

PROGRAMA NACIONAL DE RESERVAS DE AGUA



*Protocolo para el muestreo de calidad del agua en
ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la
aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-
AA-159-SCFI-2012)*

Versión 1.0

Preparado por: Guadalupe de la Lanza Espino (Instituto de Biología - UNAM)

Revisión, edición y formato por: Sergio A. Salinas Rodríguez (WWF México)

Junio de 2014

PRESENTACIÓN

Desde 2012, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en coordinación con la Alianza WWF México – Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. (FGRA), el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo, y con fundamento en el Artículo 41 de la Ley de Aguas Nacionales, estableció el Programa Nacional de Reservas de Agua para el Ambiente (PNRA) como una medida de gestión y conservación de los recursos hídricos de México, con el propósito de garantizar la funcionalidad del ciclo hidrológico y de las funciones ecológicas y servicios ecosistémicos asociados, como una respuesta preventiva ante los impactos del cambio climático en el país. Una reserva de agua es un volumen anual, con significado ecohidrológico, que se destina a permanecer y circular en el ambiente para proteger a la biodiversidad y los servicios ambientales (abasto de agua, producción agrícola, control de inundaciones, etc.) que benefician a las personas y a la gestión del agua.

El PNRA consiste en realizar los estudios técnicos conforme a la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012 Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, en 189 reservas potenciales de agua identificadas a partir de su disponibilidad de recursos hídricos, alto interés de conservación y escasa presión hídrica. Con los resultados obtenidos y sistemáticamente analizados, se pretende establecer un sistema nacional de reservas de agua para la protección o restablecimiento del equilibrio ecológico, demostrar sus beneficios como un instrumento garante de la funcionalidad del ciclo hidrológico y sus servicios ambientales, y fortalecer las capacidades para la aplicación de la norma de caudal ecológico en todo el país.

Este programa, meta sexenal en el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 e incluido en los Programas Especial de Cambio Climático 2014-2018 y Sectorial de Medio Ambiente 2014-2018, es una iniciativa público-privada cuyo pilotaje fue iniciado en las cuencas de los ríos San Pedro Mezquital en los estados de Durango, Nayarit y Zacatecas, Acaponeta (1 y 2), Rosamorada (1 y 2), Rosamorada (1 y 2), Bejuco (1 y 2) y Cañas (1 y 2) en Nayarit, Copalita-Zimatán-Coyula en Oaxaca, Papaloapan (Blanco, Papaloapan, Valle Nacional, Grande, Playa Vicente, Tesechoacán, Trinidad, San Juan, Llanuras de Papaloapan y Jamapa-Cotaxtla) en Oaxaca y Veracruz, San Nicolás (A y B), Purificación y Cuitzmala en Jalisco, y Santa María (2 y 3), Verde (3), El Salto y Tampaón (1) en Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí. Contó con la participación de 48 instituciones y 118 expertos de la CONAGUA y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, el sector académico liderado y apoyado por universidades e institutos de investigación locales, regionales, nacionales e internacionales, las comunidades rurales y la sociedad civil.

El presente *Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012)* se desprende de las experiencias ganadas y sistematizadas en los estudios realizados en estas zonas piloto de 2012-2014 para servir de base en la toma estandarizada de datos en los próximos estudios de caudal ecológico en el país y realizar análisis de sistematización en la aplicación de la Norma a escala nacional.

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo	2
3. Parámetros relevantes para el estudio	2
3.1. Salinidad	2
3.2. Gases disueltos	3
3.3. Nutrientes	4
3.4. Nitrógeno	6
3.5. Fósforo	6
3.6. Metales pesados	6
4. Índices relevantes para el estudio	7
5. Observaciones visuales relevantes de campo	8
5.1. El color	8
5.2. Dinámica superficial del agua	9
5.3. Indicadores de contaminación	9
5.4. Registros de la orilla	10
5.5. Otras condiciones	10
5.6. Registros vivos	10
6. Planteamiento del muestreo	11
6.1. Determinación de los sitios de muestreo a partir del área de estudio previamente delimitada	11
6.2. Material y equipo general	15
6.3. Campañas de campo	16
7. Resultados esperados	16
7.1. Presentación de resultados	16
7.2. Interpretación de resultados	17
8. Diseño de una red de monitoreo y evaluación del seguimiento de calidad del agua	18
8.1. Criterios de elección de parámetros limnológicos y de calidad del agua	18
8.2. Monitoreo	20
9. Referencias	32

1. Introducción

Existe un consenso general de que la información biológica no reemplaza a los registros físicos y químicos para definir la calidad del agua, especialmente asociada al crecimiento poblacional y su industrialización que han llevado a una presión en la calidad del recurso. Por otra parte, también una amplia serie de parámetros de la calidad del agua; sin embargo, pueden dar buena información de las aguas continentales o costeras los siguientes:

1. Temperatura del agua; este factor tiene un significado metabólico mediante el cual los organismos aceleran o retardan sus funciones; incrementos mayores de 5°C sobre el máximo registrado en latitudes tropicales produce pérdidas de oxígeno.
2. Salinidad; factor que presenta variaciones por influencia fluvial y que determina el balance osmótico y por ende en el equilibrio hídrico en comunidades diversas. Este parámetro es equivalente a conductividad, clorinidad y sólidos disueltos totales.
3. Oxígeno disuelto; el más importante de los factores abióticos relacionado directamente con los procesos de producción-respiración del ámbito biótico y su ciclo diario en cuerpos cerrados o semicerrados puede oscilar en condiciones normales entre la anaerobiosis y la aerobiosis (sobresaturación). Sin embargo, cargas fuertes de materiales orgánicos antropogénicos (sobre todo aguas negras de industriales), desbalancean hacia una condición deficiente aereación y deletérea para los organismos planctónicos y más aún bentónicos.
4. El parámetro pH (acidez o alcalinidad); presenta una variación diaria entre 7.5 a 9.5 en condiciones normales de cuerpos de agua semicerrados de alta producción primaria (fotosíntesis). En México, ciertos lagos de origen volcánico pueden alcanzar niveles claramente alcalinos (>10) o incluso ser ácidos (> 5) como en el caso de suelos ricos en ácidos húmicos. Ciertas industrias químicas no controlan frecuentemente sus desechos y el pH sobrepasa estos límites que tienen una influencia directa en los organismos incidiendo en forma cáustica a nivel celular, de órganos o tejidos, según se trate las dimensiones de los organismos.
5. Turbidez; este factor mide la cantidad de sólidos en suspensión que a su vez influyen fundamentalmente en la fotosíntesis y por consecuencia en la producción primaria. Normalmente, la zona costera puede contener ciertas concentraciones resultado de los aportes fluviales, escurrimientos y resuspensión por corrientes mareales o eólicas; esta situación se puede incrementar por las diversas actividades antropogénicas e influir adversamente sobre el plancton y repercutir en niveles superiores de organismos.
6. Nutrientes; éstos son sales inorgánicas del nitrógeno (nitritos NO^{-2} nitratos NO^{-3} y amonio NH^{+4}) y fósforo (ortofosfatos $\text{PO}^{\equiv 4}$) fundamentalmente requeridas por el fitoplancton durante la fotosíntesis. Su baja (oligotrofia) o media concentración (mesotrofia) es común en la zona costera; sin embargo su alto contenido (eutrofia) conduce a un medio con problemas por predominio de

ciertas especies del plancton tóxicas a las comunidades o al hombre que a posterior al morir aportan mayor cantidad de materia orgánica que a su vez consume oxígeno, tendiendo a la anaerobiosis (<1.0 mlO₂/L). Las aguas negras, industrias de fertilizantes y agricultura provocan dicha situación. Debido a que la materia orgánica procedente tanto de los organismos acuáticos o de descargas antropogénicas contiene nitrógeno y fósforo orgánicos, al descomponerse o remineralizarse transforma a estos últimos en inorgánicos incrementando el contenido hasta niveles eutróficos inadecuados por las razones ya señaladas.

7. La DQO o demanda química de oxígeno; es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica disuelta que normalmente es baja en aguas dulces como costeras; pero los asentamientos urbanos a través de sus aguas negras, o ciertas industrias como la azucarera o pesquera incrementan significativamente el contenido que se traduce en un consumo de oxígeno para descomponerse y en consecuencia se traduce en un ambiente anaeróbico, entre otras repercusiones.

8. La dureza. Este término hace referencia al contenido de calcio y magnesio como carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y sulfatos, cloruros además de otros aniones de ácidos fuertes (dureza permanente). Las aguas se pueden clasificar desde este punto de vista en: 1) Suaves 0-75 mg/L; 2) Moderadamente duras 76-150 mg/L; 3) Duras 151-300 mg/L; y 4) Muy duras >300 mg/L. Los niveles adecuados para la vida acuática pueden estar entre el intervalo de 75 a 150 mg/L. Aunado a esta determinación es recomendable evaluar iones como sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), litio (Li), sobre todo para que con otros objetivos se hagan las proporciones entre los aniones y cationes para determinar la naturaleza y el origen del agua.

2. Objetivo

Este protocolo tiene como fin establecer los métodos y directrices de operación del proyecto de reservas de agua, para los muestreos referentes a la calidad del agua en ríos exorréicos y endorréicos, y en humedales. En este documento se establecen los parámetros y las bases metodológicas para el levantamiento de información de campo a través de muestreos y el análisis en escritorio para la generación de índices de utilidad en el contexto de la evaluación de caudal ecológico.

