

Análisis preliminar de la metodología para obtener el perfil vertical de parámetros del nivel eutrófico de un embalse

INTRODUCCIÓN

Actualmente se observa con gran inquietud en el mundo la disminución de la calidad del recurso hídrico por los altos niveles de contaminación, su mal uso y aprovechamiento, debido a las diversas labores desarrolladas por el hombre que afectan el ambiente.

Entre estas actividades destacan los desechos domésticos, agrícolas y pecuarios en donde el uso excesivo de plaguicidas, fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos son arrastrados hacia los cuerpos de agua por acción de lavado de suelos a través de las lluvias y por escurriendo del agua usada para el riego de cultivos en zonas cercanas a las fuentes de agua.

Todo esto conlleva a que en las reservas de agua se produzca una serie de cambios indeseables como aumento de la turbidez, mayor concentración de biomasa y plantas acuáticas, entre otros, originando la desaparición de ciertas especies vegetales y animales en provecho de otras indeseables generando así el fenómeno de eutrofización.

Es por esta razón que en el presente trabajo se realiza la revisión del estado del arte del proyecto denominado «Propuesta de una metodología para confeccionar el perfil vertical de los diferentes parámetros en embalse atendiendo al nivel eutrófico en el embalse Mapara ubicado en el municipio Federación del estado Falcón» de la cual se realiza una valoración crítica a diez referencias consultadas.

Además se presenta los sistemas de adquisición de datos necesarios para garantizar la calidad de los mismos, luego las conclusiones a las cuales se llegó después de realizado este análisis, para finalmente mostrar las referencias bibliográficas.

Resumen / Abstract

La eutrofización es originada por contaminación de las aguas con nutrientes lo cual provoca el agotamiento del oxígeno, afectando así la vida acuática. En el presente trabajo se presenta un análisis preliminar de la metodología para obtener el perfil vertical de diferentes parámetros del nivel eutrófico de un embalse, específicamente, en el embalse Mapara, fuente de agua natural que se utiliza en el estado Falcón. En esta zona existe actividad agropecuaria, forestal y turística, además del aporte por aguas residuales domésticas. La determinación de los parámetros fisicoquímicos permitirá inferir sobre su comportamiento, obteniéndose así el perfil vertical y el nivel de eutrofización. Es importante considerar la medida de la abundancia de biomasa para obtener un estudio completo. Palabras clave: eutrofización, embalse, nivel eutrófico, parámetros, perfil vertical.

Eutrophication is caused by contamination of water with nutrients which leads to oxygen depletion thus affecting aquatic life. The present report provides a preliminary analysis of the methodology to obtain a vertical profile of parameters of the eutrophic level in a reservoir, specifically, in Mapara reservoir, source of natural water which is used in the Falcón state. In this area there is agricultural, forestry and tourist activity as well as the contribution of domestic wastewater. The determination of physico-chemical parameters allows inferring the behavior of them, thus obtaining the vertical profile and the level of eutrophication. It is important to consider the measure of the abundance of biomass to obtain a full study.

Keywords: eutrophication, reservoir, eutrophic level, parameters, vertical profile.

DEFINICIÓN DE EUTROFIZACIÓN

La eutrofización es una de las consecuencias de los procesos de contaminación de las aguas en ríos, embalses, lagos, mares, entre otros, que desgraciadamente, debido a la actividad del hombre sobre estos recursos, están cada día más extendidas.

Esta se puede definir como un proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, esto produce un crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos, embalses o lagos, generando residuos orgánicos que, al descomponerse consumen gran parte del oxígeno disuelto y de esta manera pueden afectar a la vida acuática y producir la muerte por asfixia de la fauna y flora.

Sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, entre otros) pues la misma produce alteración de las características organolépticas del agua, tales como olor, color, sabor, entre otros, además puede ser perjudicial para la salud debido a la producción de compuestos orgánicos que tras la cloración producen derivados clorados, especialmente cloroformo y otros trihalometanos, con capacidad tóxica y/o carcinogénica.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

Embalse Mapara está ubicado sobre la Quebrada Churuguara, a 7 km de Churuguara municipio Federación del estado Falcón, este abastece de agua a los poblados de Churuguara, Mapará y caseríos vecinos (28. 038 habitantes). El mismo posee una capacidad máxima de 17,60 hm³, su superficie es de 226 ha (Figura 1).

