

GEMS: GLOBAL ENVIRONMENT MONITORING SYSTEM

# GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**Tercera edición**

**Preparada bajo el auspicio conjunto de:**

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Organización Mundial de la Salud

Organización de las Naciones Unidas para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

Organización Meteorológica Mundial

EL CENTRO DE COLABORACION DE LA WORLD HEALTH ORGANIZATION  
PARA LA CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS  
NATIONAL WATER RESEARCH INSTITUTE, CANADA CENTRE FOR INLAND WATERS

BURLINGTON, ONTARIO 1994

# **GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA**

GEMS: SISTEMA GLOBAL DE MONITOREO AMBIENTAL

# **GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA**

**Tercera edición**

**Preparada bajo el auspicio conjunto de:**

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Organización Mundial de la Salud

Organización de las Naciones Unidas para la Educación,  
la Ciencia y la Cultura

Organización Meteorológica Mundial

**Cítese, por favor:**

Guía Operativa GEMS/AGUA  
Tercera Edición  
GEMS/W. 94.1

**Traducción:**

La traducción al español de la Guía Operativa GEMS/AGUA - Tercera Edición (GEMS/Water Operational Guide - Third Edition) ha sido realizada en 1993 por:

Priva Scchvartzman y Myriam Pikeris  
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hidricas  
Centro de Economía, Legislacion y Administración del Agua  
Mendoza, Argentina

La versión en español del documento fue publicada en 1994.

**Editor:**

Dr. Martine Allard  
National Water Research Institute  
Inland Waters Directorate  
Conservation and Protection  
Environment Canada

**Aclaración:**

Este documento no constituye una publicación formal. Esta tercera edición de la Guía Operativa GEMS/Agua ha sido preparada por el Centro de Colaboración de WHO para Aguas Superficiales y el Subterráneas en el National Water Research Institute del Canada Centre for Inland Waters de Burlington, Canadá, en nombre de la Organización Mundial de la Salud (WHO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO). Las opiniones vertidas son responsabilidad exclusiva de los autores.

**Copyright:**

Este documento puede ser reproducido o traducido en todo o en parte siempre que no sea con fines de lucro.

**Para mayor información (o copias adicionales) dirigirse a:**

Manager, PEP Unit  
World Health Organization  
1211 Geneva 27  
Switzerland

Director, GEMS/PAC  
United Nations Environment Programme  
P.O. Box 30552  
Nairobi  
Kenya

Coordinator, GEMS/AGUA  
National Water Research Institute  
P.O. Box 5050  
Burlington, Ontario L7R 4A6  
Canada

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**PROLOGO**

Esta es la tercera edición de la Guía Operativa GEMS/AGUA, la que --como su nombre lo indica-- tiene por objeto ofrecer pautas para la ejecución del Programa Global GEMS/AGUA a nivel nacional.

GEMS/AGUA es un programa internacional sobre monitoreo y evaluación de la calidad del agua, que ha sido puesto en marcha en forma conjunta por WHO, WMO, UNESCO y UNEP. Ya cuenta en su haber con doce años de importantes logros. En estos doce años ha ayudado a los países a establecer y consolidar sus operaciones de monitoreo de la calidad del agua y ha proporcionado apoyo metodológico y en garantía de calidad. También ha llevado a cabo evaluaciones periódicas del estado de los recursos de agua dulce en el mundo. Estos logros han sido posibles gracias a la activa intervención de los participantes de las redes nacionales en todo el mundo.

Lógicamente, un programa de este tipo tiene que poder adaptarse a situaciones cambiantes y dar respuesta a la creciente demanda de datos e información seria sobre cuestiones ambientales. Por consiguiente, en 1991 se inició la segunda fase del programa adecuándolo a las cambiantes necesidades de la nueva década.

Un programa con tal capacidad de respuesta requiere de una estructura operativa sensible y de ahí esta tercera edición de la Guía Operativa GEMS/AGUA --la que, por supuesto, no constituye una edición definitiva. A medida que el programa se desarrolle e incorpore nuevos o mejores métodos así como actividades de coordinación más intensas en el campo del monitoreo y de la interpretación de la contaminación del agua a nivel nacional e internacional, surgirán revisiones adicionales. Ya se ha previsto una revisión que incluya los datos hidrológicos y descriptivos requeridos para llevar a cabo evaluaciones completas. La meta del programa GEMS/Agua en esta segunda fase es no solo fortalecer y armonizar las actividades de monitoreo a nivel de análisis sino también proporcionar la información y las herramientas necesarias para contribuir al manejo sustentable de los recursos de agua dulce.

Recibiremos con agrado cualquier comentario que Ud. desee hacer sobre esta versión a fin de mejorar aun más la Guía Operativa y adecuarla a las necesidades de los participantes de la red, cuyos insumos han permitido este esfuerzo global. Confiamos en mantener esta estrecha colaboración con todos ustedes a fin de lograr que el mundo del mañana sea un presente mejor para todos nosotros.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

INTRODUCCION

Antecedentes e iniciación del proyecto

El Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS, por sus siglas en inglés) constituye un esfuerzo conjunto de la comunidad internacional destinado a adquirir, a través del monitoreo y la evaluación, los datos y la información necesarios para el manejo ambiental a nivel nacional. GEMS es un mecanismo del sistema de las Naciones Unidas que cuenta con el apoyo de un pequeño Centro de Actividades para Programas en la UNEP. Su objetivo es coordinar y catalizar las actividades de monitoreo y evaluación ambiental realizadas tanto por las Agencias especializadas de las Naciones Unidas como por instituciones nacionales e internacionales. Las cuatro agencias que tienen participación directa en este proyecto se caracterizan por su interés permanente en el monitoreo y la evaluación de los recursos hídricos. El programa de monitoreo de la calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud se desarrolló en respuesta a la Resolución 25.43 de WHO que específicamente le solicitaba que colaborara con los gobiernos y los organismos internacionales pertinentes en el desarrollo de un sistema de vigilancia de la calidad del agua con el objeto de resolver los problemas internacionales de contaminación hídrica de especial importancia para la salud pública. El Programa Hidrológico Internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura versa sobre estudios científicos de la calidad del agua, mientras que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente apoya el proyecto de la UNESCO para la creación de un registro mundial de ríos. A través del Programa de Hidrología y Recursos Hídricos de la Organización Meteorológica Mundial se puede obtener información sobre la red de estaciones e instalaciones existentes. Las actividades de dicha agencia también incluyen la formulación de principios y técnicas para el diseño y operación de redes hidrológicas.

Desde su creación, UNEP ha apoyado y participado en una serie de actividades vinculadas al monitoreo de la contaminación hídrica. Así, el presente proyecto se inscribe dentro de su Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS), el que actualmente comprende las siguientes áreas: atmósfera y clima, contaminantes ambientales y recursos renovables. El proyecto sobre monitoreo y evaluación global de la calidad del agua (GEMS/Agua) pertenece al subgrupo de contaminantes ambientales, junto con el monitoreo del aire y los alimentos y la evaluación de la exposición humana a los contaminantes.

En 1974, WHO --con la cooperación de UNEP-- comenzó a planificar el desarrollo de un programa global de monitoreo de la calidad del agua en relación con la salud. En el mes de enero de 1975 se llevó a cabo una reunión de expertos en el Instituto Federal de Hidrología de Coblenza (Alemania) con el propósito expreso de elaborar un marco de referencia para el programa. Posteriormente, se realizó una serie de consultas con otras organizaciones internacionales. En el mes de noviembre de 1976, se inició un programa conjunto UNEP/WHO/UNESCO/WMO para el monitoreo global de la calidad del agua (GEMS/Agua), el que cuenta con el apoyo del Fondo Ambiental de UNEP. En una reunión interregional de expertos celebrada en el mes de diciembre de 1977, se delinearón y acordaron los enfoques, métodos y alcances del programa. (1)

Los objetivos fijados al comienzo del programa eran los siguientes:

- (a) colaborar con los Estados Miembros en la creación de nuevos sistemas de monitoreo del agua y consolidar los sistemas existentes;
- (b) mejorar la validez y la comparabilidad de los datos de calidad del agua dentro de y entre los Estados Miembros; y
- (c) determinar la incidencia de algunas sustancias persistentes y peligrosas y las tendencias de la contaminación del agua en el largo plazo.

El programa se ha puesto en ejecución con la estrecha colaboración de todas las organizaciones participantes. A los efectos de asegurar que el programa se desarrolle de manera coherente a nivel mundial, se ejerce una coordinación central. No obstante, en la medida de lo posible, su ejecución es regional. Esto significa que las oficinas regionales de WHO y sus contrapartes de UNESCO, WMO y UNEP son responsables del programa en sus respectivas regiones y cuentan con el apoyo de los laboratorios regionales de referencia.

En cada país participante se designa a un organismo o institución gubernamental como punto focal para poner en marcha el programa dentro del país respectivo (Centros Nacionales). El Centro de Colaboración de WHO para la Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas del National Water Research Institute (NWRI), Canada Centre for Inland Waters (CCIW), funciona como un centro de datos globales.

Ejecución del programa durante la Fase I

El programa GEMS/Agua fue revisado por primera vez en una reunión interregional de expertos celebrada en el CCWI (2) en 1983 a los efectos de evaluar el diseño y los logros del proyecto. Si bien los objetivos del programa no se modificaron, se recomendó poner mayor énfasis en la obtención de datos pertinentes para evaluar la exposición humana a los contaminantes.

Durante los primeros diez años de operación del programa (es decir, GEMS/Agua-Fase I), se lograron avances sustanciales en cinco áreas:

- Se ha desarrollado una metodología de monitoreo con respecto al diseño de la red, a los procedimientos de recolección y análisis de muestras y al procesamiento de datos. Esta metodología se puso a disposición de los organismos hídricos, ambientales y de salud pública para sus programas de monitoreo de la calidad del agua. Varias de las redes nacionales de monitoreo de la calidad del agua en países en desarrollo se han organizado en base a la Guía Operativa GEMS/Agua (3), de la cual se publicaron y distribuyeron dos ediciones de más de 1.500 copias en inglés, francés y español.
- Por primera vez se ha creado una red global estandarizada para cuerpos de agua dulce, que comprende no solo las aguas superficiales sino también las subterráneas. Formalmente se han establecido unas 450 estaciones en 59 países y se ha logrado la comunicación rutinaria de datos por parte de 344 de ellas, cifra que incluye 240 estaciones en ríos, 43 en lagos y 61 estaciones de aguas subterráneas. Actualmente hay 42 países de todos los continentes que participan activamente y aportan al banco de datos globales, establecido en el National Water Research Institute de Canadá, donde se han acumulado más de 500.000 datos. Se han publicado resúmenes de datos que abarcan el período 1979-1987 (4, 5, 6).
- Uno de los principales puntos de interés del programa ha sido la capacitación del personal. Se han organizado 14 cursos de capacitación --la mayoría de dos semanas de duración-- en inglés, francés y español en todos los continentes. Estos cursos, sobre temas tales como metodologías de monitoreo y control de la calidad analítica, han contado con la asistencia de un total de 269 participantes provenientes de organismos nacionales de agua y salud pública y laboratorios de 56 países.
- Desde el comienzo se ha reconocido que el control de la calidad analítica (AQC por sus siglas en inglés) es fundamental para la confiabilidad y comparabilidad de los datos. Por ello, a través del Laboratorio de Sistemas de Monitoreo Ambiental (EMSL por sus siglas en inglés) del USEPA, se puso en marcha un programa regular de control de calidad. Así, con una frecuencia bienal, se han enviado muestras de verificación para el control de calidad a 250 laboratorios en todo el mundo mientras que 80 laboratorios en 40 países han participado en un estudio comparativo entre laboratorios. (Véase referencias 7, 8).
- En 1987/88 se llevó a cabo por primera vez una evaluación global de la calidad de las aguas dulces. En 1988, un grupo de científicos elaboró un informe condensado de evaluación que destaca los temas de interés global y los futuros requerimientos de monitoreo, el cual fue posteriormente revisado por un grupo de expertos gubernamentales (10). A fines de 1989, se publicó una versión completa bajo el título "Global Freshwater Quality: A First Assessment" (11).

En 1988 y después de diez años de operación, el programa fue revisado en Ginebra por un grupo de expertos de UNEP/WHO designados por el gobierno (10). Los expertos recomendaron revisar el diseño y la ejecución de la Fase II del programa en lo que respecta a cobertura geográfica total, mediciones de metales traza y materia orgánica y a la utilidad del monitoreo de datos para la evaluación global de la calidad del agua y los análisis de tendencia. En respuesta a dicha recomendación, en el mes de abril de 1989 se celebró una consulta en la sede del NWRI con el objeto de analizar las actividades de GEMS/Agua y brindar pautas para el futuro desarrollo de la Fase II del programa GEMS/Agua.

### GEMS/Agua Fase II

Un grupo de expertos reunido en Leningrado (1990) analizó el diseño del Programa GEMS/Agua a la luz de las nuevas prioridades mundiales (12). Ellos llegaron a la conclusión de que el énfasis debía pasar del monitoreo a la interpretación de datos y la evaluación de tendencias en la calidad del agua. Los objetivos a largo plazo acordados fueron:

- (1) Proporcionar a los gobiernos, a la comunidad científica y a la población en general evaluaciones de la calidad de las aguas dulces del mundo en relación con la salud humana, la salud de los ecosistemas acuáticos y otros aspectos ambientales globales; específicamente para:
  - (i) definir el estado de la calidad del agua;
  - (ii) identificar y cuantificar tendencias en la calidad del agua;
  - (iii) definir las causas de las condiciones y tendencias observadas;
  - (iv) identificar los tipos de problemas de calidad del agua que se producen en áreas geográficas específicas; y
  - (v) presentar la información reunida y las evaluaciones realizadas de manera tal que los organismos de regulación y manejo de los recursos las puedan utilizar al considerar alternativas de gestión y tomar las decisiones necesarias.
- (2) Proporcionar a los gobiernos, a la comunidad científica y a la población en general información sobre el transporte y --si fuere necesario-- evaluaciones de los flujos de productos químicos tóxicos, nutrientes y otros contaminantes desde las principales cuencas hidrográficas hacia las interfaces continente/océano.
- (3) Consolidar las redes nacionales de monitoreo de la calidad del agua en los países en desarrollo, mejorar sus capacidades analíticas y garantizar la calidad de los datos.

Se propuso reestructurar la red con unas 40-50 estaciones de base, 300-400 estaciones de tendencia y 60-70 estaciones de monitoreo de flujo en ríos. También será necesario elaborar el marco conceptual para las redes regionales de monitoreo del agua subterránea.

Durante la Fase II un Comité Permanente de Expertos en Calidad de Aguas Dulces supervisará el programa y realizará evaluaciones globales.

#### Contaminantes a medir

Durante la Fase I del programa, las variables de calidad del agua correspondían a tres categorías según su importancia: básicas, optativas y globales. El primer grupo incluía aquellas que se consideraban importantes para una evaluación general de la calidad del agua. El monitoreo de estas variables no requería de instrumentos caros o complicados y se pensaba que se podían medir en todos los puntos de la red global. El segundo grupo incluía una cantidad de sustancias que podían ser importantes en ciertos lugares. Por lo tanto, no se las medía en todas partes sino solo en aquellos lugares donde se sabía o sospechaba que estaban presentes en concentraciones preocupantes. El tercer grupo de variables incluía aquellas sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables, cuya descarga en el medio ambiente puede ser importante en el largo plazo. En la reunión celebrada en Burlington en 1983 (2) se decidió dejar de lado esta categorización y, a la luz del creciente uso del agua para suministro público, se las reagrupó en variables básicas y variables relacionadas con el uso. El listado anterior de variables básicas ha sido ampliado para incluir más componentes inorgánicos del agua. Las variables relacionadas con el uso incluyen listas referidas al suministro de agua potable, riego y la calidad general del agua --como, por ejemplo, para la vida acuática. Se revisó, además, la frecuencia de los muestreos a fin de satisfacer los requerimientos mínimos de monitoreo.

En la reunión de Leningrado en 1990 (12), se presentó una lista revisada de variables para la Fase II del Programa GEMS/Agua. La lista incluye las variables básicas esenciales para el monitoreo y otras variables destinadas a medir uno o varios problemas de contaminación (por ejemplo, contaminación por desechos orgánicos, riego, productos agroquímicos, efluentes industriales, contaminación por desechos de minería y acidificación). Se incorporaron varios parámetros nuevos. La principal diferencia con el anterior conjunto de variables es que se recomienda la recolección de muestras y el análisis de sólidos en suspensión debido a que se reconoce el papel crucial que éstos desempeñan en el transporte y flujo de contaminantes.

#### Control de la calidad analítica

Durante la Fase I, una de las metas básicas del programa era mejorar la validez y comparabilidad de los datos de calidad del agua. Para ello se aplicó un procedimiento que consta de tres pasos. En primer lugar, se identificó los métodos analíticos capaces de satisfacer dichos requerimientos y se instó a los laboratorios a usarlos. Además, se preparó y puso a disposición de los interesados una compilación de los métodos de referencia basados en un EURO Manual (13). En segundo lugar, se solicitó a cada laboratorio participante que estableciera un programa continuo de control de la calidad analítica entre laboratorios, a cuyo efecto se suministró muestras estándar. En tercer lugar, se realizó una serie de estudios comparativos entre laboratorios coordinada por el laboratorio de referencia global. El primer estudio global entre laboratorios se completó en 1983 con la participación de unos 80 laboratorios. Los resultados se publicaron y discutieron en el World Health Statistics Quarterly en 1986 (7). En 1990, los laboratorios participantes en GEMS/Agua recibieron en forma gratuita muestras para el control de calidad. El Environmental Monitoring Systems Laboratory de la USEPA en Cincinnati ha realizado periódicamente estudios formales de evaluación del desempeño de los laboratorios de GEMS/Agua.

Durante la Fase II, el Comité Permanente de Expertos en Calidad de Aguas Dulces de GEMS/Agua formulará los objetivos de calidad de datos para los programas participantes. La garantía de calidad continuará como en la Fase I, pero se incrementarán los estudios de evaluación del desempeño y los talleres de capacitación, especialmente en los temas de control de calidad para la recolección de muestras y manejo de datos.

#### Comunicación de datos

El National Water Research Institute (NWRI) del Canada Centre for Inland Waters funciona como centro de datos globales (GLOWDAT por sus siglas en inglés). Cada Centro Nacional se ocupa de recopilar los datos de calidad del agua así como la información hidrológica pertinente. Los datos de calidad del agua son remitidos directamente --o a través de las Oficinas Regionales de WHO-- al centro de datos globales en forma trimestral o bianual. La información hidrológica se envía al Instituto Federal de Hidrología en Coblenza (Alemania) a través del Centro de Datos Globales sobre Esguimientos (GRDC) de WMO para su procesamiento, análisis y validación. El NWRI prepara y publica los informes sumarios (4, 5, 6). Durante la Fase I también se prepararon informes separados sobre evaluación de datos, resúmenes regionales, informes de evaluaciones globales, etc. (9, 10, 11).

En el curso de la Fase II, se publicará el Anuario de Datos GEMS/Agua. Estos informes consistirán en resúmenes estadísticos estandarizados por país de los resultados del monitoreo de todas las estaciones. Cada cinco años se publicarán evaluaciones globales importantes de la calidad del agua. Una vez que la red revisada para la Fase II esté en funcionamiento, se publicarán informes específicos sobre distintos temas relacionados con problemas importantes de la calidad del agua.

### Asistencia técnica

La ejecución del programa y la operación de la red cuentan con el apoyo de diversos recursos. Antes de la iniciación de este proyecto se elaboraron dos guías técnicas de aplicación directa. Una de ellas, realizada por la UNESCO y WHO, versa sobre la planificación de estudios sobre la calidad del agua (14), y la otra, de la Oficina Regional de WHO para Europa (WHO/EURO), trata sobre métodos analíticos. Debido a la reorientación del programa, la guía para "Estudios sobre Calidad del Agua" fue extensamente revisada y se publicó una nueva guía bajo el título "Evaluaciones de la Calidad del Agua" (15).

Además, la Guía Operativa GEMS/Agua ha sido diseñada específicamente para instruir a todos los participantes del proyecto en los métodos más comúnmente usados, incluso el nuevo formato estándar para la comunicación de datos. La presente publicación es la tercera edición de la Guía Operativa GEMS/Agua.

### Guía Operativa GEMS/Agua

Esta guía ha sido confeccionada con el objeto de asegurar la mayor armonización posible entre todas las operaciones del proyecto a nivel global. Contiene una recopilación de las principales instrucciones técnicas de interés para personal de campo y de laboratorio, procesadores de datos y oficinas de coordinación nacional --en otras palabras, para todos quienes participen en este proyecto. Esta versión revisada incluye las modificaciones propuestas por el grupo de expertos de Leningrado (12), en especial la nueva lista de variables y el nuevo formulario para la comunicación de datos.

El Capítulo I sobre "Selección de las Estaciones de la Red Global" presenta los principales criterios para seleccionar los puntos de muestreo que se incorporarán a la red global. Se imparten instrucciones prácticas para la selección de puntos de muestreo en lagos, ríos y aguas subterráneas. Este capítulo contiene, además, formularios para consignar información adicional relativa a las estaciones de muestreo.

El Capítulo II sobre "Frecuencias y Métodos de Muestreo" describe el programa de recolección de muestras para los distintos cuerpos de agua --es decir, ríos, lagos y aguas subterráneas-- y para los distintos tipos de estaciones GEMS/Agua --es decir, de base, de tendencia y de flujo en ríos. Se incluye también métodos detallados para el proceso de muestreo, la preservación de las muestras en el campo, la garantía de calidad en el campo y las variables medidas en el campo.

El Capítulo III sobre "Métodos Analíticos" presenta la lista revisada de variables recomendada por los expertos reunidos en Leningrado (12). Proporciona una breve descripción de cada una de las variables y su importancia para la calidad del agua y detalla los métodos de análisis prescriptos. En esta edición, los métodos analíticos no se presentan en forma detallada, pero se los puede hallar en la edición anterior de la Guía Operativa o en el material de referencia incluido al final del capítulo.

El Capítulo IV sobre "Monitoreo de la Calidad de los Sólidos en Suspensión" destaca la importancia que reviste el muestreo de los sólidos en suspensión para los estudios preliminares de calidad del agua. Se proporcionan instrucciones detalladas para las tareas de campo y de laboratorio y para la evaluación de los datos.

El Capítulo V sobre "Análisis Microbiológico" describe brevemente las consideraciones a tener en cuenta al momento de planificar el monitoreo microbiológico.

El Capítulo VI sobre "Monitoreo Biológico" esboza tres tipos de monitoreo biológico: la medición de la biomasa del fitoplancton, el monitoreo de la estructura comunitaria y el análisis de tejidos biológicos.

El Capítulo VII sobre "Control de la Calidad Analítica" describe detalladamente los procedimientos intra- e interlaboratorios destinados a alcanzar las metas de precisión estipuladas para el proyecto.

El Capítulo VIII sobre "Mediciones Hidrológicas Cuantitativas" versa sobre la función de las mediciones hidrológicas en el monitoreo de la calidad del agua de acuerdo con otras guías y manuales de WMO. Se proporcionan instrucciones técnicas sobre técnicas hidrológicas básicas.

El Capítulo IX sobre "Procesamiento y Comunicación de los Datos" contiene los procedimientos y las instrucciones relativas a la recolección, transferencia y almacenamiento de datos dentro del proyecto. Se incluyen formularios para la identificación de las estaciones y para la consignación de datos con la respectiva codificación. Se incluyen también opciones de productos de la computadora central en el Centro de Colaboración de WHO del NWRI, Canada Centre for Inland Waters.

El Capítulo X sobre "Análisis y Presentación de Datos" incluye formas típicas para la presentación de los datos en el anuario de datos GEMS/Agua.

### Referencias

- (1) Interregional Review Meeting on the UNEP/WHO/UNESCO/WMO Project on Global Water Quality Monitoring, Geneva, 12-16 December 1977 (WHO doc. ETS/78.3).
- (2) Report on the Interregional Review Meeting on Water Quality Monitoring Programmes, Burlington (Ontario), 17-21 October 1983 (WHO doc. EFP/83.59).
- (3) WHO (1978 & 1987). GEMS/Water Operational Guide, WHO, Geneva (first edition in English, French and Spanish; second edition in English only).
- (4) WHO Collaborating Centre for Surface and Groundwater Quality (1983). GEMS/Water Data Summary. Canada Centre for Inland Waters, Burlington (Ontario).
- (5) WHO Collaborating Centre for Surface and Groundwater Quality (1987). GEMS/Water Data Summary 1982-84. Canada Centre for Inland Waters, Burlington (Ontario).
- (6) WHO Collaborating Centre for Surface and Groundwater Quality (1990). GEMS/Water Data Summary 1985-87. Canada Centre for Inland Waters, Burlington (Ontario).
- (7) Laboratory Performance Evaluation Studies and their Relationship to the Global Environmental Monitoring System in Water (GEMS/Water), by P. Britton, World Health Statistics Quarterly, Vol. 39, No. 1, 1986.
- (8) Winter, J.A. (1985). Quality Assurance Support to the GEMS/Water Program. Water Quality Bulletin, vol. 10, No. 4, pp:209-212.
- (9) UNEP & WHO (1988). Assessment of Freshwater Quality. Report on the Results of the WHO/UNEP Programme on Health-Related Environmental Monitoring, UNEP, Nairobi.
- (10) WHO (1988). The Quality of the Environment: A Health-Based Global Assessment. Report of a meeting of UNEP/WHO Government Designated Experts, Geneva, 12-16 September 1988. WHO document WHO/PEP/88.15.
- (11) Meybeck, M., Chapman, D., and Hellmer, R. (editors). 1989. Global Freshwater Quality: A First Assessment. Blackwell Reference, Oxford.
- (12) WHO (1991). GEMS/Water 1990-2000 The Challenge Ahead. WHO document PEP/91.2.
- (13) Examination of Water for Pollution Control - A Reference Handbook; editor M. Suess, Pergamon Press on behalf of WHO Regional Office for Europe, Oxford, 1982.
- (14) Water Quality Surveys - A Guide for the Collection and Interpretation of Water Quality Data; Studies and Reports in Hydrology No. 23, UNESCO/WHO, Paris, 1978.
- (15) CHAPMAN, D. (Editor). 1992. Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Published on behalf of UNESCO, WHO and UNEP. Chapman & Hall Ltd. London. 584 pp.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**INDICE**

Capítulo I:	SELECCION DE ESTACIONES DE LA RED GLOBAL
Capítulo II:	FRECUENCIAS Y METODOS DE MUESTREO
Capítulo III:	METODOS ANALITICOS
Capítulo IV:	MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION
Capítulo V:	PRINCIPIOS PARA LA PLANIFICACION Y EJECUCION DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS
Capítulo VI:	MONITOREO BIOLÓGICO
Capítulo VII:	CONTROL DE LA CALIDAD ANALITICA
Capítulo VIII:	MEDICIONES HIDROLOGICAS CUANTITATIVAS
Capítulo IX:	PROCESAMIENTO Y COMUNICACION DE DATOS
Capítulo X:	ANALISIS Y PRESENTACION DE DATOS

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO I: SELECCION DE ESTACIONES DE LA RED GLOBAL**

Revisado por el Centro de Colaboración de la  
World Health Organization  
para la Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas

National Water Research Institute  
Canada Centre for Inland Waters  
Burlington, Ontario  
Canadá

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	LA RED GEMS/AGUA .....	1
2.1	Los objetivos del monitoreo .....	1
2.2	Definición de las estaciones GEMS/Agua .....	1
2.3	Selección de la ubicación .....	1
2.3.1	Criterios de selección .....	1
2.3.2	La red revisada .....	2
2.3.3	Calidad del agua .....	3
2.3.4	Usos del agua .....	3
2.4	Uso de datos .....	3
2.4.1	Operación y control .....	4
2.4.2	Planificación e investigación .....	4
3.0	PLANIFICACION DE LA SELECCION DEL SITIO .....	4
3.1	El proceso .....	4
3.2	Recolección de información .....	4
3.3	Determinación de los requerimientos de datos .....	5
3.4	Estudios preliminares .....	5
3.5	Reseña .....	5
3.6	Registros de los sitios .....	5
4.0	REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN RIOS .....	5
4.1	Representatividad .....	7
4.2	Medición de caudales .....	7
4.3	Facilidad de acceso .....	7
4.4	Distancia al laboratorio .....	8
4.5	Seguridad .....	8
4.6	Influencias molestas .....	8
4.7	Puestos de muestreo .....	8
4.8	Dispositivos de muestreo .....	9
5.0	REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN LAGOS .....	9
5.1	Características generales .....	9
5.2	Balance hídrico .....	9
5.3	Clasificación trófica de los lagos .....	9
5.4	Estratificación y mezcla del agua .....	10
5.5	Variaciones estacionales y verticales de la actividad biológica .....	11
5.6	Selección de sitios .....	11
5.7	Muestreo de lagos y perfiles de profundidad .....	11

6.0	REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO DE AGUAS SUBTERRANEAS .....	12
6.1	Características del terreno .....	12
6.2	Influencias en la calidad del agua subterránea .....	12
6.3	Influencias artificiales .....	13
6.4	Selección .....	14
7.0	ANEXOS .....	15
7.1	Información básica sobre estaciones de muestreo de ríos .....	15
7.2	Información básica sobre estaciones de muestreo de lagos y embalses .....	20
7.3	Información básica sobre estaciones de aguas subterrneas .....	24

En caso de requerir mayor información sobre el tema tratado en este capítulo, se sugiere consultar **"Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments, and Water in Environment Monitoring"**.

## 1.0 INTRODUCCION

Si el monitoreo de la calidad del agua ha de proporcionar datos usables y confiables, no se lo puede realizar buscando economías. Además, hay que tomar los recaudos necesarios para asegurar que los recursos analíticos y de otro tipo sean aprovechados lo mejor posible. Por consiguiente, la primer tarea en la planificación de un sistema de monitoreo del agua consistirá en decidir qué datos son necesarios y cómo serán usados. A continuación, se debe seleccionar los puntos de muestreo teniendo como objetivo la obtención de la información esencial con el mínimo esfuerzo.

## 2.0 LA RED GEMS/AGUA

### 2.1 Los objetivos del monitoreo

Las actividades de monitoreo emprendidas en la Fase II del Programa GEMS/Agua contribuirán al logro de tres metas de evaluación:

1. Determinación de la calidad de las aguas dulces naturales en ausencia de un impacto humano directo significativo.
2. Determinación de tendencias a largo plazo en los niveles de indicadores críticos de la calidad de los recursos de aguas dulces.
3. Determinación de los flujos de sustancias químicas tóxicas, nutrientes, sólidos en suspensión y otros contaminantes desde cuencas hidrográficas importantes hacia la interfaz continente/océano.

Para satisfacer los requerimientos de datos del monitoreo es necesario crear y operar una red altamente selectiva de estaciones de monitoreo estratégicamente ubicadas en los principales cuerpos de agua dulce del mundo. La red revisada de monitoreo global contempla tres tipos de estaciones de monitoreo: estaciones de base, de tendencia y de flujo en ríos.

Muchas de las estaciones de monitoreo de la red revisada serán simplemente una continuación de las estaciones de "base" o "impacto" ya existentes, aunque posiblemente diferentes en cuanto a denominación o ubicación. También será necesario crear estaciones nuevas.

Además del agua, los muestreos y análisis incluirán también a los sólidos en suspensión debido al papel crucial que éstos desempeñan al momento de definir la trayectoria y flujo de los contaminantes. También se tomarán muestras de biota en estaciones seleccionadas porque este medio permite un monitoreo integral de la contaminación en lugares donde los análisis químicos no pueden dar abasto con la gran cantidad de sustancias presentes en el agua.

Solo es posible realizar una evaluación total de la calidad del agua en el mundo si se monitorean los acuíferos principales. Esto es particularmente importante en países donde los recursos hídricos superficiales son escasos y las aguas subterráneas constituyen el principal recurso disponible. Los problemas de la calidad del agua subterránea han alcanzado niveles críticos en subcontinentes enteros. En todo el mundo se ha realizado un escaso monitoreo rutinario de la calidad del agua subterránea; recién ahora se está comenzando a elaborar conceptos para el diseño de muestreos regionales y selección de pozos. Se requerirá un especial esfuerzo de diseño durante la Fase II de GEMS/Agua para el monitoreo regional de las aguas subterráneas. Mientras tanto, las estaciones de aguas subterráneas de la Fase I continuarán en funcionamiento.

### 2.2 Definición de las estaciones GEMS/Agua

Las ESTACIONES DE BASE generalmente se encuentran en lagos de cabecera o en tramos aguas arriba de ríos no alterados donde es poco probable encontrar fuentes de contaminación difusas o puntuales. Se las utiliza para determinar la calidad natural del agua; para proporcionar bases para la comparación con estaciones donde el impacto directo del hombre es significativo (es decir, estaciones de tendencia o de flujo en ríos) y para determinar, mediante análisis de tendencia, la influencia del transporte de contaminantes a grandes distancias y de los cambios climáticos. Este tipo de estación no sufre modificaciones en la Fase II del proyecto.

Las ESTACIONES DE TENDENCIA, por lo general, se ubican en las principales cuencas hidrográficas, lagos o acuíferos. Se utilizan para seguir los cambios a largo plazo en la calidad del agua producidos por diversas fuentes de contaminación y usos de la tierra y para proporcionar una base para la identificación de las causas o influencias de las condiciones medidas o tendencias identificadas.

Las ESTACIONES DE FLUJO EN RIOS se encuentran en las desembocaduras de ríos principales. Se utilizan para determinar los flujos anuales integrados de contaminantes críticos desde las cuencas hidrográficas hacia los océanos o mares regionales. Algunas estaciones de tendencia también pueden servir como estaciones de flujo en ríos.

### 2.3 Selección de la ubicación

#### 2.3.1 Criterios de selección

La selección de las estaciones GEMS/Agua para la Fase II del programa se efectúa en base a los siguientes criterios específicos.

<u>Tipo de estación</u>	<u>Criterios básicos de selección</u>	<u>Tipo de agua</u>
Estaciones de base	<ul style="list-style-type: none"> <li>- en pequeñas cuencas inalteradas;</li> <li>- sin fuentes contaminantes;</li> <li>- sin actividad humana directa (incluidos caminos);</li> <li>- evitar cuencas con elevada proporción de rocas meta-líferas;</li> <li>- a no menos de 100 km de cualquier fuente importante de contaminación del aire (es decir, ciudades, industrias, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lagos de cabecera</li> <li>- (tiempo de residencia del agua: 0,5-2 años)</li> <li>- tramos de ríos aguas arriba</li> </ul>
Estaciones de tendencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- en cuencas medianas;</li> <li>- reacción dentro de periodos moderados a la contaminación y a cambios en el uso de la tierra;</li> <li>- actividades inductoras de contaminación o actividades dominantes (por ej., industrial, municipal, agrícola, minera, etc.).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lagos/embalses (tiempo de residencia del agua: 1-3 años)</li> <li>- ríos</li> <li>- aguas subterráneas</li> </ul>
Estaciones de flujo en ríos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- el plan para seleccionar cuencas tiene en cuenta la importancia del área de drenaje, población, principales actividades humanas e influencia del río en las aguas receptoras;</li> <li>- que gran parte de la estación aguas abajo no sea afectada por las mareas;</li> <li>- que la estación sea representativa de las características de un corte transversal del río;</li> <li>- disponibilidad de datos de medición del caudal en el sitio de la estación de monitoreo de la calidad de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ríos</li> </ul>

### 2.3.2 La red revisada

Para empezar, la red GEMS/Agua revisada deberá contar con un mínimo de 10 estaciones de base; la cantidad opcional será de 40 a 50 estaciones distribuidas en todos los continentes. La cantidad de estaciones de base debe proporcionar una cobertura razonable de las principales regiones climáticas, hidrológicas y fitogeográficas del mundo.

Dado que las estaciones de tendencia tienden a representar el impacto del hombre en la calidad del agua, su número deberá ser elevado para poder abordar la amplia variedad de problemas relativos a la calidad del agua que afectan a los recursos de agua dulce del mundo. La red de monitoreo se iniciará con unas 100 estaciones de tendencia y, eventualmente, podrá llegar a tener entre 300 y 400 estaciones. La red debe abarcar la totalidad de las principales influencias del hombre en la calidad del agua. La mayoría de estas estaciones se instalará en cuencas donde se desarrollen diversas actividades inductoras de contaminación. Sin embargo, para poder determinar los impactos que ciertas e importantes actividades humanas ejercen en la calidad del agua, algunas estaciones se ubicarán en cuencas con una única actividad dominante. Durante la transición de la Fase I a la Fase II, varias de las denominadas "estaciones de impacto" estarán en condiciones de funcionar como estaciones de tendencia. En ciertos casos, algunas estaciones de tendencia también pueden servir como estaciones de flujo en ríos.