3. Parámetros relevantes para el estudio

3.1. Salinidad

Este parámetro es considerado como conservativo (no reactivo biológica o químicamente). Se define como la cantidad de sales disueltas (aniones: cloruros, bromuros, yoduros, sulfatos, carbonatos y cationes: sodio, potasio, calcio magnesio, entre los más importantes) en gramos por kilogramo, cuando toda la materia orgánica ha sido oxidada. Específicamente en aguas continentales se determina la conductividad cuya unidad es (micro siemens por centímetro)

$\mu\text{S}/\text{cm}$. Actualmente a nivel costero la unidad es ups (Unidades Prácticas de Salinidad) equivalente a gramos por litro.

Existe una clasificación aceptada internacionalmente (Tabla 1), pero ya que hay una variación fundamentalmente temporal sujeta a las épocas (sequía, lluvias, nortes), da lugar a que un mismo cuerpo de agua cambie de una denominación a otra, año con año o incluso por manejo antrópico.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas acuáticos según la salinidad.

Clasificación	Salinidad (ups)
Limnético	< 0.5
Oligohalino	0.5 - 5.0
Mesohalino	5.0 - 18.0
Polihalino	18.0 - 30.0
Eurihalino	30.0 - 40.0
Hiperhalino	> 40.0

La salinidad es uno de los parámetros más importantes en los diferentes cuerpos costeros, por lo que es de los más estudiados y conocidos. Puede definir incluso condiciones adecuadas del hábitat para comunidades que deben prevalecer en el ambiente acuático; por ejemplo, el tipo de bosque de manglar y las especies asociadas al mismo, sobre todo para su ciclo de vida, así como los usos y recursos que se extraen de los ecosistemas acuáticos.

3.2. Gases disueltos

Todos los gases presentes en la atmósfera (CO_2 , O_2 , N_2 , Ar, Ne, etc) también se encuentran disueltos en las aguas naturales. Las concentraciones y distribución dependen de factores fisicoquímicos como la temperatura, salinidad y presión que afectan su solubilidad. Otros factores que afectan son la mezcla mareal de aguas continentales y marinas en escalas de tiempo diurnas; la dinámica acuosa que comprende movimientos verticales con modificación de la estratificación y mezcla, así como con movimientos horizontales con cambios de masas de agua en confinamiento (variaciones temporales); además, la geomorfología que modifica y restringe la circulación, propiciando también la estratificación y/o los procesos difusivos (Aston, 1980).

En menor proporción, cabe mencionar la importancia relativa de las burbujas de aire ocluidas dentro de la fase acuosa, la dinámica del aire sobre la superficie del agua y las películas de naturaleza orgánica en la interface atmósfera-agua, que evitan el intercambio gaseoso entre ambos medios. Las perturbaciones originadas por tormentas y fuertes vientos, favorecen a su vez la mayor disolución de los gases y su saturación.

La mayoría de los gases disueltos en aguas naturales son de carácter conservativo como lo es el nitrógeno molecular y los gases nobles (argón, xenón, entre otros), pues su variabilidad no depende de la actividad química y biológica. Sin embargo, el CO_2 y O_2 considerados no-

conservativos por su reactividad química y su asimilación biológica, dependen de otros procesos metabólicos como fotosíntesis y respiración (incluyendo oxidaciones y reducciones abióticas).

La saturación de O² es un proceso dinámico generado por el intercambio entre la atmósfera y el agua, en donde las presiones gaseosas se equilibran en ambos medios y las moléculas que entran y salen son en iguales proporciones, de manera que cuando la presión parcial en uno de los medios es mayor, habrá un flujo neto de un medio a otro y viceversa. El 100% de saturación o el equilibrio entre la superficie y la atmósfera usualmente no se alcanza, y esto es debido a procesos de respiración, calentamiento y advección, que son compensados por la fotosíntesis y por la circulación; en consecuencia dicho equilibrio es eventual y de corta duración.

En los sistemas particularmente lénticos los elementos determinantes son la respiración y la fotosíntesis, con variantes fuertemente locales que resultan de microclimas e influencia de las características geomorfológicas y de circulación. En cuanto a estos dos últimos factores pueden conjuntamente con la respiración y generar condiciones de hipoxia (<2.0 ml/L) o anoxia (<1.0 ml/L) no solamente nocturnas, sino también durante el día, tanto bajo condiciones normales o con influencia de descargas urbanas. A parte de existir variaciones espaciales, se registran variaciones temporales, fundamentalmente diurnas, asociadas a la fotosíntesis del medio día con sobresaturaciones (>100%) y de la respiración nocturna o al amanecer con subsaturaciones (<50%); razón por la cual es necesario discriminar si el cuerpo de agua es prístino o está sometido al impacto antropogénico antes de diagnosticar con base en las Normas Oficiales Mexicanas que definen la calidad del agua, que tiene un significado aplicativo y no ecológico.

Los trabajos que determinan ciclos diurnos o nictemerales del contenido de oxígeno que permitan establecer un enfoque ecológico para la protección de la vida acuática son escasos. Es común encontrar evaluaciones puntuales a diversas horas del día y en cualquier época del año, lo que no permite efectuar una interpretación o diagnosis correctas, ya que este gas muestra amplias variaciones dependientes de las condiciones locales y en consecuencia un mínimo ecológicamente hablando o de calidad del agua dependerá de la localidad (De la Lanza Espino, 1990). Al respecto se han establecido criterios estándares de calidad del agua que señalan un contenido de oxígeno disuelto que va de 5.0 mg/L (3.5 ml/L) a 4.0 mg/L (2.8 ml/L); por su parte Van der Leeden y otros, (1990) mencionan un mínimo de 2.0 mg/L (1.4 ml/L) como aceptable desde el punto de vista biológico.

3.3. Nutrientes

Dentro de los nutrientes, micronutrientes o microelementos se encuentran sales del nitrógeno (nitratos, nitritos y amonio), del fósforo (ortofosfatos, fundamentalmente), básicos para una adecuada producción primaria. Algunos autores incluyen a ciertos metales traza (fierro, cobre, zinc, manganeso, vanadio, molibdeno) como esenciales para los sistemas enzimáticos de los

organismos autótrofos. Todos ellos se caracterizan por su reactividad química y biológica (no-conservativos).

El estudio de los nutrientes puede ser abordado en un marco global a través del ciclo biogeoquímico (que incluye los ámbitos geológico, biológico y químico) con estimaciones presupuestales de nitrógeno, fósforo o cualquier otro elemento. Dentro del citado ciclo se puede tomar como vehículo o reservorios a los aportes fluviales, ya que presentan mayores contenidos de sales de estos elementos que el mar (Kennish, 1986), en un dinamismo que puede expresarse de la siguiente manera:

- a) La fuente original de nitrógeno y fósforo de las lagunas costeras y estuarios, en general proviene de la intemperización de la roca y del lixiviado de suelos terrestres y transportados por los ríos.
- b) Desde la cabecera del río hasta la boca o comunicación marina se suceden una serie de reacciones fisicoquímicas que tienden a disminuir progresivamente la concentración dependiente del cambio gradual de la salinidad, que se relaciona indirectamente con los silicatos, fosfatos y sales del nitrógeno, en ese orden de prioridad; adsorbiendo el sedimento la fracción retirada del agua.
- c) Dada la escasa profundidad de los estuarios y las lagunas costeras en condiciones prístinas, la fase sedimentaria representa un papel importante en la disponibilidad y atrapamiento de nutrientes, con la tendencia a mantener contenidos más o menos homogéneos en la columna de agua, sobre todo cuando son asimilados por el fitoplancton.
- d) La carga de materiales terrígenos y orgánicos fluviales experimentan una sedimentación y floculación gradual junto con los nutrientes que se encuentran adsorbidos y absorbidos; lo cual reafirma la importancia de la fase sedimentaria en los ecosistemas costeros como un almacén de materiales y energía de la zona costera, motivo por lo cual es necesario incluirlos en los estudios de presupuesto de nutrientes en un marco ecológico.

Este panorama holístico de los ciclos biogeoquímicos, permite determinar la carga de nutrientes procedentes de las aguas residuales domésticas e industriales que puede soportar cualquier cuerpo de agua. El incremento de las actividades humanas en la zona costera ha aumentado los desechos tanto agroindustriales (en los que incluye fertilizantes y agroquímicos), recreacionales, y urbanos, lo cual ha conducido a una adición de nutrientes que en un buen número de casos resultan en una eutrofización con máximo crecimiento de especies no adecuadas para el ecosistema. La diversidad de factores que interactúan dentro del citado ciclo, conduce a resultados contrastantes entre los autores por la diversidad de razones arriba citadas. Pero existen condiciones generalizadas en los sedimentos de los estuarios ya que son trampas para el fósforo con una removilización y exportación de fosfatos, que es probablemente poco importante en el presupuesto del fósforo estuarino. En lo que respecta al nitrógeno, las marismas son transformadoras, con importación de formas oxidadas inorgánicas disueltas y exportación de formas reducidas disueltas y particuladas.

3.4. Nitrógeno

Fase acuática: los compuestos inorgánicos predominantes en los sistemas costeros son los nitratos, nitritos y amonio con una preponderancia indistinta entre el primero y el último, según las condiciones locales. Sus concentraciones presentan una amplia variación espacial y temporal; desde lo indetectable para las tres formas hasta más de 50.0 μM para NO_3^+ y NH_4^+ , así como 3.0 μM para NO_2^+ según las condiciones de óxido-reducción. También se pueden encontrar concentraciones importantes de compuestos orgánicos disueltos representados por urea, aminoácidos y péptidos, que son asimilados por ciertos autótrofos, al igual que los inorgánicos.