La actividad económica que se desarrolla en la zona es eminentemente agropecuaria, con énfasis en ganadería bovina, cultivos de café y hortalizas, recursos mineros como arcillas de gran calidad y areniscas silíceas, productos artesanales y derivados lácteos.

Esto puede traer como consecuencia la entrada de nutrientes al embalse, sobre todo si el uso de agroquímicos se realiza sin ningún control, incrementándose en épocas de lluvias, pues esta logra la erosión del suelo arrastrando por escorrentía estos nutrientes, y por consiguientes crean problemas de eutrofización. Además se debe considerar el aporte por parte de aguas residuales producto de uso doméstico y la entrada de tributarios al embalse.

Considerando que esta agua luego será potabilizada y de los efectos que puede traer un agua eutrofizada a los organismos que allí habitan, se le determinará grado de transparencia, pH, temperatura, oxígeno disuelto y color.

ESTIMACIÓN DEL NIVEL EUTRÓFICO

Arancibia (2007) presentó una investigación titulada Eutrofización del Río Salado y Arroyo Malha J.J. Castelli Chaco. Administración Provincial del Agua, el cual muestra el análisis de eutrofización en dos ecosistemas, los de hábitat léntico, los cuales son los ecosistemas de las aguas inmóviles, es decir presentan características de estantes en todos sus tramos (Río Salado) y los de hábitat lótico, los cuales incluyen todas las partes del curso de los ríos: los arroyos y manantiales de su cabecera, la zona central del valle, con sus remansos y sus rápidos, la zona de la llanura aluvial, y los estuarios en los que se vierten sus aguas al mar.

El movimiento del agua hace que sea rico en minerales y oxígeno. La intensidad de la corriente es el factor limitante (menos organismos, donde hay mucha corriente) (Arroyo Malhá), con esta se puede ver cuál de los dos ecosistemas



Figura 1. Embalse Mapara

es más propenso a la eutrofización, resultando para el caso, los de hábitat léntico, que es lo que se esperaba por su condición de inmovilidad.

Las causas de eutrofización son: naturales (precipitación, resuspensión de los sedimentos del fondo, liberación desde los sedimentos anóxicos, descomposición y excreción de organismos y fijación de nitrógeno por microorganismos) y antropogénicas (vertidos de residuos industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento, entre otros), no es necesario que se den todas las causas para que se produzca eutrofización en un cuerpo de agua.

En la investigación realizada por Pizarro et al. (2003) en las lagunas de la Albufera de Adra se utilizó para establecer el nivel eutrófico el Índice del Estado Trófico (TSI), el cual se obtiene a partir de una transformación de la transparencia del disco de Secchi (DS). La relación entre el TSI y la profundidad del disco Secchi es; $TSI = 0$ corresponda a una $DS = 64$ m, de tal manera que un incremento de 10 en el valor de TSI represente una reducción de DS en un 50% (Figura 2).

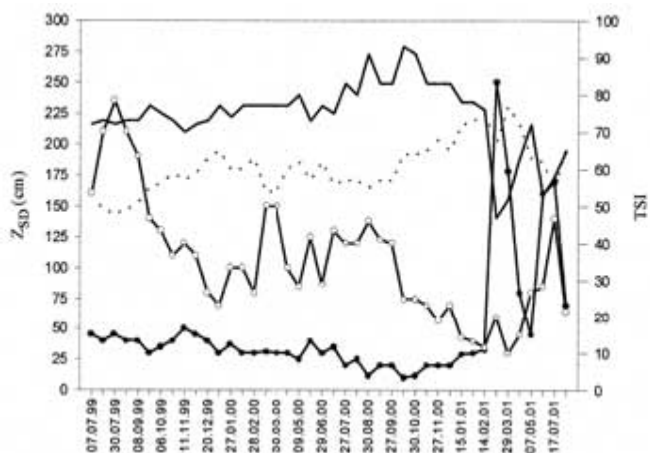


Figura 2: Valores de la transparencia del agua y del valor de TSI calculado a partir de ella, en las lagunas Honda (línea continua: TSI; círculos negros: ZSD) y Nueva (línea discontinua: TSI, círculos abiertos: ZSD), durante el periodo de estudio (tomado de Pizarro et al. 2003).

