A-7. INTERVALO DE LA CONCENTRACIÓN EN LOS VALORES DE VARIOS PARÁMETROS BÁSICOS  
PARA DIFERENTES CUERPOS DE AGUA EN MÉXICO (DE LA LANZA, 2002)

PARÁMETROS	RÍOS	LAGOS Y EMBALSES	LAGUNAS Y ESTUARIOS	OCEÁNICA
Temperatura	< 15 a 32°C	< 15 a 32°C	> 20 a 32°C	20 a 30°C
pH	6.0 a 8.0	6.5 a 9.0	6.5 a 9.0	7.5 a 8.5
Conductividad	40-10,000 mhs			
Salinidad		0.1 a 10 g/L	0 a 80 g/L	
Oxígeno disuelto	3.0 a > 5.0 mg/L	3.0 a > 5.0 mg/L	2.0 a 8.0 mg/L	
Nitratos	ID a < 5 mg/L	ID a 1.0 mg/L	ID a 1.0 mg/L	ID a 0.5 mg/L
Nitritos	ID a 0.05 mg/L	ID a 0.05 mg/L	ID a < 0.05 mg/L	ID a < 0.03 mg/L
Amonio	ID a 0.5 mg/L	ID a 0.5 mg/L	ID a 0.5 mg/L	ID a 0.1 mg/L
Ortofosfatos	ID a < 1.0 mg/L	ID a < 0.5 mg/L	ID a < 0.2 mg/L	ID a 0.1 mg/L
Dureza	5 a > 100 mg/L	40 a > 100 mg/L	ID a > 300 mg/L	> 300 mg/L
Alcalinidad	15 a 20 mg/L	15 a 20 mg/L	> 120 mg/L	> 120 mg/L
DQO	ID a 10 mg/L	ID a 20 mg/L	ID a 20 mg/L	ID a 4.0 mg/L
Sólidos suspendidos totales	1 a 50 mg/L	> 50 mg/L	> 50 mg/L	< 10 mg/L
Clorofila <i>a</i>	ID a 2.5 ug/L	ID a 8.0 ug/L	ID a 15 ug/L	ID a 2.0 µg/L
Sulfatos	ID a < 400 mg/L	ID a < 400 mg/L	< 0.5 a 2500 mg/L	2500 mg/L
Coliformes		AUSENCIA		

TABLA A 8. RELACIÓN DE PARÁMETROS REQUERIDOS POR LAS AUTORIDADES COMPETENTES EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN DE AGUA, APLICADO A RÍOS (LUNA ET AL. 2004)

PARÁMETROS (EN MG L<sup>-1</sup>, EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE DE OTRO MODO) PARA RÍOS

	LEY FEDERAL DE	NOM-001 ECOL		NOM-001		NOM-001 ECOL 1996	
	DERECHOS EN MA- TERIA DE AGUA 1998	1996 USO EN RIE- GO AGRÍCOLA (A)		ECOL 1996	USO PÚBLICO	PROTECCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA (C)	
	PM	PM	PD	URBANO (B)		PM	PD
				PM	PD		
Parámetros básicos							
Temperatura (°C) (1)	CNCR + 2.5	NA	NA	40	40	40	40
pH (unidades)	5-10	5-10					
Grasas y aceites (2)	15	15	25	15	25	15	25
Sólidos suspendidos totales	75	150	200	75	125	40	60
DBO <sub>5</sub>	75	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno total	40	40	60	40	60	15	25
Materia flotante (3)	-Ausente						
Fósforo total	20	20	30	20	30	5	10
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	1	2	1	2	1	2
Arsénico	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Metales pesados y cianuros totales							
Cianuros	1	2	3	1	2	1	2
Cobre	4	4	6	4	6	4	6
Cromo	0.5	1	1.5	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.005	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.2	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	10	20	10	20	10	20

Nota: PM= promedio mensual; PD= promedio diario; CNCR = condiciones naturales del cuerpo receptor; (B) y (C) = tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua - = no es aplicable; (1) = instantáneo; (2) = Muestra simple promedio ponderado; (3) = ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006. Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente. Para determinar la concentración por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos de helminto para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo de la norma NOM-001-ECOL-1996.