Dentro del balance del nitrógeno se presentan diversos procesos según las condiciones de oxidación y reducción de la columna de agua, estos pueden ser amonificación o transformación de orgánicos con liberación de amonio; nitrificación u oxidación del amonio a nitrito o nitrato; desnitrificación o reducción del nitrato a nitrito, amonio e inclusive óxido nitroso (N_2O) y la fijación del nitrógeno molecular (N_2), disuelto en el agua por las algas verde-azules. Estos procesos se realizan con la participación de microorganismos particulares en cada sistema acuático.

3.5. Fósforo

Fase acuática. El aportador principal de ortofosfatos son los ríos que reciben material rocoso intemperizado o de suelos lixiviados. Este nutriente es considerado como el factor más crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos. Forma parte de compuestos vitales como fosfonucleótidos, fosfoaminoazúcares, fosfolípidos y de los sistemas energéticos en la célula (ADP y ATP). Actualmente es tema de controversia si es considerado nutriente limitante y que controle la producción y biomasa fitoplanctónica en sistemas acuáticos, ya que la concentración mínima para limitar el desarrollo no está claramente determinada.

3.6. Metales pesados

Dentro de la contaminación por metales pesados cuyo origen puede ser de la industria petroquímica, de extracciones mineras, de fertilizantes, entre otros, los más comunes son hierro (Fe), plomo (Pb), níquel (Ni), arsénico (As), manganeso (Mn), cobre (Cu), mercurio (Hg), cromo (Cr), cuyas unidades de concentración van desde miligramos, microgramos hasta incluso partes por billón, que dependen de la actividad antropogénica y de forma natural de la composición de las rocas de las cuales son originados y su reactividad química tanto en el agua (donde se presentan en menores concentraciones) como en el sedimento (en donde se acumulan) y son más tóxicos o biodisponibles para la flora y fauna acuáticas.

Su determinación es a través de la absorción atómica y pueden ser evaluados tanto en forma total como biodisponibles. Dado que son altamente reactivos con un ciclo biogeoquímico complejo local, los niveles permisibles no existen desde el punto de vista ecológico; sin embargo, dentro de las normas a nivel de aguas de descarga se proponen límites (NMX-ECOL-01-2005).

El ortofosfatos inorgánicos fluviales provienen principalmente de la intemperización de la roca y lixiviación de los suelos, adicionalmente de las descargas industriales y domésticas en forma de desechos orgánicos y fertilizantes. Dentro de los desechos se encuentran los polifosfatos contenidos en los detergentes que por hidrólisis y actividad bacteriana redisponen fósforo. Los compuestos orgánicos del fósforo pueden presentarse en altas concentraciones en las capas superficiales y proceder de la descomposición de la materia orgánica y productos de excreción de organismos acuáticos.

4. Índices relevantes para el estudio

El índice de estado trófico se ha propuesto como un análisis de rutina en el monitoreo de la calidad del agua. El índice del estado trófico, o TRIX, propuesto por Vollenweider et al., (1998), se creó con el objeto de poder comparar información en un amplio intervalo de situaciones, al conjugar factores que están directamente relacionados con la productividad, la Clorofila a y el oxígeno disuelto, con los nutrientes, nitrógeno y fósforo, de acuerdo a la ecuación y con base en Aranda Cirerol (2004) quién la aplicó para sistemas costeros de la Península de Yucatán:

$$TRIX = \frac{\log(Chla * aDO\% * NT * PT) + 1.5}{1.2}$$

Dónde:

- TRIX: es el índice del estado trófico
- Chla: es la concentración de Clorofila a en $\mu\text{g l}^{-1}$
- aDO%: es el valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir, $|100 - \%OD|$
- NT: es el nitrógeno total en $\mu\text{g l}^{-1}$
- PT: es la concentración del fósforo total en $\mu\text{g l}^{-1}$

Las constantes 1.5 y 1.2 se refieren, respectivamente, a los valores mínimos de las variables que componen el índice y a los 10 niveles de jerarquía en que está diseñado, es decir, que el TRIX, tiene valores entre 1 y 10

En este trabajo se utiliza la variante TRIX (nP) (3), donde la nomenclatura (nP) se refiere a las concentraciones inorgánicas disueltas de los nutrientes, así, la ecuación es:

$$TRIX(nP) = \frac{\log(Chla * aDO\% * DIN * PRS) + 1.5}{1.2}$$

Dónde:

- TRIX (nP): es el índice del estado trófico
- Chla: es la concentración de Clorofila a en $\mu\text{g l}^{-1}$
- aDO%: es el valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, es decir, $|100 - \%OD|$
- DIN: es el nitrógeno inorgánico disuelto, $\text{N}-(\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4^+)$, en $\mu\text{g/L}$
- PRS: es la concentración de fosfato reactivo soluble en $\mu\text{g l}^{-1}$

Aunque los autores recomiendan usar la nomenclatura que indique la forma química de los nutrientes que se utilizaron para el cálculo del TRIX, Aranda Cicerol (20094) por simplicidad hizo referencia solamente como TRIX y no como TRIX (nP). El TRIX ha sido incluido por la legislación italiana, en la evaluación del estado del agua de mar, de acuerdo a la siguiente clasificación (Tabla 2), (Giovanardi et al., 2002; Penna et al., 2004).

Tabla 2. Índice del estado trófico, TRIX, y calidad del agua, de acuerdo a la legislación italiana en la evaluación del estado del agua de mar (Penna et al., 2004)

TRIX	Estado de calidad del agua	Características del agua
2-4	Alta	Agua pobremente productiva Nivel trófico bajo
4-5	Buena	Agua moderadamente productiva Nivel trófico medio
5-6	Mala	Agua entre moderada y altamente productiva Nivel trófico alto
6-8	Pobre	Agua altamente productiva Nivel trófico más alto

5. Observaciones visuales relevantes de campo

Los registros en el campo proveen una información valiosa del sitio, para la interpretación de resultados; sobre todo en lo que se refiere al hábitat en que viven los organismos; por ejemplo si los peces empiezan a boquear o flotan en la superficie puede ser una señal de la disminución de oxígeno, el aporte de sustancias tóxicas o enfermedades.

5.1. El color

Las aguas naturales pueden ser incoloras o incluso azules dependiendo de la profundidad; sin embargo, algunas aguas naturales tienen cierto color que depende de los materiales disueltos y suspendidos e incluso de los de sedimentos del fondo. En la Tabla 3 se proponen ejemplos del color de agua y su consecuencia en las que se adicionan otros resultados de observaciones de campo:

Tabla 3. Colores del agua y causas posibles (EPA, 1993)

Color aparente	Posible razón
Pavón (azulado)	Sustrato coloreado
Verde	Fitoplancton;
	Los lagos pardo-amarillentos son producidos por densas poblaciones de diatomeas. Los grandes florecimientos de <i>Oscillatoria rubescens</i> , cuando existe mezcla de agua entre el hipolimnio y el epilimnio dan una coloración púrpura o rojiza.
Rojo, amarillo, caoba	Algas, dinoflagelados. Otro ejemplo lo pueden representar los lagos cráter, cuya agua rojiza puede presentarse por la suspensión de hidróxidos férricos.
Tonalidades grisáceas	Los lagos de las zonas áridas.
Coloraciones púrpuras	Las bacterias sulfurofilicas confieren en algunos lagos salados cuando se produce abundante H ₂ S (ácido sulfhídrico) en los sedimentos del fondo un tono púrpura debido a la reducción de sulfatos. También la <i>Daphnia</i> (pulga de mar) da una coloración rojiza.
Amarillo/café	Turba (carbón vegetal) y compuestos orgánicos
Iridiscente	Grasas y aceites
Muchos colores	Erosión del suelo

Por otra parte, también puede ser utilizada la escala numérica DE FOREL-ULE, ésta indica el color del agua en un rango que va desde 0 (azul profundo) hasta 10 (amarillo potásico cromado). Consiste en la comparación del color de la columna de agua con una escala de tubos constituida por diferentes colores por la adición de distintas concentraciones de sales (como sulfato de cobre, potasio, cromo-cobalto y sulfato; escala de Forel-ULE) designados numéricamente (I-XXI) y vista sobre la superficie de un fondo blanco (por lo general la parte blanca del disco Secchi a una profundidad de la mitad de la desaparición visual de dicho disco). El resultado es un índice de color de la masa de agua que da una idea de la tipo de agua y por lo tanto ayuda a clasificar la actividad biológica bruta.

5.2. Dinámica superficial del agua

Superficies en calma, rizaduras u ondas de oleaje, son condiciones que indican la mezcla que se presenta en la capa superficial; cuando es un oleaje fuerte se disuelve más oxígeno que ayuda a la respiración de los organismos y a la oxidación de compuestos orgánicos.

5.3. Indicadores de contaminación

Algunos contaminantes no se pueden ver, sólo a través de lesiones en peces, que da idea de la presencia de compuestos tóxicos o incluso un gran número de peces muertos. Herrumbre coloreada puede provenir de descargas mineras, de grandes cantidades de escombros flotantes o de aguas turbias procedentes de descargas urbanas. Todas estas características se deben registrar en la libreta de campo.