Este índice puede determinarse a partir de otros parámetros, tales como la concentración fósforo total en superficie y de clorofila a, cuya relación con la transparencia se ha calculado previamente, como se puede observar en las gráficas de los autores mencionados anteriormente (Figuras 3 y 4).

Las fórmulas utilizadas se muestran a continuación.

$$TSI = 60 - 14,41 \ln DS \quad (1)$$

$$TSI = 14,42 \ln PT + 4,14 \quad (2)$$

$$TSI = 9,81 \ln \text{Clor. A} + 30,6 \quad (3)$$

De acuerdo con los valores que alcanza, el TSI se pueden diferenciar cuatro categorías: Oligotrófico ($TSI < 30$), Mesotrófico ($30 < TSI < 60$), Eutrófico ($60 < TSI < 90$) y Hipereutrófico ($TSI > 90$). Es importante mencionar que antes de usarse indicadores deben ser validados y ajustados a las condiciones del lugar donde se van a aplicar, es decir se debe demostrar que para el caso particular los resultados obtenidos representan a la fuente de donde proviene.

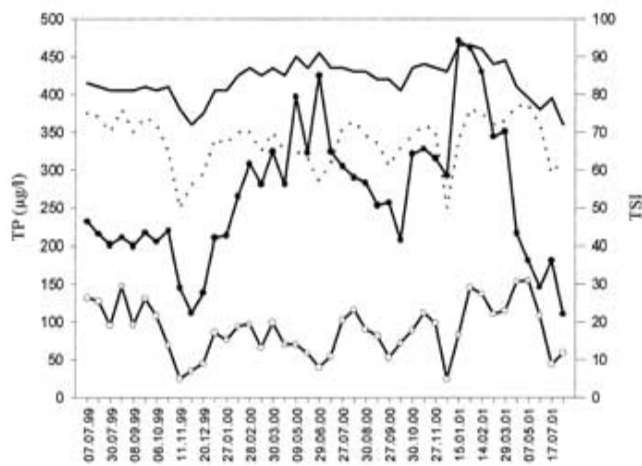


Figura 3: Valores de la concentración de TP y del TSI, calculado a partir de ella, en las lagunas Honda (línea continua: TSI; círculos negros: TP) y Nueva (línea discontinua: TSI; círculos abiertos: TP), durante el periodo de estudio (tomado de Pizarro et al. 2003).

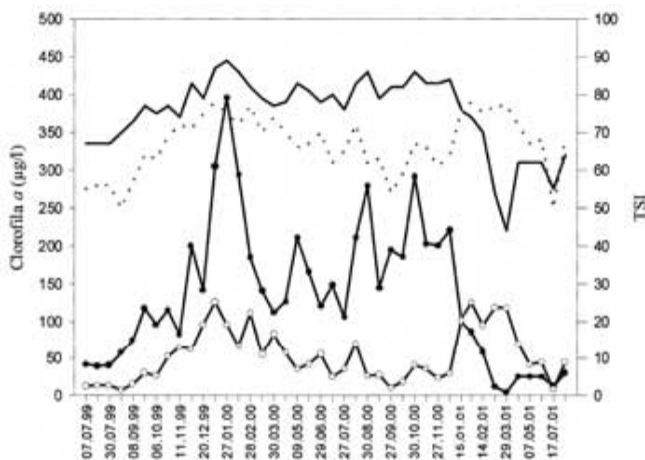


Figura 4: Valores de la concentración de clorofila a y del TSI, calculado a partir de ella, en las lagunas Honda (línea continua: TSI; círculos negros: Chl a) y Nueva (línea discontinua: TSI; círculos abiertos: Chl a), durante el periodo de estudio (tomado de Pizarro et al. 2003)

De este trabajo se puede decir que uno de los resultados de importancia es la obtención del reactivo limitante, el cual resultó ser el fósforo; en el mismo se midió la concentración de nitrógeno y fósforo, siendo estos considerados de importancia para el estudio del nivel eutrófico, se considera también de importancia la determinación de

otros parámetros que muestran la evidencia de eutrofización en el agua como; turbidez, pH, color, temperatura, los cuales no se midieron en esta investigación.

Muñoz et al. (2010) realizaron una investigación titulada: Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lénticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos. En esta se desarrolló una evaluación rápida de la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en un sistema léntico para establecer cómo afecta los cambios en los niveles de eutrofización sobre las formas estructurales de la biota, pues en un sistema léntico los cambios en los niveles de eutrofización normalmente están acompañados de cambios estructurales en la biota.