TABLA A 9. RELACIÓN DE PARÁMETROS REQUERIDOS POR LAS AUTORIDADES COMPETENTES EN MATERIA DE CONTAMINACIÓN DE AGUA, APLICADO A EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES (LUNA ET AL., 2004)

PARÁMETROS (EN MG L<sup>-1</sup>, EXCEPTO CUANDO SE ESPECIFIQUE DE OTRO MODO) PARA EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES

	LFDMA 1998	NOM-001 1996. USO EN RIEGO AGRÍCOLA (B)		NOM-001 ECOL 1996. USO PÚBLICO URBANO (C)	
	PM	PM	PD	PM	PD
PARÁMETROS BÁSICOS					
Temperatura (°C) <sup>(1)</sup>	CNCR + 2.5	40	40	40	40
pH (unidades)	5-10	5-10			
Grasas y aceites <sup>(2)</sup>	15	15	25	15	25
Sólidos suspendidos totales	75	75	125	40	60
DBO <sub>5</sub>	75	75	150	30	60
Nitrógeno total	40	40	60	15	25
Materia flotante <sup>(3)</sup>	-	Ausente			
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	1	2	1	2
METALES PESADOS Y CIANUROS TOTALES					
Arsénico	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuros	1	1	2	1	2
Cobre	4	4	6	4	6
Cromo	0.5	0.5	1	0.5	1
Mercurio	0.005	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	2	4	2	4
Plomo	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	10	20	10	20

Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para embalses naturales y artificiales

LFDMA= Ley federal de derechos en materia de agua. Nota: PM= promedio mensual; PD= promedio diario; CNCR= condiciones naturales del cuerpo receptor; (B) y (C) = tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua - = no es aplicable; (1) = instantáneo; (2) = muestra simple promedio ponderado; (3) = ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006.

TABLA A 10. AGRUPACIÓN DE 39 LAGUNAS COSTERAS EN MÉXICO, CON BASE EN LOS VALORES DE CLOROFILA A (CONTRERAS, 2002)

CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A						
GOLFO DE MÉXICO						
0.0 - 10.0	10.0 - 20.0	20.0 - 30.0	30.0 - 40.0	40.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0
Madre	Tampa. 80	Tampa. 90	Mandinga	Pueblo Viejo	Calzadas	
Tamiahua	Carmen	Camaronera				
Tuxpan	Machona	Alvarado				
Mancha	Mecoacán	Tlalixcoyan				
Ostión		Sontecomapan				
Celestúm						
PACÍFICO						
0.0 - 10.0	10.0 - 20	20.0 - 30.0	30.0 - 40.0	40.0 - 50.0	50.0 - 60.0	> 60.0
Nuxco	Pastoría	Corralero	Carretas	Chantuto	Carretas	Mitla
Chautengo	Teculapa	Chacahua	Bobo		Buenavista	Joya-Buenav.
Sup. e Inf.	Panzacola	Mar Muerto				
	Campón	Pereyra				
9 = 25 %	8 = 22 %	9 = 25 %	3 = 6 %	2 = 5 %	3 = 6 %	2 = 5 %

TABLA A 11. INTERVALOS DE ALGUNOS PARÁMETROS FUNDAMENTALES EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA LAS 39 LAGUNAS COSTERAS MOSTRADAS EN LA TABLA ANTERIOR QUE PODRÍAN CONSIDERARSE COMO LOS NORMALES EN ESTOS ECOSISTEMAS (CONTRERAS, 2002)

VALORES PROMEDIO DE ALGUNOS PARÁMETROS EN LAGUNAS COSTERAS MEXICANAS					
	OXÍGENO DIS.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	P-PO <sub>4</sub>	CLOR. A
Intervalo de valores	4.00-5.00	<0.01-5.00	<0.01-5.00	<0.01-5.00	10.00-30.00
No. y % de lagunas	17 (43%)	22 (56%)	33 (84%)	25 (65%)	17 (47%)

O<sub>2</sub> = m<sub>l</sub>/L; formas de nitrógeno y fósforo = µg-at/l; Clor a = mg/m<sup>3</sup>.

Finalmente, reproducimos en la página siguiente la forma propuesta por De la Lanza (2002) que completa la información sobre los rasgos biofísicos del sistema para las actividades de evaluación o monitoreo de los sistemas acuáticos.

## Evaluación visual del ambiente

Cuerpo de agua: \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Hora \_\_\_\_\_  
 Nombre de la estación: \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_