5.4. Registros de la orilla

Dado los beneficios que ofrece establecerse al margen de los cuerpos de agua, en su registro del marco biofísico es importante cuantificar el número de casas habitación, industrias y actividades agrícolas, ganaderas y turísticas con marinas o puertos, así como todo aquello que impacte potencialmente a cuerpos de agua. Todo lo anterior identifica no sólo las fuentes potenciales de contaminación, sino también elementos para seleccionar puntos de monitoreo.

5.5. Otras condiciones

El tiempo meteorológico debe registrarse a la hora del muestreo para la interpretación de resultados.

En latitudes donde aparece hielo, éste puede afectar el contenido de oxígeno disuelto porque evita el intercambio entre la atmósfera y agua; además de que daña plantas y animales.

Las tormentas pueden generar una erosión normal, produciendo una turbiedad del agua por material en suspensión. Desde el punto de vista antropogénico, la dinámica de circulación cambia por dragados y canalizaciones, así como construcciones ingenieriles que conducirán a la erosión en un sitio y la sedimentación en otro sitio, transformando el hábitat de los organismos y enturbiando el agua.

El color aunque es subjetivo, puede ayudar a revelar los problemas en la calidad del agua que no son vistos en forma aparente. Efluentes industriales y municipales con materia orgánica y bacterias producen olores distintos. Registro de la precipitación local (incluyendo bases amplias de datos) ayudará al monitoreador a definir las posibles causas de la turbiedad y erosión; incluso las tormentas con vientos pueden causar dicha turbiedad por mezcla del fondo. Además, la precipitación puede ayudar a explicar ciertos impactos. El registro de mareas es importante en estuarios y lagunas costeras sobre todo cuando son grandes y mezclan y rompen la estratificación.

5.6. Registros vivos

Una evaluación simple de la cantidad y tipo de organismos vivos puede ayudar a determinar el grado de impacto a que ha sido sometido un cuerpo de agua; por ejemplo, número de aves acuáticas, peces juveniles, presencia de vegetación sumergida, peces muertos o conchas esparcidas; entre otros.

La abundancia de fitoplancton es indicador de la calidad del agua, especialmente del contenido de nutrientes; además existen ciertas diatomeas y dinoflagelados que le imprimen color al agua. Su distribución en parches dificulta su adecuado muestreo, condición que lleva a tomar muestras por triplicado para ser más representativo. El registro visual de grandes florecimientos ayuda al manejo de resultados.

En el caso de la vegetación sumergida, ésta sirve como un barómetro de la salud de los cuerpos de agua, ya que forma un eslabón entre el hábitat físico y la comunidad biológica y monitorear su composición y densidad ayuda a estimar dicho estatus de salud. Dentro de cuerpos de agua continentales la eutrofización en forma natural es resultado de un envejecimiento por asimilación de nutrientes, incremento de sedimentos, limos y materia orgánica procedente de la cuenca que rodea a los cuerpos de agua como lagos; sin embargo, las actividades humanas como la agricultura, urbanismo, desarrollos residenciales aceleran dicha eutrofización denominada cultural, que se traduce en:

- a) Incremento del crecimiento algal (estimulado por los nutrientes).
- b) Incremento de plantas enraizadas.
- c) Disminución de oxígeno disuelto por incremento de procesos respiratorios y de descomposición; condición que induce a la muerte de peces y de otra vida acuática.

Las condiciones naturales de envejecimiento no sólo disminuyen las dimensiones de los cuerpos de agua incluyendo la profundidad, sino también incrementan la turbiedad y se acidifica el medio y proliferan bacterias no deseadas. En cuanto a la acidificación normal de los lagos, que conlleva a la disminución de flora y fauna, tienden a ser claros por ausencia de vida. Pero la lluvia ácida que reciben directamente o por escurrimientos, procedentes de la quema de combustibles fósiles, acelera la contaminación. Una hoja de registro de campo siempre apoya al reconocimiento de bioindicadores.

6. Planteamiento del muestreo

La planeación es un requisito esencial para un adecuado manejo de la información. Después de que han sido definidos los objetivos del muestreo, hay una serie de preguntas que contestar: qué, cómo y cuándo debe realizarse el muestreo, así como contemplar aspectos de transportación, equipo, personal participante y costos, principalmente. Por lo que las partes fundamentales de la planeación de un muestreo son:

- 6.1. Determinación de los sitios de muestreo a partir del área de estudio previamente delimitada

Como primer paso, es preciso tener en cuenta que el levantamiento de la información en campo será en los sitios de referencia o de validación de caudal ecológico seleccionados en conjunto con el resto del equipo o las demás especialidades involucradas en el estudio de caudales ecológicos. De manera general, el sitio de referencia deberá tener una dimensión de al menos cinco veces el ancho del cauce federal y en la medida de lo posible deberán evitarse los meandros, planicies arenosas de baja diversidad o zonas estancadas (para el caso de ambientes lóticos) que impidan desarrollar un modelo hidráulico.

Para el caso concreto de la calidad del agua, las estaciones de muestreo se deberán elegir para analizar y comprender su relación con los caudales naturales y la presencia o ausencia de flora y fauna, por lo tanto, dicha selección deberá ser una representación general del sitio de estudio (por ejemplo tramo de río o laguna) y la estrategia de muestreo deberá realizarse en función de las características morfológicas y tamaño del cuerpo de agua (ya sea río o humedal).

En la mayoría de los casos, la parte más profunda de un lago representa a las estaciones promedio mejores, en lagos circulares la sección más profunda está cerca del centro y en reservorios está cerca del represamiento. En lagos que presentan brazos o bahías, es usual muestrear en la sección más profunda en cada uno, pudiendo encontrar notorias diferencias biológicas.

Dependiendo de las generalidades de la cuenca en términos de su impacto, así como del objetivo de determinación de caudal ecológico (por ejemplo, para la restauración o restablecimiento del régimen hidrológico y las condiciones ecológicas asociadas), también pueden elegirse áreas donde existen problemas conocidos, por ejemplo descargas de nutrientes. Los sitios de muestreo de descarga potencial pueden ser granjas, desarrollos residenciales o urbanos. El monitoreo puede evidenciar el manejo específico entre cuencas. La selección de muestreo debe ser consistente a los programas para obtener datos confiables entre ríos, lagos u otros embalses en términos de comparación; por ejemplo, si en un lago se elige muestrear en el fondo, todos los programas deben ser a la misma profundidad, en el fondo. En la Tabla 4 se presenta un formato sugerido de hoja de registro en campo para el apoyo al reconocimiento de bioindicadores

Además, el monitreador debe contar información preliminar del cuerpo de agua como:

- Contorno batimétrico para ubicar la máxima profundidad.
- Un mapa de la cuenca donde incluyan los principales afluentes y efluentes.
- Resumen histórico de la calidad del agua y las estaciones previas de muestreo e información sobre cualquier problema del cuerpo de agua (florecimientos algales, malezas, peces muertos).
- Información de actividades en la cuenca que influyen en los muestreos (descargas puntuales como aguas residuales y no puntuales como agricultura).
- Información sobre actividades que afecten a los cuerpos de agua y que cambian los resultados; como dragado, tiraderos, rellenos, entre otros.

Esta información impacta la selección de los sitios de muestreo y en la interpretación de los resultados. Una vez identificado el sitio de muestreo, éste deberá marcarse claramente en el mapa correspondiente. Para muestrear el mismo sitio, se recomiendan tres formas:

- Uso de marcas visibles en la orilla o empleo de árboles, casas o rocas.
- Empleo permanente de boyas
- Ambas formas haciendo un ángulo de 90° con su vértice en el sitio de muestreo. También hay que tomar en cuenta que la profundidad a la que se toman las muestras debe ser la

misma y cuando se trata de fitoplancton e incluso algas, debe ser en la zona eufótica (iluminada) o también integrar diferentes profundidades. Actualmente, el posicionamiento por GPS es más exacto.

Tabla 4. Formato de registro de campo sugerido (EPA, 1993) para el levantamiento de información.

<p>Características del sitio</p> <p>Fecha de muestreo: _____ Hora _____ (a.m./ p.m.)</p> <p>Nombre del monitoreador _____</p> <p>Nombre del sitio _____</p> <p>Coordenadas: Latitud Norte _____ . Longitud Oeste _____ .</p> <p><i>Características meteorológicas</i></p> <p>Viento: Calma ___ brisa ligera ___ brisa moderada ___ tempestuoso ___.</p> <p>Tiempo: Claro ___ parcialmente nublado ___ cerrado ___ lluvioso ___ llovizna ___ bruma ___ nieve ___.</p> <p>Dirección del viento. N ____, NE ____, E ____, SE ____, S ____, SW ____, W ____, NW ____,.</p> <p>Temperatura del aire: _____ °C</p> <p>Precipitación: (acumulación semanal) _____.</p> <p>Marea: Pleamar _____, marea muerta _____, bajamar _____.</p> <p>Superficie del agua: Calma ____, rizadura ____, oleaje ____, marejada ____.</p> <p>Color del agua: café mediano ____, café oscuro ____, café rojizo ____, verde ____, café ____, amarillo-café ____, otros _____.</p> <p>Olor: aguas residuales ____, aceitosas ____, a peces ____, a huevos podridos ____, Ningún olor ____, a otros ____.</p> <p>Otros: Ortigas acuáticas ____, peces muertos ____, cangrejos muertos ____, florecimientos algales, capa aceitosa ____, escombros ____, espuma ____, burbujas ____, otros ____.</p> <p><i>Medidas de Calidad del Agua</i></p> <p>Profundidad de penetración de la luz al disco de Secchi _____ m.</p> <p>Profundidad de la columna de agua _____ m.</p> <p>Temperatura del agua _____ °C</p> <p>Salinidad _____ g/L ó conductividad _____ µS/cm,</p> <p>pH _____ Oxígeno disuelto _____ mg/L.</p> <p>Tiempo empleado en el muestreo _____.</p> <p>Observaciones _____</p> <p style="text-align: center;">NOMBRE Y FIRMA</p>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">13</div>
--	--

La Tabla 5 deberá ser usada para complementar la recabar información ambiental y ayudarse en la interpretación de resultados en general.