El cambio en las características del sustrato por la sedimentación de la materia orgánica y la disminución de oxígeno disuelto, comienza a ser evidente a medida que el enriquecimiento orgánico es mayor, reduciendo las comunidades características de aguas limpias y provocando la desaparición de organismos intolerantes, provocando que se modifique la estructura de dominancia de la comunidad. En general, disminuyendo la diversidad y la eficiencia de purificación debido al enriquecimiento orgánico excesivo.

Para garantizar la validez de las muestras con el fin de determinar del parámetro microbiológico, se debe considerar diferentes diseños de muestreo basados en los tipos de macrofauna existentes, la profundidad y la naturaleza del sustrato. Por ejemplo para la zona litoral el material debe ser obtenido manualmente desde el sustrato y para la zona profunda las muestras se obtienen a través de transectos perpendiculares a la línea de costa, es decir se realiza la observación y registro de datos a lo largo de una línea (real o imaginaria) que cruza a través de la zona en estudio.

Una de las principales características que se deben medir en un cuerpo de agua con posibles problemas de eutrofización es la determinación de los macro nutrientes como, el fósforo, nitrógeno, potasio, además de color, turbidez, temperatura, grado de transparencia y pH, y así inferir sobre el comportamiento de estos. En la investigación presentada por González et al. (2004a), titulada Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela) abundancia, biomasa y producción primaria, solo se realizó un estudio de células presentes en el área en estudio, lo cual no es suficiente para establecer su estado eutrófico.

De él se puede ver la importancia en la determinación del aporte de nutrientes por parte de tributarios que recibe el embalse, los cuales pueden contener altas concentraciones de nutrientes según la actividad que se desarrolla en la zona que los rodea (aguas domésticas sin tratamiento previo y de granjas avícolas y porcinas, actividad agrícola), por lo que se debe considerar para esta investigación el aporte de nutrientes que recibe el embalse

Mapara, por parte de los tributarios.

Para la obtención de la metodología de confección del perfil vertical es importante considerar factores que van desde la toma de muestra hasta la medida de los parámetros, en la investigación realizada por González et al. (2003), se puede ver como se aplica una metodología para la medida de biomasa existentes en los lagos en estudio.

Cabe mencionar que es importante considerar la medida de otros parámetros los cuales permitirán establecer el perfil vertical del embalse Mapara, por lo que es necesario establecer la metodología para lo obtención de los mismos.

González et al. (2004b) realizaron una investigación titulada Lemna en el Lago de Maracaibo (Venezuela) donde se estableció como posibles causas de eutrofización que este es un lago con aguas cálidas y con abundancia de nutrientes, lo cual originó una proliferación incontrolada de la planta. En esta investigación se puede ver que de los factores de importancia para la medida de eutrofización se deben considerar la temperatura y el aporte de nutriente, pues estos crean las condiciones propicias para que se desarrollen las plantas acuáticas.

Además en esta investigación se puede ver como la contaminación puede originar problemas que afectan las actividades humanas en muchos niveles tales como; restricciones en el uso del agua, alteraciones en la fauna y/o flora acuáticas y apariencia y olor desagradable, además se puede reflejar la importancia de la determinación de niveles eutróficos para así proponer medidas preventivas y de control las cuales pueden ser; la remoción física, pues indirectamente se extraen nutrientes, esta investigación debe complementarse con otro método, como por ejemplo el uso de herbicidas acuáticos que sean de acción lenta y no tóxicos a los peces; sin embargo, es de considerar que estas medidas de control no terminarán con el problema pues mientras no se controle la entrada de nutrientes al lago, este y otros problemas seguirán latentes.

Se debe considerar que es mucho más importante la prevención, para ello se debe dar tratamiento al agua que se vierte en los embalses controlando la entrada de nutrientes, ajustar los aportes de abonos y aplicarlos correctamente, prohibir o establecer estrictos límites bajos de fosfatos para los detergentes caseros y otros agentes limpiadores, con el objeto de reducir la cantidad de fosfatos que llegan a las plantas de tratamiento de aguas negras, entre otros.

Conociendo las posibles causas de eutrofización se realizará el establecimiento de los puntos de muestreo para así obtener una muestra representativa sobre la cual se realicen los análisis de fósforo total, nitrógeno total, clorofila a, pH, turbidez, color y grado de transparencia, necesarios para la obtención del perfil vertical.