Las estaciones de flujo en ríos se usarán para determinar los flujos de contaminantes orgánicos e inorgánicos así como flujos de otros elementos en el agua (por ej., carbono, nitrógeno, fósforo) que contribuyen a formar los ciclos geoquímicos. Se estima que será necesario un total de 60 a 70 estaciones ubicadas en las principales cuencas del mundo para garantizar una cobertura global y que los océanos, mares regionales y principales masas terrestres estén correctamente representados. Para calcular los flujos químicos, también es esencial que las mediciones del caudal de agua se obtengan en el sitio donde está instalada la estación de flujo en ríos.

### 2.3.3 Calidad del agua

La selección de estaciones dependerá del tipo de contaminación del agua que se haya de monitorear y de su importancia y magnitud respecto de los distintos usos del agua. Para la Fase II del programa GEMS/Agua, se han seleccionado siete aspectos importantes a nivel global y/o continental o subcontinental:

- desechos orgánicos provenientes de descargas cloacales municipales y efluentes agro-industriales;
- eutroficación de aguas superficiales como consecuencia del ingreso puntual y no puntual de nutrientes y sustancias orgánicas;
- áreas bajo riego amenazadas por la salinización y por aguas de retorno del riego contaminadas;
- empleo de productos agroquímicos, fertilizantes y pesticidas que contaminan las aguas subterráneas;
- efluentes industriales que contienen variadas sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas;
- efluentes mineros y desechos de minería que afectan, por distintas vías, a las aguas superficiales y subterráneas en gran escala;
- acidificación de lagos, ríos e incluso aguas subterráneas como resultado del transporte atmosférico de contaminantes.

### 2.3.4 Usos del agua

La selección de estaciones se verá asimismo influida por los diversos usos del agua y por la ubicación, magnitud e importancia relativas de los mismos. El grado de riesgo de contaminación accidental también será un factor importante. El uso de un río aguas abajo de una gran área urbana o de una fuente de aguas subterráneas próxima a puntos de descargas industriales constituirá un riesgo mayor y requerirá mayor supervisión que usos similares aguas arriba de cualquier descarga contaminante significativa o lejos de todo contaminante potencial. Debe tenerse presente que tanto el almacenamiento de productos agroquímicos como el transporte de productos químicos en camiones cisterna pueden llegar a ser peligrosos en áreas relativamente poco pobladas.

<u>Uso</u>	<u>Criterios</u>
<u>Todo tipo de aguas</u>	
Bebida y uso doméstico	Población servida.
Riego agrícola	Valor anual de los cultivos y población empleada.
Abrevamiento de ganado	Cantidad de animales, valor comercial anual y población empleada.
Uso industrial	Importancia local y nacional de la fábrica.
- de baja calidad, por ej. refrigeración	Valor anual de los productos y población empleada.
- de alta calidad, por ej. alimentos y bebidas	
<u>Aguas superficiales</u>	
Pesquerías comerciales	Calidad y valor de la pesca, importancia como alimento y población empleada.
Pesca deportiva	Cantidad de personas y frecuencia de uso, cantidad de miembros de los clubes y valor de los derechos de pesca.
Recreación	
baño	Cantidad de personas, frecuencia de uso,
paseo en bote	cantidad de miembros de los clubes,
esparcimiento	distancia de las áreas urbanas, acceso a otras aguas.
Navegación	Calidad y valor de los bienes transportados y población empleada.
(riesgo de atarquinamiento y vegetación acuática)	
Drenaje	Daños potenciales, costos de reparación y población afectada.
(riesgo de atarquinamiento u obstrucciones que causan inundaciones)	

## 2.4 Uso de datos

Los datos se pueden utilizar para fines operativos y de control o para planificación e investigación. Los datos se usarán a distintos niveles geográficos y organizacionales.

### 2.4.1 Operación y control

Los fines operativos y de control incluyen:

1. Identificación de las áreas que requieren mejoras y determinación de la urgencia.
2. Protección de los usuarios del agua mediante la determinación de la eficacia de las medidas de control para conservar o mejorar la calidad del agua.
3. Medición de cambios en la calidad a través del tiempo para detectar y medir tendencias y para proponer medidas preventivas.
4. Evaluación del efecto de los cambios de los elementos que ingresan al sistema hídrico.
5. Determinación de la calidad del agua en el cruce de fronteras internacionales.
6. Evaluación de las cargas totales de contaminantes descargadas por ríos en aguas marinas en el límite de marea de la zona litoral.

Es probable que los primeros cuatro usos sean principalmente, si bien no exclusivamente, de interés local o regional y que abarquen a una única cuenca, lago o acuífero mientras que los puntos cinco y seis se relacionan con intereses y obligaciones internacionales.

### 2.4.2 Planificación e investigación

Las actividades de planificación e investigación utilizarán los datos con los siguientes fines:

1. Suministro de información sobre la calidad del agua potencialmente disponible para satisfacer requerimientos futuros.
2. Predicción de los efectos de cambios en los elementos que ingresan en el agua sobre la calidad de la misma.
3. Estimación de los efectos en el régimen hídrico de los cambios hidrológicos propuestos (embalse de un río, modificación de la profundidad de un lago, recarga artificial de un acuífero, etc.).
4. Estudio preliminar para la formulación de modelos matemáticos.
5. Información sobre incidencia y tendencias de sustancias peligrosas específicas.

## 3.0 PLANIFICACION DE LA SELECCION DEL SITIO

### 3.1 El proceso

Debido a los altos costos de los muestreos y análisis rutinarios, bien vale la pena dedicar tiempo y esfuerzo a la planificación cuidadosa del sistema de monitoreo. La selección del sitio debe realizarse en una secuencia lógica como la que se describe a continuación y se recomienda enfáticamente que toda la información reunida, así como las consideraciones y razones de las decisiones tomadas en cada etapa, se registren por escrito y se archiven. Lo que queda escrito no solo contribuye a la exactitud sino que también asegura la disponibilidad de registros confiables para referencias futuras.

Los estudios preliminares constituyen un paso necesario no solo para seleccionar las estaciones sino también para determinar la accesibilidad del sitio de muestreo, la disponibilidad de medios para efectuar el muestreo (puente, botes, etc.), el tiempo transcurrido entre el momento en que se toma la muestra y su posterior análisis en el laboratorio y el costo del viaje para la extracción de muestras.

### 3.2 Recolección de información

1. El primer paso consiste en preparar una reseña y un inventario de todos los factores que puedan llegar a afectar, ya sea directa o indirectamente, la calidad del cuerpo de agua. Estos incluyen todas las descargas o extracciones, tanto puntuales como difusas, que puedan tener un efecto importante. También incluirá información básica, tal como geografía, topografía, clima y tiempo, hidrología, hidrogeología, uso de la tierra, urbanización, industrialización y agricultura. En la medida de lo posible, la reseña también deberá informar sobre cualquier cambio probable o propuesto en estos factores, tanto a corto como a largo plazo.
2. El paso siguiente consiste en reunir toda la información disponible sobre los usos del agua y sus respectivas magnitudes, requerimientos de calidad e importancia relativa y preparar un inventario. Asimismo, se debe incluir todos los cambios probables o propuestos en los usos y sus consiguientes requerimientos, tanto en lo que respecta a calidad como a cantidad.

3. Se deberá hacer un listado y una descripción de las fuentes potenciales de contaminación del agua. Se deberá describir el tratamiento del agua presente y futuro para identificar las posibilidades de reuso o reciclaje.
4. Dado que es factible que haya algunos datos disponibles sobre la calidad del agua de un cuerpo de agua o parte de él, los mismos deben ser recopilados. Por supuesto, la antigüedad de los datos afectará su valor.
5. En esta etapa se pueden confeccionar mapas que ilustren los aspectos más importantes de los temas actuales referidos a la calidad del agua así como a los usos e influencias futuros.

### 3.3 Determinación de los requerimientos de datos

En base a la información reunida ahora debiera ser posible:

- a. determinar la importancia relativa de los distintos tipos de contaminación del agua y uso de la tierra.
- b. determinar la importancia relativa de los factores que influyen en la calidad del agua para distintos usos.
- c. decidir qué información se necesita para satisfacer los requerimientos básicos, de planificación y control y para el monitoreo de las sustancias peligrosas especificadas.
- d. seleccionar sitios potenciales, o ubicaciones para los sitios, que proporcionen la información requerida.

### 3.4 Estudios preliminares

Siempre que sea posible se deben realizar estudios preliminares en los sitios potenciales de muestreo. Dichos estudios ayudarán a identificar aquellos lugares donde la calidad del agua sea inaceptable o crítica. Los análisis deben incluir no solo las variables básicas sino también todas aquéllas que, según lo demuestra la información reunida, puedan estar presentes en concentraciones significativas. Los estudios no deben restringirse a las estaciones propuestas sino que deben abarcar otros puntos factibles de muestreo en el cuerpo de agua. Es conveniente efectuar los relevamientos durante un período representativo, aunque un solo relevamiento --en forma conjunta con la información básica-- puede proporcionar una guía útil.

En el caso de ríos, el estudio preliminar puede incluir varias estaciones sobre una sección dada del río y deberá constatar la mezcla lateral en cada punto. Estos relevamientos pueden efectuarse en condiciones ambientales extremas --como la estación de las lluvias en las regiones tropicales o el invierno en las regiones nórdicas o de montaña. En los lagos, el relevamiento preliminar debe realizarse sobre perfiles verticales en el momento de máxima producción de algas y justo antes de que se produzca la inversión invernal. Para las aguas subterráneas, se deben llevar a cabo relevamientos para trazar un panorama preliminar de la calidad del agua basados en varias perforaciones, pozos y/o manantiales a fin de poder elegir las estaciones más representativas.

### 3.5 Reseña

Una vez iniciado el proceso de muestreo y análisis, los datos serán enviados a los responsables de planificar y controlar la calidad del agua. Después de un período pertinente, se debe proceder a examinar los datos producidos para determinar si los mismos cumplen con los requerimientos de información. Se deberá tener en cuenta todos los cambios producidos en los puntos de muestreo que pudieran mejorar el valor de los datos y bien puede ser que se justifique un único relevamiento extendido.

Aun si ya estuviera funcionando un sistema de monitoreo, quizás sería conveniente efectuar un nuevo examen integral siguiendo la secuencia de planificación descripta para lograr una utilización más eficiente de los recursos.

La secuencia para la selección de sitios se presenta en la Figura 1.

### 3.6 Registros de los sitios

En este capítulo se anexa la información básica requerida para las estaciones de muestreo en ríos, lagos y aguas subterráneas y se indica qué información debe estar disponible en cada una de ellas. Se incluyen aspectos referidos a ubicación, condiciones físicas y de caudales, influencias en la calidad, usos del agua y detalles de muestreo y análisis. Estas planillas podrían constituir la base de un registro integral para cada estación, el que --entre otras cosas-- podría ser útil como referencia al momento de interpretar los datos obtenidos en la estación, especialmente cuando se producen los inevitables cambios de personal.

## 4.0 REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN RIOS

Una vez decidida la ubicación general de una estación de muestreo en base a las consideraciones precedentes, quedan aún varios factores de interés práctico que influyen en su posición exacta y que se describen a continuación.

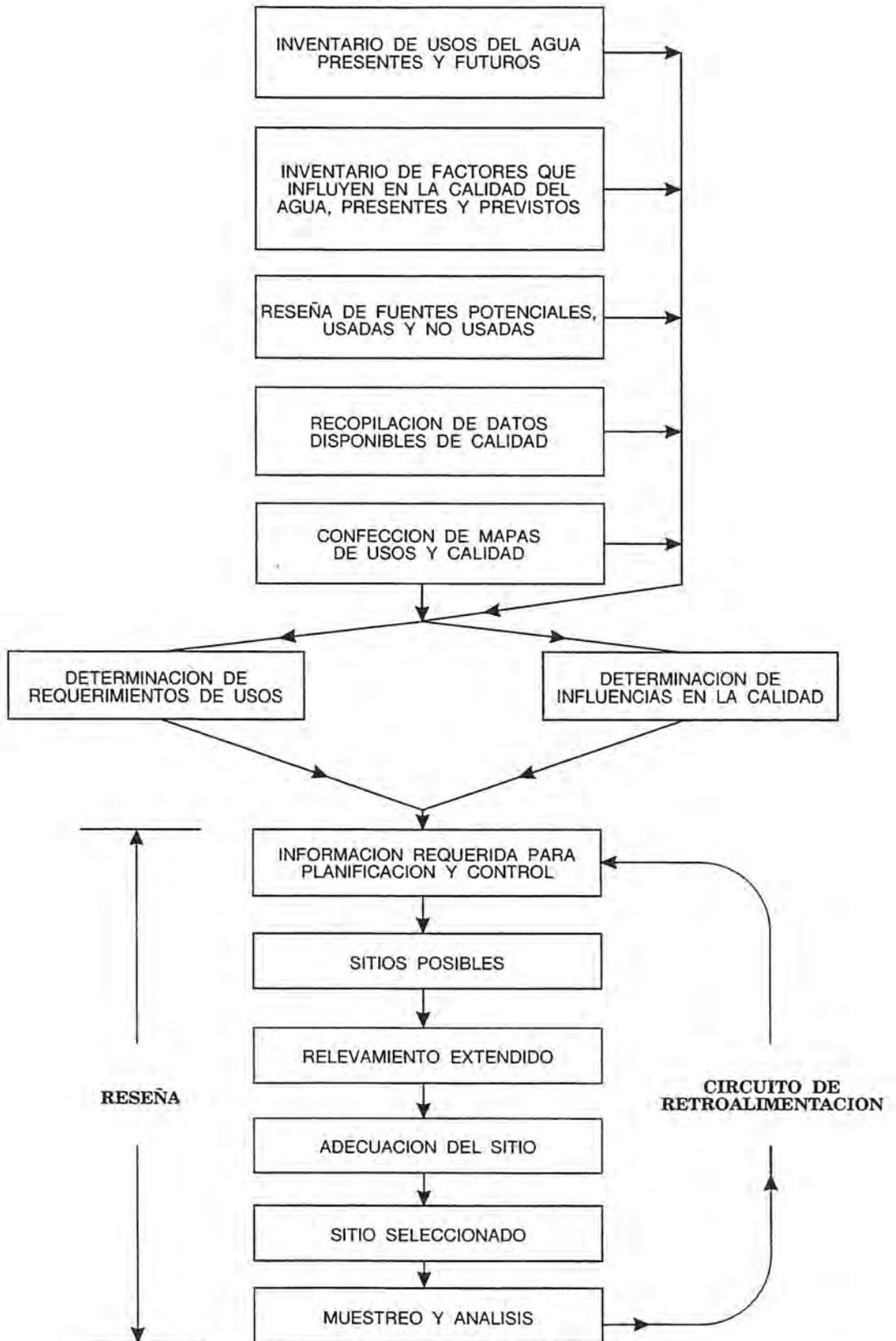


Figura 1. Esquema para la selección de sitios de muestreo del agua

#### 4.1 Representatividad

La muestra debe ser representativa, es decir, las variables en la muestra deben ser de igual valor que las del cuerpo de agua en el lugar y momento del muestreo. Por consiguiente, para que una muestra sea representativa, el cuerpo de agua debe estar completamente mezclado en el lugar de muestreo.

En los ríos pueden producirse demoras considerables en la dispersión lateral de las descargas o de los afluentes según sea la velocidad, turbulencia y tamaño del río aguas abajo. También puede haber demoras en la mezcla vertical, especialmente cuando el afluente y el río tienen distintas temperaturas.

Se deben examinar todas las estaciones propuestas de muestreo de ríos para determinar su homogeneidad en la sección transversal en el punto de muestreo. Esto se logra tomando muestras a intervalos a lo ancho del río y a distintas profundidades. En el Cuadro 1 se detallan las diferentes formas de muestreo según el tamaño del río. Las variables empleadas pueden ser las medidas *in situ*, tales como conductividad, oxígeno disuelto, pH o temperatura. Es de esperar que, aun cuando las sustancias disueltas estén completamente mezcladas, se produzcan variaciones verticales en la concentración de sólidos en suspensión de acuerdo con la velocidad del agua. Es necesario repetir los ensayos para determinar la homogeneidad con caudales altos y bajos.

Cuadro 1. Muestreo de ríos para verificar la homogeneidad en la sección transversal

Descarga anual promedio m <sup>3</sup> /s	Clasificación de muestreo	Cantidad de puntos	Cantidad de profundidades de muestreo <sup>1</sup>
menos de 5	corriente pequeña	2	1
5-150	corriente	4	2
150-1000	río	6	3
más de 1000	río grande	mínimo de 6 al igual que en "río"; agregar más estaciones a medida que el tamaño del río se duplica	4

<sup>1</sup>En la medida de lo posible, las muestras deben tomarse por lo menos a 30 cm por debajo de la superficie ó a 30 cm por encima del fondo, con las precauciones necesarias para no alterar los depósitos del fondo.

Los procedimientos de muestreo en ríos no homogéneos suelen ser tediosos, por lo tanto es conveniente trasladar la estación aguas abajo a una zona homogénea siempre y cuando la misma satisfaga los requerimientos de datos. Es probable que en algunos ríos, especialmente en los grandes, esto no sea factible porque los nuevos afluentes ingresan antes de que las descargas aguas arriba se mezclen. Por lo tanto, es muy improbable que alguna vez el río llegue a ser homogéneo.

#### 4.2 Medición de caudales

Cuando se toman muestras de un río, especialmente en las estaciones de flujo en ríos, se debe determinar cuál es la descarga del río a la altura de la estación a fin de permitir el cálculo de la descarga másica de las distintas variables. Esta información es necesaria para lograr un manejo adecuado de los recursos hídricos y para descifrar las variaciones en la calidad del agua que se observan en la estación. Por lo tanto, cuando se seleccionan estaciones de monitoreo de la calidad del agua, hay que considerar la posibilidad de situarlas en o cerca de estaciones de medición de caudales ya establecidas. Lo ideal sería que la estación de aforo se encuentre en el sitio de muestreo, pero puede ser igualmente satisfactorio si se la sitúa en algún punto aguas arriba o aguas abajo donde no se haya producido ningún cambio significativo en el caudal. A veces es posible calcular el caudal en forma indirecta a partir de dos o más puntos de aforo. Si no existe ninguna instalación de aforo, será necesario instalar una que sirva a la estación de muestreo. Hay que tener presente que si la persona a cargo de tomar las muestras tiene que realizar prolongados procedimientos de aforo, lo hará a expensas del tiempo que le asigne al muestreo. Consultar el Capítulo VIII de esta guía para mayor información sobre mediciones hidrológicas cuantitativas.

#### 4.3 Facilidad de acceso

Por lo general, la persona que toma las muestras tiene que cargar el equipo de muestreo y las muestras de agua, por lo que la distancia que puede caminar desde el lugar donde se encuentra su medio de transporte es limitada. Más aún, mientras más difícil sea el acceso al lugar menor será la cantidad de muestras que pueda tomar en una jornada de trabajo. Además, el punto de muestreo debe ser accesible en distintas condiciones de clima y caudal. Por consiguiente, la facilidad de acceso es un aspecto importante a tener en cuenta, especialmente en aquellas regiones expuestas a condiciones climáticas severas (temperaturas bajo cero, fuertes lluvias, etc.).

#### 4.4 Distancia al laboratorio

Las muestras poseen tres tipos de variables: conservadoras, como el cloro, que no se alteran con el transcurso del tiempo; no conservadoras pero preservables, como el nitrógeno amoniacal; y otras que no son ni conservadoras ni preservables, como la DBO. La variedad de determinaciones que se puedan realizar para un punto de muestreo particular dependerá del tiempo que demande el transporte de las muestras al laboratorio. Si el transporte desde el punto de muestreo al laboratorio insume más de 24 horas, significa que ese sitio de muestreo no es adecuado para algunas determinaciones de calidad del agua.

#### 4.5 Seguridad

Cuando se debe tomar una decisión respecto del punto de muestreo, hay que tener en cuenta que la extracción de muestras de ríos o lagos puede ser peligrosa, especialmente en condiciones de mal tiempo o de grandes caudales. Si no hay alternativa a un sitio peligroso, se deben tomar todas las precauciones posibles y suministrar y usar el equipo de seguridad necesario.

#### 4.6 Influencias molestas

Si la estación de muestreo está situada a poca distancia aguas abajo de un vertedero, el contenido de oxígeno disuelto tenderá a ser elevado, mientras que si se encuentra aguas arriba del vertedero, éste será menor. Las muestras sucesivas en tales puntos proporcionarán resultados comparables pero, por lo general, no serán representativos del río. Lo mismo sucede cuando la estación de muestreo está ubicada aguas abajo de un tramo del río con vegetación no representativa. En este caso, las muestras estarán influenciadas por los procesos de fotosíntesis y respiración.

Se aconseja evitar las zonas de contacto tierra-agua (por ej., riberas o costas) para efectuar el muestreo porque allí es menos probable que el agua sea representativa del cuerpo de agua principal.

#### 4.7 Puestos de muestreo

Hay diversos puestos posibles y su disponibilidad está limitada por las circunstancias propias de cada localidad. Todas tienen sus ventajas y desventajas y se las describe a continuación.

##### Puentes

Generalmente, quienes extraen muestras prefieren hacerlo desde puentes por su acceso fácil y porque permiten la exacta identificación del punto de muestreo, controlar las posiciones laterales y verticales del muestreo y trabajar sin peligro en todo tipo de condiciones climáticas o de caudal. Las desventajas son los riesgos por el tráfico caminero y las dificultades con el tráfico fluvial en particular, dado que el muestreo normalmente se lleva a cabo en el lado de aguas abajo del puente. Las condiciones hidráulicas pueden coadyuvar a la mezcla y pueden mejorar el contenido de oxígeno disuelto si hay un déficit apreciable, pero esto rara vez es significativo. El muestreo desde puentes es, por lo general, la forma más expeditiva y económica de tomar muestras de un río.

##### Botes

Los botes proporcionan un medio más flexible para el muestreo al permitir realizarlo en cualquier punto a lo largo o a lo ancho del río. Sin embargo, es necesario identificar con precisión el punto de muestreo, generalmente con referencia a una o más señales en tierra. Es menester tomar toda clase de precauciones a fin de evitar que el bote agite los sedimentos del fondo e ingresen a la muestra. Dado que puede haber riesgos por caudales elevados o tormentas, todas las personas a bordo deben tener salvavidas. El tiempo que emplea un bote para trasladarse de una estación a otra es prolongado y la flexibilidad de traslado que representa el bote tiene como contrapartida negativa la menor cantidad de estaciones que se pueden visitar. Una alternativa más veloz, siempre y cuando haya rampas adecuadas disponibles, consiste en remolcar con un automóvil un bote pequeño de una estación a otra; o simplemente se puede dejar un bote cerca de cada estación de muestreo en forma permanente.

##### Vadeo

Cuando los ríos son poco profundos, las muestras se pueden tomar vadeando. Las muestras deben extraerse río arriba de quien las recoge ya que éste inevitablemente altera el fondo. Si bien se pueden obtener muestras representativas, la persona a cargo de la extracción de muestras quizás no lo considere muy satisfactorio ya que debe usar una vara o, en algunos casos, atarse una cuerda de salvamento sujeta en la ribera.

##### Ribera

Solo se recurrirá a esta forma de muestreo cuando no haya otra opción. Es preferible que la muestra se tome en aguas turbulentas o en la ribera externa de un recodo del río donde el agua, por lo general, es profunda y rápida. La persona que tome las muestras deberá usar siempre una cuerda de salvamento firmemente sujeta a tierra.

##### Vagoneta o cajón de aforo (aéreo)

Se pueden usar los cajones (aéreos) usados en mediciones de velocidad de corrientes --previamente adaptados para tomar muestras de ríos. Su empleo se restringe a los ríos más pequeños.

### Helicópteros

El uso del helicóptero ofrece dos ventajas: la flexibilidad, ya que se puede tomar muestras en cualquier punto de un río o lago por difícil que sea su acceso, y la rapidez. Es posible visitar y extraer muestras de un gran número de estaciones en poco tiempo y la operación de muestreo es fácil y rápida. Los ensayos indican que la perturbación del agua no afecta significativamente la concentración de oxígeno disuelto. Si bien su costo es elevado, hay que considerarlo con respecto al costo total del muestreo y análisis de todas las muestras.

#### 4.8 Dispositivos de muestreo

Siempre que sea posible, se recomienda extraer las muestras con un guinche y un frasco de muestreo horizontal que pueda taparse activando un mensajero. El material del frasco y su limpieza deben satisfacer los requerimientos fijados para el análisis de traza de sustancias. Por ejemplo, se debe evitar el uso de dispositivos plásticos cuando se realizan análisis en busca de trazas de sustancias orgánicas. En el Capítulo II se brinda más información sobre equipos de muestreo.

### 5.0 REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO EN LAGOS

#### 5.1 Características generales

Un lago puede definirse como un cuerpo de agua dulce parcialmente encerrado y rodeado por tierra; puede ser de origen natural o artificial (por ej., embalses).

El comportamiento de las aguas de un lago está sujeto a una gran variedad de influencias que actúan sobre tres dimensiones --a diferencia del agua de río que con frecuencia es virtualmente unidimensional. Debido a la complejidad del comportamiento de las aguas lacustres, se indican en detalle los factores que originan las variaciones espaciales y temporales en la distribución de la calidad del agua.

Un lago puede caracterizarse por parámetros morfométricos, hidrológicos, químicos, biológicos y sedimentológicos según su edad, historia, clima y balance hídrico. Cada lago desarrolla su propia reacción a estos factores combinados que provocan importantes variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua.

#### 5.2 Balance hídrico

La composición del agua de un lago está influenciada por el balance hídrico --es decir, por el balance entre ingresos y egresos. Sin embargo, el balance hídrico no es el único factor decisivo porque hay un intercambio entre sedimentos y agua y acumulación de materia orgánica por la actividad biológica.

Los ríos y corrientes tributarios constituyen los principales ingresos y pueden transportar una variedad de materiales de origen tanto natural como artificial. En el lago puede haber descargas puntuales directas de desechos industriales y aguas residuales. También puede haber descargas difusas provenientes del drenaje de tierras agrícolas. Puede haber, además, aguas del fondo del lago provenientes de fuentes subterráneas, mientras que las precipitaciones pueden introducir materia extraña. Evidentemente, la medición de los ingresos desde estas fuentes difusas es difícil.

La mayoría de los egresos son una inversión directa de los entradas, que siguen trayectorias similares. El principal egreso es el río por el cual el lago descarga sus aguas y puede haber extracciones para usos públicos e industriales. Es posible que el agua extraída, una vez que ha sido usada, vuelva al lago, pero en algunos casos ésta es derivada al río de salida. Asimismo, puede haber desplazamiento de agua desde el fondo del lago hacia acuíferos vecinos. Por último, se produce pérdida de agua por evaporación.

El tiempo teórico de retención o tiempo de residencia del lago es el total de ingresos dividido por el volumen del lago. Puede variar desde algunos meses para lagos poco profundos a varias décadas y más para los lagos más grandes y profundos. El tiempo de residencia es el tiempo mínimo para alcanzar el equilibrio después de algún cambio importante en los ingresos. En la práctica esto rara vez se da, a menos que el lago esté completamente mezclado. El grado de mezcla varía según la configuración del lago y la ubicación de las entradas y salidas. Cuando el lago es alargado o dendrítico, con muchos ramales, o cuando está compuesto por varias cuencas, la mezcla lateral es pobre y se producen variaciones en la calidad del agua. La estratificación del agua también reduce el volumen efectivo de agua disponible para diluir un ingreso alterado.

#### 5.3 Clasificación trófica de los lagos

Desde el punto de vista de la producción primaria, los lagos se pueden clasificar en cuatro tipos principales:

**Oligotrófico:** Los nutrientes (principalmente compuestos de fósforo y nitrógeno) están presentes en bajas concentraciones y dan lugar a una baja producción biótica. El ritmo de descomposición de la materia orgánica equilibra su producción.

Mesotrófico: El suministro de nutrientes aumenta y hay un correspondiente incremento en biota y materia orgánica, que comienza a acumularse. El oxígeno en el fondo no siempre se encuentra en el punto de saturación.

Eutrófico: El lago se torna rico en nutrientes, la biota florece y la materia orgánica se acumula rápidamente --principalmente como depósitos en el fondo del lago-- lo cual consume, a veces completamente, el oxígeno de las aguas del fondo.

Distrófico: Hay acumulaciones excesivas de materia orgánica, principalmente húmica, que limitan la actividad biológica. La mayoría de estos lagos son poco profundos y ácidos, próximos a convertirse en pantanos.

Estos cuatro tipos pueden darse naturalmente y algunas veces se observa una lenta tendencia a pasar de oligotrófico a eutrófico debido a procesos naturales provocados por llenado y envejecimiento.

Cuando los aportes de nutrientes aumentan --debido a precipitaciones atmosféricas, ríos, escurrimiento directo, aguas residuales, aguas subterráneas, etc.-- como resultado de diversas actividades humanas, se produce un rápido cambio hacia el estado eutrófico, el cual depende fundamentalmente de la velocidad del ingreso de nutrientes (principalmente fósforo) por unidad de superficie del lago y del tiempo de residencia del agua. Este aumento en un proceso natural puede considerarse como contaminación orgánica. Sus efectos, entre otros, son anoxia de las aguas del fondo, disminución de la transparencia, incremento de la materia orgánica en suspensión en las aguas superficiales, cambios en el plancton y especies de peces, etc.

#### 5.4 Estratificación y mezcla del agua

Otra de las características de los lagos que influye en el procedimiento de muestreo es la estratificación térmica provocada por la influencia de la temperatura en la densidad del agua (la densidad máxima del agua se produce a 4°C).

En zonas templadas, durante la primavera y el verano las capas superficiales de agua se tornan más cálidas y su densidad disminuye. Flotan sobre la capa más fría y más densa y hay resistencia a la mezcla vertical. La capa superficial cálida se denomina epilimnio y la capa más fría, atrapada abajo, se denomina hipolimnio. El viento y las corrientes superficiales pueden mezclar el epilimnio, el que conserva una temperatura bastante pareja. Entre las dos capas hay una zona de transición poco profunda en la que el agua pasa de la temperatura del epilimnio a la del hipolimnio. Esta zona se denomina metalimnio o termoclina. El hipolimnio no experimenta una reaeración directa desde la atmósfera y puede quedar privado de oxígeno disuelto si los niveles de materia orgánica son elevados. En condiciones anóxicas, se puede producir la reducción de diversos compuestos en los sedimentos convirtiéndolos en formas reducidas solubles que se difunden en el hipolimnio. Entre las sustancias producidas de este modo se puede mencionar a los compuestos de amoníaco, nitratos, fosfatos, sulfuros, silicatos, hierro y manganeso.

A medida que el frío aumenta, la temperatura de la capa superficial baja y la termoclina desciende aún más. Cuando las capas superficiales llegan a la temperatura a la cual son más densas que el agua del hipolimnio, se produce una rápida "inversión" de las aguas del lago y la mezcla vertical de las mismas.

Por lo general, la estratificación térmica no se produce en grandes lagos, a menos que su profundidad sea de por lo menos 10 metros y en lagos muy profundos puede persistir durante todo el invierno. Normalmente no se registra en lagos pequeños y poco profundos, especialmente si la velocidad de desplazamiento es alta.

Si un lago se cubre de hielo, puede producirse una estratificación térmica inversa y la capa de agua más fría queda encima de la masa principal a 4°C. Cuando un lago está completamente congelado, la reaeración virtualmente cesa y pueden darse condiciones anóxicas y reductoras.

En regiones tropicales y ecuatoriales, los lagos profundos generalmente están estratificados durante todo el año. Esta estratificación permanente da por resultado la anoxia natural y continua de las aguas del fondo (meromixis). Por otra parte, los lagos tropicales poco profundos pueden mezclarse completamente varias veces al año.

Dadas la frecuencia de la inversión y la consiguiente mezcla, que dependen del clima local, los lagos pueden clasificarse en:

1. Monomícticos - una vez al año - lagos templados que no se congelan
2. Dimícticos - dos veces al año - lagos templados que se congelan
3. Polimícticos - varias veces al año - lagos tropicales o templados poco profundos
4. Amícticos - mezcla escasa - lagos tropicales profundos
5. Meromícticos - mezcla incompleta - principalmente lagos amícticos, a veces lagos monomícticos y dimícticos profundos.

Las corrientes generadas por el viento afectan la mezcla lateral pero, por lo general, el efecto se circunscribe a las capas superficiales.

### 5.5 Variaciones estacionales y verticales de la actividad biológica

La biota existente en el lago ejerce una gran influencia en la calidad de las aguas y su efecto varía según la edad del lago. La actividad que produce efectos más inmediatos es la fotosíntesis, producida principalmente por el fitoplancton en la capa superior del lago (la zona trofógena, que generalmente corresponde a las aguas tibias del epilimnio). Como resultado de ello, se produce la captación de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo y silice con producción de oxígeno y adsorción de anhídrido carbónico, libre o combinado, lo que a su vez provoca un incremento en el valor del pH.

En regiones templadas o frías, el ciclo de fotosíntesis sigue un marcado patrón estacional, con un mínimo invernal y un máximo estival; en los trópicos la producción de algas --y su influencia en la química del agua-- se distribuye de forma más pareja.

En las aguas del fondo, la degradación bacteriana del detritus de algas que "precipita" desde la zona trofógena da lugar a la regeneración del nitrógeno inorgánico y del fósforo, a un incremento de  $\text{CO}_2$ , a un desplazamiento hacia un pH ácido y, principalmente, a una disminución del oxígeno. Este agotamiento del  $\text{O}_2$  se relaciona directamente con la cantidad de detritus orgánico que recicla las aguas del fondo e inversamente con la extensión del hipolimnio.

En los períodos de inversión, la calidad del agua del lago es totalmente homogénea, excepto en los lagos meromícticos en los que solo la capa superior está mezclada. Por lo tanto, la química del lago es más compleja que la de ríos y aguas subterráneas debido a procesos tanto externos (ingresos de agua, química, balance hídrico y evaporación) como internos (actividad biológica, mezcla del agua) que provocan marcadas variaciones temporales y verticales en la calidad del agua.

### 5.6 Selección de sitios

Cuando se selecciona una estación para un lago o embalse, se debe recabar información integral y se debe efectuar una estimación previa de los requerimientos de información. Será necesario conocer las características del lago --volumen, superficie, profundidad media y tiempo de renovación del agua-- como así también las características térmicas, batimétricas, hidráulicas y ecológicas.

Generalmente, en un lago se produce una alta dispersión y dilución de las descargas y las estaciones de muestreo para usos específicos pueden medir y detectar los impactos con más facilidad cuando están ubicadas cerca del punto de ingreso o salida. Los datos generados por estas estaciones se restringen a usos más locales.

Para el programa GEMS/Agua, normalmente es suficiente contar con una sola estación cerca del centro del lago para el monitoreo de las condiciones de base o de tendencia si la mezcla lateral es buena y el volumen adecuado. Si un lago está dividido en bahías o cuencas, se necesitará más de una estación. A modo de guía, puede decirse que la cantidad de puntos de muestreo debiera ser igual al valor redondeado del logaritmo de la superficie del lago en  $\text{km}^2$ .

Es necesario realizar un relevamiento preliminar basado, preferentemente, en una grilla o cortes transversales. Como ello insume mucho trabajo, un relevamiento más limitado será suficiente. El estudio de la información reunida indicará cuáles son los sitios más adecuados para el muestreo con propósitos específicos y controles en uno o dos puntos de estos sitios demostrará su valor. Al seleccionar las estaciones hay que tener presente que el tiempo y el trabajo que insume el muestreo de un lago son mayores que para el muestreo de ríos o aguas subterráneas.

### 5.7 Muestreo de lagos y perfiles de profundidad

Por lo general, el muestreo de un lago se realiza desde un bote. La estación normalmente se identifica mediante una combinación de señales en las orillas y perfiles de profundidad con sondaje acústico. No es fácil identificar con precisión la estación todas las veces, pero esto normalmente no es necesario si hay buena mezcla lateral.

Hay que tomar una cantidad de muestras a intervalos verticales, como se describe en el Capítulo II. Se recomienda observar el siguiente programa mínimo:

- dos profundidades (superficie y fondo) si la profundidad del lago no supera los 10 m;
- tres profundidades (superficie, termoclina y fondo) en lagos de hasta 30 m de profundidad;
- cuatro profundidades (superficie, hipolimnio superior, termoclina y fondo) en lagos de por lo menos 30 m de profundidad;
- para lagos de más de 100 m de profundidad hay que considerar la posibilidad de profundidades adicionales.

## 6.0 REQUERIMIENTOS PARA EL MUESTREO DE AGUAS SUBTERRANEAS

### 6.1 Características del terreno

#### El acuífero

El agua subterránea es retenida en roca porosa como la arenisca, en sedimentos porosos como arena o grava, o en las fisuras de rocas fracturadas como la piedra caliza. La masa de roca o sedimentos que retiene agua se denomina acuífero, mientras que el nivel superior del agua en la masa saturada es la napa freática. En un acuífero, los medios se caracterizan por su porosidad y permeabilidad. La porosidad es la relación entre el volumen de poros y fisuras y el volumen total del medio. Se mide como un porcentaje de huecos y denota la capacidad de almacenamiento o retención del agua del medio. La permeabilidad es una medida de la facilidad con que los fluidos en general pueden pasar a través del medio con un gradiente potencial e indica la velocidad relativa de desplazamiento del agua o fluidos a través del medio en ciertas condiciones. En el caso del agua, se denomina conductividad hidráulica. El siguiente cuadro indica la porosidad y conductividad hidráulica para distintos medios típicos.