Tabla 5. Formato para el levantamiento de información ambiental complementaria (Fuente: Carbajal Pérez, inédito)

Nombre del cuerpo de agua
 Estación o sitio
 Fecha del muestreo
 Nombre del monitoreador
 Profundidad de la penetración de la luz al Disco Secchi o turbiedad _____ m.

Observaciones de Campo

I Condiciones del agua

1) Color del agua
 _____ Clara _____ Amarilla _____ Verde _____ Gris
 _____ Café _____ Azul verde

2) Cantidad de sedimentos suspendidos.
 _____ Ninguno _____ Moderado _____ Mínima _____ Alta _____ Ligera

3) Cantidad de algas suspendidas
 _____ Ninguna _____ Moderada _____ Mínima _____ Alta _____ Ligera

4) Cantidad de plantas acuáticas
 _____ Ninguna _____ Moderada _____ Mínima _____ Alta _____ Ligera

5) Calidad del agua por efecto de actividad de aves.
 _____ Ninguna _____ Moderada _____ Mínima _____ Alta _____ Ligera

6) Olor del agua
 _____ Ninguna _____ Moderada _____ Mínima _____ Alta _____ Ligera

7) Otros materiales observados
 _____ Ninguna _____ Masas de algas
 _____ Peces muertos _____ Montones de sedimento
 _____ Basura _____ Polen
 _____ Hojas/escombros _____ Filmes de aceite

II Condiciones ambientales.

1) Tiempo del registro del disco de Secchi
 _____ Fuerte radiación solar _____ nublado _____ sol brumoso
 _____ Condiciones brumosas brillantes.

2) Temperatura del aire.
 _____ Fría 4°C _____ Muy caliente > 32°C
 _____ Templada de 5° a 15° C _____ Caliente de 16° a 26°C

3) Condiciones de viento
 _____ Calma _____ Fuerte _____ Brisa

4) Dirección del viento
 _____ No-viento _____ del Este _____ del Norte _____ del Sur _____ del Oeste

5) Superficie del agua
 _____ Calma _____ olas moderadas _____ rizaduras
 _____ Olas rompientes _____ pequeñas olas

6) Nivel del lago
 _____ Arriba de lo normal _____ normal _____ debajo de lo normal

7) Registros de condiciones inusuales en semanas pasadas
 _____ Tormentas _____ fuertes vientos _____ temperaturas extremas

En cuanto a la vegetación enraizada (plantas) asociada a las condiciones de los cuerpos de agua, el monitoreo debe considerar:

- Un mapa de distribución.
- La densidad relativa de plantas tipo a lo largo de transectos perpendiculares a la línea de costa en áreas selectas.
- Colecta de especímenes para su especial identificación.

15

Una vez elegidas las estaciones de muestreo se registrarán *in situ* los parámetros básicos (por ejemplo multisonda Hydrolab), así como muestras de agua obtenidas con la botella muestreadora elegida y las profundidades propuestas en el presente documento y colocadas en frascos de polipropileno de 250 ml/L tratadas previamente con ácido clorhídrico al 1% y posteriormente enjuagadas suficientemente con agua destilada para no dejar rastros del ácido. Una vez obtenidas las muestras de agua se congelarán a -4°C en una hielera ya sea con hielo seco o con hielo normal adicionando sal, acetona o alcohol para mantener dicha temperatura.

6.2. Material y equipo general

Las etiquetas para las muestras en bolsas de plástico o frascos deberán contener los siguientes datos:

- 1) Fecha y hora de colección.
- 2) Lugar de colección (local, regional o estatal del cuerpo de agua).
- 3) Nombre del colector

Adicionalmente, se requerirá el siguiente material para el apoyo en la toma de información:

- Mapa del lugar a colectar o monitorear, con las estaciones ubicadas previamente con base en características geomorfológicas (que deben incluir profundidad, circulación, aportes fluviales y marinos), de vegetación sumergida y limítrofe y su zonación, de asentamientos urbanos e industriales de todo tipo y de todo aquel elemento que destaque dentro del ambiente acuático y que justifique ambiental o antropogénicamente el muestreo.
- Libreta para describir y anotar características más importantes de las muestras colectadas y de su entorno acuático, sedimentos y suelos, así como estado del tiempo y otros aspectos ambientales relevantes que en su caso se señalarán en los protocolos de muestreo de cada disciplina en el ámbito de la evaluación de caudal ecológico; aquellos bioindicadores que no se identifiquen con seguridad se anotará en la libreta de registros para hacerlo en el laboratorio.
- Cajas transportadoras para el material colectado; éstas pueden ser de diferentes dimensiones, diseño y material dependiente del tipo de muestras según cada disciplina.
- Cubetas, cable, ancla, nucleadores o dragas para sedimentos así como botellas muestreadoras para agua como la Nansen, Van Dorn o Ninskin y hieleras para conservar

las muestras de agua a -4°C , frascos de 250ml para determinaciones de nutrientes, bolsas de papel glasin o de plástico, frascos de vidrio o plástico. Soluciones conservadoras como alcohol o formol.

- Termómetro, oxímetro, pHmetro, disco de Secchi, o si se cuenta con una multisonda (Hydrolab). La metodología para los nutrientes del nitrógeno y fósforo por espectrofotometría y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) según APHA (2009).

6.3. Campañas de campo

La toma de muestras para el análisis de la calidad del agua deberá realizarse tanto en época de secas, como en época de lluvias. El momento preciso deberá ser consultado y acordado por todo el grupo de especialistas en el contexto de la evaluación de caudal ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012, Apéndice F). Es importante mencionar que en la medida de lo posible el levantamiento de muestras coincida con los muestreos de los diferentes grupos biológicos, particularmente para el caso de macroinvertebrados y peces.

7. Resultados esperados

7.1. Presentación de resultados

La presentación de resultados deberá realizarse en un formato simple, claro y preciso; esto es importante para un informe integrado confiable. Una base de datos con técnicas analíticas precisas ofrece elementos buenos para el manejo, la administración y la conservación del recurso agua. Muestras pobres y técnicas inseguras aunadas a una mala presentación de resultados conducen a interpretaciones erróneas. Las técnicas para presentar resultados pueden variar según el público usuario, pero siempre accesibles de entender.

La pérdida de información ocurre cuando los datos son colectados apresurados y en desorden o almacenados; dicha información se vuelve inservible y por consecuencia inútil; el seguir los protocolos asegura calidad, además, la revisión de Comités precisan la calidad.

La periodicidad de la presentación de resultados estará asociada a los talleres de discusión y evaluación de caudal ecológico, en el contexto de la NMX-AA-159-SCFI-2012, Apéndice F. En el marco de estos talleres, deberá presentarse: 1) Listado de intervalos cualitativos de la biota a los cambios de calidad del agua, asociados a su vez a cambios potenciales de caudales conforme al régimen hidrológico natural, y en particular para las especies más sensibles seleccionadas previamente como bioindicadores con el apoyo de los expertos de los otros grupos biológicos (vegetación, macroinvertebrados y peces); y 2) Presencia de aguas residuales, nivel de saturación, capacidad de dilución y asimilación y estado actual de la calidad del agua en el sitio de muestreo clasificado a cuatro categorías conforme a los criterios cualitativos que orientan la evaluación de caudal ecológico señalados en la Tabla 1 del cuerpo de la NMX. Adicionalmente, hay tres reglas de presentación de resultados, que aunque simples, se recomiendan ampliamente:

- Los resultados no deben ser totalmente técnicos, tampoco demasiado simples; deben considerar desde la consulta de un especialista en calidad del agua hasta especialistas en otras disciplinas. Presentar gráficas son muy útiles y deberán acompañarse por la interpretación del especialista de calidad del agua.
- La presentación de los datos deberá transmitir información con un propósito específico (por ejemplo mostrar tendencias, ilustrar variaciones estacionales, variaciones con la profundidad o identificar sitios con problemas), en este caso, la evaluación del estado ecológico del sitio desde la perspectiva de la calidad del agua, en el contexto de caudal ecológico.
- Tablas con los registros en bruto pueden servir para detalles locales o puntuales.

Tres formas gráficas existen para la mejor presentación de resultados; en barras, pay y líneas continuas; todas requieren de una interpretación. Las barras se emplean con énfasis a valores individuales más que tendencias; el pay compara partes de un todo con base en un 100% de todos los datos; y la línea continua muestra cambios o tendencias sobre un periodo de tiempo y espacio.

Las estadísticas básicas son usuales para un conjunto de datos, que condensan eficientemente la variabilidad de un parámetro. El promedio estadístico describe la tendencia central y la desviación estándar describe la dispersión de los datos alrededor del promedio o media, usualmente estas dos estadísticas son comunes en la base de datos; aunque en las tablas de los datos en bruto no se requieran, su inclusión permite discriminar su dirección. Esta discriminación es necesaria porque hay muchos factores o condiciones que pueden presentarse en cuerpos de agua, incluyendo cambios de estación, condición del tiempo, meteorología, actividades en la cuenca, etc., de esta manera se describen constantemente las condiciones de dinámica en los cuerpos acuáticos.