Bustamante et al. (2007a) presentaron un trabajo de

investigación titulado Caracterización del estado trófico del embalse San Roque, Córdoba, en el cual se puede conocer la importancia de realizar un perfil vertical de los parámetros oxígeno disuelto y temperatura así como fósforo, nitrógeno y clorofila con el fin de establecer el nivel eutrófico de un embalse. Para lograr un estudio completo de este nivel también deben medirse color, pH, turbidez y grado de transparencia, pues estos son variables que se modifican cuando en un embalse ocurre eutrofización. Además se puede establecer cuáles son las posibles causas de este problema y con esto establecer los puntos de tomas de muestra y por consiguiente la metodología a aplicar para obtener los resultados.

Para poder cumplir con el objetivo principal de la investigación se deben medir estos parámetros en varios puntos del embalse, es decir, ubicar estaciones de muestreo en puntos donde se observe las causas de eutrofización como por ejemplo: desechos de aguas residuales domésticas, desechos industriales, procedente de la actividad agrícola, tributarios, entre otros. Además, en cada estación se deben tomar muestras en tres puntos diferentes con tres réplicas, considerando un perfil vertical.

Lo interesante es que en el trabajo de investigación se estableció la relación entre el nivel eutrófico y la variabilidad climática (épocas de lluvias y sequía) y los usos del suelo de la cuenca (agrícola, pecuario, entre otros), donde se observa como varía la temperatura y por consiguiente el oxígeno disuelto, fósforo total, densidad celular y clorofila a.

Las posibles causas de eutrofización, son; aguas residuales domésticas sin tratamiento previo, aguas provenientes de granjas avícolas y porcinas, actividad agrícola, erosión del suelo producto de las lluvias, entre otras. También se puede obtener la relación existente entre la eutrofización, las características morfométricas de la cuenca (área, longitud, ancho, perímetro, pendiente de ladera) y la carga de nutrientes que recibe el embalse (Bustamante et al. 2007b).

En la medida de la eutrofización se debe considerar el tiempo de residencia que no es más que el tiempo requerido para que un determinado material complete su ciclo de ingreso, permanencia y egreso en un medio. Con esta información se puede conocer la concentración de fósforo, nitrógeno y clorofila a, que contiene el embalse (Bustamante et al. 2007b).

Las obras que se establecen para el saneamiento de la cuenca que pueden traer una importante mejora en el régimen trófico, se expresan en una disminución de la concentración de clorofila a, fósforo total y nitrógenos. Entre estas obras se pueden mencionar: tratar las aguas residuales en EDAR (estaciones depuradoras de aguas residuales) que incluyan tratamientos biológicos y químicos que eliminan el fósforo y el nitrógeno (precipitación química y filtración), cambiar las prácticas de cultivo a otras menos contaminantes, reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y amoníaco, dragado y recolección de

malezas acuáticas, control biológico que disminuya el crecimiento de malezas acuáticas, entre otros (Bustamante et al. 2007b).

Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se suele medir el contenido de clorofila de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo, nitrógeno, pH, color, temperatura y el valor de penetración de la luz. En el artículo presentado por Salas y Martino (2001), solo se consideró para medir las condiciones de eutrofización, la medida de los parámetros fósforo, nitrógeno y clorofila a.

De aquí se puede obtener que la mayoría de los lagos/embalses cálidos tropicales de América Latina y el Caribe estén limitados por fósforo. En este trabajo se buscó desarrollar un sistema de clasificación de estado trófico de lagos cálidos tropicales y un modelo simplificado de fósforo total con datos recopilados en la Región. Esto se puede considerar para, luego de obtenidas las medidas de los diferentes parámetros, establecer el nivel eutrófico del embalse Mapara.

Para la clasificación del estado trófico de los lagos, se aplicó la estrategia utilizada por la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés). La misma proporciona un esquema cuantitativo probabilístico para las diferentes categorías de estado trófico. Esta metodología será aplicada en la presente investigación para la obtención de fósforo total, nitrógeno total y clorofila a. Sin embargo, se considera que estos modelos requieren de datos y desarrollo adicional antes que puedan ser aplicados en forma confiable.