Cuadro 2. Grados de porosidad y conductividad hidráulica de medios porosos seleccionados

Material	Porosidad %	Conductividad hidráulica cm/s a 20°C
Arcilla	45-55	$10^{-4}$ - $10^{-10}$
Limo	40-50	$10^{-3}$ - $10^{-7}$
Arena	30-40	$10^{-1}$ - $10^{-4}$
Grava	30-40	$10^{-1}$ - $10^{-2}$
Arenisca	10-20	$10^{-5}$ - $10^{-7}$
Piedra caliza	1-10	$10^{-7}$ - $10^{-9}$

A menos que el acuífero contenga agua fósil --es decir, marcadamente asociada a los minerales--, el agua subterránea forma parte del ciclo hidrológico aunque éste abarque muchos años.

#### El suelo

Por encima de la roca inorgánica del acuífero hay una capa de suelo que contiene de un 5-10 % de materia orgánica. El componente inorgánico del suelo consiste en partículas de muy diversos tamaños, en tanto que la materia orgánica está compuesta por desechos de animales y plantas en distintos estados de descomposición. El suelo es habitado por una gran variedad de organismos vivos. Hay una gran diversidad de tipos de suelos y todos influyen en las características del agua a medida que ésta se filtra hacia el acuífero.

### 6.2 Influencias en la calidad del agua subterránea

La calidad del agua que emerge o se extrae de un acuífero depende de la composición del agua que se recarga en el terreno, de la interacción entre el agua y los medios del acuífero y de las reacciones que se producen en el acuífero. El suelo también desempeña una función importante, especialmente en lo que respecta a la filtración física y a las reacciones bioquímicas.

Hay varias interacciones subterráneas que pueden provocar la remoción de sustancias disueltas o un cambio en su composición, que se resumen a continuación.

#### Procesos físicos

1. Dispersión (dilución): la capacidad de dispersión depende directamente de la velocidad del agua subterránea --es decir, conductividad hidráulica y gradiente-- y es inversamente proporcional a la porosidad.
2. Filtración: su eficacia depende de la granulometría del suelo y del acuífero.
3. Movimiento de gases: contribuye a mantener las condiciones aeróbicas y la oxidación bioquímica.

#### Procesos geoquímicos

1. Carácter: incrementa los iones específicos en el agua.
2. Reacciones ácido/base: la mayoría de los componentes aumentan su solubilidad con valores decrecientes de pH.
3. Oxidación/reducción: por ejemplo, en condiciones de reducción, el hierro y el manganeso se tornan más solubles, el cromo menos soluble y los compuestos de nitrógeno y otras sustancias pueden reducirse. En condiciones de oxidación los compuestos de nitrógeno pueden oxidarse y el hierro y el manganeso tornarse menos solubles.

4. Adsorción/desorción: los iones y moléculas pueden ser retenidos o liberados según sus concentraciones en el agua.

#### Procesos bioquímicos

1. Descomposición y respiración: los microorganismos pueden oxidar y descomponer a una gran variedad de productos químicos orgánicos y algunos inorgánicos.
2. Síntesis celular: los nutrientes pueden ser captados y su movimiento en el suelo retrasado.

Algunos de estos procesos pueden eliminar o destruir a ciertos contaminantes --por ejemplo, la descomposición de sustancias orgánicas--, pero otros, como la adsorción, simplemente postergan el avance de los contaminantes. Sin embargo, tal acción reduce su concentración máxima en el agua y puede ser ventajosa cuando se producen variaciones espasmódicas o irregulares en la calidad.

### 6.3 Influencias artificiales

La contaminación de las aguas subterráneas se produce principalmente por la percolación de agua contaminada desde la superficie y las diversas acciones e interacciones descritas le brindan un considerable grado de protección, especialmente al agua extraída de las partes más profundas del acuífero. Sin embargo, cuando el agua contaminada llega a penetrar hasta el punto de extracción, las consecuencias son graves. Dada la escasa velocidad de desplazamiento del agua en el acuífero y el gran volumen de agua subterránea, generalmente se produce un considerable retardo entre la actividad causal y la aparición del contaminante en el agua extraída. Esto varía según sean la conductividad hidráulica, el gradiente hidráulico y la porosidad. Por razones similares, el tiempo requerido para eliminar el agua contaminada será prolongado, mucho más prolongado debido al efecto de "demora". En tales circunstancias, el proceso de recuperación a veces se considera irreversible y la fuente se abandona.

La contaminación artificial de las aguas subterráneas puede tener su origen en fuentes puntuales o difusas. A continuación, en el Cuadro 3, se indican las fuentes más comunes.

Cuadro 3. Fuentes artificiales de contaminación del agua subterránea

Tipo de Contaminación	Fuentes Puntuales	Fuentes Difusas
-----------------------	-------------------	-----------------

Efluentes Domésticos	Pozos negros y sépticos	Recarga artificial con efluentes tratados
	Pérdidas de los sistemas cloacales	Distribución excesiva de cienos en tierras agrícolas
	Infiltración de lagunas de estabilización	
Residuos Domésticos Sólidos	Lavado de basurales y rellenos sanitarios	
Residuos Agrícolas	Proveniente de corrales de engorde	Agua de lluvia, agua para riego y la solución de fertilizantes e insecticidas
Residuos Industriales	Lavado de áreas de descarga de residuos industriales	Eliminación de residuos industriales mediante riego
	Eliminación de residuos industriales, incluida el agua de refrigeración, por descarga en perforaciones	
	Derrames accidentales durante el uso, almacenamiento y transporte	
	Pérdidas de tanques y cañerías	
General		Recarga artificial con agua superficial
		Recarga natural con agua contaminada de río, lago o lluvia
		Intrusión de agua salina del mar o de otros acuíferos por bombeo excesivo

#### 6.4 Selección

El programa de planificación presentado en la Figura 1 se aplica, con algunas modificaciones, a la selección de sitios para las estaciones de monitoreo de aguas subterráneas. Es necesario obtener información hidrogeológica --siempre que ésta exista-- y requerir el asesoramiento de especialistas en el tema durante toda la secuencia de planificación.

El primer paso a seguir es la elección del acuífero. Su importancia relativa se estimará en base a su rendimiento total, población servida, valor para la industria y la agricultura y la magnitud de las amenazas a la calidad de sus aguas.

La información sobre el acuífero debe contener datos sobre su situación hidrológica, es decir, su ubicación, profundidad y superficie así como sus características geológicas y mineralógicas. Es necesario conocer los niveles del agua, los gradientes hidráulicos, la transmisividad y la velocidad y la dirección de desplazamiento del agua. Siempre que sea posible, la información debe ir acompañada por planos, perfiles y diagramas. Es probable que algunos países posean escasa información, en cuyo caso habrá que aceptar las estaciones con la esperanza de poder obtener la pertinente información más adelante.

Es necesario disponer de información básica sobre las influencias, tanto existentes como potenciales, en la calidad del agua. Se debe llevar un registro detallado de usos de la tierra y el Cuadro 3 puede servir de guía para tal fin.

Se debe efectuar un inventario de todos los pozos, perforaciones y manantiales alimentados por el acuífero con información sobre su calidad y monitoreo.

Cuanto mayor y más uniforme sea el acuífero, más representativas serán las muestras provenientes de una sola estación. La elección de la estación normalmente se restringe a los manantiales o puntos de extracción existentes. Sin embargo, puede decidirse invertir en nuevas perforaciones, ya sea para obtener información sobre la calidad del agua de una nueva fuente potencial o para que funcionen como estaciones de impacto de alerta anticipado, emplazándolas entre un punto importante de contaminación y un punto importante de extracción. Asimismo, hay que tener en cuenta la distancia entre la estación de muestreo y el laboratorio.

El área cubierta por un pozo varía según su rendimiento. Por ejemplo, un pozo de alto rendimiento (2 m<sup>3</sup>/minuto) extraerá agua de una gran superficie, mientras que un pozo de menor rendimiento (0,2 l/s) extraerá agua representativa únicamente de las condiciones locales. Un pozo de alto rendimiento, debido a que una marcada depresión afecta las condiciones hidráulicas, puede influir indirectamente en la calidad del agua extraída.

Es poco probable que se extraiga agua subterránea que contenga cualquiera de las sustancias peligrosas especificadas. En aquellos lugares donde se hayan usado para recarga desechos que contengan cualquiera de esas sustancias o donde la geoquímica natural sugiera su posible presencia, se debe analizar el agua para efectuar las determinaciones correspondientes.

Cuando la información referida a la calidad del agua extraída del acuífero seleccionado sea insuficiente, se deberá realizar un relevamiento analítico de los pozos existentes. Los datos que se obtengan, junto con los inventarios y la información básica, ayudarán a elegir un patrón de muestreo representativo.

## 7.0 ANEXOS

## 7.1 INFORMACION BASICA SOBRE ESTACIONES DE MUESTREO DE RIOS

## [GENERAL]

- 1) Nombre: \_\_\_\_\_
- 2) País, continente: \_\_\_\_\_
- 3) Longitud y latitud del sitio de muestreo: \_\_\_\_\_
- 4) Altitud: \_\_\_\_\_ m sobre el nivel del mar.
- 5) Referencia local de posición (nombre de una aldea o puente cercano, etc):  
\_\_\_\_\_
- 6) Distancia del río:  
desde la fuente: \_\_\_\_\_ km; por encima del límite mareal: \_\_\_\_\_ km
- 7) Principal cuenca de drenaje a que pertenece el río: \_\_\_\_\_
- 8) Países por los que atraviesa:  
aguas arriba de la estación: \_\_\_\_\_  
aguas abajo de la estación: \_\_\_\_\_
- 9) Tipo de estación GEMS/Agua (de base, tendencia, o de flujo en ríos): \_\_\_\_\_
- 10) Código de la estación GEMS/Agua: \_\_\_\_\_

## [CARACTERISTICAS DEL RIO]

- 11) Ancho del río en la estación de muestreo:  
promedio: \_\_\_\_\_ m; máximo: \_\_\_\_\_ m; mínimo: \_\_\_\_\_ m
- 12) Profundidad del río en la estación de muestreo:  
promedio: \_\_\_\_\_ m; máximo: \_\_\_\_\_ m; mínimo: \_\_\_\_\_ m
- 13) Características de las riberas (facilidad de acceso, etc.): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 14) Descripción del fondo del río: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 15) Vegetación acuática: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 16) Velocidad del río (en la parte central):  
promedio: \_\_\_\_\_ cm/s; máxima: \_\_\_\_\_ cm/s; mínima: \_\_\_\_\_ cm/s

17) Estación de aforo más próxima (ubicación, tipo y distancia de la estación de muestreo de la calidad del agua): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

18) Código de WMO para la estación de aforo (cuando corresponda): \_\_\_\_\_

19) Mejores medios disponibles para estimar el caudal al momento y punto de muestreo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

20) Velocidad del caudal:

promedio: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s; máximo: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s; mínimo: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s

21) Velocidad del caudal cuando el río ha subido (punto de inundación): \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s

22) Alcance y regularidad estacional de las variaciones de caudal (naturales o reguladas): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

23) Características generales del agua (dureza, pH, salinidad, sustancias húmicas, sólidos en suspensión, etc.): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### [CUENCA DE DRENAJE]

24) Superficie de la cuenca de drenaje aguas arriba: \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup>.

25) Características geológicas (usar, por ejemplo, la clasificación de Koppen): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

26) Características geológicas (cuenca de drenaje aguas arriba): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

27) Características del terreno en la cuenca de drenaje aguas arriba (vegetación natural, bosques, agricultura, urbanización, etc.):

---

---

28) Población en la cuenca de aguas arriba (año de referencia): \_\_\_\_\_ (19 \_\_\_\_).

29) Principales ciudades ubicadas aguas arriba del lugar de muestreo: \_\_\_\_\_

---

---

**[FACTORES DE INFLUENCIA ANTROPOGENICA]**

30) Principales usos del cuerpo de agua (bebida y doméstico; agricultura, industria, recreación, navegación, pesquerías, etc.):

---

---

31) Aporte de contaminantes significativos más próximo (tipo, distancia y medidas de control): \_\_\_\_\_

---

---

32) Otros tipos de contaminación (especificar), características y tendencias y medidas de control: \_\_\_\_\_

---

---

33) Extracción de agua (ubicación, tipo de uso, volumen, población servida, superficie regada): \_\_\_\_\_

---

---

---

---

34) Condiciones naturales que afectan la calidad del agua: \_\_\_\_\_

---

---

35) Otra información explicativa pertinente (descripción, sin cifras): \_\_\_\_\_

---

---

**[MUESTREO Y ANALISIS]**

36) Variaciones en la calidad del agua en un corte transversal (controles de homogeneidad): \_\_\_\_\_

---

---

---

37) Ubicación del punto de muestreo en el río: \_\_\_\_\_

---

---

38) Profundidad a la que se extrae la muestra: \_\_\_\_\_ m.

39) Método de muestreo (desde un bote, puente, etc.) \_\_\_\_\_

40) Equipo de muestreo utilizado: \_\_\_\_\_

41) Dificultades en el muestreo debidas a caudales extremos (frecuencia y estaciones): \_\_\_\_\_

---

42) Facilidad de acceso a la estación de muestreo: \_\_\_\_\_

43) Frecuencia del muestreo de rutina: \_\_\_\_\_

44) Laboratorio que realiza los análisis: \_\_\_\_\_

---

45) Distancia al laboratorio, medio de transporte de las muestras y tiempo normal requerido: \_\_\_\_\_

---

46) Lista de las determinaciones efectuadas en el lugar de muestreo y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

47) Tiempo promedio transcurrido entre la recolección de la muestra y el análisis en el laboratorio: \_\_\_\_\_

48) Condiciones de almacenamiento de las muestras: \_\_\_\_\_

---

49) Lista de determinaciones realizadas en forma rutinaria y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

50) Lista de determinaciones realizadas ocasionalmente y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

51) Tendencias y cambios significativos en los parámetros de calidad del agua durante los últimos años: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

52) Completado por: \_\_\_\_\_

53) Fecha: \_\_\_\_\_

## 7.2 INFORMACION BASICA SOBRE ESTACIONES DE MUESTREO DE LAGOS Y EMBALSES

**[GENERAL]**

- 1) Nombre: \_\_\_\_\_
- 2) País, continente: \_\_\_\_\_
- 3) Latitud y longitud aproximadas (márgenes para grandes lagos): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 4) Altitud: \_\_\_\_\_ m sobre el nivel del mar.
- 5) Referencia local de posición (nombre de aldea cercana, etc.): \_\_\_\_\_
- 6) Ubicación del punto de muestreo en el lago respecto de la orilla: \_\_\_\_\_
- 7) Países que limitan con el lago: \_\_\_\_\_
- 8) Cuenca hidrográfica a que pertenece el lago: \_\_\_\_\_
- 9) Origen: \_\_\_\_\_
- 10) Tipo de lago (en el caso de embalses, tipo y año de construcción): \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 11) Tipo de estación GEMS/Agua (de base, tendencia): \_\_\_\_\_
- 12) Código de la estación GEMS/Agua: \_\_\_\_\_

**[CARACTERISTICAS LIMNOLOGICAS]**

- 13) Superficie: \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup>.
- 14) Longitud máxima: \_\_\_\_\_ km.
- 15) Ancho máximo: \_\_\_\_\_ km.
- 16) Longitud de la orilla: \_\_\_\_\_ km.
- 17) Volumen: \_\_\_\_\_ x 10 km<sup>3</sup>.
- 18) Profundidad máxima: \_\_\_\_\_ m.
- 19) Profundidad media: \_\_\_\_\_ m.
- 20) Tiempo teórico de llenado (= volumen de agua/caudal de entrada): \_\_\_\_\_ año.
- 21) Nombre (descarga media) de los principales afluentes y canales de salida:  
Afluentes: \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s) \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s)  
\_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s)  
Canales de salida: \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s)
- 22) Variación anual en el nivel del agua: \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_ natural \_\_\_\_\_ regulada.

23) Principales cuerpos de agua aguas arriba y aguas abajo (en el caso de cadenas de lagos):

Aguas arriba: \_\_\_\_\_

Aguas abajo: \_\_\_\_\_

24) Período de congelación: \_\_\_\_\_

25) Tipo y ciclo de estratificación: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

26) Características del agua (dureza, tipo químico, tipo de pH, salinidad, sustancias húmicas, sólidos en suspensión, turbiedad, etc.):

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

27) Transparencia:      \_\_\_ alta      \_\_\_ media      \_\_\_ baja

28) Características tróficas: \_\_\_ oligotrófico    \_\_\_ mesotrófico    \_\_\_ eutrófico    \_\_\_ hipertrófico    \_\_\_ distrófico

\_\_\_ otros ( )

29) Se pueden indicar tendencias (cifras optativas de los contenidos medios de P, N y clorofila): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

#### [CUENCA DE DRENAJE]

30) Superficie de la cuenca de drenaje (excluida la superficie del lago): \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup>.

31) Altitud máxima: \_\_\_\_\_ m.

32) Altitud media: \_\_\_\_\_ m.

33) Características climáticas (use, por ejemplo, la clasificación Koppen): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

34) Características geológicas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

35) Características del terreno (principal vegetación natural, bosques, agricultura, urbanización, etc.): \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

36) Población en la cuenca (año de referencia): \_\_\_\_\_ (19\_\_).

37) Principales ciudades sobre el lago (cifras optativas): \_\_\_\_\_

**[FACTORES DE INFLUENCIA ANTROPOGENICA]**

38) Principales usos del cuerpo de agua (bebida y doméstico; agricultura, industria, recreación, navegación, pesquerías, etc.): \_\_\_\_\_

---

---

39) Tipos de contaminación (características y tendencias) y medidas de control: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

40) Extracción de agua (ubicación, tipo de uso, volumen, población servida, superficie regada, etc.): \_\_\_\_\_

---

---

---

41) Otra información explicativa pertinente (descripción, sin cifras): \_\_\_\_\_

---

---

**[MUESTREO Y ANALISIS]**

42) Profundidad(es) a que se toman la muestras: \_\_\_\_\_ m.

43) Método de muestreo (desde un bote, puente, etc.): \_\_\_\_\_

44) Equipo de muestreo utilizado: \_\_\_\_\_

45) Dificultades en el muestreo (condiciones climáticas, etc.): \_\_\_\_\_

---

46) Facilidad de acceso a la estación de muestreo: \_\_\_\_\_

---

47) Frecuencia del muestreo de rutina: \_\_\_\_\_

48) Laboratorio que realiza los análisis: \_\_\_\_\_

---

49) Distancia al laboratorio, medio de transporte de las muestras y tiempo normal requerido: \_\_\_\_\_

---

50) Lista de las determinaciones efectuadas en el lugar de muestreo y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

51) Tiempo promedio transcurrido entre la recolección de la muestra y el análisis en el laboratorio: \_\_\_\_\_

52) Condiciones de almacenamiento de las muestras: \_\_\_\_\_

---

53) Lista de determinaciones realizadas en forma rutinaria y métodos empleados:

---

---

---

---

---

---

54) Lista de determinaciones realizadas ocasionalmente y métodos empleados:

---

---

55) Tendencias y cambios significativos en los parámetros de calidad del agua durante el año pasado: \_\_\_\_\_

---

---

---

56) Completado por: \_\_\_\_\_

57) Fecha: \_\_\_\_\_

### 7.3 INFORMACION BASICA SOBRE ESTACIONES DE AGUAS SUBTERRANEAS

#### [GENERAL]

- 1) Nombre de la estación (o nombre del área geográfica): \_\_\_\_\_
- 2) País, continente: \_\_\_\_\_
- 3) Longitud o latitud: \_\_\_\_\_
- 4) Altitud: \_\_\_\_\_ m sobre el nivel del mar.
- 5) Referencia local de posición (nombre de una aldea cercana, etc.): \_\_\_\_\_
- 6) Ubicación del sitio en el acuífero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 7) Países que cubren el acuífero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 8) Código de la estación GEMS/Agua: \_\_\_\_\_

#### [CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO]

- 9) Tipo de acuífero (confinado, no confinado): \_\_\_\_\_
- 10) Tamaño y extensión del acuífero: \_\_\_\_\_ km<sup>2</sup>, \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 11) Características climáticas: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 12) Geología del acuífero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 13) Topografía del área encima del acuífero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 14) Dirección del flujo de agua en el acuífero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 15) Población estimada en el área que cubre el acuífero: \_\_\_\_\_
- 16) Información adicional sobre el acuífero: \_\_\_\_\_

---

---

---

**[FACTORES DE INFLUENCIA ANTROPOGENICA]**

17) Fuentes de contaminación que potencialmente puedan afectar la calidad del agua (tipo y magnitud de la amenaza de contaminación): \_\_\_\_\_

---

---

---

18) Otras condiciones que afecten la calidad del agua en el acuífero: \_\_\_\_\_

---

---

---

19) Extracción de agua del acuífero (ubicación, tipo de uso, cantidad de personas, etc.): \_\_\_\_\_

---

---

---

20) Extracción de agua desde la estación (tipo de uso, volumen, cantidad de personas, etc.): \_\_\_\_\_

---

---

21) Cantidad de pozos en un radio de 5 km de la estación de muestreo: \_\_\_\_\_

22) Rendimiento total de los pozos en un radio de 5 km de la estación de muestreo: \_\_\_\_\_

23) Nivel del agua subterránea en condiciones estáticas: \_\_\_\_\_

24) Nivel del agua subterránea durante extracciones normales: \_\_\_\_\_

25) Variaciones estacionales en el nivel del agua subterránea en la estación: \_\_\_\_\_

---

---

**[MUESTREO Y ANALISIS]** (Véase Figura 2, p. 28)

26) Tipo de extracción en la estación (pozo perforado, pozo cavado, manantial): \_\_\_\_\_

27) Método de extracción del agua subterránea: \_\_\_\_\_

28) Nivel del suelo en la estación de muestreo: \_\_\_\_\_ m sobre el nivel del mar.

29) Profundidad del revestimiento impermeable en el pozo de muestreo: \_\_\_\_\_ m.

30) Nivel de extracción medio: \_\_\_\_\_ m sobre el nivel del mar.

31) Velocidad media de extracción: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/día.

32) Intrusión de agua marina: \_\_\_\_\_

---

---

33) Método de muestreo (equipo utilizado): \_\_\_\_\_

---

---

34) Frecuencia del muestreo de rutina: \_\_\_\_\_

---

---

35) Laboratorio que realiza los análisis: \_\_\_\_\_

---

---

36) Distancia al laboratorio, medio de transporte de las muestras y tiempo normal requerido: \_\_\_\_\_

---

---

37) Lista de las determinaciones efectuadas en la estación de muestreo y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

38) Tiempo promedio transcurrido entre la recolección de la muestra y el análisis en el laboratorio: \_\_\_\_\_

---

39) Condiciones de almacenamiento de las muestras: \_\_\_\_\_

---

40) Lista de determinaciones realizadas en forma rutinaria y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

41) Lista de determinaciones realizadas ocasionalmente y métodos empleados: \_\_\_\_\_

---

---

---

42) Tendencias y cambios significativos en los parámetros de calidad del agua durante los últimos años: \_\_\_\_\_

---

---

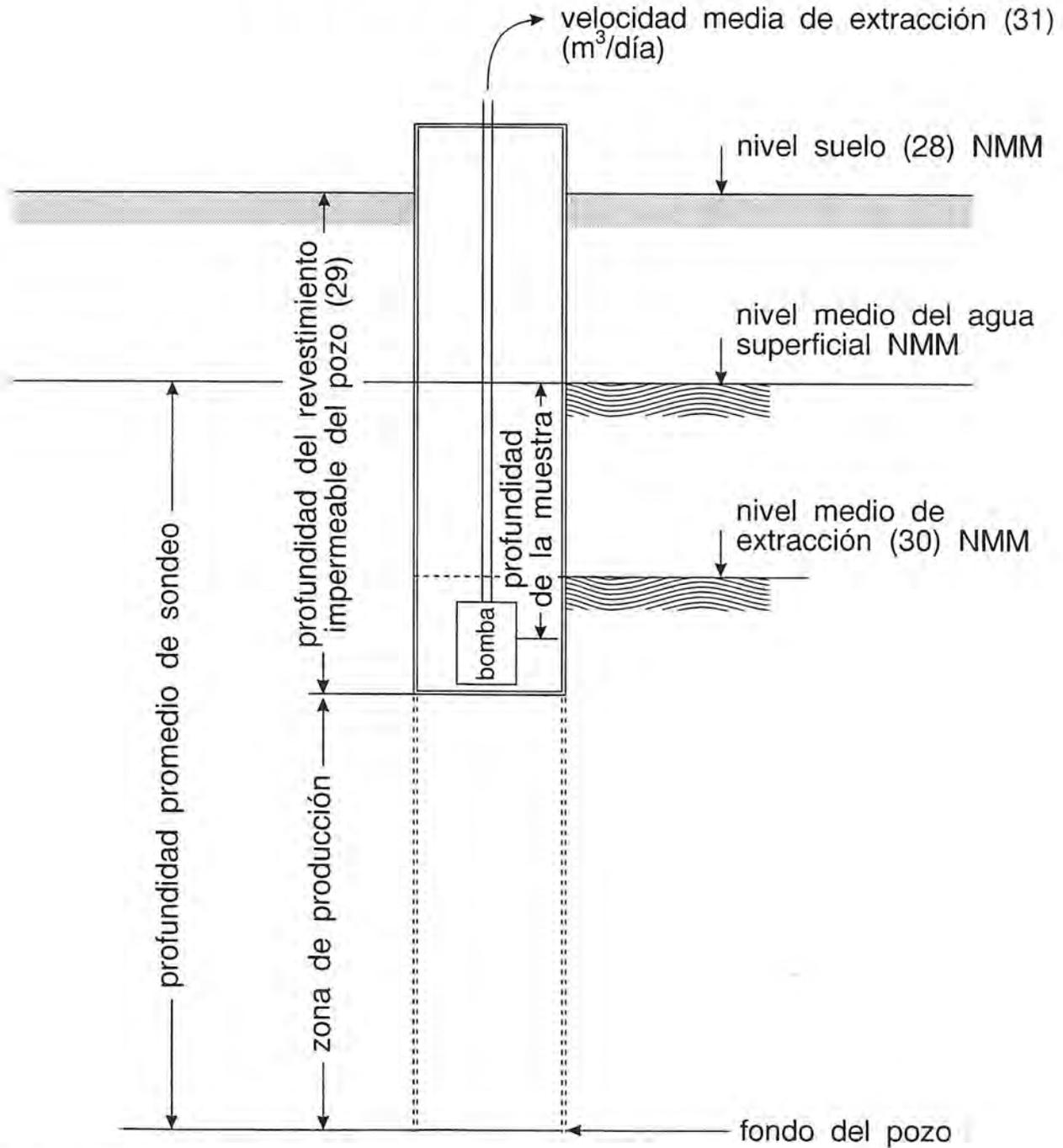
---

---

43) Completado por: \_\_\_\_\_

44) Fecha: \_\_\_\_\_

Figura 2. Representación esquemática de los niveles de agua subterránea



#### Observaciones

1. Todos los niveles se expresan en metros sobre el nivel medio del mar (NMM).
2. La profundidad del revestimiento impermeable del pozo (29) se mide desde el nivel suelo (28).
3. La profundidad promedio de sondeo se mide desde el nivel medio del agua superficial.
4. La zona de producción puede también ser el espesor total de las capas del acuífero a diferentes profundidades.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO II: FRECUENCIAS Y METODOS DE MUESTREO**

Revisado por el Centro de Colaboración de la  
World Health Organization  
para la Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas

National Water Research Institute  
Canada Centre for Inland Waters  
Burlington, Ontario  
Canadá

INDICE

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	FRECUENCIA Y TIEMPOS DE MUESTREO .....	1
2.1	Variabilidad de la calidad del agua .....	1
2.2	Características de la variabilidad .....	1
2.2.1	Variaciones aleatorias .....	1
2.2.2	Variaciones cíclicas .....	1
2.2.3	El río .....	2
2.2.4	Los lagos .....	2
2.2.5	Aguas subterráneas .....	2
2.3	Variabilidad de las variables individuales .....	2
2.4	Tiempos de muestreo .....	2
2.5	La evaluación de la frecuencia de muestreo .....	2
2.5.1	Recolección de información .....	3
2.5.2	Identificación de necesidades .....	3
2.5.3	Estudios preliminares .....	3
2.5.4	Determinación de la frecuencia de muestreo .....	4
2.5.5	Experiencia y revisión operativas .....	4
2.6	Medición de cargas máxicas .....	4
2.7	Procedimientos especiales de muestreo .....	4
2.7.1	Ríos .....	4
2.7.2	Lagos .....	5
2.7.3	Aguas subterráneas .....	6
3.0	EXTRACCION DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL .....	6
3.1	Tipos de muestras de aguas superficiales .....	6
3.1.1	Muestras aleatorias .....	6
3.1.2	Muestras compuestas .....	7
3.2	Extracción de muestras representativas .....	7
3.3	Equipos y técnicas de campo .....	7
3.3.1	Recolectores de muestras instantáneas .....	7
3.3.1.1	Extractores de integración en profundidad .....	7
3.3.1.2	Extractores para muestras discretas .....	8
3.3.2	Extractor de muestras para oxígeno disuelto .....	10
3.4	Preparación de las visitas a campo .....	10
3.4.1	Preparativos generales .....	10
3.4.2	Lavado y preparación de recipientes .....	10
3.4.3	Selección del volumen de la muestra .....	10
3.4.4	Lista de control previa a la visita .....	10

4.0	GARANTIA DE LA CALIDAD EN EL CAMPO .....	11
4.1	Medidas generales .....	11
4.2	Contaminación de muestras .....	11
4.3	Control de calidad .....	12
4.3.1	Blancos de frascos .....	13
4.3.2	Blancos de extractores de muestras .....	13
4.3.3	Blancos de filtros .....	13
4.3.4	Blancos de campo .....	13
4.3.5	Muestras duplicadas (alícuotas) .....	13
4.3.6	Muestras duplicadas en el tiempo .....	13
4.3.7	Muestras duplicadas en el espacio .....	13
4.3.8	Muestras con adiciones de concentración conocida de la(s) variable(s) de interés (adición estándar) .....	13
5.0	VARIABLES MEDIDAS EN EL CAMPO	
5.1	Medición del pH .....	14
5.2	Medición de la conductividad .....	14
5.3	Medición del oxígeno disuelto .....	14
5.4	Transparencia .....	14
5.5	Resumen general de los procedimientos a campo .....	14
6.0	FILTRACION Y PRESERVACION EN EL CAMPO .....	15
6.1	Filtración .....	15
6.2	Técnicas de preservación .....	15
6.2.1	Agregados químicos .....	15
6.2.2	Congelación .....	15
6.2.3	Refrigeración .....	15
6.2.4	Aspectos prácticos de la preservación .....	17
7.0	MUESTREO PARA ANALISIS MICROBIOLÓGICOS .....	17
8.0	PROCEDIMIENTOS PARA EL MUESTREO DE SEDIMENTOS .....	17

## 1.0 INTRODUCCION

La recolección de muestras de agua puede parecer una tarea relativamente simple. Sin embargo, se requiere algo más que la simple inmersión de un recipiente en el agua para obtener muestras representativas de la misma y preservar su integridad hasta que sean analizadas en el laboratorio. Es fácil obtener muestras representativas del agua de ríos y lagos que son relativamente homogéneos, pero en muchos cuerpos de agua con importantes variaciones espaciales y temporales la extracción de una muestra representativa es mucho más compleja. Los procedimientos indicados en este manual contribuirán a que los investigadores obtengan muestras de agua representativas y confiables.

Las secciones incluidas sobre equipos de muestreo de agua no son exhaustivas sino que intentan presentar el equipo de muestreo más comúnmente utilizado. Además, las instrucciones referidas a la operación del equipo de muestreo y medición a campo no buscan reemplazar a las impartidas por los fabricantes sino que deben ser consideradas como información adicional. Los recipientes para muestras, conservadores y procedimientos de muestreo y medición a campo descritos en este manual son los más utilizados para los análisis físicos, químicos y microbiológicos.

La calidad de los datos reunidos depende, antes que nada, de la calidad de la muestra; por ejemplo, si es representativa de la calidad del cuerpo de agua del cual se obtuvo y si se ha logrado o no evitar la contaminación. El uso de las técnicas más confiables para la extracción de muestras y para la realización de mediciones a campo contribuye a la calidad de los datos, aumenta su precisión y exactitud y mejora el proceso de manejo de la calidad del agua en general.

Este capítulo es el resultado del esfuerzo conjunto de colaboradores nacionales en el programa GEMS/Agua y está basado en gran medida en las prácticas y experiencias de muestreo de la Water Quality Branch, Inland Waters Directorate de Environment Canada.

### ACLARACION

La mención de marcas, productos comerciales o fabricantes en este manual se hace a título ilustrativo y no significa respaldo a los mismos.

## 2.0 FRECUENCIA Y TIEMPOS DE MUESTREO

### 2.1 Variabilidad de la calidad del agua

Rara vez la calidad del agua en distintos cuerpos de agua es constante en el tiempo y está sujeta a cambios. Si bien puede existir una cierta relación en los cambios de diferentes variables, otras se alteran en forma independiente. En la medición de los valores máximos, mínimos y medios de las variables durante un cierto período, la semejanza de los valores controlados a los valores reales dependerá de la variabilidad de la variable y de la cantidad de muestras tomadas. Mientras mayor sea la cantidad de muestras de la cual se obtiene la media, menor será el margen de diferencia probable entre las medias observadas y las reales. Estos límites de confianza no son directamente proporcionales a la cantidad de muestras sino al cuadrado de esa cantidad. Para duplicar la confiabilidad de un valor medio, se debe cuadruplicar la cantidad de muestras.

### 2.2 Características de la variabilidad

Las variaciones en la calidad del agua son producidas por cambios (aumento o disminución) en la cantidad de la concentración de cualquiera de los elementos que ingresan en un cuerpo de agua. Tales cambios pueden ser naturales o producidos por el hombre y cíclicos o aleatorios. Por consiguiente, la variación en la calidad del agua también puede ser cíclica o aleatoria. Dado que es posible que algunos cambios se produzcan en forma combinada, es difícil establecer la razón de las variaciones.

#### 2.2.1 Variaciones aleatorias

Se deben a eventos irregulares y, a menudo, impredecibles. Las tormentas repentinas pueden producir aumentos en los caudales, seguidos por escurrimientos y lixiviación contaminados o desborde de colectores cloacales. Los efectos de las precipitaciones pueden modificarse a través de medidas de control aluvional. Además, pueden producirse derrames y pérdidas accidentales. Cualquiera de estos acontecimientos puede ocurrir en cualquier momento y sin aviso previo.

#### 2.2.2 Variaciones cíclicas

Los ciclos anuales pueden ser el resultado de patrones regulares de precipitación, fusión nival y cambios estacionales de temperatura. El crecimiento y descomposición estacional de la vegetación también provocará cambios cíclicos en la composición del agua, en tanto que los niveles de auto-purificación y nitrificación dependen en gran medida de la temperatura. Puede haber ciclos diarios de origen natural, especialmente los generados por fotosíntesis y que afectan al oxígeno disuelto y al pH. Las actividades industriales, agrícolas y domésticas pueden producir cambios cíclicos debido a ciclos de descarga y extracción. El manipuleo hidráulico del caudal del río, ya sea por su regulación o para la generación de energía o para la navegación, suele ser cíclico pero también puede ocurrir en forma aleatoria.

### 2.2.3 El río

La variabilidad es diferente para ríos, lagos y aguas subterráneas. Es más pronunciada en los ríos y el grado de variación será mayor cuanto más cerca de la fuente o fuentes de variabilidad se encuentre el punto de muestreo. A medida que aumente la distancia a la fuente, la mezcla longitudinal atenúa las irregularidades y se necesita una menor cantidad de muestras para cumplir con los límites de confianza dados. Sin embargo, a medida que la distancia entre la fuente de variabilidad y el punto de muestreo aumenta, no solo se producirá una reducción en los márgenes de variación sino que también habrá dilución y algunas variables se reducirán por auto-purificación, deposición y adsorción. Estos efectos deben ser tenidos en cuenta cuando la estación de muestreo utilizada para control de calidad esté ubicada a una cierta distancia del punto de uso.

### 2.2.4 Los lagos

En los lagos, el cuerpo de agua y una buena mezcla lateral crean una cierta inercia contra cualquier cambio repentino debido a modificaciones en los aportes. Muchos lagos presentan marcadas variaciones estacionales debido a estratificación e inversión térmicas y actividad biológica. Estos fenómenos se describen en el Capítulo I. Según sea el tipo de lago, la extracción de muestras puede efectuarse con un sesgo estacional relacionado con los ciclos naturales del lago.