7.2. Interpretación de resultados

Después de hacer la base de datos que contengan las tablas, gráficas y estadísticas, es necesario interpretar dichos datos para determinar el resultado de la calidad de cualquier cuerpo de agua, tanto para el manejador del ambiente como para el científico y el público en general. Tal interpretación deberá ser por parámetro y al final contener un análisis integral; es decir, individualmente: temperatura, conductividad (salinidad), visibilidad al disco de Secchi, pH, oxígeno disuelto, amonio, nitratos, nitritos, fosfatos, clima (precipitación, vientos) y registros como vegetación (fitoplancton, plantas, algas) organismos vivos o muertos como peces, crustáceos, moluscos, insectos.

Posterior al análisis individual deberá realizarse un análisis que integre todos los parámetros, considerando en ello tanto la parte abiótica como la biótica. Esto deberá servir como un diagnóstico del estado de salud de un cuerpo de agua.

8. Diseño de una red de monitoreo y evaluación del seguimiento de calidad del agua

8.1. Criterios de elección de parámetros limnológicos y de calidad del agua

El agua, como solvente universal, disuelve la mayoría de compuestos de suelos y rocas a su paso por la corteza terrestre; efecto coadyuvado por el clima, vegetación y actividades antropogénicas dando como resultado una composición particular local.

Dentro del programa “Definición de Perfiles de la Red de Monitoreo de la Red Nacional de México de la CNA (1998)”, se consideran los siguientes elementos, sugeridos para elegir los sitios que representen determinadas características químicas del agua locales:

- 1) Clima
- 2) Roca
- 3) Suelo
- 4) Vegetación
- 5) Sistema fluvial
- 6) Actividades antropogénicas

Dada la diversidad en cada uno de estos elementos en el país y sus combinaciones, resultaría un alto número de sitios a muestrear; situación difícil de llevar a cabo desde los puntos de vista práctico y económico, aunque con un alto grado de significación limnológica. Desde el punto de vista práctico se deben adicionar a los seis elementos:

- 7) Experiencias anteriores
- 8) Accesibilidad

Para resolver esta complejidad la CNA (1998) consideró tres componentes principales de cada elemento (Tabla6) que representan una mayor diversidad de condiciones:

Tabla 6. Componentes por elemento considerado para el muestreo en la mayor diversidad de condiciones.

Clima	Roca	Suelo	Vegetación	Uso del suelo
Tropical lluvioso A	Ignea I	Litosol L	Bosque B	Agricultura A
Desértico B	Metamorfica Me	XerosolX	Pastizal P	Industria I
Templado húmedo C	Sedimentaria S	Vertisol V	Matorral M	Urbano U

Un ejemplo de dichas combinaciones sería un sitio BSXMI que significa un agua cuya composición sería resultado de un clima desértico (que concentra sales) con suelo cárstico sedimentario y roca calcárea (que imprime al agua sales de calcio como carbonatos y bicarbonatos), en donde sólo crece matorral y se asienta la industria textil; la tendencia sería a formarse aguas duras o semiduras.

Hasta 1994 se tenía una red de monitoreo para todo el país; según Secretaría de Desarrollo Social (SDS) y el Instituto Nacional de Ecología (INE) de 793, correspondiendo 383 estaciones para vigilar 196 ríos, 244 para aguas subterráneas, 76 en 42 presas, 25 en drenes, 24 en 13 canales, 20 vigilan 12 zonas costeras cinco para estuarios, 23 cubren 22 lagos y lagunas, siete para arroyos y seis para cenotes. En este contexto, toda información histórica que pudiera compilarse es importante para el estudio.

Elección de parámetros limnológicos y de calidad del agua. Dado que un buen número de ríos drenan a lagunas, estuarios y mar abierto, existen una serie de parámetros fisicoquímicos comunes entre las aguas dulces y costeras, pero con límites e interpretación distintos; existen también otros que son exclusivos de una elección y análisis limnológico o costero, diferentes a los de la calidad del agua para diversos usos y control de la contaminación (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros básicos comparativos a evaluar en diferentes cuerpos de agua.

Parámetro	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	
Continuación.				
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 a		X		X
Transparencia (Disco Secchi)		X		X
Ortofosfatos	X	X		X
Fósforo Total (no filtrado)	X	X		X

Esta información está modificada de la Guía Operativa (GEMS/AGUA) del Sistema Mundial de Vigilancia Ambiental (GEMS) (PNUMA, OMS, UNESCO, OMN); 1978. *Pueden estar representados por la dureza.

8.2. Monitoreo

Establecer una red de muestreo para la determinación de la calidad del agua, al igual que en cualquier otro contexto, es importante para el seguimiento al estudio de caudal ecológico. La existencia de varios tipos de factores (suelo, pendiente, vegetación, mezcla, reacciones químicas, clima, manejo hídrico, entre otros) en un sitio es responsable de la composición espacial e incluso temporal de las características fisicoquímicas de cualquier cuerpo de agua léntico y lótico; por lo que es necesario realizar un adecuado diseño del muestro horizontal e inclusive vertical, que representen la idoneidad del cuerpo de agua y su origen incluso, aunque por su variabilidad temporal la elección de sitios de muestreo tenga cierta incertidumbre, debe tratar de establecer el procedimiento de toma de muestras lo más acertada y posiblemente repetible. En algunos casos, una primera exploración del sitio permitirá estimar una red de muestreo que se acerque a la realidad, pero en cualquier caso será necesaria una investigación previa del sitio para determinar si la distribución de las características es homogénea o heterogénea.

Existen experiencias interesantes que a efectos del presente protocolo resultan importantes a considerar. Según la Conserjería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente (SCAPMA) (www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/wb, fecha de consulta agosto de 2013) hay dos procedimientos para la elección de los sitios de una red para el monitoreo: uno denominado orientado o a juicio del experto y el otro es el aleatorio. En el primero el muestreador, sobre la base de su experiencia y conocimientos, es quien decide en qué lugares del sitio han de ser tomadas las muestras, así como el número total de muestras a tomar. En el segundo, el muestreo es probabilístico. En cualquier caso, los sitios de la red propuesta deberán ser representativos de la evaluación de caudal ecológico, en el contexto de la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012.

En realidad, la denominación de muestreo aleatorio puede llevar a pensar que el muestreo es casual o azaroso; por el contrario, obedece a normas estrictas basadas en la teoría de la probabilidad. Ambos procedimientos de muestreo (orientado y aleatorio) llevan a un cierto error de muestreo. En el muestreo orientado el error, que es conocido como sesgo. Contrariamente, en el muestreo aleatorio el error que se genera es probabilístico, y por tanto, puede ser determinado a través de los procedimientos estadísticos pertinentes. Así pues, la ventaja que presenta este último tipo de procedimientos hace que sean más utilizados, sobre todo cuando es relevante la caracterización del error del muestreo. En la determinación de las características del agua o de sustancias contaminantes en un sitio potencialmente contaminado, para su comparación con valores de referencia de calidad del agua, es crítico que el error que pueda cometerse esté acotado en límites aceptables, ya que de otra manera la eficacia sobre la actuación a realizar en el sitio puede estar seriamente comprometida de partida. Por ello, el muestreo aleatorio resulta ser más conveniente que el orientado para llevar a cabo el proceso de investigación.

8.2.1. Muestreo aleatorio

Existen varios procedimientos para realizar un muestreo aleatorio. La mayor o menor adecuación de cada uno de ellos está en función del tipo de distribución espacial que presentan los compuestos que le caracterizan a la calidad del agua o de los contaminantes que puede llegar a contener. Con base en lo propuesto por SCAPMA, hay dos procedimientos: (1) basados en modelos; y (2) basados en diseños aleatorios.

Algunos autores proponen planes de muestreo basados en modelos geoestadísticos. Estos procedimientos requieren un muestreo previo cuyos resultados se someten a estudio geoestadístico; sin embargo, requieren un gran número de muestras.

Los procedimientos de muestreo horizontal basados en diseños aleatorios puede ser simple, siempre y cuando las características del agua sean homogéneas. El muestreo aleatorio simple se caracteriza porque cualquier punto de muestreo presenta la misma probabilidad de ser seleccionado que los restantes puntos de muestreo.

La aplicación de este modelo requiere que el área de estudio sea dividida en unidades de muestreo, cada una de las cuales será candidata a ser muestreada, y por tanto, a convertirse en un punto de muestreo para el seguimiento de la calidad del agua (Figura 1). El número de unidades de muestreo o localizaciones a definir en cada sitio está básicamente en función de su extensión superficial. Cada una unidad de muestreo se le asocia un número, cuya selección está sometida a un listado de números aleatorios. De esta manera, la probabilidad de que cada unidad sea muestreada es igual e independiente a la que presentan el resto de unidades de muestreo. Otra posibilidad consiste en dividir el área de estudio (tramo de río, lago o laguna) en una grátícula conforme coordenadas X y Y (longitud-latitud) a las que se les asocia números aleatorios.