Bazán et al. (2007), presentaron un trabajo de investigación titulado Mortandad de peces en el embalse Los Molinos asociados a florecimientos de *Ceratium hirundinella*. En este caso se consideró el desarrollo de algas como medida del nivel eutrófico. El crecimiento algal es una de las consecuencias de la eutrofización, es una medida que se realiza solo con la observación de la zona en estudio, por lo que para tener una idea del nivel de eutrofización se puede usar este parámetro; además, para un estudio completo se debe realizar la medida de otros parámetros como por ejemplo, fósforo, nitrógeno, pH, color, turbidez y grado de transparencia (ver tabla 1 y 2).

En este trabajo se obtuvo la relación entre el proceso de estratificación térmica y los eventos de mortandad de peces, indicando que ocurrieron en verano, donde se dan elevadas temperaturas del agua. Se concluyó que la termoclina actuó como barrera e impidió la mezcla de las capas de aguas, dando origen a condiciones de hipoxia o anoxia como consecuencia de la degradación de las algas muertas, del contenido celular liberado durante el fenómeno de auto-lisis, del material alóctono y autóctono insoluble y debido a la respiración nocturna de las algas, por lo que se puede considerar de importancia la medida de temperatura y así obtener un perfil vertical de la mis-

Tabla 1. Concentración de nutrientes en las dos estaciones de monitoreo, febrero 2006.
(PT: fósforo total, PRS: fósforo reactivo soluble) (tomado de Bazán et al. 2007).

Sitio de muestreo	Prof. m	Amonio mg/L	Nitrato mg/L	Nitrito mg/L	PT mg/L	PRS mg/L
La Isla	0,2	< 0,05	< 2	< 0,01	0,27	0,08
La Isla	3,5	0,16	< 2	< 0,01	0,18	0,04
Bahía "El Negro"	0,2	1,10	< 2	< 0,01	0,33	0,15
Bahía "El Negro"	3,5	0,20	< 2	< 0,01	0,29	0,05

Tabla 2. Concentración de amonio y amoniaco en las dos estaciones de monitoreo, febrero 2006.
(LD: Límite de detección) (tomado de Bazán et al. 2007).

Punto de muestreo	Profundidad (m)	Amonio (mg/L)	Amoniaco (mg/L)	Límite de amoniaco para carpas mg de NH ₃ /L
Frente a la Isla	0,2	LD	-----	0,02
Frente a la Isla	2	0,16	0,008	0,02
Bahía El Negro	0,2	1,10	0,055	0,02
Bahía El Negro	2	0,20	0,010	0,02

ma, para establecer si existe estratificación térmica, lo que permite inferir si el embalse Mapara presenta este problema.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS QUE GARANTICEN SU CALIDAD

Muestreo

Con el fin de obtener una muestra representativa del embalse, se realizarán tomas de muestras en tres puntos considerados de importancia: donde se desarrollan actividades agropecuarias, entradas de tributarios y en el lugar donde se capta el agua para ser potabilizada. En cada punto se tomarán muestras a tres niveles de profundidad: superficie (1 m por debajo de la superficie), inicio de la termoclina y un metro por encima del fondo del embalse.

En términos generales, las estaciones de muestreo, cualesquiera sea su tipo, deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Accesibles y perfectamente identificables mediante puntos notables (asignar coordenadas UTM, DATUM y HUSO mediante instrumento GPS).
- En el caso de cauces, la sección muestreada debe tener aguas corrientes, evitar sectores de rápidos o saltos, lugares muy cercanos a las orillas o al fondo y en general cualquier lugar con interferencias, además se debe considerar que la sección a muestrear debe representar al mayor caudal.
- En lagos, lagunas y embalses se deberán tomar muestras en el sector de origen de la contaminación y en puntos que se alejen radialmente del origen. En cada estación se deberá realizar un perfil vertical, dependiendo de la profundidad máxima.

- Identificación de actividades o usos potencialmente afectados por contaminación.

Luego se establecerá un plan de muestreo a fin de obtener una porción de agua realmente representativa para llevar a cabo el análisis, siguiendo los lineamientos de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN 1990), organismo encargado de programar y coordinar las actividades de normalización y calidad en el país. De estas normas se tomará la COVENIN 2709 en la que se establecen los lineamientos para el proceso de ejecución, toma y técnicas de preservación de muestras.