### 2.2.5 Aguas subterráneas

La variabilidad del agua subterránea es menor que la de ríos o lagos. La tasa de cambios en la calidad depende de la profundidad del muestreo, del tamaño y de la porosidad; es decir, del volumen de agua del acuífero y de la conductividad hidráulica. El tiempo que transcurre entre los cambios en el uso de la tierra y en la recarga superficial de agua y sus efectos en el agua subterránea dependerá de la velocidad de percolación. A menudo, pero no siempre, las variaciones son estacionales con un retardo inicial según sea la velocidad de percolación. La inyección directa en perforaciones o las intrusiones salinas desde fuentes subterráneas pueden producir efectos más rápidamente. (En el Capítulo I se enumeran las fuentes de contaminación del agua subterránea).

## 2.3 Variabilidad de las variables individuales

En base a estudios de variabilidad llevados a cabo en ríos, es posible formular algunas generalizaciones. La distribución de los valores de una variable en una estación individual tiende a ser normal y las desviaciones que se producen no son suficientes para invalidar los cálculos basados en este supuesto.

La más amplia gama de valores corresponde a la concentración de sólidos en suspensión y su distribución tiende a ser logarítmica-normal. Esto es dable de esperar porque los valores están altamente influenciados por los extremos de caudal y velocidad del río. Las variables que son insolubles y que, por consiguiente, están asociadas a las sustancias insolubles y en suspensión tienden a ser menos precisas que las de las sustancias disueltas para la misma cantidad de muestras.

## 2.4 Tiempos de muestreo

Si, cuando se producen variaciones cíclicas, las muestras se toman a intervalos constantes que coincidan con el período del ciclo y, por consiguiente, en el mismo punto del ciclo, los resultados sucesivos serán directamente comparables a fin de evaluar los cambios en la calidad del agua. Sin embargo, estas muestras no son representativas en el tiempo y no indican lo que sucede durante el resto del ciclo.

El programa de muestreo puede estipular tiempos de muestreo aleatorio, pero deben distribuirse en forma más o menos pareja durante todo el año. Generalmente, es más fácil organizar las variaciones cíclicas. Por ejemplo, sea cual fuere el intervalo de tiempo elegido, éste podría basarse en un múltiplo de 7 días+1 día para que el día de muestreo se adelante o atrase en la semana. Las muestras también pueden variar durante las 24 horas utilizando horarios sucesivos basados en 24+1. Como los horarios móviles pueden causar problemas con los días de descanso y el trabajo nocturno de la persona a cargo de la recolección de muestras y del laboratorista, será necesario concertar algún tipo de acuerdo.

Cuando se conoce el momento en que la calidad del agua es más variable o más crítica, es conveniente aumentar la frecuencia de muestreo en esos momentos o asignar una mayor proporción del esfuerzo de monitoreo a esos momentos. En el caso de los ríos, sería conveniente efectuar este mayor muestreo cuando hay caudales bajos en las estaciones secas y cálidas, o cuando se realizan actividades estacionales industriales y agrícolas regulares. Los lagos, en particular, están sujetos a períodos regulares de cambios rápidos debido a la estratificación e inversión térmicas. Las aguas subterráneas pueden presentar patrones regulares de calidad pero el ritmo de cambios de la misma es relativamente lento.

## 2.5 La evaluación de la frecuencia de muestreo

La evaluación de la frecuencia de muestreo que se necesita en una estación para obtener los datos requeridos debería llevarse a cabo en base a una secuencia planificada. El proceso, que se describe a continuación, puede dividirse en cinco etapas:

### 2.5.1 Recolección de información

1. Recolección de información sobre todas las condiciones que afectan la calidad del agua y su variabilidad y sobre las necesidades de calidad del agua de acuerdo con el uso. Esta información es igual a la requerida para la selección del lugar y descrita en la sección 3.2 del Capítulo I.
2. Recolección de todos los datos analíticos existentes con el objeto de establecer las variaciones de calidad en la estación. Nuevamente, esta información será igual a la obtenida de acuerdo con la sección 3.2 del Capítulo I.

### 2.5.2 Identificación de necesidades

La etapa siguiente consiste en decidir cuáles son las variables más importantes en la estación que se relacionen con los usos del agua y con los niveles en los cuales interferirán con los usos existentes o propuestos. En realidad, estas consideraciones son normas locales de calidad ambiental.

### 2.5.3 Estudios preliminares

Ahora es necesario determinar la calidad del agua y sus características de variabilidad y, en particular, las concentraciones y variaciones de las variables más importantes en la estación, identificadas en la etapa precedente.

Es posible que los datos analíticos existentes sean suficientes, pero esto es poco probable. Dada la necesidad de optimizar el uso de muestras valiosas y de los recursos para su análisis, es esencial disponer de información adecuada y actualizada; cabe efectuar un relevamiento intensivo para asegurar que la misma esté disponible. A continuación se describe un plan general cuyo alcance quizás deba adecuarse a los medios locales.

1. Muestras semanales durante un año.
2. Muestras diarias durante siete días consecutivos una vez cada 13 semanas (4 veces al año).
3. Muestras por hora durante 24 horas una vez cada 13 semanas (4 veces al año).
4. Muestras tomadas cada 4 horas durante siete días consecutivos una vez cada 13 semanas (42 muestras por periodo).

Para este tipo de relevamiento se podrá reducir la cantidad de variables a fin de disminuir la carga laboral. Para ello se seleccionarán las variables más importantes para la estación. Cuando se utiliza una combinación de los planes precedentes o una modificación adaptada a las circunstancias locales, se puede obtener una amplia variedad de series de datos.

Por ejemplo, el programa de muestreo semanal permite las siguientes combinaciones para determinar las características estadísticas de la media anual:

1. Muestreo semanal	52x2	1 grupo de cifras
2. Muestreo cada 2 semanas	26x2	2 grupos
3. Muestreo cada 4 semanas	13x4	4 grupos
4. Muestreo cada 2 meses	(7x4)	<u>8 grupos</u>
	(6x4)	15 grupos

Los programas de muestreo 1 y 3 se pueden subdividir para caracterizar las distribuciones anuales, trimestrales, diarias y horarias. El programa de muestreo 4 brinda la oportunidad de usar un análisis especial para separar los componentes de variancia por magnitud y periodicidad. Para ello se requiere de la participación de un especialista.

Es poco probable que la calidad en las estaciones de base, donde el agua no ha sido muy afectada por las actividades del hombre, presente el mismo grado de variabilidad que los ríos que llevan agua usada. Según la información básica que se obtenga, se podría modificar y reducir la intensidad del relevamiento preliminar indicado precedentemente.

El programa inicial de muestreo descrito anteriormente comprende el muestreo de ríos, los que presentan el mayor grado de variabilidad. El mismo proceso y secuencia se aplica a los lagos y aguas subterráneas, pero la frecuencia del muestreo rutinario será menor, al igual que la intensidad del relevamiento preliminar.

Para las estaciones de lagos, se sugiere el siguiente relevamiento preliminar:

1. Cinco días consecutivos en el período más caluroso del año.
2. Cinco días consecutivos una vez cada 13 semanas.

Para las estaciones de tendencia cercanas a los puntos de uso del agua, donde es probable que la variabilidad sea mayor que en la masa principal del lago, se puede incrementar la cantidad de muestras para el estudio preliminar.

Para el agua subterránea, unas pocas muestras semanales o quincenales alcanzarán para establecer las características de la estación, aunque un muestreo a intervalos más prolongados debiera abarcar un año completo.

#### 2.5.4 Determinación de la frecuencia de muestreo

A partir de la información obtenida en las etapas precedentes, ahora debiera ser posible confirmar la importancia relativa de las diferentes variables, determinar los márgenes existentes entre sus niveles actuales y la concentración crítica de interferencia y decidir a qué concentración y ante cuál frecuencia de esa manifestación se debe proceder. Esta información proporcionará las bases para establecer límites adecuados de exactitud y confianza para las variables importantes y críticas.

Existe consenso general de que --cuando la cantidad de muestras que se pueda manejar sea estrictamente restringida-- es preferible reducir la cantidad de estaciones antes que la frecuencia del muestreo. Es mejor obtener resultados confiables de una estación que datos dudosos de dos. El Cuadro 1 presenta las frecuencias de muestreo anual recomendadas para las estaciones GEMS/Agua.

#### 2.5.5 Experiencia y revisión operativas

A menos que se indique lo contrario, si los relevamientos preliminares deben ser postergados hasta que la estación de muestreo haya sido puesta en servicio, se pueden adoptar provisoriamente las siguientes frecuencias de muestreo:

Ríos	-	cada dos semanas
Lagos	-	cada dos meses
Agua subterránea	-	cada tres meses

Al finalizar el primer año, es necesario realizar un análisis estadístico de los datos y revisar las frecuencias. Un muestreo realizado con mayor frecuencia que el mínimo indicado precedentemente ayudaría a evaluar los datos del primer año.

En cualquier caso, el proceso de re-evaluación anual debe realizarse para todas las estaciones GEMS. Los datos procesados y devueltos anualmente por el National Water Research Institute (Canada Centre for Inland Waters) incluirán, entre otros, las medias aritméticas y las desviaciones estándar de todas las variables, con lo cual será sencillo calcular límites de confianza del 95% u otros. Es necesario revisar el programa de muestreo para cada estación a fin de decidir si corresponde reducir o aumentar la frecuencia de muestreo. Se deben registrar los cálculos, comentarios y decisiones y actualizar los registros de la estación y la información básica.

### 2.6 Medición de cargas máxicas

Con el sistema GEMS no solo se mide la concentración de una variable sino también el correspondiente caudal de agua en los ríos a fin de permitir el cálculo de la carga máxica. Los muestreos para determinar concentraciones consisten normalmente en muestras instantáneas tomadas durante un breve periodo; la duda que surge es si el caudal asociado o las velocidades de descarga deben ser instantáneas o promedio. Las comparaciones de las cargas máxicas, calculadas utilizando tanto las velocidades de descarga instantánea como los caudales medios calculados desde una muestra anterior, no han revelado ninguna diferencia significativa en el nivel de confianza del 95%. También se ha comparado el uso de caudales instantáneos y el uso de caudales medios anuales y las diferencias sí fueron significativas. Es preferible utilizar la cifra correspondiente al caudal instantáneo.

### 2.7 Procedimientos especiales de muestreo

#### 2.7.1 Ríos

Las dificultades surgen cuando el único punto de muestreo aceptable se encuentra en un tramo no homogéneo, es decir, un tramo sin mezcla de un río. Por consiguiente, las muestras individuales no serán representativas de un cuerpo de agua. Será necesario extraer muestras de una sección transversal del río a fin de obtener valores promedio; esto se puede realizar de diversas maneras.

El río se considera como una serie de secciones verticales frente al lugar seleccionado. De cada sección se extraen muestras discretas y se las analiza por separado. Los resultados se pueden promediar sumándolos a todos y dividiéndolos por la cantidad de muestras. Como alternativa, para ahorrar trabajo de análisis, las muestras se pueden mezclar en iguales proporciones y los análisis de la muestra compuesta serán iguales a los valores calculados. Este promedio se pondera en el tiempo y no tiene en cuenta las diferencias de caudal entre las secciones.

Es preferible obtener promedios ponderados según el caudal, lo que implica medir la magnitud del caudal en cada sección en el momento de muestreo. Se debe conocer el área de cada sección transversal y preparar perfiles de velocidad para cada una de ellas. Para obtener un promedio ponderado según el caudal, el caudal en cada sección se multiplica por el valor del sector, los resultados de todos los sectores se suman y ese resultado se divide por el caudal total. Nuevamente, es posible reducir el trabajo de análisis preparando una muestra compuesta que contenga muestras de cada sección agregadas en proporción a los flujos de las secciones. Este proceso insume mucho tiempo.

Si se toma una serie de promedios ponderados según el caudal utilizando los análisis de muestras individuales, se puede obtener una relación matemática entre los resultados analíticos de uno, o quizás más, de los puntos de muestreo y el promedio ponderado según el caudal. El uso de esta relación podría contribuir a reducir en gran medida el tiempo y el trabajo requeridos, pero la confiabilidad del resultado será un tanto inferior. Este tema se desarrolla más detalladamente en el capítulo sobre Mediciones Hidrológicas, en la sección sobre técnicas para el cálculo del balance de masas.

Cuadro 1. Frecuencias de muestreo anual recomendadas para las estaciones GEMS/Agua

TIPO DE ESTACIONES	TIPO DE AGUA		
	RIOS/CORRIENTES	LAGOS/EMBALSES	AGUAS SUBTERRANEAS
DE BASE	<b>Mínimo:</b> 4, incluso volúmenes altos y bajos de agua	<b>Mínimo:</b> 1 al momento de inversión (muestreo en la salida del lago)	
	<b>Óptimo:</b> 24, es decir, muestreo quincenal y semanal para el total de sólidos en suspensión	<b>Óptimo:</b> 1 al momento de inversión y 1 perfil vertical al finalizar el período de estratificación	
DE TENDENCIA	<b>Mínimo:</b> 12 para grandes áreas de drenaje (aprox.: 100.000 km <sup>2</sup> )	<b>TEMA DE LA EUTROFICACION:</b> 12, incluidas 2 veces al mes durante el verano	<b>Mínimo:</b> 1 para acuíferos grandes y estables
	<b>Máximo:</b> 24 para pequeñas áreas de drenaje (aprox.: 10.000 km <sup>2</sup> )	<b>OTROS TEMAS:</b> <b>Mínimo:</b> 1 al momento de inversión. <b>Máximo:</b> 2, uno al momento de inversión y uno al momento de la máxima estratificación térmica	<b>Máximo:</b> 4 para pequeños acuíferos aluviales <b>Acuíferos kársticos:</b> igual que para ríos
DE FLUJO EN RIOS	<b>GRANDES CUENCAS</b> (>200.000 km <sup>2</sup> ) (1) 6, para algunos metales en suspensión (2) 12 para todas las otras variables		
	<b>PEQUEÑAS CUENCAS</b> (< 200.000 km <sup>2</sup> ) (1) 24 para las variables básicas de monitoreo (3) 12 para nutrientes expandidos, contaminantes orgánicos y monitoreo de algún metal expandido (4) 6 para análisis de algunos sólidos en suspensión		

- (1) Para las estaciones de flujo en ríos se recomienda un registro continuo de la descarga de agua y un muestreo semanal para el total de sólidos en suspensión.
- (2) Para arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio y zinc en suspensión.
- (3) Para temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruro, sulfato, alcalinidad, nitrato más nitrito, total de fósforo filtrado y no filtrado, sílice, clorofila a, carbono orgánico disuelto y en suspensión, nitrógeno orgánico disuelto y en suspensión.
- (4) Para fracciones disueltas y en suspensión de aluminio, hierro y manganeso; y para arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, selenio y zinc disueltos.

### 2.7.2 Lagos

Muchos lagos presentan el fenómeno de estratificación térmica estacional, descrito brevemente en el Capítulo I en la selección de puntos de muestreo.

Cuando existe estratificación, las muestras se extraen del lago en forma vertical de acuerdo con la posición del metalimnio o termoclina. Se puede trazar un perfil vertical de la estratificación a partir de una serie de mediciones verticales de la temperatura. Las muestras deben extraerse:

1. Inmediatamente debajo de la superficie de agua
2. Inmediatamente encima del epilimnio
3. Inmediatamente debajo del epilimnio
4. En la mitad del hipolimnio
5. Un metro por encima de la interfaz sedimento/agua.

Si hay una zona anóxica, es conveniente extraer al menos dos muestras de esta capa. Para los lagos profundos, se deben extraer muestras a intervalos de, por ejemplo, 100 m. Cuando el lago está totalmente mezclado, las muestras deberían extraerse de los puntos 1 y 5. Si después de la inversión persiste una zona anóxica en el fondo, ésta también debiera ser muestreada cerca de su límite superior.

### 2.7.3 Aguas subterráneas

Generalmente, las muestras de agua subterránea se extraen de los pozos o perforaciones existentes. Antes de tomar las muestras, se debe bombear agua durante un tiempo para asegurar que lo que se extrae es agua nueva. El agua que emerge es, a menudo, una mezcla de aguas provenientes de estratos diferentes. Esto no reviste mayor importancia, siempre y cuando los aportes relativos de cada capa sean suficientemente constantes. Si se necesitare información sobre la calidad en los diferentes estratos, se puede introducir un tubo o tubos en la perforación y hacer extracciones a diferentes niveles. También se puede introducir celdas en el pozo para medir la conductividad de otras variables y trazar un perfil de las mismas.

Dado que, por lo general, el agua subterránea no ha estado en contacto con el aire durante un considerable período, los gases disueltos pueden no estar en equilibrio con la atmósfera y el agua que surge puede cambiar sus características rápidamente. El dióxido de carbono disuelto puede perderse en la atmósfera y provocar cambios en el valor del pH del agua. Si el agua es anóxica, el oxígeno es consumido y el hierro y manganeso oxidados precipitan. Las muestras deben extraerse sin que tengan contacto con el aire; un tubo de purga desde la salida de la bomba debe entrar en los frascos para muestras, los que deben dejarse rebalsar antes de sellar. En la medida de lo posible, los análisis se deben efectuar en el mismo sitio.

## 3.0 EXTRACCION DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL

En el diseño del proyecto se debe establecer el emplazamiento de las estaciones de muestreo y la frecuencia del muestreo en base a los objetivos del proyecto y la variabilidad espacial y temporal del sistema. Es responsabilidad del investigador de campo emplazar correctamente todas las estaciones de muestreo. Es importante que la muestra siempre se extraiga del mismo lugar. Solo así se podrá interpretar confiadamente los cambios temporales en los niveles variables de calidad del agua. Por consiguiente, durante la primer visita a cada zona de muestreo se debe preparar descripciones precisas del emplazamiento de la estación y los investigadores deben realizar un cuidadoso seguimiento de las mismas en las visitas subsiguientes. En el proyecto también se debe especificar los tipos de muestra a extraer (por ejemplo, aleatorias, integradas o compuestas; agua, biota, sedimentos del fondo o sólidos en suspensión) y las mediciones a campo o *in situ* a realizar en cada emplazamiento.

Se recomienda probar y evaluar el diseño del programa de muestreo a campo a través de un proyecto piloto o en las etapas iniciales del muestreo para garantizar tanto su eficiencia como su efectividad respecto de los objetivos del estudio. Por ejemplo, mediante un estudio en la sección transversal se puede constatar las hipótesis de homogeneidad temporal y espacial de un río o lago y re-evaluar el límite de detección. Durante el período de ejecución del proyecto piloto, también se puede controlar otros elementos del programa de muestreo, tales como la extracción de un volumen adecuado de agua o el correcto envío de las muestras.

### 3.1 Tipos de muestras de aguas superficiales

El tipo de muestra de agua superficial recolectada se determina por una serie de factores tales como:

- (1) los objetivos del estudio, incluidas las variables de interés y la exactitud y precisión necesarias;
- (2) las características del sistema bajo estudio, incluidos régimen de caudal, condiciones climáticas, aportes puntuales y no puntuales, aportes de agua subterránea, afluentes, homogeneidad del cuerpo de agua y la vida acuática presente;
- (3) los recursos disponibles, es decir, mano de obra, tiempo, equipo y materiales.

#### 3.1.1 Muestras aleatorias

Una muestra instantánea "discreta" es la que se toma en un lugar, profundidad y tiempo seleccionados y luego se analiza para los componentes de interés.

Una muestra instantánea "integrada en profundidad" se toma de partes predeterminadas de la profundidad de la columna de agua en un lugar y tiempo seleccionados para un cuerpo de agua dado; luego se analiza individualmente para los componentes de interés.

### 3.1.2 Muestras compuestas

Una muestra compuesta proporciona una estimación de la calidad promedio del agua durante el período del muestreo. Esta clase de muestras se obtiene mezclando en un frasco varias muestras discretas de volúmenes iguales o ponderados; se analiza una alícuota de la mezcla para los componentes de interés.

Los dos principales tipos de muestras compuestas son: (1) compensada secuencial o en el tiempo y (2) compensada según el caudal. La muestra compuesta temporal se obtiene bombeando una muestra en forma continua y constante o mezclando volúmenes iguales de agua extraídos a intervalos regulares de tiempo. La muestra compensada según el caudal se obtiene por bombeo continuo a una velocidad proporcional al caudal, o mezclando volúmenes iguales de agua recolectados a intervalos de tiempo inversamente proporcionales al caudal, o bien mezclando volúmenes de agua proporcionales al caudal extraídos a intervalos regulares de tiempo.

### 3.2 Extracción de muestras representativas

Las muestras integradas en profundidad en una única vertical (columna de agua), ubicadas en tramos homogéneos de un río o arroyo, pueden ser apropiadas para zonas de muestreo de la calidad del agua. En corrientes pequeñas, se pueden tomar muestras aleatorias extraídas del centro del caudal. Para las zonas de muestreo ubicadas en un tramo no homogéneo de un río o arroyo, es necesario extraer muestras de una sección transversal frente al emplazamiento y en una cantidad especificada de puntos y profundidades. La cantidad y el tipo de muestras dependerá del ancho, profundidad, descarga, cantidad transportada de sólidos en suspensión y de la vida acuática existente. Por lo general, mientras mayor sea la cantidad de puntos en la sección transversal de donde se extraen muestras, más representativa será la muestra compuesta. Normalmente con tres a cinco verticales es suficiente; para corrientes angostas y poco profundas se necesitan menos.

Las siguientes pautas generales se aplican a la extracción de muestras de agua:

- (a) No incluir en la muestra partículas grandes no homogéneas, tales como hojas o detritus.
- (b) Colocar el aparato de muestreo aguas arriba a fin de evitar la contaminación. El muestreo desde el lado de aguas arriba de un puente permite a quien toma la muestra detectar si se aproxima cualquier material flotante y ayuda a prevenir la contaminación de la muestra por restos de pintura o polvo del camino.
- (c) Recolectar un volumen suficiente que permita repetir los análisis y efectuar el control de calidad, si fuere necesario. A menos que se especifique lo contrario, el volumen básico requerido es una sumatoria de los volúmenes requeridos para el análisis de todas las variables de interés.
- (d) Llevar registros precisos en las planillas de muestreo sobre posibles fuentes de interferencia, condiciones ambientales y áreas problemáticas.

### 3.3 Equipos y técnicas de campo

#### 3.3.1 Recolectores de muestras instantáneas

Los recolectores de muestras pueden dividirse en dos amplias categorías: los destinados a muestras en las cuales solo interesan los componentes no volátiles y los destinados a la toma de muestras en las que se analizarán gases disueltos y otros componentes volátiles. Los extractores de muestras instantáneas también se pueden dividir en "discretos" (profundidad superficial o específica) y de integración en profundidad. Para la determinación de componentes no volátiles, se pueden utilizar tanto los extractores de integración en profundidad como los discretos. Para estos fines también se puede utilizar un extractor "múltiple". Se puede extraer una muestra instantánea utilizando un soporte de hierro con un recipiente adecuado, un frasco Van Dorn, un frasco tipo Kemmerer o un extractor tipo bomba. Se pueden hacer muestras compensadas a partir de varias muestras instantáneas o se las puede extraer con extractores especiales (por ejemplo, extractores de integración).

##### 3.3.1.1 Extractores de integración en profundidad

Se puede tomar una muestra integrada en profundidad introduciendo un aparato de muestreo abierto hasta el fondo del cuerpo de agua y subiéndolo a una velocidad constante para que el recipiente recién se llene al llegar a la superficie. Mediante este procedimiento, se obtendrá una muestra que se asemeja a una teórica muestra integrada en profundidad. A continuación, se describe brevemente el "soporte de hierro" que se utiliza para este fin. La integración en profundidad no es posible en corrientes poco profundas porque no hay una suficiente profundidad que permita la integración.

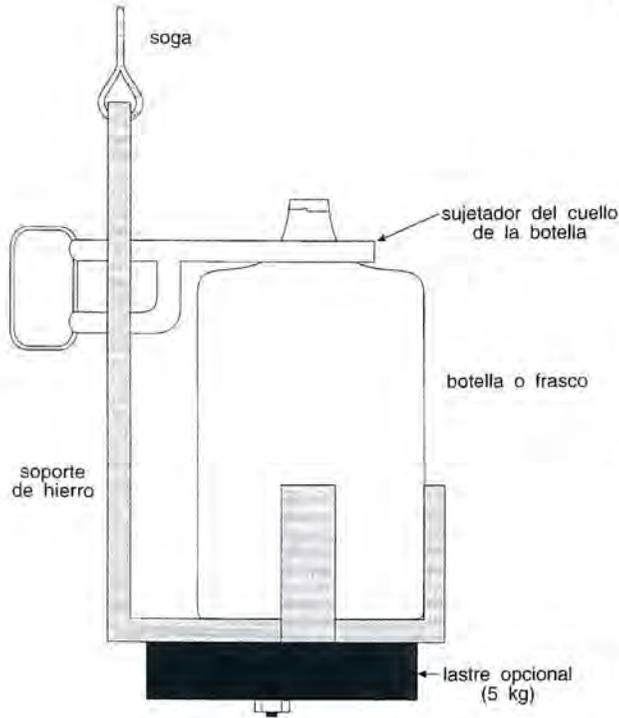


Figura 1. Soporte de hierro

Un soporte de hierro es un dispositivo de hierro o acero pintado con un antioxidante. El peso del extractor es de aproximadamente 2,7 kg (Fig. 1).

Por lo general, este diseño permite emplear un frasco de 2 litros cuando el sujetador del cuello del frasco está en la parte superior; se pueden utilizar recipientes pequeños cuando el sujetador está en posiciones más bajas.

El frasco se coloca en el extractor y se asegura con el sujetador. En algunos casos los soportes de hierro pueden llevar lastre adicional para asegurar una caída vertical en corrientes fuertes. Una muestra integrada en profundidad se toma permitiendo que el extractor se sumerja hasta la profundidad deseada a una velocidad constante y retirándolo aproximadamente a igual velocidad. La velocidad debe ser tal que el frasco recién se llene al llegar a la superficie.

### 3.3.1.2 Extractores para muestras discretas

Los extractores para muestras discretas se emplean para sacar agua a una profundidad específica. Un extractor se sumerge a la profundidad deseada, se lo activa y luego se lo retira. Los más comúnmente utilizados para tal fin son tipo bomba, Van Dorn o Kemmerer. El frasco Van Dorn está diseñado para extraer muestras a una profundidad de 2 m o mayor. El extractor, presentado en sus dos configuraciones en la Figura 2, puede ser de cloruro de polivinilo o de material plástico acrílico, ya sea para muestreo general o de metales traza. Hay juntas herméticas de neopreno y de siliconas. Para el muestreo de metales traza se utilizan juntas de siliconas. Las juntas de los extremos son de goma moldeada semi-rígida o de plástico rígido torneado con abrazaderas. Cuenta con una válvula de drenaje para la remoción de la muestra. La configuración horizontal debería usarse cuando las muestras se extraen del fondo o de la interfaz sedimentos/agua, o cuando se requieren muestras de una faja estrecha del perfil de profundidad (por ejemplo, quimoclina, termoclina). Hay extractores de 2 a 16 litros de capacidad.

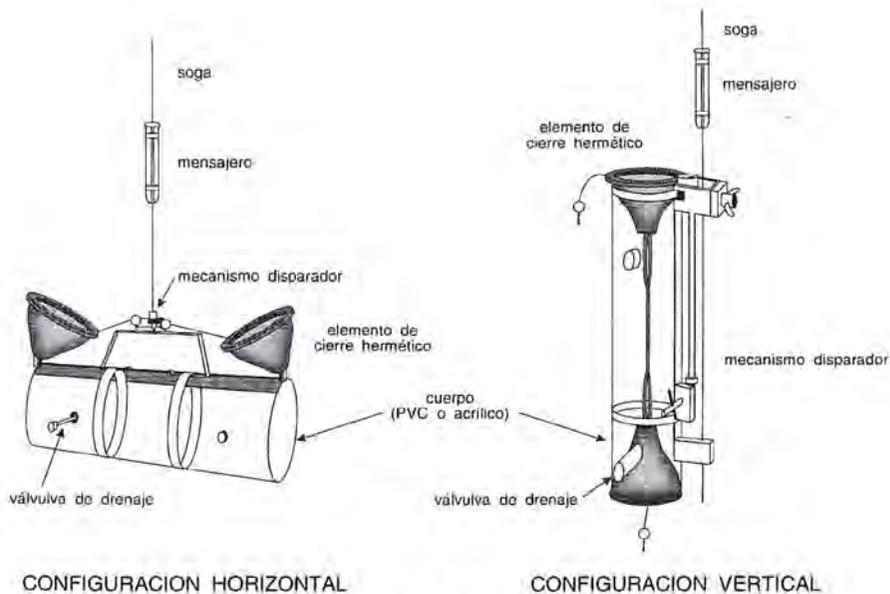


Figura 2. Frasco Van Dorn

Si bien el funcionamiento del frasco Van Dorn varía levemente según sea su tamaño y estilo, el procedimiento básico es igual:

- Abrir el extractor levantando los elementos de cierre o juntas de obturación;
- Fijar el mecanismo disparador;
- Bajar el extractor a la profundidad deseada;
- Activar el mensajero de metal o goma para "disparar" el mecanismo que cierra los obturadores de los extremos del extractor;
- Trasegar la muestra de agua del frasco Van Dorn a un recipiente individual a través de la válvula de drenaje.

El extractor tipo Kemmerer es uno de los más antiguos extractores verticales accionado por un mensajero. Generalmente se utiliza en cuerpos de agua con profundidades superiores a 1 m. El extractor Kemmerer, presentado en la Figura 3, puede ser de bronce o de bronce niquelado y se emplea para el muestreo general. Para el muestreo de metales traza, los extractores Kemmerer son de cloruro de polivinilo o de plástico acrílico con obturadores o sellos de goma siliconada. Tanto los de metal como los de plástico tienen de 0,5 a 8 litros de capacidad. El funcionamiento del extractor Kemmerer es igual al del frasco Van Dorn.

Para tomar muestras a profundidades específicas existen tres tipos de bombas: de diafragma, peristálticas y rotativas. En general, las bombas de diafragma son manuales; las peristálticas y rotativas requieren una fuente de energía y, por consiguiente, su utilidad a campo es limitada. No se recomienda el uso de bombas peristálticas en la recolección de muestras para el análisis de clorofila porque las células de algas se pueden dañar. Todas las bombas deben tener una construcción interna tal que no contamine la muestra de agua. Las mangueras de entrada y salida también deben estar libres de contaminantes.

El procedimiento es el siguiente:

- Colocar la manguera de entrada a la profundidad de agua especificada en el programa de muestreo. Cuidar de no bombear aceite, algas u otros residuos;
- Purgar la bomba y las mangueras con agua de la estación a ser muestreada antes de comenzar con el muestreo;
- Operar cada bomba según su respectivo manual de instrucciones;
- Llenar el tipo y cantidad de recipientes para muestras requeridas en cada estación desde la manguera de salida.

Nota: Cuidar de no contaminar las bombas. No permitir que las mangueras rocen el suelo durante el transporte de las bombas.

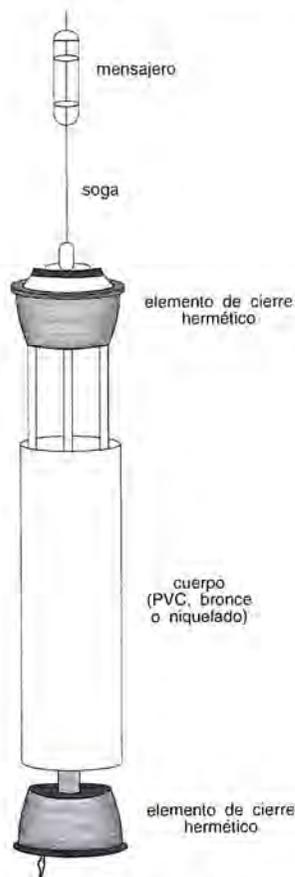


Figura 3. Extractor Kemmerer

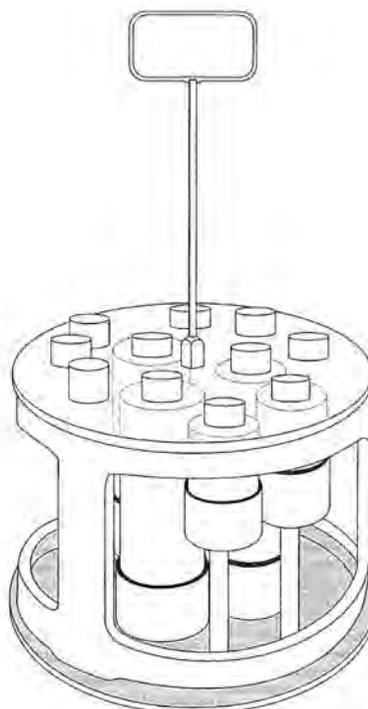


Figura 4. Extractor múltiple

Un extractor "múltiple" permite la recolección simultánea en un punto determinado de varias muestras de igual o diferente volumen. Cada muestra se extrae en su propio recipiente. Cuando las muestras son de igual volumen, se puede obtener información sobre la variabilidad instantánea entre las muestras duplicadas. En la Figura 4 se ilustra un extractor múltiple. El extractor puede ser modificado para albergar distintas cantidades de frascos de distintos tamaños de acuerdo con los requerimientos de los programas específicos. Esto se puede lograr cambiando los tamaños de las cubetas, modificando la profundidad de las cubetas y la configuración y el tamaño de las aberturas en la tapa de acrílico.

### 3.3.2 Extractor de muestras para oxígeno disuelto

En la Figura 5 se presenta un típico extractor de muestras para determinar la concentración de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno.

Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), las muestras deben tomarse en recipientes de boca estrecha que tengan tapones de vidrio biselado a fin de evitar que el aire quede atrapado en las muestras. El procedimiento se resume a continuación:

- Colocar un frasco para DBO de 250 a 300 ml en el extractor y ajustar la tapa. Asegurar que el tubo de llenado del lado interno de la tapa quede dentro del frasco para DBO;
- Introducir el extractor en el agua a la profundidad requerida y dejarlo hasta que ya no se vea salir aire del extractor.
- Retirar el extractor y quitar la tapa. Si en el frasco hay burbujas, golpear los costados del frasco para DBO con el tapón. Este procedimiento liberará todas las burbujas de aire atrapadas. Tapar el frasco para DBO con el tapón biselado especial y luego retirarlo de la cámara del extractor.

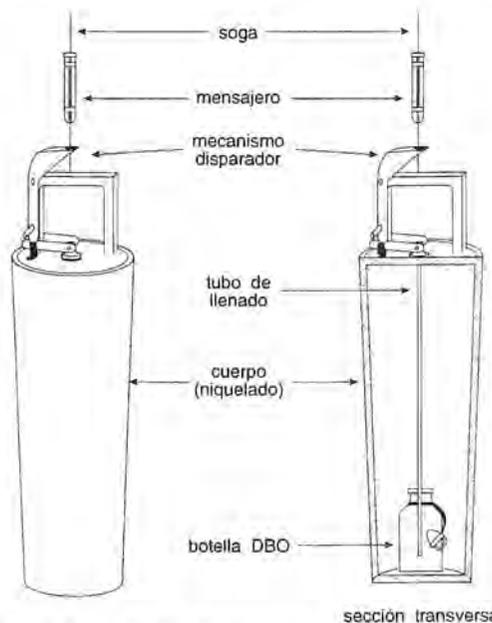


Figura 5. Extractor de muestras para oxígeno disuelto

Nota: No se aconseja utilizar este extractor en arroyos poco profundos. Si es necesario tomar muestras de una corriente poco profunda, inclinar suavemente el frasco en dirección aguas abajo minimizando la agitación de la muestra (burbujeo).

## 3.4 Preparación de las visitas a campo

### 3.4.1 Preparativos generales

- Obtener instrucciones específicas sobre los procedimientos de muestreo;
- Preparar un itinerario de acuerdo con el programa de muestreo;
- Preparar listas del equipo y materiales requeridos;
- Asegurar que los frascos para muestras se hayan limpiado de acuerdo con los procedimientos estándar;
- Asegurar que el laboratorio haya preparado los reactivos químicos y las normas requeridas para la visita;
- Preparar una lista de control (Sección 3.4.4).

### 3.4.2 Lavado y preparación de recipientes

Por lo general, los frascos para las muestras son provistos por el laboratorio de análisis. En el Cuadro 2 se presentan los procedimientos recomendados de limpieza.

### 3.4.3 Selección del volumen de la muestra

El volumen de la muestra depende del tipo y cantidad de variables a ser analizadas, del método analítico y de las concentraciones de las variables esperadas en el agua. El personal del laboratorio especificará el volumen requerido de la muestra. Este puede determinarse enumerando todas las variables que se preservan de la misma forma, totalizando el volumen mínimo para el análisis y luego multiplicándolo por 2 para los análisis por duplicado y por 3 para los análisis por triplicado.