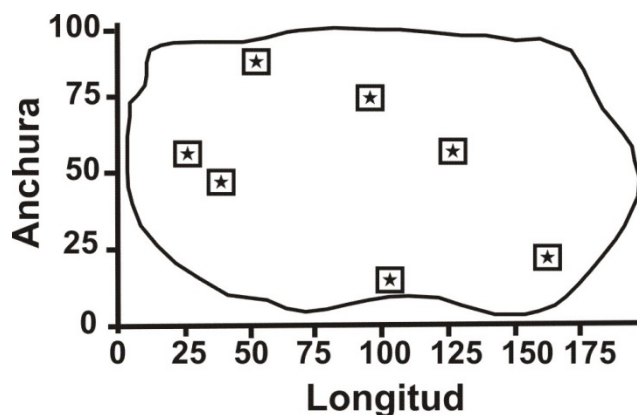


Figura 1. Muestreo aleatorio tomado de SCAPMA

Algunos autores indican que en zonas pequeñas (<0.5 ha) puede ser suficiente que se tomen entre cinco y 10 muestras. Zonas más grandes o más variables pueden requerir más muestras, no

obstante, se observa que a partir de 25 muestras se gana poca precisión. En cualquier caso el número de muestras a tomar en cada sitio puede ser determinado estadísticamente en función de la precisión requerida en cuanto a error de muestreo.

8.2.2. Muestreo aleatorio estratificado

La SCAPMA sugiere del muestreo aleatorio estratificado para el muestreo de sitios en los que la distribución espacial de las características fisicoquímicas o de contaminantes es heterogénea, debido a la variabilidad en los factores ya señalados (suelo, pendiente, vegetación, etc.).

La justificación para la definición de distintos estratos está en que la variabilidad que presentan los mismos es inferior a la que presenta el conjunto del sitio (Figura 2). Debe considerarse que la aplicación de un procedimiento de muestreo aleatorio estratificado exige que: (1) los estratos no se superpongan; (2) la suma de los tamaños de los estratos sea igual al área total del estudio; (3) no se excluyan intencionadamente estratos; y (4) la localización de las muestras aleatorias dentro de cada estrato se lleve a cabo tal como se especificó para el muestreo aleatorio simple.

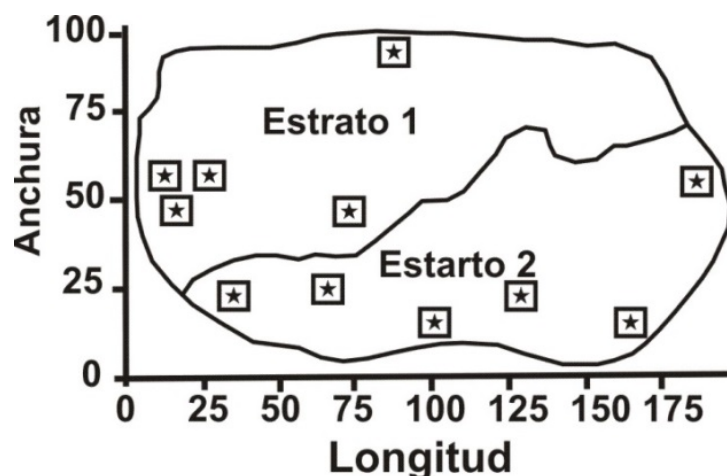


Figura 2. Muestreo aleatorio estratificado tomado de SCAPMA.

Lo anterior es específico para cuerpos de agua lénticos o cerrados; sin embargo para ríos que desembocan al mar (estuarios y lagunas), hay que considerar la estratificación que se forma por la cuña salina (agua de mar que por su mayor densidad penetra por debajo del agua dulce o fluvial); en cuyo caso se traza una línea perpendicular de la costa hacia el interior del río y se realizan muestreos verticales hasta donde desaparezca la salinidad procedente del mar. Asimismo hay que tomar en cuenta que las dimensiones espacio temporales dependen de la marea. Este tipo de muestreo espacial conviene particularmente para determinar el tipo de circulación costera y su influencia sobre la dispersión de los contaminantes que sean descargados al mar (Figura 3).



Figura 3. Muestreo estratificado en estuarios.

8.2.3. Muestreo aleatorio sistemático

La SCAPMA lo refiere en un procedimiento donde los puntos de muestreo son localizados a una distancia fija de un primer punto de muestreo aleatorio. Por tanto, únicamente ese primer punto de muestreo es aleatorio, y todos los demás son localizados a partir de éste. La aplicación de este procedimiento parte de la superposición de una red o malla al área de estudio. Cada unidad de malla constituye una unidad de muestreo. En una de las unidades de muestreo se selecciona un punto de muestreo aleatoriamente, y a partir de éste se ubican en cada una de las unidades de muestreo tomando en cuenta una distancia prefijada (Figura 4).

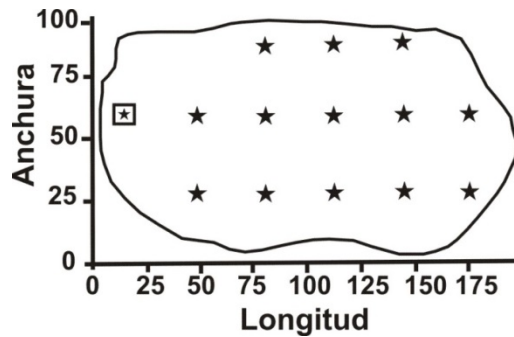


Figura 4. Muestreo aleatorio sistemático tomado de SCAPMA.

Este procedimiento resulta útil cuando no se tiene evidencia sobre la distribución espacial de las características fisicoquímicas o calidad del agua o de algún contaminante en el sitio. No se conoce si existe homogeneidad o heterogeneidad espacial en dicha distribución espacial. De modo que, es aconsejable su aplicación cuando no se tiene un conocimiento del sitio o resulta complejo determinar *a priori* si la distribución espacial de las características o los contaminantes es

homogénea o heterogénea. La aplicación del procedimiento permite, en estos casos, realizar un barrido de toda el área de estudio, y conocer si la distribución espacial es homogénea o heterogénea. En este procedimiento, el número de muestras a tomar en una fase inicial está determinado por el número de unidades en que se ha subdividido el área de estudio, que a su vez estará en función del tamaño de las mismas. Como se ha comentado para los otros procedimientos, el número de muestras puede ser estimado estadísticamente en función de la precisión requerida y ello puede obligar a redefinir el tamaño de las unidades después de un primer ensayo de aplicación del procedimiento en un sitio.

La aplicación de este procedimiento puede resultar problemática si existen variaciones temporales en la distribución espacial de las características del agua o de contaminantes, ya que si la distribución de los puntos de muestreo coincidiera con tales variaciones, podrían falsearse los resultados del sitio. Por ello, se recomienda que la red de unidades se elija de forma que no esté relacionada ni en la orientación ni en el espacio. También se propone que la muestra se tome en cada unidad de manera aleatoria o bien de forma sistemática a partir de unas distancias y ángulo prefijados, como se muestra en la Figura 5.

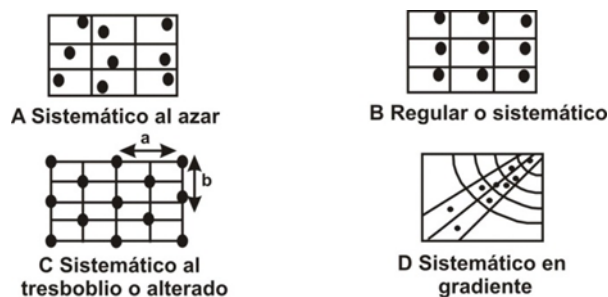


Figura 5. Tipos de muestreo sistemático tomado de SCAPMA.

8.2.4. Muestreo aleatorio compuesto

Este procedimiento consiste en tomar varias muestras y mezclarlas para obtener una muestra compuesta, de la cual se determina la concentración de cualquier sustancia. Se asume que el valor que se obtiene de la muestra compuesta es una estimación válida de la media que se hubiera obtenido promediando los resultados de las muestras que la componen. Esto es válido sólo si: (1) el volumen muestreado representa una población homogénea, (2) cantidades iguales de cada muestra contribuyen a la muestra compuesta. Como puede pensarse, este tipo de muestreo solamente puede ser aplicado en sitios uniformes y con gran homogeneidad en cuanto a la distribución espacial de contaminantes. De otra forma, puede generarse un error.

8.2.5. Tipos de muestreo sistemático

Cuando se aplica correctamente este procedimiento puede suponer un gran ahorro de recursos, tanto humanos como económicos.

Los distintos procedimientos arriba señalados pueden ser utilizados en combinación en el estudio de un sitio con características particulares o de contaminación, que son denominados procedimientos aleatorios múltiples. Por ejemplo, la aplicación de un muestreo aleatorio simple, en una primera fase exploratoria del sitio y posteriormente de uno estratificado; en una segunda fase de investigación propiamente dicha, constituiría un procedimiento aleatorio múltiple. Este sería el caso en el que no se conoce *a priori* la distribución espacial de las características fisicoquímicas o calidad del agua e inclusive de contaminantes y se decide por realizar un muestreo aleatorio simple. Después de conocer los resultados, se opta por dividir el sitio en varios estratos, para disminuir la variabilidad y muestrear áreas más homogéneas (Figura 5).

Una vez que se ha elegido el cuerpo de agua para el seguimiento de la como reserva de agua para la protección ecológica, es necesario tomar en cuenta el monitoreo espacial y temporal de los parámetros a determinar y en consecuencia el mantenimiento dentro de los límites ambientales aceptables para determinar el adecuado funcionamiento de la reserva.