Además se tomarán en consideración las metodologías establecidas en los métodos normalizados de la American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF) (1992), este es una publicación producto del trabajo realizado por grupos de investigadores que analizaron y mejoraron los procedimientos analíticos para así seleccionar los que mejor se ajustan a estos estudios.

En tales puntos de monitoreo se medirán los siguientes parámetros *in situ*: pH, temperatura, color, turbidez, conductividad y grado de transparencia mediante profundidad de disco Secchi. Se tomarán muestras para la determinación de fósforo total, clorofila **a** y de nitrógeno.

Para lograr dicho objetivo se tomarán en cuenta los puntos de captación y las técnicas de preservación de las muestras previas a su estudio. Las precauciones y técnicas de preservación a aplicar para garantizar la representatividad de las muestras, son consideradas según el análisis a realizar, así para el caso de las muestras cuyo objetivo de análisis es fósforo total se utilizarán

recipientes de vidrio, porque el polipropileno puede absorber el fósforo. No se deben usar detergentes comerciales para lavar las botellas pues esos contienen fósforo en su fórmula. El análisis debe realizarse preferiblemente el día de la captación y las muestras se conservan agregándole cloruro de mercurio por cada litro de muestra, refrigerándola a 4 °C.

Las determinaciones de nitrógeno deben realizarse sin preservación previa, conservándolas a 4 °C hasta 24 horas; para periodos más largos, se debe añadir 2 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado por litro y mantener a 4°C.

Las muestras destinadas para la determinación de clorofila **a** serán conservadas en frío y luego pasadas con filtros de acetato de celulosa de 0,45 micras de poro (millipore) en laboratorio, en el intervalo de las seis horas posteriores a su recolección y procesadas en menos de 24 horas. La muestra se tomara en envases de polietileno previamente lavados (HCl diluido al 30%) y enjuagados con agua destilada.

Los parámetros pH, temperatura, color, turbidez, conductividad y grado transparencia se medirán directamente en el área de toma de muestra, utilizando equipos multiparámetros u otros instrumentos equivalentes, los que deberán estar calibrados con soluciones estándar de referencia, por lo que no requieren de preservación.

Análisis de muestras

A las muestras tomadas se les medirán las concentraciones de fósforo total, nitrógeno total y clorofila **a**, utilizando los procedimientos establecidos en los métodos normalizados de la APHA, AWWA y WEF (1992).

Para la determinación de nitrógeno se utilizará el método 4500-Norg B, Macro- kjeldahl (APHA, AWWA y WEF 1992), con el uso de este método se determina el nitrógeno en estado trinegativo, no toma en cuenta el nitrógeno en forma de azida, azina, azo, hidrazona, nitrato, nitrito, nitrilo, nitroso, oxima y semicarbazona. Si no se elimina el nitrógeno amoniacal en la fase inicial del proceso, el término nitrógeno Kjeldahl se aplica al resultado. Si se determina individualmente el nitrógeno Kjeldahl y el amoniacal, se puede obtener el nitrógeno orgánico por diferencia.

Para la determinación de clorofila **a** se utilizara el método APHA N° 10200-H. método espectrofotométrico (APHA, AWWA y WEF 1992) en el cual previamente se debe realizar una extracción de esta para luego realizar la determinación espectrofotométrica de la clorofila **a**.

El fósforo se determinará usando el método 4500-P, el método del cloruro estañoso (APHA, AWWA Y WEF 1992). Este método se basa en la reducción del ácido molibdofosfórico con cloruro estañoso a azul de molibdeno de color intenso. Este método posibilita la determinación

de hasta 7 µg P/L utilizando un recorrido de luz más largo. Por debajo de 100 µg P/L, se puede aumentar la fiabilidad y reducir las interferencias con un paso de extracción.

Validación

Para la etapa de muestreo a los resultados obtenidos, producto de la medición de los parámetros in situ, se realizarán cálculos estadísticos con el fin de obtener el número mínimo de muestra a recolectar en cada actividad de toma de muestra. Se determinarán los estadígrafos; desviación estándar, media y el test de Student.

Los resultados obtenidos se someterán a un estudio de depuración para detectar la aparición de valores atípicos o anómalos, usando la prueba de Cochran. La decisión de eliminar estos valores se realizará con dos pruebas dependiendo del caso; prueba para muestras con un solo dato atípico (q) y pruebas con más de un dato atípico (test de apuntamiento (CAp)).