### 3.4.4 Lista de control previa a la visita

- Controlar y calibrar los medidores (pH, conductividad específica, oxígeno disuelto) y los termómetros;
- Reabastecer el suministro de reactivos para las determinaciones de oxígeno disuelto así como de reactivos para la preservación química;
- Obtener soluciones buffer recientemente preparadas; los valores del pH para las soluciones buffer deben ser similares a los valores esperados en el campo;

- (d) Preparar soluciones de KCl (cloruro de potasio) para las sondas detectoras de pH;
- (e) Obtener mapas de rutas, descripciones de estaciones locales, planillas para el muestreo a campo, frascos para muestreo, etiquetas, extractores de muestras, reactivos para preservación de las muestras, pipetas, manuales de los equipos;
- (f) Obtener material para escribir, sogas extra y una caja completa de herramientas;
- (g) Contar con cables conductores cuando el equipo puede ser recargado en el campo;
- (h) Tener agua destilada y vasos de precipitado limpios, medir el pH, blancos y soluciones buffer;
- (i) Si la filtración debe realizarse en el campo, es necesario contar con un equipo de filtración;
- (j) Para un muestreo microbiológico, se debe obtener recipientes esterilizados y heladeras o conservadoras. Se recomienda el uso de heladeras o conservadoras para el almacenamiento de todas las muestras.

#### 4.0 GARANTIA DE LA CALIDAD EN EL CAMPO

El programa de Garantía de la Calidad en el campo es un proceso sistemático que, junto con los programas de garantía de calidad del laboratorio y del manejo de los datos, garantiza un cierto grado de confianza en los datos reunidos. El programa de Garantía de la Calidad en el campo comprende una serie de pasos, procedimientos y prácticas que se describen en las secciones siguientes.

##### 4.1 Medidas generales

- (a) Todos los equipos, aparatos e instrumentos deben estar limpios y en funcionamiento;
- (b) Se debe llevar un registro de todas las reparaciones efectuadas en instrumentos y aparatos y de cualquier incidente o experiencia inusual que pueda influir en el resultado del estudio;
- (c) Las condiciones en el área de trabajo deben promover y conservar un medio ambiente completamente seguro;
- (d) Es esencial que el personal de campo aplique metodologías estandarizadas y aprobadas, tales como las recomendadas en esta guía. Si se efectuaren modificaciones en los métodos aprobados, hay que documentarlos debidamente y obtener datos experimentales para asegurar que los resultados alcanzados sean, por lo menos, tan buenos como los anteriores.

##### 4.2 Contaminación de muestras

La calidad de los datos generados por un laboratorio depende principalmente de la integridad de las muestras que ingresan al laboratorio. Por consiguiente, el investigador de campo debe tomar las precauciones necesarias para impedir la contaminación y el deterioro de las muestras.

Dado que existen muchas fuentes de contaminación, se deben tomar algunas precauciones:

- (a) Las mediciones a campo siempre deben realizarse en una sub-muestra separada, la cual --una vez efectuada la medición-- se descarta. Las mediciones nunca deben hacerse en la misma muestra de agua que se entrega al laboratorio para su análisis químico;
- (b) Los recipientes para la extracción de muestras, nuevos o usados, deben limpiarse de acuerdo con los métodos recomendados (véase Cuadro 2);
- (c) Solo se debe usar el tipo de recipiente recomendado para cada tipo de variable (véase Cuadro 2);
- (d) Los frascos para muestras de agua solo se deben usar para muestras de agua. Los recipientes que hayan sido usados en el laboratorio para almacenar reactivos concentrados nunca deben usarse como recipientes para muestras;
- (e) Antes de ser utilizados a campo, se debe controlar todos los conservadores y el material de vidrio para asegurarse que estén perfectamente limpios;
- (f) Se deben utilizar los métodos de preservación recomendados. Todos los conservadores deben ser de pureza analítica. Normalmente son provistos y certificados por el laboratorio de análisis;
- (g) Cuando se preservan muestras, la forma de evitar la posibilidad de agregar el conservador incorrecto a una muestra o de que los conservadores se contaminen entre sí es preservando juntas todas las muestras que se analizarán para un grupo dado de variables;
- (h) Se puede usar film de teflón o papel de aluminio lavado con solvente para evitar que las tapas de los recipientes contaminen las muestras de agua que deben ser analizadas para la determinación de compuestos orgánicos;
- (i) No se debe tocar la parte interior de los recipientes para muestras o de sus tapas con las manos descubiertas, ni con guantes, mitones, etc.;
- (j) Los recipientes para muestras deben guardarse en un ambiente limpio, libre de polvo, gases, suciedad y basura. La limpieza de los vehículos es un factor importante para evitar problemas de contaminación;
- (k) Los productos del petróleo (gasolina, aceite, gases de escape) constituyen una fuente principal de contaminación. Los derrames o goteos (que suelen producirse en los botes) deben limpiarse inmediatamente. Los gases de escape y el humo del cigarrillo pueden contaminar las muestras con plomo y otros metales pesados. Los equipos de aire acondicionado también constituyen una fuente de contaminación por metales traza;
- (l) Los filtros y demás aparatos deben mantenerse limpios lavándolos con ácido o remojándolos en soluciones especiales; deben envolverse en papel de aluminio enjuagado con solvente;
- (m) Los recipientes esterilizados deben mantenerse en ese estado hasta que se recolecte la muestra. Si el papel esterilizado ultrafuerte o el papel de aluminio se han perdido o si la tapa se ha roto, el recipiente debe descartarse.

- (n) Los ácidos y las muestras de agua no deben entrar en contacto con ningún objeto extraño, especialmente metálico;
- (o) Nunca debe medirse la conductancia específica en agua que haya sido antes usada para las mediciones de pH. El cloruro de potasio que se difunde de la sonda detectora de pH altera la conductividad de la muestra;
- (p) Las muestras nunca deben exponerse al sol; deben guardarse en un lugar fresco; se recomienda el uso de heladeras o conservadoras;
- (q) Las muestras deben enviarse al laboratorio sin demora;
- (r) Quien tome las muestras debe tener las manos limpias y abstenerse de fumar mientras se encuentre trabajando con las muestras.

Cuadro 2. Procedimientos de lavado y recipientes recomendados para las muestras de agua

Variables a ser analizadas	Recipiente recomendado*	Procedimiento para el lavado	
Alcalinidad Calcio Cloruro Fluoruro Magnesio pH	Sodio Sulfato Residuo no filtrable Potasio Arsénico	1000 ml polietileno	Enjuagar: <u>tres</u> veces con agua corriente <u>una</u> vez con ácido crómico <u>tres</u> veces con agua corriente <u>una</u> vez con 1:1 ácido nítrico y luego: <u>tres</u> veces con agua destilada, en ese orden
Nitrógeno, amoníaco Nitrógeno, nitrato y nitrito Total de carbono orgánico Total de nitrógeno		250 ml polietileno	Enjuagar: <u>tres</u> veces con agua corriente <u>una</u> vez con ácido crómico <u>tres</u> veces con agua corriente y luego: <u>tres</u> veces con agua, en ese orden
Total de fósforo		Vidrio 50 ml (sovirol)	<u>tres</u> veces con agua, en ese orden
Aluminio Cadmio Cromo Cobre Hierro	Plomo Manganeso Níquel Selenio Zinc	Polietileno 500-1000 ml (la elección del tamaño depende de la cantidad de metales a determinar y de la cantidad de muestras requeridas)	Enjuagar: <u>tres</u> veces con agua corriente, <u>una</u> vez con ácido crómico, <u>tres</u> veces con agua corriente, <u>una</u> vez con 1:1 ácido nítrico y luego: <u>tres</u> veces con agua destilada ultrapura, en ese orden
Mercurio		Vidrio 100 ml (sovirol)	<u>tres</u> veces con agua destilada ultrapura, en ese orden
Pesticidas organoclorados y PCBs		Vidrio (ámbar) 1000 ml con tapa recubierta de teflón	Enjuagar: <u>tres</u> veces con agua corriente, <u>una</u> vez con ácido crómico, <u>tres</u> veces con agua libre de elementos orgánicos, <u>dos</u> veces con acetona de lavado, <u>una</u> vez con acetona de grado especial **, <u>dos</u> veces con hexano de grado pesticida y secar (destapado) en horno caliente a 360°C durante al menos una hora.
Pentaclorofenol		Vidrio (ámbar) 1000 ml con tapa recubierta de teflón	
Compuestos fenólicos		Vidrio (ámbar) 1000 ml con tapa recubierta de teflón	
Herbicidas fenoxiácidos		Vidrio (ámbar) 1000 ml con tapa recubierta de teflón	

\* Los recipientes de teflón también se pueden usar para reemplazar a los recipientes de polietileno o de vidrio.  
 Acido crómico - 35 ml de dicromato de sodio saturado ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) por litro de ácido sulfúrico concentrado pureza reactivo ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).  
 El ácido crómico no debe utilizarse cuando la muestra se analiza para la determinación de cromo.  
 El agua destilada ultrapura se obtiene haciendo pasar agua destilada primero a través de una unidad de destilación de vidrio Corning Modelo Ag-11 y luego a través de un Sistema Millepore Super Q de Agua Ultrapura, que contiene un cartucho prefiltro, un cartucho de carbón activado y un cartucho con una columna mixta de deionización.

\*\* Acetona de grado especial - grado pesticida cuando se hace un análisis GC, grado UV para análisis LC.

#### 4.3 Control de calidad

El control de calidad es un elemento esencial en todo programa de garantía de calidad en el campo. Además de los procedimientos estándar, el control de calidad requiere de la presentación de blancos y muestras duplicadas para constatar la pureza

de los conservadores químicos; para detectar la contaminación en recipientes para muestras, papeles filtrantes, equipo de filtración y cualquier otro equipo empleado en la recolección o manipulación de muestras; y para detectar cualquier otro error sistemático o casual desde el momento en que se toma la muestra hasta el momento del análisis. También hay que recolectar muestras duplicadas para comprobar la reproducibilidad del muestreo. La oportunidad y la frecuencia de blancos y de duplicados de análisis y muestras se establecen en el diseño del proyecto.

#### 4.3.1 Blancos de frascos

Antes de realizar una visita a campo para efectuar el muestreo, se debe tomar al azar uno de cada diez recipientes de los que se usarán en el muestreo, se lo llena con agua destilada ultrapura, se lo preserva de igual forma que las muestras de campo y se lo separa para su posterior envío con las otras muestras para su análisis químico como "blancos de frascos". De esta forma se podrá detectar cualquier contaminación generalizada que se haya producido durante el lavado.

#### 4.3.2 Blancos de extractores de muestras

Periódicamente, para las variables de interés, se deben preparar y analizar "blancos de extractor de muestras" formados por agua destilada ultrapura que se coloca en el extractor o que se hace circular a través del extractor.

#### 4.3.3 Blancos de filtros

Si las muestras de agua son "filtradas en el campo" para determinar el componente disuelto de ciertos elementos de la calidad del agua, los filtros a utilizar en campo deben lavarse previamente en el laboratorio con una solución que pueda eliminar cualquier contaminante que pudiera afectar la precisión de la medición de la variable de interés. Inmediatamente después del lavado, los filtros deben sellarse en platillos Petri de plástico para su transporte a campo. Los equipos de filtración, tales como los embudos, deben lavarse previamente en el laboratorio utilizando el mismo procedimiento y luego transportarse en bolsas de polietileno selladas. Se debe preparar diariamente un "blanco de filtros" pasando una muestra de agua destilada ultrapura a través de uno de los filtros previamente lavados en el equipo de filtración y conservarlo igual que las muestras de agua para su posterior envío al laboratorio para analizar la(s) variable(s) de interés.

#### 4.3.4 Blancos de campo

Se debe preparar "blancos de campo" (se sugiere un blanco por cada diez muestras de agua) al concluir cada jornada de muestreo, llenando los recipientes para muestra con agua destilada ultrapura, agregándoles el conservador de la misma forma que a las muestras de agua, cerrando los recipientes herméticamente y transportándolos luego al laboratorio de igual forma que las muestras de agua.

#### 4.3.5 Muestras duplicadas (alícuotas)

Las muestras duplicadas se obtienen dividiendo una muestra en dos o más sub-muestras idénticas. Esto se debe realizar periódicamente a fin de obtener la magnitud de los errores provocados por contaminación, errores casuales y sistemáticos y cualquier otra variación que se haya producido desde el momento en que se toman las muestras hasta que llegan al laboratorio.

#### 4.3.6 Muestras duplicadas en el tiempo

Consisten en dos o más muestras tomadas en el mismo lugar en forma secuencial a intervalos especificados durante un período específico. Estas muestras sirven para medir la incertidumbre debida a las variaciones temporales de diversas variables en el cuerpo de agua. La cantidad y frecuencia de estas muestras generalmente se determinan mediante un estudio piloto.

#### 4.3.7 Muestras duplicadas en el espacio

Consisten en dos o más muestras tomadas simultáneamente en una sección transversal predeterminada del cuerpo de agua en estudio. Se las utiliza para medir las variaciones en ese corte transversal respecto de la concentración de las variables de interés. La cantidad de muestras y la ubicación exacta para su extracción se determinan mediante un estudio piloto.

#### 4.3.8 Muestras con adiciones de concentración conocida de la(s) variable(s) de interés (adición estándar)

Al menos una vez en cada punto de muestreo se deben preparar muestras de control para cada variable medida. Estas se preparan agregando a cuatro alícuotas de una sola muestra tres concentraciones diferentes conocidas de la variable de interés, dentro del rango de concentración que el método analítico utilizado sea capaz de medir o detectar. La información obtenida a través de estas muestras de control se utiliza para detectar cualquier error sistemático o sesgo en la metodología analítica, lo que es muy importante para la interpretación de los datos.

## 5.0 VARIABLES MEDIDAS EN EL CAMPO

Una serie de variables, incluidas el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la temperatura y la transparencia, deben medirse

en el lugar de muestreo. En lo posible, estas mediciones deben tomarse in situ, pero en todos los casos sus valores deben ser determinados en el campo inmediatamente después de la extracción de las muestras.

### 5.1 Medición del pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Las soluciones neutras tienen un pH de 7, las soluciones ácidas un pH inferior a 7, y las soluciones alcalinas un pH superior a 7. El pH debe determinarse en el campo inmediatamente después de la extracción de la muestra. Dado que el pH puede cambiar rápida y significativamente después de la recolección, no se recomienda el envío al laboratorio de las muestras para efectuar su determinación. Lo óptimo es que el pH se determine in situ pero, si no se puede, se lo puede determinar tomando una muestra de agua y midiendo el pH lo antes posible. Actualmente, existen muchos medidores portátiles del pH en el mercado; el investigador debe seleccionar el que mejor satisfaga sus necesidades. Es preferible utilizar los medidores digitales porque a veces es difícil leer los medidores analógicos mientras se realizan las mediciones in situ (por ejemplo, en un bote en aguas turbulentas).

### 5.2 Medición de la conductividad

La conductividad (conductancia específica) es una expresión numérica de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. Medida en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la conductividad depende de la concentración de iones en solución. Es preferible realizar las mediciones in situ; si ello no fuera posible, se toma una muestra y se la mide lo antes posible, ya que la conductividad de una muestra de agua puede cambiar con el tiempo. En la mayoría de los casos, las lecturas de conductancia permanecen estables durante varios meses. La conductividad depende de la temperatura. Si la medición de la conductividad no se corrige automáticamente con la temperatura, entonces también hay que registrar la temperatura en el momento de la medición. Hay varios conductímetros que además pueden determinar temperatura y salinidad. Dado que las celdas varían y las longitudes de los cables son opcionales, el investigador debe elegir el equipo que mejor satisfaga los requerimientos del programa de muestreo.

### 5.3 Medición del oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) debe medirse in situ ya que, si la muestra no ha sido correctamente preservada, las concentraciones pueden exhibir grandes cambios en poco tiempo. Aun cuando la muestra haya sido preservada, como en un análisis Winkler, se aconseja efectuar las titulaciones dentro de las 3 a 6 horas desde el momento en que se tomó la muestra. Las concentraciones de oxígeno disuelto pueden determinarse directamente con un medidor de OD o por un método químico, como el análisis Winkler o el método Hach. El método elegido dependerá de una serie de factores, entre los que se incluye la precisión y exactitud requeridas, conveniencia, equipo y personal disponible y las interferencias esperadas. Para mediciones muy precisas, se debe considerar el uso del método potenciométrico.

### 5.4 Transparencia

La transparencia es una característica del agua que varía con los efectos combinados del color y la turbiedad. La determinación se puede realizar rápidamente y solo requiere de un equipo simple. Su principal aplicación es en el campo para aguas superficiales y, en especial, para el trabajo limnológico.

El aparato consiste en un disco de 250 mm de diámetro de metal o plástico rígido, pintado de blanco. De lo contrario, el disco puede pintarse de modo tal que un cuadrante blanco alterne con uno negro. El disco se monta en una cuerda o cadena graduada en centímetros con el disco ubicado en cero. Cuando la cuerda se suspende con el disco colgando de ella, el disco debe estar en posición horizontal. Es conveniente que la cuerda tenga un lastre por debajo del disco para ayudar a mantenerla en posición vertical cuando el disco se introduce en el agua.

El diámetro del disco y el diseño en su superficie superior no producen diferencias significativas en las lecturas obtenidas, pero se debe tener la precaución de usar el mismo tamaño y diseño de disco en la misma estación de muestreo a fin de que la serie temporal de determinaciones efectuadas durante una cantidad de años esté lo más libre posible de cualquier distorsión resultante de diferencias en el equipo. El disco empleado para la determinación de transparencia se denomina disco de Secchi.

El procedimiento consiste simplemente en introducir el disco de Secchi desde la superficie y observar la profundidad a la cual el disco deja de verse. La observación debe realizarse a través de un área sombreada de la superficie de agua. Es común determinar el punto de desaparición a medida que el disco se sumerge, se lo baja un poco más y luego se determina el punto en que reaparece a medida que el disco sube. La media de las dos lecturas medidas en metros se registra como "transparencia del disco de Secchi". El informe sobre transparencia debe consignar el diámetro del disco y el color (o diseño) sobre su superficie superior.

### 5.5 Resumen general de los procedimientos a campo

Sean cuales fueren las variables específicas de interés, se debe seguir una rutina en cada estación de muestreo. A continuación se resumen los procedimientos que se deben tener en cuenta en cada estación.

- (a) Calibrar medidores;
- (b) Estandarizar el tiosulfato de sodio cuando se realiza el análisis Winkler para el oxígeno disuelto;
- (c) Realizar mediciones in situ del pH, conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y transparencia;

- (d) Enjuagar todos los recipientes de muestras con agua, excepto aquellos que contengan conservadores o que se usen para análisis de oxígeno disuelto o bacterias;
- (e) Extraer y conservar las muestras;
- (f) Completar las planillas de campo con precisión;
- (g) Colocar los recipientes en contenedores adecuados;
- (h) Etiquetar las cajas y completar las planillas de campo con toda la información requerida.

## 6.0 FILTRACION Y PRESERVACION EN EL CAMPO

En un ambiente acuático, las sustancias orgánicas e inorgánicas se presentan de diversas formas: libres o acomplejadas; disueltas; en suspensión o adsorbidas en materia en suspensión y biomasa; y asociadas con los materiales del fondo.

Si bien el tema ha sido tratado en la literatura científica, hasta ahora no ha habido un claro consenso respecto de qué especies fisicoquímicas de las sustancias deben medirse cuando se controla la calidad del agua. La decisión depende del sistema particular en estudio, del objetivo del estudio y de la disponibilidad biológica de las diversas especies de sustancias estudiadas.

El tema de la disponibilidad biológica está lejos de ser resuelto. Para muchas sustancias, la disponibilidad biológica es directamente proporcional a su concentración en la fase disuelta. En el caso de la mayoría de los metales, la concentración en la fase disuelta es baja en comparación con las partículas coloidales o en suspensión. En la literatura científica, comúnmente se entiende por fase "disuelta" la que pasa a través de una membrana filtrante de 0,45- $\mu\text{m}$ . Lo óptimo es que la filtración se lleve a cabo en el campo durante o inmediatamente después de la recolección de la muestra, la que debe ser luego correctamente preservada.

### 6.1 Filtración

Para determinar la concentración de componentes inorgánicos disueltos (por ejemplo, metales y aniones), es necesario filtrar la muestra a través de una membrana filtrante de 0,45- $\mu\text{m}$  inmediatamente después de su recolección. El filtrado para el análisis de metales debe preservarse según lo establecido en el Cuadro 3; el filtrado para el análisis de aniones no se preserva. El volumen de la muestra requerida lo determina el personal del laboratorio. El filtro y el equipo de filtración requieren de un pre-tratamiento en el laboratorio y deben enjuagarse con una porción de la muestra extraída antes de recolectar el filtrado.

Las muestras que deben analizarse para determinar componentes orgánicos se filtran inmediatamente después de la recolección utilizando un filtro de fibra de vidrio. Después de la filtración, el filtrado puede analizarse para determinar los componentes orgánicos disueltos en tanto que el filtro que retuvo los sólidos en suspensión queda disponible para el análisis de los componentes orgánicos en suspensión.

El procedimiento de filtración exige que se mantenga un vacío en el equipo de filtración; se debe usar una bomba eléctrica o una manual. Si se utiliza una eléctrica, se deberá contar con servicios eléctricos o con una unidad portátil de energía.

### 6.2 Técnicas de preservación

Durante el tiempo que transcurre entre la extracción de la muestra en el campo y su análisis en el laboratorio, puede producirse una serie de cambios físicos y de reacciones químicas y bioquímicas en el frasco que alteren la calidad intrínseca de la muestra de agua. Por lo tanto, para evitar o minimizar dichos cambios, es necesario preservar las muestras antes de enviarlas al laboratorio. Esto se logra a través de diversas acciones y procedimientos tales como: mantener las muestras a la sombra, agregar conservadores químicos, reducir la temperatura para retardar las reacciones, congelar las muestras y con procedimientos para la extracción, cromatografía sobre columna realizada en el campo o mediante la combinación de algunos de estos métodos.

Los métodos de preservación recomendados se describen brevemente en el Cuadro 3.

#### 6.2.1 Agregados químicos

Este método, que incluye la acidificación, se emplea para preservar muestras de agua para diversos ensayos, incluso la mayoría de los metales disueltos y los herbicidas fenoxiácidos. Se debe tener cuidado de usar solamente productos químicos de pureza "para análisis" para que la muestra de agua no se contamine con las impurezas presentes en los conservadores agregados. Algunas muestras para análisis biológicos también requieren de la preservación química.

#### 6.2.2 Congelación

La congelación puede ser aceptable para ciertos análisis, pero no se utiliza como una técnica general de preservación porque puede provocar cambios físico-químicos, por ejemplo, la formación de precipitados y pérdida de gases disueltos, lo que puede afectar la composición de la muestra. Además, los componentes sólidos del muestreo cambian con la congelación y el descongelado y quizás sea necesario volver al equilibrio seguido por una homogeneización a alta velocidad antes de efectuar el análisis.

#### 6.2.3 Refrigeración

La refrigeración a 4°C es una técnica de preservación común muy difundida. Sin embargo, no mantiene la integridad completa

de todos los componentes. En algunos casos, puede afectar la solubilidad de algunos componentes y hacer que precipiten. La refrigeración se usa en forma conjunta con los agregados químicos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Recipientes para muestras y conservación de los componentes en el agua

Variable	Recipiente recomendado*	Conservador	Tiempo máximo de almacenamiento
Alcalinidad	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Aluminio	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Arsénico	Poliétileno	Enfriar 4°C	6 meses
DBO	Poliétileno	Enfriar 4°C	4 horas
Boro	Poliétileno	Enfriar 4°C	6 meses
Cadmio	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Calcio	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Pesticidas base carbamato	Vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH <4, 10gNa <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /1	Extraer inmediatamente
Carbono/inorgánico/orgánico	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Carbono en suspensión	Platillo Petri de plástico	Filtrar con filtro GF/C; Enfriar 4°C	6 meses
Cloruro	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Hidrocarburos clorados	Vidrio	Enfriar 4°C	Extraer inmediatamente
Clorofila	Platillo Petri de plástico	Filtrar con filtro GF/C; Congelar -20°C	7 días
Cromo	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
DQO	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Cobre	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Oxígeno disuelto (Winkler)	Vidrio	Fijar en el lugar	6 horas
Fluoruro	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Hierro	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Plomo	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Magnesio	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Manganeso	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Mercurio	Vidrio o teflón	1 ml Conc. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> más 1 ml 5% K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1 mes
Níquel	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses
Nitrógeno			
Amoniaco	Poliétileno	Enfriar, 4°C, 2 ml 40% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /1	24 horas
Kjeldahl	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Nitrato + Nitrito	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Nitrógeno orgánico	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Materia orgánica en suspensión	Platillo Petri de plástico	Filtrar con filtro GF/C, Enfriar 4°C	6 meses
Pesticidas organofosforados	Vidrio	Enfriar 4°C, 10% HCl a pH 4.4	No retener, extraer <u>in situ</u>
Pentaclorofenol	Vidrio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH<4, 0.5g CuSO <sub>4</sub> /1 muestra	Enfriar 4°C 24 horas
pH	Poliétileno	Ninguno	6 horas
Compuestos fenólicos	Vidrio	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> a pH<4, 1.0g CuSO <sub>4</sub> /1 muestra; Enfriar 4°C	24 horas
Herbicidas fenoxiácidos	Vidrio	Enfriar 4°C	Extraer inmediatamente
Fósforo			
Disuelto	Vidrio	Filtrar <u>in situ</u> con un filtro de 0.45 µm	24 horas
Inorgánico	Vidrio	Enfriar 4°C	24 horas
Total	Vidrio	Enfriar 4°C	1 mes
Potasio	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Residuo	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Selenio	Poliétileno	Enfriar 4°C	6 meses
Silice	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Sodio	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Conductividad eléctrica	Poliétileno	Enfriar 4°C	24 horas
Sulfato	Poliétileno	Enfriar 4°C	7 días
Zinc	Poliétileno	2 ml Conc. HNO <sub>3</sub> /1 muestra	6 meses

\* También se pueden utilizar recipientes de teflón para reemplazar los de polietileno o de vidrio mencionados en el cuadro.

Nota: Este cuadro es una adaptación de información extraída del "Analytical Methods Manual" (Water Quality Branch, Environment Canada, 1981).

#### 6.2.4 Aspectos prácticos de la preservación

Un importante aspecto práctico de la preservación es observar una rutina coherente a fin de asegurar que todas las muestras que requieran preservación reciban el tratamiento inmediato que necesitan. Esto es particularmente importante cuando se agrega un conservador químico, ya que estos agregados quizás no produzcan un cambio fácilmente detectable en la apariencia de la muestra. Sería conveniente marcar cada muestra preservada con el objeto de asegurar que no se ha olvidado ninguna o que una muestra se analice más de una vez.

El agregado seguro y preciso de conservadores químicos en el campo también requiere de precauciones especiales. En la actualidad, las pipetas precalibradas y otras pipetas automáticas garantizan el agregado preciso en campo a la vez que eliminan el peligro de pipetar ácidos por boca. Cuando se utilizan pipetas automáticas, es necesario verificar que no existan burbujas de aire en el tubo de descarga. Los dispensadores automáticos deben cebarse para que las muestras subsiguientes reciban la alícuota adecuada de conservadores. Es importante que cada pipeta sea destinada a un único conservador para que no exista la posibilidad de que un conservador contamine a otro. Finalmente, se aconseja etiquetar claramente todas las botellas con conservadores usados en el campo e indicar su contenido y el volumen a utilizar; por ejemplo: concentración de ácido nítrico, agregar 2 ml/litro de muestra.

### 7.0 MUESTREO PARA ANALISIS MICROBIOLOGICOS

Es de suma importancia que todas las muestras de agua destinadas a análisis microbiológicos sean tomadas con la mayor asepsia posible a fin de reflejar correctamente las condiciones microbiológicas al momento de la recolección. Las muestras para análisis microbiológicos normalmente se recolectan en frascos de vidrio o de plástico no tóxico de boca ancha de 200 ml a 500 ml con tapa de corcho o a rosca. La boca tapada u obturada del recipiente debe cubrirse con papel esterilizado reforzado o con papel de aluminio sujeto con un cordel o una banda elástica. En lo posible, las muestras de agua deben analizarse inmediatamente después de la recolección. Si esto no fuere posible, las muestras deben almacenarse en la oscuridad en hielo en estado de fusión. Este tipo de almacenamiento minimiza la multiplicación y evita la muerte de los microorganismos hasta 30 horas después su recolección.

Para mayor información sobre ensayos microbiológicos, véase el Capítulo V de esta Guía.

### 8.0 PROCEDIMIENTOS PARA EL MUESTREO DE SEDIMENTOS

El sedimento cumple un papel importante en la calidad del agua. Parte de la capacidad de asimilación de metales, pesticidas y herbicidas del sistema hídrico natural está dada por la habilidad del sedimento para absorber esas sustancias removiéndolas del agua. Por otra parte, diversas reacciones químicas y bioquímicas liberan en las aguas circundantes muchas sustancias tóxicas almacenadas en el sedimento dejándolas a disposición de los organismos que viven en dichas aguas. Los sedimentos de lagos y cursos de agua a menudo reflejan incorporaciones recientes de metales pesados antes de que se pueda detectar un aumento en la concentración de dichos elementos en la capa de agua yacente sobre los sedimentos. Por lo tanto, si bien el análisis del agua puede indicar que no hay concentraciones elevadas en la fase soluble, un cuerpo de agua puede --sin embargo-- estar altamente contaminado con materia orgánica e inorgánica en los sedimentos. Siempre existe la posibilidad de re-suspensión de la materia sedimentada en el agua, debido a procesos físicos, químicos o biológicos en situaciones naturales. Además, con los organismos que se alimentan en el fondo, los sedimentos pueden ser una fuente de sustancias orgánicas e inorgánicas más importantes que el agua.

Para recolectar muestras en suspensión válidas, se debe diseñar extractores y procedimientos de muestreo que representen con precisión el sistema agua/sedimento en estudio. Los procedimientos y los equipos utilizados para el muestreo de sedimentos dependen del tipo de sedimento que se muestrea. La metodología y el equipo empleados para el muestreo de sedimentos en suspensión son diferentes de los requeridos para los depósitos sedimentados.

En el Capítulo IV de esta Guía se brinda mayor información sobre la recolección y análisis de los sólidos en suspensión.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO III: METODOS ANALITICOS**

Preparado por:

Dr. R. Helmer, World Health Organization, Ginebra, Suiza

M. Paul Blanc, Institut de Limnologie, Thonon, Francia

Dr. R.C. Ballance, Public Health Engineer; Luskville, P.Q., Canada

En cooperación con la Oficina Regional para Europa de WHO, Copenhague, Dinamarca

Revisado por R. Semkin

National Water Research Institute

Canada Centre for Inland Waters

Burlington, Ontario

Canadá

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
	Lista revisada de variables GEMS/Agua para la Fase Dos del Programa .....	1
	Control de la corrección de los análisis .....	2
2.0	ENSAYOS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS .....	3
	Temperatura .....	3
	pH .....	3
	Conductividad eléctrica .....	4
	Total de sólidos en suspensión .....	4
	Transparencia .....	5
3.0	IONES METALICOS .....	5
	Metales alcalinos (Na, K) .....	5
	Metales alcalino-térreos (Ca, Mg) .....	6
	Metales traza (Al, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, Cu) .....	6
	Espectrofotometría de absorción atómica (AAS) .....	10
	Métodos específicos .....	10
4.0	COMPONENTES NO-METALICOS .....	12
	Alcalinidad .....	12
	Arsénico .....	12
	Boro .....	13
	Cloruro .....	13
	Fluoruro .....	14
	Amoniaco .....	14
	Nitrógeno orgánico y Kjeldahl total .....	15
	Nitrato .....	16
	Nitrito .....	16
	Fósforo .....	17
	Oxígeno disuelto .....	18
	Selenio .....	19
	Silice reactiva .....	20
	Sulfato .....	21
	Coefficiente de adsorción de sodio (SAR) .....	21

5.0	COMPONENTES ORGANICOS .....	22
	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) .....	22
	Demanda química de oxígeno (DQO) .....	23
	Carbono orgánico .....	23
	Clorofila <i>a</i> .....	24
	Análisis de trazas de sustancias orgánicas .....	24
	Hidrocarburos totales .....	25
	Hidrocarburos totales clorados .....	25
	Fenoles .....	26
	Benceno .....	26
	Pesticidas organoclorados .....	27
	Bifenilos policlorados (PCBs) .....	28
	Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) .....	28
	Atrazina .....	29
	2,4-D .....	29
	Aldicarb .....	30
	Pesticidas organofosforados .....	31
6.0	REFERENCIAS .....	31

## 1.0 INTRODUCCION

Lista revisada de variables GEMS/Agua para la Fase Dos del Programa

Durante la Fase Uno del Programa GEMS/Agua el monitoreo se realizó de acuerdo con diversas categorías y grupos de variables. El grupo de expertos que asistió a la reunión de Leningrado en 1990 recomendó una serie revisada de variables para la Fase Dos. La lista revisada se presenta a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Lista revisada de variables GEMS/Agua

<u>Calidad general del agua:</u>	<u>Materia orgánica:</u>	<u>Sólidos en suspensión:</u>
• Descarga/nivel de agua	Carbono orgánico, disuelto	Aluminio, en suspensión (GRF)
• Total sólidos en suspensión (R)	Carbono orgánico, en suspensión	Arsénico, en suspensión (GRF)
• Temperatura	DBO	Cadmio, en suspensión (GRF)
• pH	DQO	Cromo, en suspensión (GRF)
• Conductividad eléctrica	• Clorofila <i>a</i> (R,L)	Cobre, en suspensión (GRF)
• Oxígeno disuelto		Hierro, en suspensión (GRF)
• Transparencia (L)		Plomo, en suspensión (GRF)
		Manganeso, en suspensión (GRF)
<u>Sales disueltas:</u>	<u>Contaminación microbiana:</u>	Mercurio, en suspensión (GRF)
• Calcio	Coliformes fecales	Selenio, en suspensión (GRF)
• Magnesio	Coliformes totales	Zinc, en suspensión (GRF)
• Sodio		
• Potasio	<u>Contaminantes inorgánicos:</u>	<u>Contaminantes orgánicos:</u>
• Cloruro	Aluminio, disuelto	Aldicarb
• Fluoruro (G.W.)	Aluminio, total	Aldrin
• Sulfato	Arsénico, disuelto	Atrazina
• Alcalinidad	Arsénico, total	Benceno
	Boro, disuelto	2,4-D
<u>Balance iónico:</u>	Boro, total	DDTs
Suma de cationes	Cadmio, disuelto	Dieldrin
Suma de aniones	Cadmio, total	Lindano
Coefficiente absorción de sodio	Cromo, disuelto	Hidrocarburos totales
	Cromo, total	Hidrocarburos totales clorados
<u>Nutrientes:</u>	Cobre, disuelto	Total de hidrocarburos poliaromáticos
• Nitrato más nitrito	Cobre, total	PCBs
• Amoníaco	Hierro, disuelto	Fenoles
Nitrógeno orgánico, disuelto	Hierro, total	
Nitrógeno orgánico, en suspensión	Plomo, disuelto	
• Total de fósforo disuelto (R,L)	Plomo, total	
• Total de fósforo en suspensión	Manganeso, disuelto	
• Total de fósforo no filtrado (R,L)	Manganeso, total	
• Sílice reactiva (R,L)	Mercurio, disuelto	
	Mercurio, total	
	Níquel, disuelto	
	Níquel, total	
	Selenio, disuelto	
	Selenio, total	
	Zinc, disuelto	
	Zinc, total	

- Variables básicas a ser monitoreadas en todas las estaciones GEMS/Agua.
- (R) Variables básicas para estaciones fluviales solamente.
- (L) Variables básicas para estaciones de lagos/embalses solamente.
- (G.W.) Variables básicas para estaciones de agua subterránea solamente.
- (R,L) Variables básicas para estaciones fluviales y de lagos/embalses solamente.
- (GRF) De fundamental importancia para las estaciones de monitoreo de Flujo en Ríos.

Tomar muestras de la fase hídrica únicamente ha demostrado no ser eficaz en el caso de metales traza, trazas persistentes de materia orgánica y nutrientes por lo que se recomienda un muestreo de medios múltiples (por ejemplo, materia en suspensión, materia sedimentada, análisis de tejidos biológicos, etc.). A niveles entre moderados y altos del total de sólidos en suspensión, la fracción de materia en suspensión es de fundamental importancia en el transporte de nutrientes y contaminantes; en el caso de sustancias refractarias, la concentración de los "sedimentos asociados" puede ser decisiva para realizar las estimaciones de flujo. GEMS/Agua define el límite superior del tamaño de la materia en suspensión en  $\leq 63\mu\text{m}$ . Por ahora, es de suma importancia que en las estaciones de monitoreo de Flujo en Ríos se analicen las fracciones de sólidos tanto disueltos como en suspensión.