La evaluación de parámetros básicos en un monitoreo, se realiza para detallar la distribución espacial tanto para la fisicoquímica como para la calidad del agua y como punto de partida para cambios futuros, es decir hacia una evolución natural en su composición (en el mejor de los casos) o hacia el registro de fuentes potenciales de contaminación antropogénica. Los parámetros básicos para aguas dulces y costeras (lagunas, esteros, marismas y oceánicas) se presenta en la Tabla 8, bajo un marco de parámetros más completo en el que se compara el monitoreo básico con el de la evaluación de la calidad del agua para otras finalidades u objetivos. En esta tabla se incluyen algunos parámetros para efectuarlos con menor frecuencia, como son los iones mayores; también destaca que la calidad del agua para abastecimiento requiere de un mayor número de parámetros.

Dentro de la elección de sitios de monitoreo existen dos alternativas: 1) Tomar en cuenta los elementos ambientales (clima, suelo, roca, vegetación, uso del suelo), los cuales tienen un significado limnológico y caracterizan el agua bajo condiciones normales (esto ya fue discutido anteriormente); y 2) Específicamente elegir sitios para el control de la calidad del agua que pudieran afectar la funcionalidad y propósito de la reserva de agua, en los que se incluyen estaciones asociadas a presas, plantas de tratamiento y descargas de todo tipo de actividades antropogénicas adyacentes, incluso puede comprender también al aspecto limnológico. Esta última alternativa será válida si en la reserva actualmente prevalece en términos generales (a nivel cuenca o unidad de gestión) esa condición de alteración, o si existe un inminente desarrollo de infraestructura que pudiera afectar su funcionalidad y propósito.

Existen diferencias entre cuerpos de agua lóticos (ríos) y lénticos (lagos y lagunas); en estos últimos se requiere tomar en cuenta la profundidad, dimensión, complejidad de rasgos morfológicos, aportes fluviales y marinos, entre los más importantes; un aspecto representativo y simplista, aunque sólo recomendable para disminuir costos, es elegir sitios en la entrada y salida

de los lagos (si es que los tiene) y en el caso de las lagunas costeras en la cabecera de influencia fluvial y la boca mareal que permite en la pleamar y bajamar representar lo que sucede al cuerpo de agua. A nivel de cuenca, se tomará en consideración las zonas funcionales de la cuenca (zona alta, media y baja). Además, se deberá considerar como base el resultado de la aplicación de la NMX-AA-159-SCFI-2012 (Apéndice F) para monitoreo y seguimiento a la reserva de agua, en particular el objetivo ambiental o de conservación determinado y acordado por el grupo multidisciplinario, CONAGUA y CONANP, y se requerirá la línea base de mediciones de los parámetros hidráulicos para el estudio (velocidad, profundidad, perímetro y área o sección mojada).

El perfil vertical de muestreo depende de la profundidad tanto del cuerpo lotico como del léntico, sin dejar de considerar la variabilidad del tirante de agua que cambia temporalmente, en especial en la latitud tropical que se encuentra México y sin dejar de considerar que algunos cuerpos de agua epicontinentales se consideren como templados dada su altitud, que compensa la latitud (Tabla 9).

Tabla 8. Selección de parámetros para la evaluación de la calidad del agua en relación a su uso (no industrial) (Chapman, 1992).

Parámetros generales	Monitoreo básico	Vida acuática y pesca	Abastecimiento de agua potable	Salud y recreación	Agropecuario	
					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 a	X	XX	XX	XX		
Nutrientos						
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			
Iones mayores						
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 9. Profundidad recomendada para el muestreo en la evaluación de la calidad del agua (CNA, 1998).

Profundidad media del cuerpo de agua	Recomendación
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.

En relación con muestreo en los ríos, éste depende de la accesibilidad y del equipo con que se cuenta para hacer transectos perpendiculares al flujo; situación que en el país, por aspectos orográficos y económicos, se realiza en un buen número de casos en puentes de carreteras. En las lagunas costeras que tienen poca profundidad, se recomienda en la superficie y fondo, pero cuando sobrepasan los 10 m se incluiría una intermedia.

Por lo que respecta a la frecuencia del muestreo, esta dependerá del tipo de parámetro que se requiera determinar; en parámetros de calidad del agua que deben efectuarse *in situ* y son:

- Temperatura
- Conductividad (puede hacerse incluso en el laboratorio)
- pH
- Turbiedad (disco de Secchi)
- Color

Aquellos parámetros “básicos” tanto desde el punto de vista limnológico como de la calidad del agua, se muestran en la Tabla 10 para aguas dulces y en la Tabla 11 para aguas costeras; en ellas se incluye la frecuencia mínima de muestreo; así mismo por giro industrial de impacto o potencial (Tabla 12).

Tabla 10. Parámetros básicos y frecuencia para calidad del agua (modificado de la OMM, 1993).

PARÁMETRO	RIOS	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 11. Parámetros básicos fisicoquímicos, de calidad del agua y frecuencia en los sistemas costeros.

VARIABLE	FRECUENCIA
Temperatura	Estacional
Salinidad	Estacional
Oxígeno Disuelto	Mensual
Nitritos	Mensual
Amonio	Mensual
Ortofosfatos	Mensual
Clorofila	Estacional
DQO	Mensual
Coliformes Fecales	Mensual
*Fuente: CNA, 1998	

Tabla 12. Parámetros adicionales para calidad del agua por giro industrial de impacto (o potencial) y su frecuencia.

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	Cuatrimstral
Textil	Metales Pesados Fenoles Hidrocarburos Alifáticos Aromáticos Policíclicos	Cuatrimstral
Farmacéutica	Metales Pesados Fenoles Hidrocarburos Alifáticos Aromáticos Policíclicos	Cuatrimstral
Petrolera y Petroquímica	Hidrocarburos Aceites-Grasas Metales Pesados Aromáticos Alifáticos Fenoles	Estacional
Cutiduria	Metales Pesados	Estacional
*Fuente: CNA, 1998b		

Con el objeto de contar con un punto de comparación en los niveles y concentraciones de los parámetros normales y permisibles en las Normas Oficiales Mexicanas en los diferentes cuerpos de agua, en la Tabla 13 se presentan diferentes intervalos. Es importante aclarar que es un intervalo generalizado porque hay sistemas acuáticos locales que en condiciones no impactadas sobrepasan los límites máximos (CNA, 1998b) y viceversa, es decir, hay localidades que no sobrepasan los mínimos establecidos por las Normas y pueden presentar ecológicamente hablando un impacto.

Tabla 13. Intervalo de concentración de parámetros básicos para diferentes cuerpos de agua en México.

PARAMETRO	RIOS	LAGOS EMBALSES	LAGUNAS ESTUARIOS	MARINA
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 µS/cm			
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
Solid. Susp. Tot.	1 a 50 mg/l	> 50 mg/l	> 50 mg/l	< 10 mg/l
Clorofila a	ID a 2.5 µg/l	ID a 8.0 µg/l	ID a 15 µg/l	ID a 2.0 µg/l
Sulfatos	ID a <400 mg/l	ID a <400 mg/l	<0.5 a 2500 mg/l	2500mg/l
Coliformes	AUSENCIA			

9. Referencias

APHA 2009. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater AWWA/APHA/WEF STANDARD METHODS. Washington DC. 1368 p.

ARANDA CIRERO N., 2004. Eutrofización y Calidad del Agua de una Zona Costera Tropical. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, España.

Aston S.R. (1980), "Nutrient, Dissolved Gases, and General Biogeochemistry in Estuaries", en E. Olausson y I. Cato (eds.), Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries, John Wiley and Sons, Nueva York, USA, pp. 233-262.

CNA 2010. Atlas digital del agua 2010. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/>

CNA, 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.

CNA, 1998b. Definición de Perfiles Generales de Monitoreo Integrados a la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. Informe Final. Instituto de Biología, de la Lanza Espino G. 135 p.

- De la Lanza Espino G. 1990. Algunos conceptos sobre hidrología y calidad del agua. En: de la Lanza-Espino G. y Arredondo Figueroa J.L. (comps.) p 181-199. La Acuicultura en México: de los Conceptos a la Producción. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 316 pp.
- De la Lanza Espino, G., 2002. Los humedales costeros mexicanos. En: Abarca F.J. y M. Herzig (eds.). Manual para el Manejo de Humedales en México. PRONATURA, SEMARNAT, NAWCC, DUMAC, Environmental Canada, RAMSAR.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1993. Volunteer Estuary Monitoring: a Methods Manual. Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Washington, DC 176 pp.
- Giovanardi, F., Cicero, A.M., Ferrari, C.R., Magaletti, E., Romano, E., & Rinaldi, A. 2002. Interrelationships between Trophic Index (TRIX) and Productivity Indicators in Italian Marine-Coastal Waters: A Tool for Water Quality Evaluation and Management. In: Brebia C.A. (Ed.). Environment Problems in Coastal Regions IV. Wit-Press, Southampton, Boston. Fourth International Conference on Environmental Problems in Coastal Regions, Rhodes Island, Greece. 380-389.
- Kennish M.J. (1986), "Ecology of Estuaries vol. I, Physical and Chemical Aspects". CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Van der Leeden F., F.L. Troise y D.K. Tood (1990), "The Water Encyclopedia", 2th Ed. Lewis Publisher Chelsea, Michigan, USA.
- Penna, N., Capellacci, S. and Ricci, F. 2004. The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. Marine Pollution Bulletin, 48: 3-4, 321-326.
- Van der Leeden F., F.L. Troise y D.K. Tood (1990), "The Water Encyclopedia", 2th Ed. Lewis Publisher Chelsea, Michigan, USA.
- Vollenweider R. A., Giovanardi F., Montanari G., Rinaldi A. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. Environmetrics;9:329-357.