Mediante un análisis de varianza (ANOVA) se comprobará si hay diferencias significativas entre los diferentes parámetros estimados en cada estación. Igualmente, en cada estación de muestreo se determinarán las correlaciones entre los distintos parámetros estudiados mediante el coeficiente de Pearson.

CONCLUSIONES

Para garantizar que la muestra tomada represente el cuerpo de agua de donde proviene es importante establecer los puntos de toma de muestra conociendo las causas que originan la eutrofización.

Las referencias consultadas establecen el nivel eutrófico con la medida de un parámetro, en muchos casos la abundancia de la biomasa, por lo que se considera que se deben incluir otros parámetros para obtener un estudio completo.

La relación entre el nivel eutrófico, la variabilidad climática (épocas de lluvias y sequía) y los usos del suelo de la cuenca (agrícola, pecuario, entre otros) es un factor que se debe tomar en cuenta al momento de realizar el análisis.

Para la clasificación del estado trófico de los lagos, se aplicará la metodología utilizada por la Organización para Cooperación y Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés), que proporciona un esquema cuantitativo probabilístico para las diferentes categorías de estado trófico, considerando que estos modelos requieren de datos y desarrollo.

Para la determinación de parámetros in situ, la calidad de los datos se garantiza con la calibración de los instrumentos utilizados, que se deben realizar con patrones certificados.

Las muestras que van a ser transportadas en el laboratorio deben ser preservadas usando las técnicas establecidas para el tipo de análisis a realizar, cuidando que la

muestra sea representativa del cuerpo de agua de donde proviene.

Las mediciones en laboratorio se deben realizar siguiendo métodos normalizados para garantizar la calidad de los resultados, con el fin de que no sean cuestionados.

■ REFERENCIAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF)** (1992). «Métodos normalizados para el análisis de agua». Editorial Díaz Santos. España.
- Arancibia, C.** (2007). «Eutrofización del río Salado y arroyo Malha J.J. Castelli Chaco». Administración Provincial del Agua. Buenos Aires, Argentina. Número de páginas 6..
- Bazán, A., Larrosa N., Cossavella A., Monarde F., Oviedo S., Rodríguez A. y Busso F.** (2007). «Mortandad de peces en el embalse Los Molinos asociados a florecimientos de *Ceratium Hirundinella*». Instituto Superior de Investigación y Servicios de Recursos Hídricos-UNC. Dirección Provincial de Agua y Saneamiento. Aguas Cordobesas S.A.
- Bustamante M., Rubial A., Rodríguez M., Lopez F., Busso F y Bonetto C.** (2007a). «Caracterización del estado trófico del embalse San Roque, Córdova». XXI^o Congreso Nacional del Agua (Eutrofización). Tucumán. Páginas 25.
- Bustamante M., López F. y Bonetto C.** (2007b). «Obras de saneamiento en la cuenca del embalse San Roque y estimación del régimen trófico en respuesta a un cambio de cargas». XXI^o Congreso Nacional del Agua. Tucumán. Número de páginas 29..
- Corporación Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).** (1990). «Muestreo de aguas naturales industriales y residuales. Procedimientos para el Muestreo». Número 2709-90.
- González E., Ortaz M., Peñaherrera C., Montes H., Matos M. y Mendoza J.** (2003). «Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos». *Limnetica* 22. Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409. Número de páginas 25.
- González E., Ortaz M., Peñaherrera C y Matos M.** (2004a). «Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao-Cachinche, Venezuela): abundancia, biomasa y producción primaria». *Interciencia*. ISSN 0378-1844.
- González, E. y Gordon E.** (2004b). «Lemna en el lago de Maracaibo (Venezuela)». Red temática de eutrofización de lagos y embalses. Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos (XVII), Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Muñoz E., Mendoza, G. y Valdovinos C.** (2010). «Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lénticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos». Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. ISSN 0717-6538.
- Pizarro C., De Vicente L., Moreno E., Amores V., y El Mabrouki K.** (2003). «Estudios de diagnóstico y viabilidad en el control de la eutrofización de las lagunas de la Albufera de Adra». *Limnetica* 22. Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409.
- Salas, H. y Martino, P.** (2001). «Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales». Organización Panamericana de la Salud (OPS). Número de páginas 63. ■

Recibido: Septiembre del 2011
Aprobado: Octubre del 2011