Debido a los costos, el análisis de sólidos en suspensión deberá ser considerado en forma individual para cada una de las estaciones de tendencia. Dado que varios laboratorios no cuentan con los medios necesarios para analizar materia en suspensión, y vistas las actuales incertidumbres relativas a la determinación de concentraciones disueltas, los contaminantes inorgánicos también podrán ser consignados como concentraciones totales.

La siguiente sección brinda una breve descripción de las variables junto con un resumen de los procedimientos para la manipulación de las muestras y su análisis. Se puede obtener información sobre procedimientos analíticos detallados de diversas fuentes y de las referencias incluidas al final del Capítulo. Aquellos laboratorios que participen en el programa GEMS/Agua y que no puedan obtener información sobre procedimientos detallados para análisis específicos, pueden recurrir a la Organización Mundial de la Salud (WHO/OMS) en Ginebra o al Centro Colaborador de la OMS en Burlington, Ontario.

La secuencia adoptada para la presentación de las variables es esencialmente igual a la utilizada en los principales libros de referencia. Las variables se dividen en cuatro grupos principales:

- físicas y fisico-químicas
- elementos metálicos
- componentes no-metálicos
- componentes orgánicos.

Los procedimientos analíticos para la microbiología y los sólidos en suspensión se describen en los Capítulos IV y V de esta Guía.

#### Control de la corrección de los análisis

Por su propia preocupación por la calidad de los análisis que efectúa, cada laboratorio debe establecer un procedimiento de control similar al descrito en el Capítulo VII. Sin embargo, tal procedimiento no proporciona un control individual de validez global para el análisis de cada muestra. Dado que la lista existente de las variables básicas del programa GEMS/Agua incluye todas las especies iónicas responsables de la mineralización básica de las aguas naturales, se puede utilizar el método del balance iónico para controlar cada análisis. Teóricamente, la suma de los aniones en la muestra de agua, expresada en miliequivalentes por litro, debe ser exactamente igual a la suma de los cationes expresada de la misma forma.

#### Cálculo del balance iónico

La concentración de cada ion en miliequivalentes se calcula utilizando los coeficientes F indicados en el siguiente cuadro.

Cationes	F	Aniones	F
Ca	0.04990	SO <sub>4</sub>	0.02082
Mg	0.08224	Cl	0.02820
b Sr	0.02282	a HCO <sub>3</sub>	0.01639
Na	0.04348	a CO <sub>3</sub>	0.03333
K	0.02558	N-NO <sub>3</sub>	0.07143
b N-NH <sub>4</sub>	0.07143	b N-NO <sub>2</sub>	0.0714
		b P-PO <sub>4</sub>	0.09686

Tenemos: meq = mg/l x F.

#### Notas

- \* Formas iónicas obligatorias para calcular el balance iónico.
- a Estas formas iónicas pueden reemplazarse por el título Alcalimétrico Completo (CAT, o Alcalinidad) directamente expresado en miliequivalentes, en cuyo caso tenemos alcalinidad en meq/l = (Alcalinidad en mg/l de CaCO<sub>3</sub>)/50.
- b Formas iónicas que deben tenerse en cuenta si están presentes en concentración suficiente como para alterar significativamente el balance iónico.

En el caso de agua extremadamente ácida o marcadamente alcalina (pH 5 ó pH 9) debe incluirse los iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>, respectivamente.

Aunque a menudo la sílice está presente en concentraciones apreciables, generalmente no es necesario tenerla en cuenta porque solo está muy levemente ionizada a los valores de pH hallados en las aguas naturales.

$$\text{El balance iónico } \% = \frac{\text{meq cationes} - \text{meq aniones}}{\text{meq cationes} + \text{meq aniones}} \times 100$$

#### Interpretación

Se considera que un balance iónico es correcto si la diferencia entre aniones y cationes respecto de la suma de iones es inferior al 2%.

Por lo general, una diferencia mayor indica o bien la presencia en la muestra de una o más especies iónicas que no han sido tenidas en consideración para el cálculo o bien errores de análisis referidos a una o más especies iónicas tomadas para el cálculo.

#### Validez del método

Las desviaciones entre aniones y cationes pueden compensarse por errores en el mismo sentido en las divisiones de aniones y cationes o en el sentido opuesto dentro de la misma división.

Por consiguiente, la técnica no es absoluta y no basta para controlar por sí sola la validez de los resultados. Es necesario que siempre sea acompañada por un continuo control analítico de calidad, elemento por elemento (véase Capítulo VII).

El control del balance iónico también se puede combinar comparando la conductividad medida y la conductividad calculada a partir de las concentraciones medidas y la conductividad equivalente de cada uno de los principales iones.

Como se da la conductividad equivalente de los iones para diluciones infinitas, la comparación es directamente aplicable solo a aguas que tengan una conductividad inferior a 100 µS. En el caso de aguas de mayor conductividad, debe efectuarse una dilución para ajustar la conductividad a unos 100 µS.

## 2.0 ENSAYOS FISICOS Y FISICO-QUIMICOS

### Temperatura

#### 1. Aspectos generales

En los estudios de auto-purificación de ríos y embalses y en el control de plantas de tratamiento de residuos se requieren mediciones de temperatura. La temperatura del agua es importante en relación con la vida de los peces. En los estudios limnológicos, la temperatura se mide a diferentes profundidades. Los datos sobre temperatura del agua son necesarios cuando se la utiliza como refrigerante o en procesos industriales, así como para el cálculo de la solubilidad del oxígeno y del equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. Con la sola medición de la temperatura se puede identificar fuentes de agua --por ejemplo, pozos profundos. La temperatura del agua potable influye en su sabor. Además, es importante en relación con el uso del agua para baño y riego agrícola.

#### 2. Métodos

Normalmente, las mediciones de temperatura se realizan con un termómetro de mercurio Celsius, graduado para leer una resolución de 0,1°C como mínimo. En lagos y embalses, las temperaturas de profundidad se miden con un termómetro reversible, termófono o termistor que deberá ser calibrado con un NIST (National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce) o con algún termómetro certificado equivalente antes de ser usado en el campo.

### pH

#### 1. Aspectos generales

El pH del agua se aproxima a la actividad de los iones hidrógeno libres en el agua. Se lo define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. La escala práctica del pH se extiende desde el 0 (muy ácido) al 14 (muy alcalino), siendo 7 la neutralidad exacta a 25°C.

El pH de las aguas naturales está, en cierta forma, determinado por la geología de la cuenca y se rige por los equilibrios dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato. El pH en la mayoría de las aguas varía entre 4.5 y 8.5 e incluye el valor de 5.6 del pH del agua de lluvia en equilibrio con el CO<sub>2</sub> atmosférico. La presencia de ácidos orgánicos, procesos biológicos (por ejemplo, fotosíntesis y respiración) y procesos físicos (turbulencia y aireación), que pueden alterar la concentración de dióxido de carbono disuelto, puede afectar al pH.

La concentración de iones hidrógeno es un factor principal en todas las reacciones químicas asociadas a la formación, alteración y disolución de minerales. El pH del agua también afecta los procesos de transformación entre las diversas formas de nutrientes y metales e influye en la toxicidad de los contaminantes formados por ácidos y bases debido a los efectos que ejerce la ionización en estos compuestos. La evolución química de muchos metales, su solubilidad en el agua y biodisponibilidad están determinados por el pH.

## 2. Métodos

La determinación del pH por medios químicos convencionales no es práctica y los equilibrios involucrados dependen de la temperatura. Por lo tanto, la escala precisa del pH debe basarse en un estándar primario acordado. El método electrométrico de medición del pH es el más preciso y está relativamente libre de interferencias. Una unidad de pH de  $\pm 0.1$  representa el límite de exactitud en condiciones normales de operación, aunque un medidor de pH de laboratorio con buenos electrodos puede dar una precisión de unidad de pH  $\pm 0.02$  y una exactitud de  $\pm 0.05$ .

### Conductividad eléctrica

#### 1. Aspectos generales

La conductividad eléctrica es una expresión numérica de la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de su concentración total, movilidad, valencia y de sus concentraciones relativas, así como de la temperatura a la que se efectúa la medición. Las soluciones de la mayoría de los ácidos inorgánicos, bases y sales son relativamente buenas conductoras. Por el contrario, las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas no son buenas conductoras de corriente.

Se puede estimar el total de sólidos disueltos multiplicando el valor de conductividad por un factor empírico que depende de los componentes solubles del agua y de la temperatura de la muestra. Otras aplicaciones prácticas incluyen el control de la pureza del agua destilada o desionizada; la evaluación de variaciones en el contenido de minerales disueltos en agua cruda o agua residual; la determinación del grado de mineralización y su efecto en los equilibrios químicos, en la fisiología de plantas y animales, en los niveles de corrosión, etc.; la estimación del tamaño de la muestra para determinaciones químicas comunes y el control de los resultados de un análisis químico; y la determinación de la cantidad de reactivos iónicos necesarios para ciertas reacciones de precipitación y neutralización.

La unidad estándar de conductividad eléctrica es el Siemen por metro. Generalmente la conductividad se registra como milisiemens por metro (mS/m) a 20°C. Cabe destacar que  $1 \text{ mS/m} = 10 \text{ } \mu\text{S/cm} = 10 \text{ } \mu\text{mho/cm}$ . El agua recién destilada tiene una conductividad de 0,5 a 2  $\mu\text{S/cm}$ , mientras que las aguas naturales tienen una conductividad que va de 50 a 1500  $\mu\text{S/cm}$ .

## 2. Métodos

La conductividad eléctrica se mide con un instrumento completo en sí mismo que consiste en una fuente de corriente alterna, un puente de Wheatstone, un indicador de corriente cero y una celda de conducción. Otros instrumentos pueden medir la relación entre corriente alterna a través de la celda y voltaje a lo largo de ella y, por lo tanto, puede proporcionar una lectura lineal de la conductividad. Seleccione un instrumento capaz de medir la conductividad con un margen de error que no exceda el 1% ó 1  $\mu\text{S/cm}$ , el que sea mayor.

### Total de sólidos en suspensión

#### 1. Aspectos generales

Los sólidos en suspensión están compuestos de arcilla, arena, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros microorganismos en el agua. La concentración de sólidos en suspensión se relaciona con los factores estacionales y regímenes de caudal y es afectada por la fusión nival y las precipitaciones. Las concentraciones varían de un lugar a otro, según sean las fuerzas hidráulicas, la cubierta vegetal, el suelo y lecho de rocas y las actividades antropogénicas --tales como agricultura, minería, explotación maderera, etc.

Las partículas en suspensión afectan la claridad del agua y la penetración de la luz, la temperatura, los componentes disueltos del agua superficial, la absorción de sustancias tóxicas --tales como materia orgánica y metales pesados-- y la composición, distribución y velocidad de sedimentación de la materia. Las aguas con un alto contenido de sólidos en suspensión pueden ser estéticamente desagradables para las actividades recreativas. Los análisis de sólidos revisten importancia para el control de los

procesos biológicos y físicos del tratamiento de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las pautas impuestas por las agencias de regulación respecto de los efluentes de aguas residuales.

Para mayor información sobre sólidos o materia en suspensión, véase el Capítulo IV de esta guía operativa, donde se describe el monitoreo de la calidad de los sólidos en suspensión.

## 2. Métodos

El total de sólidos en suspensión es una medida del material recolectado en un filtro de fibra de vidrio y secado hasta peso constante a 103°C - 105°C. Si los sólidos en suspensión obstruyen el filtro y prolongan la filtración, la diferencia entre el contenido total de sólidos (también secados a 103°C - 105°C) y el total de sólidos disueltos (filtrado secado a un peso constante a 180°C) se puede usar para estimar el total de sólidos en suspensión.

### Transparencia

#### 1. Aspectos generales

La transparencia o claridad del agua es una función de la concentración de sólidos en suspensión en la columna de agua. En aguas turbias, una marcada disminución en la intensidad de luz a mayor profundidad producirá una mayor absorción de energía solar cerca de la superficie. El agua superficial más cálida puede reducir la transferencia de oxígeno del aire al agua y disminuir la densidad y estabilizar la estratificación, demorando o impidiendo la mezcla vertical. Una menor penetración de luz reducirá la fotosíntesis y tendrá un efecto directo en la producción biológica que se produce en la masa de agua. Una menor profundidad de penetración de la luz puede afectar la detección de alimentos para los peces, las migraciones de zooplancton y la reproducción de invertebrados bénticos.

#### 2. Métodos

Si bien existen dispositivos ópticos para medir la intensidad de la radiación solar en profundidad en la columna de agua, el sencillo procedimiento para determinar la transparencia con un disco de Secchi aún tiene vigencia. El método consiste en observar la profundidad a la cual un disco de 30 cm de diámetro pintado de blanco o con cuadrantes blancos y negros desaparece de vista a medida que se introduce en una columna de agua. El procedimiento real consiste en registrar el punto de desaparición cuando el disco se introduce, permitir que descienda un poco más y luego determinar el punto en que vuelve a aparecer mientras se lo sube. La media de las dos lecturas se toma como la transparencia del disco de Secchi.

## 3.0 IONES METALICOS

### Metales alcalinos (Na, K)

#### 1. Aspectos generales

El sodio es uno de los elementos que más abunda y es un componente común de las aguas naturales. Las concentraciones varían de valores muy bajos en aguas superficiales que corren a la intemperie a valores relativamente altos en aguas subterráneas profundas y a valores sumamente elevados en aguas marítimas y en ciertos sistemas de aguas interiores. El sodio a una concentración de 10,77 mg/g (salinidad = 35 g/kg) es el ion metálico que más abunda en el agua de mar.

Es importante conocer la concentración de sodio en el agua al momento de determinar su adecuación para el riego o para la alimentación de calderas. Sin embargo, como muchas personas enfermas necesitan controlar la ingesta de sodio, su concentración en el agua potable también puede ser motivo de preocupación --especialmente si el agua ha sido ablandada por intercambio de iones o con "soda ash" (carbonato de sodio anhidro comercial).

Si bien el potasio ocupa el séptimo lugar en cuanto a abundancia, su concentración en la mayoría de las aguas naturales es relativamente baja y pocas veces alcanza a 2 mg/litro en el agua potable. Algunas salmueras alcanzan a 100 mg/litro mientras que el agua de mar (salinidad = 35 g/kg) contiene 0,399 g de K por kg, lo que hace que ocupe el cuarto lugar en abundancia en este medio. El potasio no tiene importancia directa, excepto como componente de sólidos totales disueltos y cuando se consideran los coeficientes de cationes monovalentes a bivalentes.

#### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras que contengan bajas concentraciones de sodio y potasio o las muestras alcalinas deben almacenarse en frascos de polietileno a fin de impedir la contaminación potencial de la muestra debido a la alcalinidad cedida por los frascos de vidrio. Se aconseja evitar el almacenamiento prolongado en frascos plásticos debido a las pérdidas evaporadas a través de las paredes del frasco o de las tapas. Ante la presencia de sólidos, se aconseja filtrar la muestra antes de su almacenamiento para evitar el intercambio de iones en solución que se puede producir por cambios de temperatura.

### Metales alcalino-térreos (Ca, Mg)

#### 1. Aspectos generales

El calcio se disuelve prácticamente de todas las rocas y, por lo tanto, se lo detecta en todas las aguas. Las aguas asociadas con granito o arena silícea pueden contener menos de 10 mg de calcio por litro. Muchas aguas provenientes de áreas calizas pueden contener 30-100 mg/litro mientras que las que están en contacto con soporte de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pueden llegar a contener varios cientos de mg/litro. El calcio aporta dureza al agua y, en presencia de alcalinidad o sulfato, puede producir incrustaciones en calderas. En el caso de aguas para uso doméstico, es conveniente que las mismas contengan algo de carbonato de calcio porque protege a las cañerías contra la corrosión.

El magnesio es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y, por consiguiente, un componente común de las aguas naturales. Las aguas asociadas con granito o arena silícea pueden contener menos de 5 mg de magnesio por litro. El agua en contacto con dolomita o caliza rica en magnesio puede tener 10-50 mg/litro, en tanto que las aguas que han estado en contacto con depósitos que contienen sulfatos y cloruros de magnesio pueden tener varios cientos de mg por litro. El magnesio, por una acción similar a la del calcio, imparte dureza al agua. Esta se puede reducir mediante ablandamiento químico o intercambio de iones. Las concentraciones de magnesio superiores a 125 mg/litro pueden ejercer efectos purgantes y diuréticos.

#### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras de calcio y magnesio deben recolectarse en frascos plásticos o de vidrio borosilicatado sin el agregado de conservadores. Si se formara calcio durante el almacenamiento de la muestra, se lo debe disolver antes del análisis mediante la adición de ácido nítrico. Si los análisis se han de efectuar por espectroscopía de absorción atómica, las muestras deben ser acidificadas mediante el agregado de 1,5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado por litro de muestra antes de ser almacenadas en frascos plásticos. Si el pH no es inferior a 2 después de la incorporación del ácido, se debe agregar más  $\text{HNO}_3$ . Si se debe analizar la fracción de metales solubles, las muestras deben filtrarse a través de membranas filtrantes de 0,45  $\mu\text{m}$  inmediatamente después de su recolección; el filtrado luego debe ser acidificado.

### Metales traza (Al, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, Cu)

La evolución y biodisponibilidad de metales traza en el agua se controlan mediante interacciones y equilibrios físicos y químicos. En estas interacciones intervienen muchos factores, tales como pH, redox, temperatura, dureza, concentraciones de  $\text{CO}_2$ , tipo y concentración de agentes ligantes y quelantes y el tipo y concentraciones de iones metálicos. El interés por los metales se relaciona con su toxicidad y biodisponibilidad --especialmente para iones libres--, su potencial de bioacumulación y los riesgos para la salud del hombre. En lo que respecta a pautas para casi todos los metales traza, los problemas inherentes a la determinación de la especie específica del metal y el hecho que la toxicidad a menudo depende de la especie apoyan la adopción de una concentración de metales totales como una medida de protección de la calidad del agua.

#### Aluminio

##### 1. Aspectos generales

Aunque el aluminio es uno de los elementos que más abunda en la corteza terrestre, éste solo aparece en concentraciones ínfimas en las aguas naturales. Dado que el aluminio existe en muchas rocas, minerales y arcillas, está presente en prácticamente todas las aguas superficiales, pero su concentración en las aguas con un pH cercano a neutral raramente supera unas pocas décimas de 1 mg por litro. Además, en aguas tratadas o residuales, puede aparecer como un residual de la coagulación del sulfato de aluminio. La concentración media de aluminio en aguas fluviales es de 0,24 mg/litro, con una variación de 0,01 a 2,5 mg/litro.

##### 2. Manipulación de las muestras

Dado que el aluminio en solución se puede perder hacia las paredes de los recipientes de las muestras, las mismas deben ser acidificadas mediante el agregado de 1,5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado por litro de muestra antes de su almacenamiento en frascos plásticos. Si después de incorporar el ácido el pH no es inferior a 2, se debe agregar más  $\text{HNO}_3$ . Si solo hay que determinar el aluminio soluble, se debe filtrar una parte de la muestra no acidificada a través de una membrana filtrante de 0,45  $\mu\text{m}$ ; descartar los primeros 50 ml del filtrado y usar el filtrado restante --después de la acidificación-- para la determinación. No se debe usar filtros de papel, de algodón absorbente o de lana de vidrio para filtrar una solución en la que se hará una determinación de aluminio, dado que estos materiales eliminarán la mayor parte del aluminio soluble.

#### Cromo

##### 1. Aspectos generales

Las concentraciones de cromo en las aguas naturales son por lo general muy pequeñas. En una encuesta llevada a cabo en los Estados Unidos, la mayoría de las muestras tenían concentraciones que variaban entre 1 y 112  $\mu\text{g}$ /litro. La concentración media era

de 14 µg/litro. Las concentraciones en agua de mar son sustancialmente más bajas, con una fluctuación consignada entre 0,04 y 3 µg/litro. La minería y los procesos industriales pueden producir elevadas concentraciones de cromo. Los compuestos de cromo se utilizan comúnmente en las aguas refrigerantes para controlar la corrosión. El cromo en el agua se presenta en forma hexavalente. En los Estados Unidos de Norteamérica, se permite un límite máximo de 0,05 mg de cromo hexavalente en el agua potable, similar al establecido por los Estándares Europeos para el Agua Potable de la OMS, que se reflejan en los estándares individuales adoptados por países de Europa y por los Estados Unidos. Una reducción del pH en presencia de material oxidable, como materia orgánica disuelta, puede reducir el cromo de hexavalente a trivalente.

## 2. Manipulación de las muestras

Las muestras deben recolectarse en frascos de polietileno y acidificarse inmediatamente después de su recolección para evitar la pérdida de cromo en las paredes del frasco de muestra. Se debe acidificar con 1,5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado por litro de muestra. Si después de la incorporación del ácido el pH no es inferior a 2, se debe agregar más HNO<sub>3</sub>.

### Hierro

#### 1. Aspectos generales

El hierro es un elemento que abunda en la corteza terrestre pero, por lo general, se da en pequeñas concentraciones en los sistemas de aguas naturales. La forma y solubilidad del hierro en las aguas naturales dependen en gran medida del pH y del potencial de óxido-reducción (redox) del agua. El hierro se presenta en los estados de oxidación +2 y +3. En un ambiente reductor, el hierro ferroso (+2) es relativamente soluble. Un aumento en el potencial de óxido-reducción del agua transforma inmediatamente a los iones ferrosos en férricos (+3) y permite que el hierro ferroso se hidrolice y precipite como óxido férrico hidratado. El precipitado es altamente insoluble. Por consiguiente, el hierro férrico se encuentra en solución solo a un pH inferior a 3. La presencia de iones inorgánicos u orgánicos que forman complejos en un sistema de aguas naturales puede aumentar la solubilidad tanto del hierro ferroso como del hierro férrico.

Las aguas superficiales con un pH normal de 6 a 9 rara vez contienen más de 1 mg de hierro disuelto por litro. Sin embargo, el agua subsuperficial extraída de condiciones atmosféricas oxidantes y en contacto con minerales que contienen hierro puede contener elevadas cantidades de hierro ferroso. Por ejemplo, en aguas subterráneas afectadas por la actividad minera, la cantidad de hierro puede ser de varios cientos de mg/litro.

La formación de óxido férrico hidratado hace que las aguas cargadas de hierro tengan un sabor desagradable. El precipitado férrico deja una mancha color naranja en cualquier superficie en que se deposite, incluso en los artículos de lavandería, utensilios de cocina y artefactos sanitarios. Además, las suspensiones coloidales del precipitado férrico pueden dar al agua un aspecto uniforme amarillo-naranja oscuro. Esta coloración, junto con los sabores y olores asociados, hace que no sea conveniente usar el agua cuando los niveles son superiores a 0,3 mg/litro. Dado que los compuestos de hierro se usan mucho en el tratamiento del agua, la Organización Mundial de la Salud (1984) ha propuesto un valor guía de 0,3 mg/litro para el agua potable.

## 2. Manipulación de las muestras

En el proceso de recolección y almacenamiento de muestras, el hierro en solución puede sufrir cambios en la forma de oxidación y precipitar rápidamente en las paredes del frasco de muestra o como una suspensión sólida parcialmente sedimentable. Para las mediciones del total de hierro, se puede controlar la precipitación en los frascos de muestra mediante el agregado de 1,5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado por litro de muestra inmediatamente después de la recolección. Si después de la incorporación del ácido el pH no es inferior a 2, se debe agregar más HNO<sub>3</sub>.

### Mercurio, disuelto

#### 1. Aspectos generales

El mercurio es un elemento que no abunda en la corteza terrestre. Las estimaciones de su abundancia son solo relativamente confiables. Una fuente estima que la abundancia promedio del mismo en la corteza terrestre es de 80 µg/kg. Este y otros factores generalmente producen bajas concentraciones de mercurio soluble en las aguas naturales en todo el mundo y, en un tiempo, generó un falso sentido de seguridad con respecto a los peligros para la salud pública relacionados con las descargas de mercurio en el ambiente. La dilucidación de la compleja química del mercurio y sus compuestos en los sistemas naturales, estimulada por ciertos incidentes de envenenamiento por mercurio ampliamente difundidos, ha demostrado que en realidad las bajas concentraciones de mercurio pueden ser de gran importancia si el flujo a través de un sistema acuoso es elevado. Con respecto a la salud del hombre, es importante tener en cuenta la sedimentación y acumulación biológica en los tejidos y las consiguientes transformaciones de las formas de mercurio.

Si bien en ciertas regiones del mundo se observan altos niveles de mercurio, éstos están asociados principalmente con depósitos específicos de minerales ricos en mercurio. Más comúnmente, las concentraciones elevadas de mercurio se relacionan con fuentes artificiales. En el pasado las principales fuentes de descarga de mercurio eran las fábricas de cloro-álcali que utilizaban celdas electrolíticas. Muchas partes del mundo han requerido modificaciones en los procesos para reducir las pérdidas de mercurio. Otras

industrias con un elevado uso de mercurio son la electrónica y eléctrica, explosivos, fotografía, pesticidas y conservadores, catalisis químico y petroquímico y los usuarios de dichos productos.

## 2. Manipulación de las muestras

A menos que las muestras no contengan materia en suspensión, hay que filtrarlas a través de membranas filtrantes de 0,45 µm (pre-limpiadas) en el momento de su recolección. El filtro puede conservarse para efectuar la determinación del mercurio en suspensión o bien se puede tomar una segunda muestra para determinar el mercurio total. Si bien se han hecho algunas conjeturas con respecto al mecanismo de pérdida, es bien sabido que si la muestra no ha sido fijada con ácido durante el almacenamiento se producen grandes pérdidas de mercurio en frascos tanto de vidrio como de polietileno. Se recomienda tomar las muestras en frascos de polietileno limpios y fijar la muestra con ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, a una concentración final de 0,5 a 1%. El análisis debe efectuarse dentro de los siete días. Se puede lograr un almacenamiento más prolongado, de hasta 30 días, haciendo que la muestra almacenada contenga 0,05% K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> cuando se utiliza el método AAS de vapor frío.

### Mercurio, total

#### 1. Aspectos generales

Al igual que para el mercurio disuelto, cuando aparece en cantidades apreciables en un ambiente acuoso, el mercurio generalmente está asociado con los sólidos en suspensión antes que con la forma soluble. Por lo tanto, se aconseja la determinación del mercurio total en muestras no filtradas.

#### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras deben recolectarse en frascos de polietileno limpios y fijarse con ácido nítrico concentrado, HNO<sub>3</sub>, a una concentración final de 0,5 a 1%. El análisis debe efectuarse dentro de los siete días. Se puede lograr un almacenamiento más prolongado mediante el agregado de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> al 0,05%.

### Manganeso

El manganeso es un elemento relativamente común en rocas y suelos, donde está presente como óxido o hidróxido en los estados de oxidación (II), (III) o (IV). Estos compuestos absorben otros cationes metálicos y, junto con los óxidos de hierro, son de gran importancia para controlar las concentraciones de diversos metales traza existentes en los sistemas de aguas naturales. El manganeso disuelto en el agua natural se encuentra en estado bivalente. La solubilidad del manganeso en el agua natural es principalmente una función del pH y del potencial de óxido-reducción (redox). En los sistemas relativamente anóxicos con un pH cercano a neutral, se pueden desarrollar considerables concentraciones de manganeso disuelto, pero puede producirse oxidación y precipitación ante pequeños cambios en el pH y en el potencial. En los ríos, las concentraciones promedio de manganeso son de alrededor de 12 µg/litro, con una fluctuación de menos de 1 µg/litro a 130 µg/litro.

A niveles superiores a 0,15 mg/litro, el manganeso en el agua mancha los artefactos sanitarios y la ropa. A mayores concentraciones, produce un sabor desagradable en las bebidas. Al igual que el hierro, puede producir la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Aun a una concentración de 0,05 mg/litro, el manganeso forma una capa en las cañerías que se desprende como un precipitado negro. Además, incluso el agua que contiene bajos niveles de manganeso no puede ser utilizada en ciertos procesos industriales, tales como teñido textil, procesamiento de alimentos, destilación de bebidas y elaboración de cerveza, fabricación de papel, plásticos y en la industria fotográfica. La Organización Mundial de la Salud ha recomendado un valor guía de 0,1 mg/litro de manganeso en el agua destinada al uso doméstico.

### Níquel

El níquel constituye el vigésimo tercer elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre y en la naturaleza se presenta principalmente en combinación con azufre, arsénico y antimonio. Generalmente, el níquel ingresa al ambiente por el desgaste de minerales y rocas y como resultado de actividades antropogénicas, principalmente la quema de combustibles fósiles y la minería.

El níquel se da en el agua como una sal relativamente soluble asociada con sólidos en suspensión y en combinación con materia orgánica. En condiciones anaeróbicas y en presencia de azufre, se forman sulfuros insolubles. Sin embargo, en condiciones anaeróbicas con un pH inferior a 9,0, el níquel forma compuestos con el hidróxido, el carbonato, el sulfato y los ligantes orgánicos.

El níquel está ausente en casi todas las aguas subterráneas en tanto que las aguas superficiales contienen unos pocos µg/litro. La Organización Mundial de la Salud ha recomendado imponer una severa restricción a las aguas para riego que contengan 2,0 mg/l de níquel.

### Plomo

El plomo es un elemento de relativamente menor importancia en la corteza terrestre pero está ampliamente distribuido en bajas concentraciones en rocas sedimentarias y suelos no contaminados. En el agua de mar no contaminada, su concentración es de solo

0,03 µg/l y cerca de la superficie y de la costa su concentración puede llegar a ser diez veces mayor. Las concentraciones de plomo en el agua dulce, por lo general, son mucho mayores. En un relevamiento realizado en 727 muestras, se halló plomo en un 63% de las mismas en concentraciones de 1 a 50 µg/l; solo en tres muestras la concentración fue superior a 50 µg/l.

Las concentraciones elevadas de plomo se producen por el aporte de plomo de la atmósfera, que tiene su origen en el uso de gasolina con plomo o en las actividades de fundición. Las operaciones industriales, mineras o de fundición pueden contener cantidades relativamente grandes de plomo. Muchas de las sales de plomo comúnmente usadas son solubles en agua. El acetato de plomo se usa en las operaciones de impresión y teñido; el cloruro y sulfato de plomo se emplean en la fabricación de algunos explosivos. Además de otras posibles fuentes, el plomo que aparece en el agua potable se debe al uso de cañerías de plomo o de cañerías de plástico estabilizadas con compuestos de plomo.

Si bien los aportes de plomo provenientes del aire y de los alimentos son más significativos, la Organización Mundial de la Salud ha establecido para el plomo un valor guía de 0,05 mg/litro en el agua potable. El plomo es tóxico para los organismos acuáticos pero el grado de toxicidad varía mucho, según sean las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio.

### Zinc

El zinc es un elemento que abunda en rocas y minerales pero en las aguas naturales es un componente menor debido a la falta de solubilidad del metal libre y de sus óxidos. Está presente en cantidades traza en casi todas las aguas alcalinas superficiales y subterráneas, pero puede haber más en aguas ácidas. El principal uso industrial del zinc es en la galvanización y puede ingresar al agua potable por las cañerías galvanizadas. Otro de los usos importantes del zinc es la preparación de aleaciones, incluidos el latón y el bronce. La concentración promedio de zinc en aguas superficiales es de unos 10 µg/litro, con una fluctuación de 0,2 µg/litro a 1 mg/litro.

El zinc es un elemento esencial para la nutrición del hombre. El aporte diario recomendado es de 4-10 mg, según sea la edad y el sexo. Los alimentos constituyen la fuente más importante de zinc. La ingesta a largo plazo de cantidades que excedan ese nivel no producen efectos adversos. Por consiguiente, el valor permitido del zinc en el agua potable se basa en consideraciones estéticas. El agua que contiene zinc a una concentración superior a 5,0 mg/litro tiene un gusto astringente desagradable, es opalescente y forma una película grasa al hervir. Aunque el agua potable rara vez posee una concentración de zinc superior a 0,1 mg/litro, sus niveles en el agua corriente pueden ser considerablemente superiores debido al zinc utilizado en los materiales de las cañerías. La Organización Mundial de la Salud ha propuesto un valor guía para el zinc en el agua potable de 5,0 mg/litro para no afectar su sabor. El zinc puede ser tóxico para los organismos acuáticos pero el grado de toxicidad varía mucho según sean las características de la calidad del agua y de las especies bajo estudio.

### Cadmio

La química del cadmio es similar a la del plomo y del zinc. El cadmio se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro y como impureza de minerales de zinc y plomo. La abundancia de cadmio es muy inferior a la del zinc. El cadmio puede ingresar a las aguas superficiales como resultado de actividades mineras y de fundición. Puede haber cadmio en los residuos de plantas de galvanoplastia, de pigmentos y de industrias textiles y químicas. Las concentraciones de cadmio en el agua subterránea que llegan hasta 3,2 mg/litro se deben a la infiltración de cadmio proveniente de plantas de galvanoplastia. Las cañerías metálicas y de plástico constituyen otra posible fuente de cadmio en las aguas. En ausencia de aportes antropogénicos, la concentración de cadmio en aguas superficiales es probablemente inferior a 1 µg/litro.

El cadmio es tóxico para el hombre. Los órganos reproductores pueden verse afectados por la administración de muy pequeñas dosis de cadmio, el que se concentra en los riñones. Existe evidencia de que el cadmio puede ser cancerígeno en animales de laboratorio y se lo ha detectado en el carcinoma de próstata humano. En Japón existe una enfermedad específica conocida como "itai-itai", en la que el cadmio liberado por un complejo minero produjo la contaminación del agua y de campos arroceros. Para el agua potable se recomienda un valor guía máximo de 5 µg/litro (OMS 1984).

Se ha descubierto que los peces y ciertos invertebrados son sensibles a niveles muy bajos de cadmio en el agua. Los salmónidos y cladóceros son algunos de los organismos más sensibles. Además, debido a la bioacumulación, ciertos organismos comestibles pueden ser peligrosos para el consumidor final. Por lo tanto, la U.S. Environmental Protection Agency (1976) ha recomendado que las concentraciones de cadmio no excedan niveles muy bajos, entre 0,4 µg Cd/l en aguas blandas para la protección de cladóceros y peces salmónidos y 12 µg Cd/litro en aguas duras para la protección de organismos acuáticos menos sensibles.

### Cobre

El cobre es un elemento traza ampliamente distribuido pero, debido a que la mayoría de los minerales cupríferos son relativamente insolubles y a que el cobre es absorbido en fases sólidas, solo existe en bajas concentraciones en las aguas naturales. El equilibrio con el óxido de cobre o con minerales hidroxycarbonados limitará la concentración de cobre libre en el agua aireada a unos 64 µg/litro a un pH de 7.0 y aproximadamente a un décimo de ese valor a un pH de 8.0. Debido a la presencia de sulfuro, el cobre debiera ser aun menos soluble en sistemas anóxicos. La presencia de concentraciones mayores de cobre generalmente puede atribuirse a la corrosión de las cañerías de cobre, a desechos industriales o --especialmente en el caso de embalses-- al uso de sulfato de cobre como algicida.

El cobre es un elemento traza esencial para la nutrición de plantas y animales, incluso del hombre. Es necesario para el funcionamiento de varias enzimas y para la biosíntesis de la clorofila. A niveles elevados es tóxico para los organismos pero la reacción varía según la especie. Las algas y moluscos son particularmente sensibles al cobre; para que estos organismos no se vean afectados, se recomienda una concentración inferior a 10 µg/litro en aguas blandas.

Aunque no se considera peligroso para la salud, la presencia de cobre en el agua potable puede interferir con los usos domésticos del agua. El cobre en el suministro público de agua incrementa la corrosión de los artefactos sanitarios de hierro galvanizado y de acero. A niveles superiores a 4 mg/litro, imparte al agua un color y un sabor amargo desagradables. Las concentraciones de cobre superiores a 1,0 mg/litro manchan la ropa y los artefactos sanitarios. El cobre se utiliza mucho en las cañerías domésticas y, por lo tanto, sus niveles en el agua corriente pueden ser considerablemente mayores que en el agua que ingresa al sistema de distribución. Debido a su capacidad para manchar ropa y otros elementos, el valor guía es de 1,0 mg/litro.

#### Manipulación de las muestras - Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni

Dado que el manganeso, plomo, zinc, cadmio, cobre y níquel pueden perderse desde la solución a las paredes de los recipientes de muestras, las mismas deben ser acidificadas mediante el agregado de 1,5 ml de concentrado de HNO<sub>3</sub> por litro de muestra antes de su almacenamiento en recipientes plásticos. Si después de la incorporación del ácido el pH no es inferior a 2, se debe agregar más HNO<sub>3</sub>. Si hay que analizar la fracción de metales solubles, las muestras deben ser filtradas a través de una membrana filtrante de 0,45 µm inmediatamente después de su recolección y el filtrado debe ser acidificado.

#### Espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

La espectrofotometría de absorción atómica se basa en el principio de que los elementos metálicos en estado nativo absorberán luz de la misma longitud de onda que la que emiten cuando se excitan. Cuando la radiación de un elemento excitado pasa a través de una llama que contiene átomos en estado nativo de ese elemento, la intensidad de la radiación transmitida disminuirá en proporción a la cantidad de elementos en estado nativo en la llama. Las lámparas que se emplean para proporcionar el rayo de luz se denominan lámparas catódicas huecas y están hechas de, o revestidas con, el elemento de interés y rellenas con un gas inerte, por lo general neón o argón. Cuando se someten a una corriente, estas lámparas emiten el espectro del elemento deseado junto con el del gas con que se las llenó. Los átomos metálicos que se han de cuantificar se colocan en el haz del rayo de luz aspirando la muestra en una llama. El elemento de interés en la muestra no se excita por influencia de la llama, sino que simplemente se disocia de sus ligaduras químicas y queda en un estado "nativo" no ionizado. De ese modo, el elemento es capaz de absorber radiación de la fuente de luz. La cantidad de radiación absorbida en la llama es proporcional a la concentración del elemento presente. Un espectroscopio monocromático aísla la radiación característica desde la lámpara catódica hueca y un dispositivo fotosensible mide la atenuada radiación transmitida.

Si bien el procedimiento analítico más simple es la aspiración directa de una muestra líquida en un conjunto formado por un atomizador y un quemador, puede haber limitaciones en las posibilidades de detección o interferencias que hacen necesario realizar más procesamientos de muestras para aumentar la concentración o para aislar el elemento de interés de las especies que interfieren. En este sentido, uno de los enfoques más comunes es la extracción selectiva de uno o más elementos en un solvente inmiscible a través de la formación de complejos. La extracción puede ser altamente selectiva, tal como la extracción de aluminio o berilio en metil isobutil cetona (MIBK por sus siglas en inglés) como el complejo 8-hidroxiquinolina, o bastante general --como la extracción de los complejos ditiocarbonato pirrolidina de cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo y plata en MIBK.

#### Métodos específicos

(i) Metales alcalinos y alcalino-térreos - Na, K, Ca, Mg:

El método preferido es la espectrofotometría de absorción atómica (AAS) por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. (Standard Methods, 1989, APHA). Un método opcional para Ca y Mg es por titulación EDTA (Standard Methods, 1989, APHA).

(ii) Metales traza:

#### Aluminio

- AAS por aspiración directa en una llama de acetileno-óxido nitroso o, para bajas concentraciones, quelación con 8-hidroxiquinolina, extracción en metil isobutil cetona (MIBK) y aspiración en una llama de acetileno-óxido nitroso. (Standard Methods, 1989, APHA).
- El método colorimétrico con cianuro Eriocromo R como colorante (Standard Methods, 1989, APHA) utiliza instrumentos simples.
- El método colorimétrico con violeta de pirocatecol se usa como un flujo de inyección altamente sensible o como una técnica de análisis de flujo continuo (Standard Methods, 1989, APHA).

Cromo

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones, quelación con ditiocarbamato pirrolidina de amonio, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno o el uso del horno de grafito AAS (Standard Methods, 1989, APHA).
- Método colorimétrico con difenilcarbocida en solución ácida. Este procedimiento se recomienda para medir el cromo hexavalente en aguas naturales o tratadas destinadas al consumo humano (Standard Methods, 1989, APHA).

Hierro

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones, quelación con APDC, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno o el uso del horno de grafito AAS (Standard Methods, 1989, APHA).
- Método colorimétrico con 1,10-fenantrolina (Standard Methods, 1989, APHA).

Mercurio disuelto

- El método recomendado para todas las muestras es el AAS de vapor frío. Los compuestos organomercurícos en la muestra se oxidan en compuestos de mercurio inorgánico Hg (II) mediante calentamiento en ácido sulfúrico, permanganato de potasio y persulfato de potasio. Los compuestos de mercurio luego se reducen a mercurio elemental con cloruro estannoso en una solución de sulfato de hidroxilamina - cloruro de sodio. El mercurio se esparce desde la solución con una corriente de aire y se pasa a través de una cámara de absorción ubicada en el haz de la lámpara de mercurio (Standard Methods, 1989, APHA).
- El método colorimétrico con ditizona puede usarse en agua potable con altos niveles de mercurio (>2µg/l). (Standard Methods, 1989, APHA).

Mercurio total

- Método de oxidación con permanganato peroxidisulfato en caliente (Standard Methods, 1989, APHA).

El mercurio total puede determinarse de igual forma que el mercurio disuelto.

Manganeso

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones, quelación con APDC, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno o el uso del horno de grafito AAS (Standard Methods, 1989, APHA).
- Método colorimétrico del persulfato (Standard Methods, 1989, APHA).

Zinc

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones (<10µg/l), quelación con APDC, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno (Standard Methods, 1989, APHA).
- Método colorimétrico Zincon (Standard Methods, 1989, APHA).

Cadmio

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones, quelación con APDC, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno o el uso del horno de grafito AAS (Standard Methods, 1989, APHA).
- Método colorimétrico de la ditizona (Standard Methods, 1989, APHA).

Cobre

- AAS por aspiración directa en una llama de aire-acetileno. Para bajas concentraciones, quelación con APDC, extracción en MIBK y aspiración en una llama de aire-acetileno o el uso del horno de grafito AAS (Standard Methods, 1989, APHA).
- Métodos colorimétricos con neocuproína y batocuproína (Standard Methods, 1989, APHA).

## 4.0 COMPONENTES NO-METALICOS

### Alcalinidad

#### 1. Aspectos generales

La alcalinidad de las aguas naturales o tratadas es la capacidad de algunos de sus componentes para aceptar protones (para ligar una cantidad equivalente de un ácido fuerte). Ejemplos de tales componentes son los iones hidroxilos y aniones hidroxilos de ácidos débiles; por ejemplo, bicarbonato, carbonato, fosfato, silicato. La cantidad equivalente de un ácido fuerte que se necesita para neutralizar estos iones da la alcalinidad total (T). La alcalinidad se consigna en mg/l como  $\text{CaCO}_3$ .

La alcalinidad de muchas aguas naturales y tratadas se debe solamente a bicarbonatos de calcio y magnesio. El pH de estas aguas no supera 8.3. Su alcalinidad total es prácticamente idéntica a su dureza carbonatada. Las aguas que tienen un pH superior a 8.3 contienen, además de los bicarbonatos, carbonatos normales y, posiblemente, hidróxidos. La fracción de alcalinidad equivalente a la cantidad de ácido necesaria para reducir el valor del pH de la muestra a 8.3 se denomina alcalinidad a la fenoftaleína (P). La fracción es aportada por el hidróxido, si está presente, y la mitad del carbonato (el pH de 8.3 es aproximadamente el de la solución de bicarbonato diluido).

La determinación de alcalinidad es útil para el dosaje de los productos químicos requeridos para el tratamiento del agua potable y de aguas residuales. Al determinar la aptitud para el riego de una fuente de agua es fundamental constatar que la alcalinidad no supere las concentraciones de metales alcalino-térreos.

#### 2. Métodos

La alcalinidad se determina mediante titulación de la muestra con una solución estándar de un ácido mineral fuerte (Standard Methods, 1989, APHA). El método visual simple y rápido que utiliza un indicador sirve para aplicaciones de rutina y de control. La titulación electrométrica es el método preferido para determinaciones precisas. También debe usarse cuando el color, turbiedad o materia en suspensión en una muestra interfiera con la determinación por el método del indicador. Las alcalinidades bajas (menos de 10 mg/l) se determinan mejor con la titulación electrométrica.

La titulación hasta el punto final de pH 8.3 determina la alcalinidad a la fenolftaleína; hasta el punto final de pH 4.5 la alcalinidad total. El pH en el cual se debe determinar la titulación de la alcalinidad total se halla entre 4 y 5; teóricamente, depende de la cantidad de alcalinidad y de dióxido de carbono libre. Para la mayoría de los propósitos, el punto final de pH 4.5 (indicado por naranja de metilo) brinda resultados suficientemente precisos. Para determinaciones más precisas, el pH debe ser: 5.1 a una alcalinidad de 30 mg/l, 4.8 a 150 mg/l y 4.5 a 500 mg/l. El naranja de metilo es adecuado para los valores de pH más bajos, mientras que para valores de pH más altos se puede usar un indicador mixto (por ejemplo, preparado con verde de bromocresol y rojo de metilo).

En lo posible, la titulación se debe efectuar en el punto de muestreo. Si esto no es posible, el frasco de la muestra debe llenarse completamente y la alcalinidad se debe determinar dentro de las 24 horas.

### Arsénico

#### 1. Aspectos generales

El arsénico es venenoso y se han registrado casos de grave toxicidad después de haber ingerido tan solo 100 mg de este elemento. La toxicidad crónica puede producirse por acumulación de ingestas más bajas. El arsénico no es geológicamente raro y en las aguas naturales se presenta como arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) y arsenito ( $\text{AsO}_2^-$ ). Además, el arsénico puede tener origen en descargas industriales o uso de insecticidas.

#### 2. Manipulación de las muestras

Si la muestra va a ser almacenada, se la debe recolectar en un frasco de polietileno y acidificar con ácido sulfúrico concentrado (2 ml/l). El ácido nítrico interfiere en la determinación.

#### 3. Métodos

Se sugieren dos métodos de análisis para el arsénico inorgánico:

- Método colorimétrico con dietilditiocarbamato de plata: el arsénico inorgánico se reduce a arsenamina ( $\text{AsH}_3$ ) por zinc en solución ácida. La arsenamina se pasa a través de un filtro de lana de vidrio impregnado con una solución de acetato de plomo a un tubo de absorción que contiene dietilditiocarbamato de plata disuelto en piridina. La arsenamina reacciona con el compuesto de plata para formar un complejo rojo soluble que se puede medir fotométricamente. (Standard Methods, 1989, APHA).

- Generación de hidruro / AAS: el arsénico se convierte instantáneamente en arsenamina por el reactivo de boro hidruro de sodio en solución ácida. El hidruro volátil se purga continuamente con argón o nitrógeno dentro del atomizador de un espectrómetro de absorción atómica y se convierte en átomos en fase gaseosa. Con la rápida generación de  $\text{AsH}_3$  en la celda de reacción, el agente reductor boro hidruro de sodio minimiza la dilución de los hidruros mediante el gas conductor y permite efectuar mediciones del arsénico rápidas y sensibles (Standard Methods, 1989, APHA).

### Boro

#### 1. Aspectos generales

En la mayoría de las aguas naturales, el boro raras veces se da en concentraciones superiores a 1 mg/l, pero aun esta baja concentración puede tener efectos nocivos en ciertos productos agrícolas, incluidos los cítricos, las nueces y los porotos. Las aguas con concentraciones de boro superiores a 2 mg/l pueden tener efectos adversos en muchos de los cultivos más comunes. Las aguas subterráneas pueden tener mayores concentraciones de boro, en especial en las áreas donde el agua está en contacto con rocas ígneas u otros estratos que contengan boro. El contenido de boro en el agua se ha incrementado debido a la introducción de residuos industriales y al uso de ácido bórico y sus sales en preparados para limpieza.

La ingesta de boro a las concentraciones en que normalmente se encuentra en las aguas naturales no tiene efectos adversos en el hombre. La ingesta de grandes cantidades de boro puede afectar el sistema nervioso central, mientras que el consumo prolongado de agua que contiene boro puede producir una enfermedad conocida como borismo.

#### 2. Manipulación de las muestras

Se debe evitar el uso de recipientes de vidrio porque muchos tipos de vidrio contienen boro. Las muestras deben almacenarse en frascos de polietileno o cristalería libre de boro y resistente a la alcalinidad.

#### 3. Métodos

Se sugieren tres métodos para la determinación de boro en aguas naturales:

- Método colorimétrico de la curcumina: este método se aplica en aguas que contienen 0,10 a 1,00 mg/l de boro. La muestra de agua se acidifica y evapora en presencia de curcumina, con lo cual se forma un producto rojizo llamado rosocianina. Luego la muestra se extrae con etanol y el color rojo se compara fotométricamente con los estándares.
- Método colorimétrico azometina-H: este método se aplica para variaciones de 0,04 a 1,00 mg/l de boro. Entre la azometina-H y el boro disuelto de la muestra de agua se forma un complejo amarillo.
- Método colorimétrico carmín: este método se aplica a concentraciones de boro de 1,0 a 10,0 mg/l. En presencia de boro, la solución de carmín o ácido carmínico en ácido sulfúrico concentrado pasa de un rojo brillante a un rojo azulino o azul, según sea la concentración de boro.

### Cloruro

#### 1. Aspectos generales

El anión cloruro generalmente está presente en las aguas naturales. Las altas concentraciones de cloruro en el agua se originan en las formaciones geológicas que lo contienen. De otro modo, un alto contenido de cloruro puede indicar que hay contaminación por desagües cloacales o residuos industriales o por intrusión de agua de mar u otro tipo de agua salina. El sabor salado producido por el cloruro depende de la composición química del agua. Se puede detectar una concentración de 250 mg/l en algunas aguas que contienen iones sodio. Por otra parte, aguas que contengan 1000 mg/l de cloruro pero en las que predominen los iones calcio y magnesio no poseen el típico sabor salado. Un alto contenido de cloruro también tiene efectos negativos en cañerías, estructuras metálicas y en plantas agrícolas.

#### 2. Manipulación de las muestras

Recolectar muestras representativas en frascos de vidrio o de plástico limpios y químicamente resistentes. No se requiere de ningún conservador especial cuando la muestra debe ser almacenada.

#### 3. Métodos

Se sugieren tres métodos:

- El método argentométrico se adecua a aguas relativamente claras cuando la concentración de Cl es de 0,15 a 10,0 mg/l. En este método, el cloruro se determina en una solución neutra o levemente alcalina por titulación con nitrato de plata

estándar y usando el cromato de potasio como indicador. El cloruro de plata precipita cuantitativamente antes de que se forme el cromato de plata rojo.

- En el método del nitrato mercúrico el cloruro se titula con nitrato mercúrico,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , con lo que se forma el compuesto de cloruro mercúrico soluble y levemente disociado. A valores de pH de 2.3 a 2.8, la difenilcarbazona indica el punto final de la titulación por la formación de un complejo púrpura con los iones mercúricos en exceso. El punto final es más fácil de detectar que con el método argentométrico.
- El método potenciométrico se adecua a muestras coloreadas o turbias en las cuales es difícil registrar los puntos finales indicados por el color. El cloruro se determina por titulación con solución de nitrato de plata utilizando un sistema de electrodos de vidrio y plata-cloruro de plata. Se detecta el cambio del potencial entre los dos electrodos. El punto final de la titulación es aquella lectura del instrumento en el que se haya registrado el mayor cambio en el voltaje para un incremento pequeño y constante del nitrato de plata agregado.

### Fluoruro

#### 1. Aspectos generales

Si bien el fluoruro es considerado uno de los principales iones del agua de mar, su concentración en el agua de mar --1,3 mg/kg (salinidad = 35 g/kg)-- es representativa de las concentraciones en la mayoría de las aguas naturales. Solo en raras oportunidades las aguas naturales contienen concentraciones de fluoruro de hasta 10 mg/l; esto suele darse en las aguas subterráneas de regiones áridas. Por lo general, el fluoruro se agrega al agua potable para ayudar a prevenir las caries dentales. Tales agregados requieren de un estricto control de las concentraciones de fluoruro (aproximadamente 1,0 mg/l) porque mayores niveles de fluoruro manchan los dientes. La OMS ha propuesto un valor guía de 1,5 mg/l para el agua potable. La aplicación local de este valor debe tener en cuenta las condiciones climáticas y los niveles de consumo de agua.

El fluoruro frecuentemente se emplea en ciertos procesos industriales y, por consiguiente, se encuentra en las aguas residuales. Las principales industrias fuentes de fluoruro son las de coque, vidrio y cerámica, electrónica, fabricación de pesticidas y fertilizantes, vidrio y galvanoplastia y el procesamiento de acero y aluminio. Los niveles de residuos fluctúan entre varios cientos y varios miles de mg/l en corrientes no tratadas. Cabe destacar que el tratamiento convencional (lima) pocas veces reduce la concentración de fluoruro a menos de 8 a 15 mg/l sin dilución.

#### 2. Manipulación de las muestras

Por lo general, para la recolección y almacenamiento de muestras destinadas a la determinación de fluoruro, se prefieren frascos de polietileno limpios, siempre y cuando no se prevean pérdidas por evaporación a largo plazo. Se debe evitar el uso de frascos de vidrio o pyrex, pero se los puede utilizar si no se mantiene un pH bajo, si han sido limpiados adecuadamente y si previamente no han estado en contacto con soluciones con un alto contenido de fluoruro. Se debe evitar el pre-tratamiento con altos niveles de tiosulfato de sodio (inferior a 100 mg/l).

#### 3. Métodos

- En el método de referencia, el fluoruro se determina potenciométricamente utilizando un electrodo ion específico junto con un electrodo estándar de referencia y un medidor de pH que tenga una capacidad de escala expandida. Existen medidores de iones específicos que tienen una escala directa de concentración para el fluoruro. El método es aplicable a todas las aguas naturales y residuales que tengan una concentración de fluoruro superior a 0,05 mg/l.
- El método colorimétrico secundario se emplea en muestras de agua en las cuales el fluoruro ha sido separado de otros componentes no volátiles por conversión a ácido fluorhídrico o fluosilícico y posterior destilación. El destilado que contiene fluoruro reacciona con el reactivo azul de lantano flúor alizarina para formar un complejo azul que se mide fotométricamente a 620 nm. El método se aplica a aguas potables, superficiales y salinas así como a residuos domésticos e industriales. La sensibilidad del método, que se puede modificar usando un colorímetro ajustable, es de 0,1 a 2,0 mg F/l.

### Amoníaco

#### 1. Aspectos generales

El amoníaco se forma por desaminación de compuestos orgánicos nitrogenados y por hidrólisis de la urea. El amoníaco es fácilmente captado por las plantas y puede contribuir a la productividad biológica si se da la siguiente condición: en presencia de suficiente oxígeno se oxida fácilmente a nitritos y nitratos (nitrificación). En condiciones anaeróbicas, el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ) y no-ionizado ( $\text{NH}_3$ ). El amoníaco no-ionizado es tóxico para los peces a concentraciones relativamente bajas; sin embargo, está en equilibrio con el ion  $\text{NH}_4^+$  menos tóxico y, para el pH y temperatura de la mayor parte de las aguas naturales, su concentración relativa es bastante baja.

Las concentraciones de amoníaco varían de menos de 10 µg de nitrógeno de amonio/l en algunas aguas superficiales y subterráneas a más de 30 mg/l en aguas residuales.

## 2. Manipulación de las muestras

Si la determinación de la muestra no se puede llevar a cabo inmediatamente después de ser recolectada, lo mejor es enfriarla a 4°C. La preservación química se puede realizar agregando de 20 a 40 mg de HgCl<sub>2</sub> ó 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a un litro de muestra.

Con respecto a las muestras de aguas servidas, la urea presente se hidroliza por las ureasas que generalmente existen; la reacción se completa después que el agua servida ha sedimentado y pasado a la etapa de oxidación biológica. Las muestras de aguas servidas crudas requieren un almacenamiento de un día en el laboratorio antes de que toda la urea se convierta en amoníaco libre; el análisis de éste es comparable con el del agua servida sedimentada.

## 3. Métodos

La concentración de amoníaco y la presencia de interferentes son los dos principales factores que determinan el método de análisis. En general, la determinación manual directa de niveles bajos de amoníaco está restringida a aguas potables, aguas superficiales limpias y a aguas residuales nitrificadas de buena calidad. Cuando existen interferentes y se requiere una mayor precisión, es necesaria una etapa de destilación preliminar (Standard Methods, 1989). Después de la destilación, se pueden efectuar las siguientes pruebas opcionales:

- El método titrimétrico es la referencia para aguas residuales y puede aplicarse a aguas superficiales y subterráneas contaminadas en las cuales las concentraciones de NH<sub>3</sub> -N son generalmente superiores a 5 mg/l.
- El método colorimétrico de Nessler es sensible a 20 µg NH<sub>3</sub> -N/l bajo condiciones óptimas y se puede usar hasta para 500 µg NH<sub>3</sub> -N/l.
- El método colorimétrico con fenatos tiene una sensibilidad de 10 µg NH<sub>3</sub> -N/l y es útil hasta para 500 µg NH<sub>3</sub> -N/l.

Hay dos técnicas que miden el amoníaco sin destilación preliminar. El método colorimétrico directo, que utiliza el reactivo de Nessler, supone la presencia de interferencias limitadas y se puede usar como prueba rápida de confirmación o para estimaciones de rutina. En el segundo método colorimétrico, la muestra es clorada en presencia de buffer fosfato, el hipoclorito excedente se destruye y el cloruro de amonio se determina con O-toluidina. Esta técnica automatizada se aplica a la medición del amoníaco en aguas superficiales con 1 a 150 µg NH<sub>3</sub>-N/l (Analytical Methods Manual, 1979).

### Nitrógeno orgánico y Kjeldahl total

#### 1. Aspectos generales

El nitrógeno Kjeldahl total se define como la suma del amoníaco libre y los compuestos de nitrógeno orgánico que se transforman en bisulfato de amonio durante el proceso de digestión. El método solo determina el nitrógeno en el estado tri-negativo pero no determina el nitrógeno en forma de azida, azina, azo, hidrazona, nitrato, nitrito, nitrilo, nitro, oxima y semicarbazona.

El nitrógeno orgánico se calcula como la diferencia entre el nitrógeno Kjeldahl total y el amoníaco libre. El nitrógeno orgánico también puede determinarse directamente mediante la remoción del amoníaco antes de la etapa de digestión.

#### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras deben almacenarse a 4°C y pueden preservarse mediante el agregado de 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado por litro. Las muestras deben analizarse dentro de las 24 horas de ser tomadas porque se puede producir la transformación del nitrógeno orgánico en amoníaco.

#### 3. Métodos

El método Kjeldahl es un procedimiento de digestión en el cual se incorpora ácido sulfúrico, sulfato de potasio y sulfato mercuríco (como catalizador) a una muestra de agua con el objeto de mineralizar el nitrógeno orgánico a bisulfato de amonio. El amoníaco luego se destila de un medio alcalino y es absorbido en ácido bórico. El amoníaco puede determinarse por titulación con ácido sulfúrico estándar con un indicador mixto. Este método se aplica a aguas subterráneas, aguas residuales y aguas salinas en las cuales las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl sean superiores a 0,5 mg/l N. Los valores menores pueden ser dudosos y deben determinarse usando un procedimiento de digestión ultravioleta descrito en el Analytical Methods Manual (1979).

Un método secundario se basa en la mineralización de la materia orgánica en un medio ácido seguida por la determinación de amoníaco por espectrofotometría de azul indofenol. (GEMS/Agua Guía Operativa, 1987).

## Nitrato

### 1. Aspectos generales

El nitrato, la forma más oxidada de los compuestos de nitrógeno, suele estar presente en aguas de uso agrícola porque es el producto final de la descomposición aeróbica de la materia orgánica nitrogenada. Las principales fuentes de nitrato son los fertilizantes químicos de las tierras cultivadas, el drenaje de corrales de engorde, aguas de uso doméstico y algunas aguas de uso industrial.

La determinación de nitrato ayuda a controlar el carácter y grado de oxidación en corrientes, en aguas subterráneas que penetran a través de las capas del suelo, en procesos biológicos y en el tratamiento avanzado de aguas residuales. Las aguas naturales no contaminadas generalmente contienen mínimas cantidades de nitrato. Las concentraciones excesivas en el agua potable son peligrosas para los niños: en el tracto intestinal, los nitratos se reducen a nitritos, los que pueden provocar metahemoglobinemia. En aguas superficiales, el nitrato es un nutriente captado por las plantas y transformado en proteína celular. La estimulación del crecimiento de las plantas, especialmente las algas, puede producir una eutroficación desagradable. La consiguiente muerte y descomposición de las plantas produce contaminación secundaria.

### 2. Manipulación de las muestras

Para evitar cambios en el balance de nitrógeno, la determinación del nitrato debe iniciarse inmediatamente después que la muestra ha sido recolectada. Si es necesario almacenarla, la muestra debe mantenerse a una temperatura apenas por encima del punto de congelación, con o sin conservadores tales como  $H_2SO_4$  (0,8 ml  $H_2SO_4$  (densidad 1.84) por litro de muestra) o  $HgCl_2$  (40 mg de mercurio como cloruro mercuríco por litro de muestra). Si se aplica la conservación ácida, la muestra debe neutralizarse a un pH de 7 inmediatamente antes de iniciar el análisis.

### 3. Métodos

Las determinaciones de nitrato son un tanto difíciles debido a los procedimientos relativamente complejos, a la posibilidad de que existan interferentes y a las limitadas fluctuaciones en la concentración que ofrecen diversos métodos --por consiguiente, se presentan algunos métodos que abarcan una amplia gama de concentraciones de  $NO_3^-$ -N. La selección del método que mejor se adecue a los tipos de muestra y al equipo disponible queda a criterio del laboratorista. El primer método se emplea para determinar la concentración de nitrato más nitrito.

- Método de reducción por cadmio. Usa gránulos de Cd o un catalizador granulado de cadmio-cobre para reducir el nitrato a nitrito. El nitrito producido, más el que estaba originalmente presente, se hace reaccionar con sulfanilamida para formar diazocompuestos. La reacción de acoplamiento se lleva a cabo en la muestra diazotada mediante la adición de dihidrocloruro de N-(1-naftil)-etilendiamina para formar un azo coloreado. La intensidad del azo coloreado, proporcional a las concentraciones de nitrato, se mide luego espectrofotométricamente. Se pueden obtener valores separados para el nitrato y el nitrito siguiendo el procedimiento sin la etapa de reducción por cadmio. Este método se usa con aguas superficiales, subterráneas y residuales en las que las concentraciones de  $NO_3^-$  varían de 0,005 a 2,0 mg/l N.
- Método colorimétrico de la brucina. Mide el complejo amarillo formado por la reacción del nitrato con la brucina (GEMS/Agua Guía Operativa, 1987).
- Método del ácido cromotrópico. Es una técnica colorimétrica basada en el color amarillo producido por la reacción del nitrato con el ácido cromotrópico (ácido 1,8-dihidroxinaftaleno-3, 6-bisulfónico) (GEMS/Agua Guía Operativa, 1987).
- Método de aleación de Devarda. Utiliza una reducción de nitrato a amoníaco por hidrógeno nascente con aleación de Devarda (59% Al, 39% Cu, 2% Zn). El amoníaco resultante se destila y se mide por titulación o colorimétricamente con el reactivo de Nessler (GEMS/Agua Guía Operativa, 1987).

## Nitrito

### 1. Aspectos generales

En las aguas el nitrito se forma por oxidación de los compuestos de amonio o por reducción del nitrato. Como etapa intermedia en el ciclo del nitrógeno, es inestable. Las concentraciones usuales en las aguas naturales son de unas décimas de mg/l. En aguas servidas y residuos industriales se encuentran cantidades mayores, especialmente en los efluentes purificados biológicamente y en corrientes contaminadas. La concentración de nitrito en las muestras recolectadas puede cambiar muy rápidamente debido a conversiones bacterianas oxidantes o reductoras.

### 2. Manipulación de las muestras

La determinación debe hacerse rápidamente en muestras frescas para impedir la conversión bacteriana del nitrito en nitrato o amoníaco por acción de las bacterias. Nunca se debe usar preservación ácida en las muestras para determinar nitrito. Es posible la preservación a corto plazo --1 ó 2 días-- por congelación (-20°C) o por el agregado de 40 mg de ion mercuríco como  $HgCl_2$  por litro de muestra, con almacenamiento a 4°C.

### 3. Métodos

En este método colorimétrico el nitrito reacciona en un medio fuertemente ácido con la sulfanilamida. El diazocompuesto resultante se acopla con dicloruro de N-(1-naftil)-etilendiamina para formar un azocompuesto intensamente rojizo. La absorbancia del tinte es proporcional a la concentración de nitrito presente. El método es aplicable a una variación de 0,01 a 1,0 mg/l de nitrógeno de nitrito. Las muestras con concentraciones mayores deben ser diluidas.

## Fósforo

### 1. Aspectos generales

El fosfato ingresa a las aguas naturales por el desgaste de las rocas. Según sea el pH, el ortofosfato puede darse en una de tres formas distintas (es decir,  $H_3PO_4$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ); las formas predominantes para un pH de 6 a 8 son  $H_2PO_4^-$  (10%) y  $HPO_4^{2-}$  (90%). La segunda es la principal forma nutriente. Los ortofosfatos están biológicamente disponibles. Una vez que han sido asimilados, se transforman en fósforo orgánico y en fosfatos condensados. A la muerte de un organismo, los fosfatos condensados se liberan en el agua. Sin embargo, no están disponibles para la captación biológica hasta que hayan sido hidrolizados en ortofosfatos por las bacterias. La disponibilidad de fósforo para la biota depende de los niveles de captación y liberación por la biota, de la evolución química (por ejemplo, fósforo ligado orgánico o inorgánico) y de la abundancia relativa y tiempo de residencia de la fracción de fósforo disuelto.

Las aguas subterráneas contienen muy pequeñas cantidades de fosfatos, por lo general menos de 0,1 mg/l, a excepción de las aguas de suelos que contienen fosfatos o que están contaminadas con materia orgánica.

Los ortofosfatos son suministrados por los fertilizantes. Los fosfatos condensados se usan para el tratamiento del agua. Son parte importante de muchos preparados para limpieza (detergentes). Los compuestos organofosforados originados en los procesos biológicos son componentes comunes de las aguas servidas. Los compuestos de fósforo ingresan a las aguas naturales a través de las aguas residuales y de la escorrentía de tormentas. Pueden provocar una contaminación secundaria por ser nutrientes esenciales. En las aguas en que el fósforo es un nutriente que restringe el crecimiento, estimula el crecimiento de micro- y macro-organismos acuáticos fotosintéticos en cantidades indeseables.

La presencia de diferentes compuestos fosforados en las aguas y los procedimientos analíticos para su determinación dan lugar a la siguiente clasificación:

#### CLASIFICACION DE LAS FRACCIONES DE FOSFORO

Tipos químicos	Estados físicos		
	Total	Disuelto filtrable	En suspensión
Total	a.Fósforo total disuelto y en suspensión	e. Fósforo total filtrable (disuelto)	i. Fósforo total en suspensión
Ortofosfato	b.Ortofosfato total disuelto y en suspensión	f. Ortofosfato filtrable (disuelto)	j. Ortofosfato en suspensión
Fosfato ácido hidrolizable	c.Acido hidrolizable total disuelto y en suspensión	g. Fosfato ácido hidrolizable filtrable (disuelto)	k. Fosfato ácido hidrolizable en suspensión
Organofósforo	d.Organofósforo total disuelto y en suspensión	h. Organofósforo filtrable (disuelto)	l. Organofósforo en suspensión

En el programa revisado GEMS/Agua, solo se requieren datos sobre el fósforo total, es decir, no filtrado (a), disuelto (e) y en suspensión (i).

### 2. Manipulación de las muestras

Si hay que diferenciar formas de fósforo, la muestra debe filtrarse inmediatamente después de su recolección. Se la debe preservar a -10°C o menos. Agregar 40 mg de  $HgCl_2/l$  a la muestra, especialmente cuando va a ser almacenada durante periodos

prolongados. Para la determinación de las formas de fósforo, no agregar ni ácido ni  $\text{CHCl}_3$  como conservador. Para los análisis del fósforo total, agregar 1 ml de  $\text{HCl}/l$  concentrado o congelar sin ningún agregado.

No se debe almacenar muestras que contengan bajas concentraciones de fósforo, a menos que se encuentren en estado de congelación, a fin de evitar la absorción de fósforo por las paredes del frasco. Enjuagar todos los frascos de vidrio con  $\text{HCl}$  caliente y diluido seguido por varios enjuagues más con agua destilada. Evitar el uso de detergentes que contengan fosfato para la limpieza de cristalería.

### 3. Métodos

Los análisis de fósforo comprenden dos etapas generales: (a) la conversión del fósforo en ortofosfato disuelto y (b) la determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto. La separación del fósforo en sus diversas formas se define analíticamente, pero estas diferenciaciones son estructurales con el objeto de contribuir a la interpretación de los datos.

La filtración a través de una membrana filtrante de  $0,45 \mu\text{m}$  separa las formas disueltas de las formas en suspensión del fósforo. Sin embargo, ésta no es una verdadera separación del fósforo disuelto y en suspensión; simplemente constituye una técnica analítica conveniente y replicable. Por consiguiente, se prefiere el término "filtrable" a "soluble".

- Ortofosfato. El ortofosfato o "fósforo reactivo" es un fosfato que responde a las pruebas colorimétricas sin hidrólisis preliminar o digestión oxidativa de la muestra. El ortofosfato se da en forma disuelta (filtrable) y en suspensión. Se recomiendan dos métodos de análisis basados en la concentración de fósforo:

(a) Para concentraciones de fósforo de  $0,01$  a  $6,0 \text{ mg}/l$  se recomienda el método del ácido ascórbico, que es una técnica colorimétrica. En este método, el molibdato de amonio y el tartrato antimónico potásico reaccionan en un medio ácido con el ortofosfato para formar un heteropolíacido - ácido fosfomolibdico que se reduce a un azul de molibdeno intensamente coloreado por el ácido ascórbico.

(b) Para concentraciones de fósforo de  $<20 \mu\text{g}/l$  y para incrementar la sensibilidad del análisis, se aplica una etapa de extracción en la cual el complejo azul de molibdeno de hasta  $200 \text{ ml}$  de muestra se extrae en un volumen relativamente pequeño de hexanol.

- Fosfato ácido-hidrolizable (inorgánico). Esta fracción generalmente incluye fosfatos condensados tales como piro-fosfato, tripoli-fosfato y especies de mayor peso molecular, como los hexametafosfatos. Además, algunas aguas naturales contienen compuestos de fosfato orgánico que se hidrolizan en ortofosfatos en las condiciones del análisis. En este procedimiento, la hidrólisis ácida a la temperatura de ebullición del agua convierte los fosfatos condensados disueltos y en suspensión en ortofosfato disuelto, el que luego se mide colorimétricamente, como se indica en el método "ortofosfato".
- Fósforo total. Esta fracción incluye el ortofosfato y el fósforo ácido hidrolizable y orgánico. Dado que el fósforo puede aparecer en combinación con el fósforo orgánico, se requiere una etapa de digestión para oxidar la materia orgánica y liberar el fósforo como ortofosfato disuelto. A continuación se sugieren diversos procedimientos de digestión. El método del ácido perclórico, el más drástico y lento, se recomienda solo para muestras particularmente difíciles, como los sedimentos. El método del ácido nítrico-sulfúrico se recomienda para la mayoría de las muestras. Sin embargo, el método más simple es sin dudas la técnica de oxidación con persulfato. Después de la digestión, el ortofosfato disuelto se mide colorimétricamente.

El fósforo total así como las fracciones disueltas (filtrables) y en suspensión se pueden dividir analíticamente en ortofosfato y fósforo ácido hidrolizable y orgánico. Cabe destacar que las determinaciones solo se llevan a cabo en muestras filtradas y no filtradas. Las fracciones en suspensión se calculan por diferencia.

## Oxígeno disuelto

### 1. Aspectos generales

El oxígeno disuelto en las aguas superficiales proviene principalmente de la atmósfera y de la actividad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas. En las aguas superficiales de los lagos, la fotosíntesis puede producir una sobre-saturación durante el día mientras que la respiración puede dar lugar a una concentración muy por debajo del punto de saturación durante la noche. El oxígeno es moderadamente soluble en agua. Las concentraciones de oxígeno disuelto varían diariamente y por estación y dependen de las especies de fitoplancton presentes, de la penetración de luz, de la disponibilidad de nutrientes, de la temperatura, de la salinidad, del movimiento del agua, de la presión parcial del oxígeno atmosférico en contacto con el agua, del espesor de la película superficial y de los niveles de bioagotamiento (por organismos acuáticos y procesos de oxidación y descomposición).

En las aguas del fondo de lagos y embalses, la concentración de oxígeno disuelto puede disminuir por oxidación de los residuos y nutrientes inorgánicos y por los procesos que consumen materia orgánica. El ritmo y el alcance de la descomposición es una función del tipo de materia disponible y de la composición y cantidad de bacterias. Si estos procesos exceden el suministro de oxígeno, el agua puede tornarse anaeróbica. En tales condiciones, los organismos acuáticos pueden verse afectados tanto por los

efectos del bajo oxígeno disuelto como por los cambios químicos en la columna de agua; por ejemplo, mayor solubilidad de los elementos traza de los sedimentos del fondo.

La concentración de oxígeno disuelto es importante para evaluar la calidad del agua superficial y para controlar el proceso de tratamiento de residuos. Es esencial para la respiración aeróbica y es un indicador de la actividad biológica (es decir, fotosíntesis) en una masa de agua. El oxígeno disuelto está relacionado con la corrosividad y septicidad del agua.