### Signos de contaminación (30)

(4) Agua:	Ninguno <input type="checkbox"/>	Agua residual <input type="checkbox"/>	Aceite <input type="checkbox"/>	Dcho. sól. <input type="checkbox"/>	Deterg. <input type="checkbox"/>
(2) Márgenes	Ninguno <input type="checkbox"/>	Aceite <input type="checkbox"/>	Basura <input type="checkbox"/>	Lixiviado <input type="checkbox"/>	Otros _____
(5) Formación de burbujas por el sedimento	Si <input type="checkbox"/>				
(4) Condiciones de reducción	No <input type="checkbox"/>				
(2) Medidas de protección del río	Parcial <input type="checkbox"/>				
(2) Turbiedad:	Ninguna <input type="checkbox"/>	Poca <input type="checkbox"/>	Media <input type="checkbox"/>	Alta <input type="checkbox"/>	Total <input type="checkbox"/>
(3) Color:	Negro <input type="checkbox"/>	Café <input type="checkbox"/>	Gris-oscuro <input type="checkbox"/>	Gris <input type="checkbox"/>	Ver-obs. <input type="checkbox"/>
(3) Olor:	Rojizo <input type="checkbox"/>	Café <input type="checkbox"/>	Ausente <input type="checkbox"/>	Otro _____	Ver-cla. <input type="checkbox"/>
(5) Sedimento negro*:	Ausente <input type="checkbox"/>	Químico <input type="checkbox"/>	H <sub>2</sub> S <input type="checkbox"/>	Otro _____	
	Superficial <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	En el fondo <input type="checkbox"/>	Ninguno <input type="checkbox"/>
	Materia orgánica flotante <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Subtotal \_\_\_\_\_

### Sustrato (5)

Raro <25% <input type="checkbox"/>	Intermed 25-60% <input type="checkbox"/>	Dominante >70% <input type="checkbox"/>
Grandes rocas <input type="checkbox"/>	Cant. Rod. <input type="checkbox"/>	Arena <input type="checkbox"/>
Roc. pequeñas <input type="checkbox"/>	Grava <input type="checkbox"/>	Limo <input type="checkbox"/>
Subtotal _____		

### Vegetación (25)\*

Plantas emergentes <input type="checkbox"/>	Plantas marginales <input type="checkbox"/>	Plantas sumergidas <input type="checkbox"/>
Plantas suspendidas <input type="checkbox"/>	Algas filamentosas <input type="checkbox"/>	
Subtotal _____		

### Fauna (25)\*

Peces <input type="checkbox"/>	Gusanos <input type="checkbox"/>	Pulga de agua <input type="checkbox"/>
Insectos <input type="checkbox"/>	Larvas <input type="checkbox"/>	Otros _____
Subtotal _____		

\* Raro <25%

Intermedio. 25-50%

Dominante >60%

### Actividades antropogénicas que influyen en este punto (15)

Urbana <input type="checkbox"/>	Agrícola y pecuaria <input type="checkbox"/>	Industrial <input type="checkbox"/>
		Minera <input type="checkbox"/>
		Rural <input type="checkbox"/>
		Ninguna <input type="checkbox"/>
Subtotal _____		

**Total** \_\_\_\_\_

## Marco ambiental

### Condiciones hidrológicas del río

Ancho (m):	<1 <input type="checkbox"/>	1-2 <input type="checkbox"/>	3-5 <input type="checkbox"/>	6-10 <input type="checkbox"/>	11-20 <input type="checkbox"/>	>20 <input type="checkbox"/>
Prof. (m):	<0.1 <input type="checkbox"/>	0.1-0.5 <input type="checkbox"/>	0.5-1.0 <input type="checkbox"/>	1.0-1.5 <input type="checkbox"/>	1.5-2.0 <input type="checkbox"/>	>2.0 <input type="checkbox"/>
Vel. Est. (m/s):	<0.2 <input type="checkbox"/>	0.2-0.4 <input type="checkbox"/>	0.5-0.8 <input type="checkbox"/>	>0.8 <input type="checkbox"/>		
Corriente:	Anegada <input type="checkbox"/>	Lenta <input type="checkbox"/>	Turbulenta <input type="checkbox"/>	Muy turbulenta <input type="checkbox"/>		

### Condiciones físicas del río

El agua cubre el 100% <input type="checkbox"/>	Evidencia del sustrato <input type="checkbox"/>
Por ambos márgenes <input type="checkbox"/>	por alguna de sus márgenes <input type="checkbox"/>
Las márgenes de ambos lados <input type="checkbox"/>	Poco agua en el cauce <input type="checkbox"/>
Del río más expuestas o <input type="checkbox"/>	no hay flujo <input type="checkbox"/>

### Clima

Lluvia       Húmedo       Seco       Caluroso       Frío       Nublado       Soleado

### Suelo márgenes

Negro       Café obs.       Café cla.       Rojizo       Gris       Verdoso       Otro \_\_\_\_\_

### Pendientes márgenes

180° a 160°       150° a 120°       110° a 90°

### Característica ambiental aledaña al punto de muestreo

Vegetación natural       Selva       Vegetación impactada       Otra \_\_\_\_\_

Bosque       Matorral       Pastizal       Semiárida       Árida

### Principales usos del cuerpo de agua

Potable       Pesquera       Industria       Recreat.       Navega       Agrícola       Pecuaria

Otros comentarios \_\_\_\_\_ Elaboró \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_

## Croquis