## 2. Manipulación de las muestras

Tomar las muestras con mucho cuidado para evitar el contacto con el aire o cualquier agitación. Se han desarrollado procedimientos y equipo para la recolección de muestras de agua bajo presión y de aguas no confinadas, como corrientes, ríos y embalses (Standard Methods, 1989, APHA). Lo ideal es que la muestra se tome de modo tal que el desplazamiento múltiple del líquido en el recipiente de muestras se produzca sin que la agitación dé lugar a burbujas de aire. Si se van a usar conservadores químicos, éstos deben agregarse inmediatamente después de la recolección de la muestra ya que se pueden producir cambios rápidos en el oxígeno disuelto. Registrar la temperatura de la muestra al grado Celsius más cercano y, si se requieren registros precisos, tomar nota de la presión barométrica.

## 3. Métodos

Se recomiendan dos métodos:

- La prueba iodométrica (método de Winkler) es el procedimiento titrimétrico más preciso y confiable para el análisis del oxígeno disuelto. La muestra es tratada con sulfato manganoso y con un reactivo de yoduro fuertemente alcalino. El hidróxido manganoso que se forma reacciona con el oxígeno disuelto en la muestra para formar un precipitado marrón, el hidróxido manganoso. Con la acidificación y en presencia de yoduro, el yodo es liberado en una cantidad equivalente al oxígeno disuelto originalmente presente. Posteriormente, el yodo se titula con tiosulfato de sodio. Modificaciones a la titulación de Winkler incluyen el agregado de azida sódica y el tratamiento de la muestra con permanganato ácido para eliminar las interferencias del nitrato y del hierro ferroso respectivamente.
- El método de la membrana-electrodo se basa en la difusión del oxígeno molecular a través de una membrana y en su reducción en la superficie del electrodo. Este método es particularmente útil con residuos resistentes que interfieren con los métodos iodométricos o sus modificaciones. Se adecua a las pruebas de campo, especialmente para ser usadas in situ y para el monitoreo continuo.

## Selenio

### 1. Aspectos generales

La química del selenio es similar en muchos aspectos a la del azufre, pero el selenio es un elemento mucho menos común. Las concentraciones de selenio en el agua suelen ser de unos pocos microgramos por litro, pudiendo llegar a 50-300 µg/l en áreas seleníferas. En las aguas de drenaje de suelos seleníferos bajo riego, se han registrado concentraciones de hasta 1 mg/l. Se ha informado acerca de agua de pozo que contiene 9 mg de selenio por litro.

Poco es lo que se sabe sobre el estado de oxidación del selenio en el agua. El selenio se da en el suelo como selenita férrica básica, seleniato de calcio y como selenio elemental. Aunque la solubilidad del selenio elemental es limitada, puede estar presente en el agua en forma elemental, así como los aniones de seleniato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ), selenita ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) y selenuro ( $\text{Se}^2$ ). Además, se conocen muchos compuestos orgánicos de selenio. No se comprende aún el control geoquímico de las concentraciones de selenio en el agua, pero su adsorción por sedimentos y materia en suspensión parece ser importante.

El selenio es un elemento esencial y beneficioso requerido por los animales en cantidades traza pero es tóxico cuando es ingerido en mayores cantidades. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un límite tentativo de 0,01 mg/l para el selenio en el agua potable. En el hombre, los síntomas de envenenamiento por selenio son similares a los del envenenamiento por arsénico. El envenenamiento de animales por selenio se produce durante el pastoreo en áreas donde la vegetación contiene niveles tóxicos de selenio porque los suelos son altamente seleníferos. En general, tales suelos se encuentran en zonas áridas o semiáridas de limitada actividad agrícola. Además, en muchas partes del mundo existe deficiencia de selenio en los animales lo cual provoca grandes pérdidas en la producción de animales.

### 2. Manipulación de las muestras

Se ha descubierto que el vidrio Pyrex y los frascos de polietileno absorben selenio en concentraciones de alrededor 1 µg/l. Si la muestra va a ser almacenada, recolectarla en frascos de polietileno y acidificarla mediante la incorporación de 1,5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado por litro.

### 3. Métodos

Se recomiendan dos métodos generales:

- El método AAS se aplica para aguas superficiales, subterráneas y salinas y para residuos industriales; mide el selenio en concentraciones de 2 a 20  $\mu\text{g}/\text{l}$ . El procedimiento implica la destrucción de todos los organoselenuros con persulfato ácido, la reducción de todas las formas de selenio a selenito con una mezcla de yoduro de potasio-cloruro estannoso y una posterior reducción de selenito a selenuro de hidrógeno a través de la generación de hidrógeno con aluminio o zinc en ácido. El  $\text{H}_2\text{Se}$  luego es separado de la solución con argón y llevado a la llama de hidrógeno de un AAS para medir el Se. Una versión que mejora la sensibilidad de este método emplea un horno tubular en el AAS y puede alcanzar niveles de detección de 0,1  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Analytical Methods Manual, 1979).
- El método colorimétrico usa diaminobenzidina o 2,3-diaminonaftaleno para que reaccionen con el selenito y produzcan un compuesto piazselenol de brillante color y marcadamente fluorescente. El piazselenol luego se extrae con tolueno (Manual GEMS) o ciclohexano y se mide colorimétrica o fluorométricamente. (GEMS/Agua Guía Operativa, 1987).

### Sílice reactiva

#### 1. Aspectos generales

El silicio le sigue al oxígeno en cuanto a abundancia en la corteza terrestre. Aparece como óxido (sílice) en el cuarzo y en la arena y se combina con metales en la forma de complejos silicato minerales, especialmente en las rocas ígneas. Las reacciones químicas que participan en la descomposición de los silicatos son altamente complejas. En general, se pueden representar como reacciones de hidrólisis en las que el reticulado del silicato está alterado. En la mayoría de estas reacciones, se forman minerales de arcilla y la sílice restante se libera. Esto da por resultado la presencia de sílice en aguas naturales, tanto como partículas en suspensión en estado coloidal o polimérico y como ácidos silícicos o iones silicato. Además del silicio en la materia mineral, el silicio en suspensión también se da en las paredes celulares de las diatomeas. Por lo general, no se conoce la forma real de la sílice en una muestra. Normalmente, la concentración de silicio presente en una muestra de agua se consigna como óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

La concentración de sílice en la mayor parte de las aguas naturales varía entre 1 y 30  $\text{mg}/\text{l}$  pero no es extraño encontrar concentraciones de hasta 100  $\text{mg}/\text{l}$ . Las concentraciones superiores a los 100  $\text{mg}/\text{l}$  son relativamente raras, aunque es dable encontrar concentraciones por encima de 1000  $\text{mg}/\text{l}$  en algunas aguas salobres y aguas de mar y, en particular, en las aguas geotermales asociadas a la actividad volcánica.

Para algunos usos industriales, la presencia de sílice en el agua es un inconveniente porque forma incrustaciones de sílice y de silicato en ciertos equipos que son difíciles de eliminar. En especial, la sílice afecta el agua de alimentación de calderas; se puede formar un depósito de sílice pura en las paletas de turbinas a vapor de alta presión. La eliminación de sílice suele hacerse por desionización utilizando resinas básicas intercambiadoras de aniones o mediante destilación. Algunas plantas más antiguas usan un precipitado con óxido de magnesio en el proceso de ablandamiento con cal tanto en frío como en caliente.

#### 2. Manipulación de las muestras

Todas las muestras deben almacenarse en frascos plásticos y evitar los de vidrio porque pueden liberar sílice. Las muestras para la determinación de sílice reactiva deben filtrarse a través de una membrana filtrante de 0,45  $\mu\text{m}$  inmediatamente después de su recolección. Todas las muestras deben almacenarse a 4°C sin conservadores y deben analizarse dentro de la semana de haber sido recolectadas.

#### 3. Métodos

Para todos los métodos se debe usar lotes de productos químicos con bajo contenido de sílice. Todos los reactivos deben almacenarse en frascos plásticos como una medida de precaución contra altos valores de blancos. El agua desionizada a menudo contiene trazas de sílice soluble; se recomienda usar agua destilada para los reactivos empleados en la determinación de sílice.

Hay dos métodos colorimétricos que se basan en la reacción de la sílice con el molibdato en solución ácida:

- En el método del molibdosilicato, el molibdato de amonio reacciona con la sílice a un pH de 1.2 para formar el ácido molibdosilícico, un compuesto amarillo cuya intensidad de color es proporcional a la concentración de sílice "molibdato reactiva". La mínima concentración detectable es de aproximadamente 1  $\text{mg SiO}_2/\text{l}$ .
- Para una mayor sensibilidad (nivel de detección de 20  $\mu\text{g SiO}_2/\text{l}$ ), el ácido molibdosilícico amarillo del método anterior se reduce por medio del ácido aminonaftol sulfónico a un heteropoliácido azul que es más intenso que el color amarillo. Una adaptación automatizada del método heteropoliácido azul utiliza un analizador de flujo continuo y es apto para agua potable, superficial y doméstica y otras aguas que contengan de 0 a 20  $\text{mg SiO}_2/\text{l}$ .

## Sulfato

### 1. Aspectos generales

El sulfato es un ion que abunda en la corteza terrestre y en invierno puede presentarse en elevadas concentraciones a causa de la lixiviación de yeso, sulfato de sodio y algunos esquistos. Debido a la oxidación de piritas, los desagües de minas pueden contener altas concentraciones de sulfato. El sulfato también proviene de compuestos orgánicos que contienen azufre y está presente en muchas descargas de residuos industriales. Las concentraciones de sulfato en las aguas naturales varían entre unos pocos mg a varios miles de mg por litro. El sulfato ejerce una acción catártica en presencia de iones magnesio o sodio. El umbral de sabor se encuentra entre 400 mg/l a 1000 mg/l, según sea la sensibilidad gustativa del consumidor. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un valor guía de 400 mg/l para el agua potable.

### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras pueden almacenarse en frascos de plástico o de vidrio. Se recomienda enfriar y almacenar las muestras durante no más de 7 días. Esto reduce las posibilidades de la reducción bacteriana del sulfato a sulfuro en las muestras contaminadas. La reducción del pH a menos de 8.0 inhibe la oxidación del sulfito a sulfato por el oxígeno disuelto.

### 3. Métodos

Se presentan cuatro métodos para diversas concentraciones de sulfato y condiciones de trabajo en el laboratorio:

- El método gravimétrico con ignición residual es apto para concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$  por encima de 10 mg/l. En estos casos, el sulfato precipita en una solución de HCl como sulfato de bario por el agregado de cloruro de bario. La precipitación se realiza cerca de la temperatura de ebullición y, después de un periodo de digestión, el precipitado se filtra, se lava con agua hasta que esté libre de Cl y se lo calcina y pesa como  $\text{BaSO}_4$ .
- El método turbidimétrico mide el  $\text{SO}_4^{2-}$  entre 1 y 40 mg/l. El ion sulfato precipita en un medio ácido con cloruro de bario para formar cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorbancia de luz de la suspensión de  $\text{BaSO}_4$  se mide con un fotómetro y la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  se determina comparando la lectura con una curva estándar.
- El método titrimétrico es aplicable a aguas superficiales y subterráneas que contengan de 5 a 150 mg  $\text{SO}_4^{2-}$ /l. El ion sulfato es titulado en una solución alcohólica en condiciones ácidas controladas con una solución estándar de cloruro de bario. Como indicador se usa torio.
- El método automatizado del azul de metiltimol se aplica a aguas potables, superficiales y salinas así como a las aguas residuales domésticas e industriales que contengan entre 10 y 300 mg de  $\text{SO}_4^{2-}$ /l. En este procedimiento, el sulfato de bario se forma por la reacción del  $\text{SO}_4^{2-}$  con el cloruro de bario a un pH bajo. A un pH elevado, el exceso de bario reacciona con el azul de metiltimol para producir un quelato azul. El azul de metiltimol no quelado es gris y se puede usar para cuantificar la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

### Coefficiente de adsorción de sodio (SAR)

El exceso de sodio en el agua de riego con respecto al calcio y al magnesio o al contenido total de sales puede tener efectos negativos en la estructura del suelo y reducir la velocidad del agua para ingresar en y moverse a través del suelo (infiltración, permeabilidad) y la aireación del suelo. Cuando el calcio es el catión predominante del complejo de intercambio del suelo, éste tiende a tener una estructura granular que lo hace permeable. Sin embargo, cuando el sodio adsorbido supera en un 10-15% el total de cationes, la arcilla húmeda se dispersa y se forman charcos --que reducen la permeabilidad-- y cuando la arcilla se seca se forma una costra dura e impermeable.

La magnitud del efecto del exceso de sodio se puede relacionar con la proporción relativa de iones sodio y calcio más los iones magnesio en el agua de riego. El Coeficiente de Adsorción de Sodio (SAR por sus siglas en inglés) se puede calcular de la siguiente manera:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

donde las concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , y  $\text{Mg}^{2+}$  se expresan en miliequivalentes por litro, como totales.

Cuando el SAR se aproxima a 10, la probabilidad de que surjan problemas de permeabilidad del suelo aumenta. Sin embargo, los posibles efectos del SAR en la permeabilidad se pueden contrarrestar con altas concentraciones de sales.

## 5.0 COMPONENTES ORGANICOS

### Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

#### 1. Aspectos generales

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba empírica con procedimientos de laboratorio estandarizados para estimar los relativos requerimientos de oxígeno de las aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas. Los microorganismos usan el oxígeno atmosférico disuelto en el agua para la oxidación bioquímica de la materia contaminante, que es su fuente de carbono. La demanda bioquímica de oxígeno, determinada por el método de dilución, se usa como una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable en una muestra.

Para tal fin, el método de dilución, aplicado correctamente a muestras en las que no se produce nitrificación, es probablemente el más adecuado, aunque en algunos casos hay que tener en cuenta los métodos manométricos. El laboratorista también debe considerar si la información requerida se puede obtener de otra forma. Por ejemplo, la prueba de oxígeno químico efectúa una oxidación virtualmente completa de la mayoría de las sustancias orgánicas y, de este modo, indica la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación completa de la muestra. En otros casos, particularmente en trabajos de investigación, la determinación del contenido de carbono orgánico puede ser más adecuada. En cualquier caso, los resultados obtenidos con la prueba de DBO nunca deben ser considerados en forma aislada sino dentro del contexto de las condiciones locales y de los resultados de otras pruebas.

La oxidación completa de un residuo dado puede requerir un período de incubación demasiado prolongado desde el punto de vista práctico. Por este motivo, se ha aceptado como norma el período de 5 días. Sin embargo, para ciertos desechos industriales y para las aguas contaminadas por ellos, es aconsejable determinar la curva de oxidación obtenida. Los cálculos de la demanda bioquímica final de oxígeno a partir de los valores de DBO de 5 días (por ejemplo, basados en cálculos que usan expresiones exponenciales de primer orden) no son correctos. La conversión de datos de un período de incubación a otro solo puede efectuarse si el curso de la curva de oxidación ha sido determinado para el caso individual mediante una serie de pruebas de DBO realizadas en diferentes períodos de incubación.

#### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras para el análisis de DBO se pueden degradar considerablemente durante el almacenamiento entre el momento de recolección y su análisis, lo que da lugar a valores bajos de DBO. Se debe minimizar la reducción de DBO analizando la muestra inmediatamente o enfriándola a una temperatura cercana al punto de congelación durante el almacenamiento. Sin embargo, aun a baja temperatura, conservar el menor tiempo posible. Calentar las muestras enfriadas a 20°C antes del análisis.

- Muestras aleatorias. Si el análisis se inicia dentro de las 2 horas de la recolección de la muestra, no es necesario conservar en frío. Si el análisis no se inicia dentro de las 2 horas de recolectada la muestra, conservarla a o por debajo de 4°C. Comenzar el análisis dentro de las 6 horas de tomada la muestra; si ello no fuere posible porque la zona de muestreo está alejada del laboratorio, almacenar la muestra a o por debajo de 4°C y junto con los resultados consignar duración del almacenamiento y temperatura. En ningún caso se debe iniciar el análisis pasadas 24 horas de la recolección de la muestra. Cuando las muestras se utilicen con fines regulatorios, se debe hacer todo lo posible por remitirlas para su análisis dentro de las 6 horas de haber sido tomadas.
- Muestras compuestas. Conservar las muestras a o por debajo de 4°C durante la composición de las mismas. Restringir el período de composición a 24 horas. Utilizar los mismos criterios que para el almacenamiento de muestras aleatorias, comenzando la medición del tiempo de retención a partir de la finalización del período de composición. Junto con los resultados, consignar duración y condiciones del almacenamiento.

#### 3. Métodos

El método consiste en llenar un recipiente hermético del tamaño especificado con líquido de muestra, hasta que se rebalse, e incubarlo a la temperatura indicada durante 5 días. El oxígeno disuelto (OD) se mide antes y después de la incubación y la DBO se computa a partir de la diferencia entre el OD inicial y final. Como el OD se determina inmediatamente después de efectuada la dilución, toda la captación de oxígeno, incluso la producida durante los primeros 15 minutos, se incluye en la medición de la DBO.

Interferencias e insuficiencias de la prueba de DBO:

- Si es necesario, ajustar el pH de la muestra entre 6.5 y 8.5 con álcali o ácido suficiente;
- Si la muestra es estéril, introducir una población biológica capaz de oxidar la materia orgánica en las aguas residuales (es decir, siembra);
- Si la muestra está sobresaturada con oxígeno disuelto, reducir la concentración de OD al nivel de saturación antes de la prueba;

- Si la muestra contiene cloro residual, dejarla reposar durante 1 ó 2 horas antes del ensayo o agregar bisulfito de sodio para eliminar el exceso de cloro y los compuestos que contienen cloro.

Existen muchos textos analíticos que proporcionan los niveles de dilución y las formulaciones para la composición del agua de dilución para la prueba de DBO (por ejemplo, Standard Methods, 1989, APHA).

### Demanda química de oxígeno (DQO)

#### 1. Aspectos generales

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa como una medida del oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible de ser oxidada por un oxidante químico fuerte. Es una variable importante que puede medirse rápidamente para determinar las características de corrientes, aguas servidas, desechos industriales y efluentes de plantas de tratamiento. En el caso de muestras de una fuente específica, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono orgánico o la materia orgánica. Una vez que se ha establecido la correlación, esta prueba es útil para monitoreo y control. Se prefiere el método de reflujo de dicromato a los que usan otros oxidantes por su mayor capacidad oxidante, aplicación a una amplia variedad de muestras y fácil manejo. La oxidación de la mayoría de los compuestos orgánicos es de un 95 a un 100% de su valor teórico. La piridina y los compuestos afines son resistentes a la oxidación en tanto que los compuestos orgánicos volátiles se oxidan solo cuando están en contacto con el oxidante. El amoníaco, presente en los desechos o liberado de materia orgánica que contiene nitrógeno, no se oxida en ausencia de una importante concentración de iones cloruro libres.

#### 2. Manipulación de las muestras

Es preferible recolectar las muestras en frascos de vidrio. Las muestras inestables se deben analizar inmediatamente. Si no fuere posible evitar las demoras antes del análisis, conservar la muestra acidificándola hasta lograr un pH  $\leq 2$  usando  $H_2SO_4$  concentrado. Mezclar las muestras que contengan sólidos sedimentables con un homogeneizador a fin de permitir un muestreo representativo. Efectuar diluciones preliminares en los desechos que contengan una alta DQO para reducir los errores inherentes a la medición de pequeños volúmenes de muestra.

#### 3. Métodos

El método del dicromato es el procedimiento de referencia para las determinaciones de DQO. En este método, la muestra se introduce en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio. Casi todos los tipos de materia orgánica se oxidan en la mezcla sulfocrómica en ebullición. Después de la digestión, el  $K_2Cr_2O_7$  restante no reducido se titula con sulfato de hierro y amonio para determinar la cantidad de  $K_2Cr_2O_7$  consumido y la materia orgánica oxidable se calcula en términos del equivalente de oxígeno.

### Carbono orgánico

#### 1. Aspectos generales

Por lo general, la concentración de carbono orgánico en las aguas superficiales es inferior a 10 mg/l, excepto donde hay una alta concentración de desechos municipales o industriales. Se pueden encontrar niveles mayores de carbono orgánico en aguas fuertemente coloreadas en tanto que las aguas de pantanos pueden tener concentraciones de carbono orgánico superiores a 100 mg/l. En las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, las concentraciones de carbono orgánico total pueden llegar a varios cientos de mg/l, pero las concentraciones en efluentes de una planta de tratamiento secundario suelen ser inferiores a 50 mg de carbono orgánico por litro.

#### 2. Manipulación de las muestras

Recolectar y almacenar las muestras en frascos de vidrio, preferiblemente de color marrón. Se pueden usar frascos plásticos después de hacer pruebas que demuestren la ausencia de sustancias carbonosas extraíbles. Las muestras que no se puedan analizar inmediatamente deben preservarse a temperaturas de 0° a 4°C, con exposición mínima a la luz y a la atmósfera, o se las debe acidificar con ácido sulfúrico para llegar a un pH no superior a 2 a fin de evitar la descomposición y oxidación. En todos los casos, se debe minimizar el tiempo de almacenamiento. El tiempo máximo de almacenamiento no debe ser superior a 7 días y, según sea el tipo de muestra, se recomienda un almacenamiento menor.

#### 3. Métodos

Para determinar la cantidad de carbono ligado orgánicamente, las moléculas orgánicas deben descomponerse en unidades individuales de carbono y transformarse en una sola forma molecular que pueda medirse cuantitativamente. Los métodos para el carbono orgánico total (COT) usan calor y oxígeno, irradiación ultravioleta, oxidantes químicos o una combinación de estos oxidantes para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono ( $CO_2$ ). El  $CO_2$  se puede titular químicamente.

Los métodos e instrumentos utilizados para medir el carbono orgánico analizan fracciones del carbono total (CT) y miden el carbono orgánico disuelto o en suspensión mediante dos o más determinaciones. Estas fracciones de carbono total se definen como

sigue: carbono inorgánico (CI) - carbonato, bicarbonato y CO<sub>2</sub> disueltos; carbono orgánico total (COT) - todos los átomos de carbono ligados covalentemente en moléculas orgánicas; carbono orgánico disuelto (COD) - la fracción de COT que pasa a través de un filtro milipor de 0,45 µm de diámetro; carbono orgánico no disuelto (COND) - también conocido como carbono orgánico en suspensión, la fracción de COT retenida por un filtro de 0,45 µm; carbono orgánico purgable (COP) - también conocido como carbono orgánico volátil, la fracción de COT eliminada de una solución acuosa mediante desgasificación en condiciones especificadas; y carbono orgánico no purgable (CONP) - la fracción de COT no eliminada por desgasificación.

En casi todas las muestras de agua, la fracción de CI es muchas veces mayor que la fracción de COT. La eliminación o compensación de las interferencias de CI requiere de múltiples determinaciones para medir el verdadero COT. La interferencia de CI se puede eliminar acidificando las muestras a un pH de 2 o menor para transformar las especies de CI en CO<sub>2</sub>. Luego, si la muestra se purga con un gas purificado, se elimina el CO<sub>2</sub> por volatilización. La purga de la muestra también elimina el COP, de modo tal que la medición del carbono orgánico efectuada después de eliminar las interferencias de CI es en realidad una determinación del CONP. El COP se determina para medir el verdadero COT. En muchas aguas superficiales y subterráneas, el aporte de COP al COT es ínfimo. Por lo tanto, en la práctica, la determinación del CONP se reemplaza por el COT.

### Clorofila a

#### 1. Aspectos generales

Para estimar la biomasa de fitoplancton se usa la concentración de pigmentos fotosintéticos. Todas las plantas verdes contienen clorofila a, que representa aproximadamente del 1 al 2% de todo el peso seco de las algas del plancton. Otros pigmentos que se dan en el fitoplancton son las clorofilas b y c, xantófila, ficobilina y caroteno. Los productos importantes de la degradación de la clorofila que se encuentran en los ambientes acuáticos son los clorofilidos, feoforbidos y feofitinas. La presencia o ausencia de los distintos pigmentos fotosintéticos se usa, entre otras cosas, para separar los principales grupos de algas.

#### 2. Manipulación de las muestras

Recolectar la muestra en un frasco de polietileno. Agregar de 0,1 a 0,2 ml de una suspensión de carbonato de magnesio; la muestra puede ser almacenada en un sitio oscuro y fresco durante un máximo de 8 horas. Sin embargo, es conveniente filtrar la muestra en el momento de recolectarla; el filtrado se puede conservar congelado hasta el momento del análisis. Sin embargo, los filtrados no deben almacenarse más que unos pocos días; por lo tanto, se deben extraer sin demora o, de otro modo, el resultado dará valores bajos.

#### 3. Métodos

Básicamente, la muestra de agua se filtra y el residuo se extrae con acetona para efectuar las determinaciones espectrofotométricas a las longitudes de onda especificadas. Los valores de clorofila se calculan con las ecuaciones SCOR/UNESCO. Para mayores detalles sobre el método, véase el Capítulo VI de esta Guía.

### Análisis de trazas de sustancias orgánicas

Los métodos analíticos para los componentes de trazas de sustancias orgánicas en el agua consisten en aislar y concentrar las sustancias orgánicas de una muestra mediante la extracción por solvente o gas, separar los componentes e identificar y cuantificar los componentes con un detector. Existen varias técnicas de extracción que permiten analizar los niveles ultratrazas (partes por trillón) de contaminantes orgánicos.

Mediante el análisis de extracción en circuito cerrado (CLSA por sus siglas en inglés), se extraen del agua los compuestos orgánicos volátiles de peso molecular intermedio a través de una corriente de aire recirculante. Las sustancias orgánicas se remueven de la fase gaseosa por medio de un filtro de carbón activado y se extraen con disulfuro de carbono para su análisis. Durante el procedimiento de purga y separación, que también se adecua a los compuestos volátiles, se hace burbujear un gas inerte a través de la muestra para concentrar las sustancias orgánicas. El gas recolector luego se concentra en un colector absorbente, del cual se liberan los compuestos orgánicos para su medición.

El cromatógrafo en fase gaseosa (CG) que se usa para separar las sustancias orgánicas individuales consiste en una fase móvil (gas conductor) y una fase estacionaria (envoltura de la columna o revestimiento de la columna capilar). Cuando la solución de la muestra se introduce en la columna, los compuestos orgánicos se vaporizan y son transportados a lo largo de la columna por el gas conductor. La velocidad de migración de los compuestos individuales en la columna varía de acuerdo con las diferencias en los coeficientes de partición entre las fases móvil y estacionaria.

Existen varios detectores para los sistemas CG:

- (1) El detector de conductividad electrolítica es un dispositivo sensible y específico para cada elemento que se emplea en el análisis de halocarbonos purgables, pesticidas, herbicidas, productos farmacéuticos y nitrosaminas.

- (2) El detector de captación de electrones se utiliza para medir los compuestos orgánicos con una alta afinidad electrónica, tales como los pesticidas clorados, las drogas y sus metabolitos. Es muy sensible a las moléculas que contienen grupos electronegativos --halógenos, peróxidos, quinonas y grupos nitro-- pero es relativamente insensible a grupos funcionales tales como aminas, alcoholes e hidrocarburos.
- (3) El detector de ionización a llama tiene una amplia difusión debido a su sensibilidad a la mayoría de los compuestos orgánicos, gran variedad de respuesta lineal, confiabilidad y facilidad de uso y rápida respuesta.
- (4) El detector de fotoionización es de alta sensibilidad, produce poco ruido, tiene una gran respuesta lineal, no es destructivo y se lo puede usar como detector universal o selectivo.
- (5) El espectrómetro de masa puede detectar una amplia variedad de compuestos y puede deducir estructuras de compuestos orgánicos a partir de patrones de fragmentación o espectros de masa. El espectrómetro cuádruple de masa tiene una amplia aplicación en el análisis de agua y de aguas residuales.

### Hidrocarburos totales

#### 1. Aspectos generales

El total de hidrocarburos se puede determinar como una segunda etapa en los análisis de aceite y grasa. El aceite y la grasa constituyen un grupo de sustancias con características físicas similares que se miden cuantitativamente en base a su solubilidad común en el triclorotrifluoretano. La metodología para el análisis de aceite y grasa es apta tanto para los lípidos biológicos como para los hidrocarburos minerales.

Ciertos componentes medidos por el análisis de aceite y grasa pueden influir en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Si están presentes en cantidades excesivas, pueden interferir con los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos y producir una menor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales. Cuando se descargan en aguas residuales o en efluentes tratados, pueden producir películas superficiales y depósitos a lo largo de las costas, lo que da lugar a la degradación ambiental. Es conveniente conocer la cantidad de aceite y grasa presentes para diseñar y operar adecuadamente los sistemas de tratamiento de aguas residuales y para llamar la atención sobre ciertas dificultades en el tratamiento.

#### 2. Manipulación de las muestras

Extraer una muestra representativa en un frasco de boca ancha que haya sido enjuagado con el solvente para eliminar cualquier película de detergente y acidificarla en el frasco de muestras. Tomar una muestra separada para la determinación de aceite y grasa y no subdividirla en el laboratorio. Cuando se requiera información sobre la concentración promedio de grasa durante un período prolongado, examinar las porciones individuales tomadas a intervalos prescritos para eliminar pérdidas de grasa en el equipo de muestreo durante la extracción de una muestra compuesta.

Al analizar muestras de cienos, se deben tomar todas las precauciones posibles para obtener una muestra representativa. Cuando el análisis no se pueda efectuar inmediatamente, preservar las muestras con 1 ml de HCl/80 concentrado por gramo de muestra. Las muestras nunca se deben conservar con  $\text{CHCl}_3$  o benzoato de sodio.

#### 3. Métodos

El análisis de aceite y grasa, generalmente el primer paso para la determinación de hidrocarburos, consiste en una extracción inicial de la muestra líquida por triclorotrifluoretano. El aceite y grasa extraídos se miden con uno de los siguientes tres métodos:

- el método gravimétrico de partición;
- el método infrarrojo de partición, diseñado para muestras que contengan hidrocarburos volátiles y sensible a bajos niveles de aceite y grasa (es decir, <10 mg/l); y
- el método Soxhlet, empleado cuando hay fracciones de petróleo pesado relativamente polar o cuando hay altos niveles de grasas no-volátiles que pudieran exceder el límite de solubilidad del solvente de extracción.

### Hidrocarburos totales clorados

#### 1. Aspectos generales

El total de hidrocarburos clorados es una medida de la materia orgánica halogenada en una muestra de agua. Los compuestos halógenos orgánicos disueltos (DOX por sus siglas en inglés) o haluros orgánicos adsorbibles (AOX por sus siglas en inglés) indican contaminación química sintética e incluyen, pero no se restringen, a: los trihalometanos (THMs); solventes orgánicos --tales como el tricloroetano, tetracloroetano y otros alcanos y alquenos halogenados--; pesticidas y herbicidas clorados y bromados; bifenilos policlorados (PCBs); compuestos aromáticos clorados --tales como el hexaclorobenceno y 2,4-diclorofenol--; y sustancias húmicas

acuáticas parcialmente cloradas de alto peso molecular. Los métodos específicos para cada compuesto, tales como la cromatografía en fase gaseosa, suelen ser más sensibles que las mediciones de AOX.

El análisis de AOX es un método barato y útil para un primer análisis de grandes cantidades de muestras antes de efectuar los análisis específicos (a menudo más complejos); para realizar estudios preliminares sobre la contaminación por ciertos tipos de compuestos orgánicos sintéticos en aguas naturales; para confeccionar un mapa del alcance de la contaminación por organohaluros en aguas subterráneas; para controlar la presencia de algunos compuestos orgánicos sintéticos en los procesos de tratamiento de aguas y para estimar el nivel de formación de sub-productos orgánicos clorados después de la desinfección con cloro. Cuando se lo utiliza como herramienta de ensayo, un resultado francamente positivo de la prueba de AOX (es decir, por encima de las mediciones básicas) indica la necesidad de identificar y cuantificar sustancias específicas. La alta concentración de halógenos orgánicos interfiere en las aguas salinas o salobres. Cuando se interpretan los resultados, siempre hay que tener en cuenta la posibilidad de sobreestimar la concentración de AOX debido a la interferencia de haluros inorgánicos.

## 2. Manipulación de las muestras

Extraer muestras compuestas durante una hora y almacenarlas en frascos de vidrio ámbar. Si no se dispone de frascos de vidrio ámbar, se pueden usar frascos de polietileno, pero deben guardarse en lugares oscuros. Acidificar las muestras tomadas aguas abajo de una planta de tratamiento biológico a un pH de 1.5-2.0 con ácido nítrico. Llenar los frascos completamente con la muestra y sellarlos. Para los efluentes de plantas de blanqueado que contienen cloro residual, agregar cristales de sulfito de sodio. Si las muestras no se pueden analizar inmediatamente, enfriarlas a 4°C con una exposición mínima a la luz. En todos los casos se debe consignar la duración y la temperatura de almacenamiento.

## 3. Métodos

El método implica la adsorción de materia orgánica halogenada en carbono granular activado (CGA). Los haluros inorgánicos que también se adsorben en el carbón se eliminan mediante el lavado con una solución de nitrato. El CGA con materia orgánica adsorbida es pirolizado en un horno de combustión y los haluros resultantes, incluidos el cloruro, bromuro y yoduro, se determinan por titulación microculométrica y se consignan como cloruro. Las sustancias orgánicas fluoradas no son detectables.

El método se describe en Standard Methods, 1989, APHA.

## Fenoles

### 1. Aspectos generales

Los fenoles se definen como hidroxiderivados de benceno y sus núcleos condensados pueden encontrarse en aguas residuales domésticas e industriales, aguas naturales y suministros de agua potable. La cloración de estas aguas puede producir clorofenoles olorosos y de sabor desagradable. Los procesos para la eliminación de fenoles durante el tratamiento del agua incluyen supercloración, tratamiento con dióxido de cloro o cloramina, ozonación y adsorción de carbón activado.

### 2. Manipulación de las muestras

Los fenoles que comúnmente se encuentran en las aguas residuales están sujetos a oxidación biológica y química. Preservar y almacenar las muestras a 4°C o menos, salvo que se analicen dentro de las 4 horas posteriores a la extracción. Acidificar con 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l concentrado. Las muestras pueden almacenarse hasta 4 semanas a 4°C. Las muestras preservadas y almacenadas deben ser analizadas dentro de los 28 días después de su extracción.

### 3. Métodos

El método colorimétrico es apto para medir el total de compuestos fenólicos en concentraciones que varían de 1 a 250 µg/l utilizando el fenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH) como norma. Los fenoles destilables reaccionan con la 4-aminoantipirina a un pH de 7.9 ± 0.1 en presencia de ferricianuro de potasio para formar un compuesto antipirina coloreado. Este compuesto se extrae de una solución acuosa con cloroformo y la absorbancia se mide a 460 nm. Para compuestos fenólicos particulares, están los métodos de cromatografía en fase gaseosa y cromatografía en fase gaseosa/espectrometría de masas (Standard Methods, 1989, APHA).

## Benceno

### 1. Aspectos generales

El benceno es un compuesto aromático monocíclico (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) que se usa como un compuesto intermedio en la fabricación de productos químicos y farmacéuticos, incluso en la preparación de estireno, ciclohexano, detergentes y pesticidas. Se usa como diluyente de lacas y pinturas, como agente desengrasante y de limpieza, como solvente en la industria del caucho y como aditivo de combustibles. El benceno también se usa en tintes, explosivos, sabores y perfumes y material fotográfico.

El benceno que se halla en ambientes acuáticos puede provenir de fuentes puntuales y no puntuales. Las fuentes son los derrames y descargas de fábricas y la evaporación y combustión de combustibles. Como es volátil, el benceno se evapora

rápida de las aguas superficiales, por lo cual su concentración en la columna de agua generalmente es baja. Si bien es muy poco lo que se sabe sobre su destino en el ambiente, se considera que su destino primario es la volatilización y la subsiguiente oxidación atmosférica. Se puede producir algún tipo de biodegradación durante un período prolongado. Estudios toxicológicos asignan al benceno efectos nocivos para la salud del hombre.

## 2. Métodos

El método de cromatografía en fase gaseosa de purga y recolección es aplicable a sustancias aromáticas purgables como el benceno. La detección puede efectuarse con una unidad de fotoionización o con una espectrometría de masas (Standard Methods, 1989, APHA).

### Pesticidas organoclorados

Los pesticidas organoclorados suelen encontrarse en aguas que han sido afectadas por descargas agrícolas. Varios de los pesticidas son bioacumulativos y relativamente estables, así como tóxicos o cancerígenos; por lo tanto, su dosis debe ser controlada.

Aldrín. Originalmente el aldrín se usaba como pesticida para el control de plagas de suelos, frutas y vegetales y para el control específico de langostas y termitas. El aldrín se aplica al suelo y al follaje mediante inyección o rocío aéreo. Se considera que la lixiviación de aldrín es mínima y que la erosión del suelo y el transporte de sedimentos constituyen sus principales vías de ingreso al ambiente acuático. Varios estudios indican que las concentraciones de aldrín en las aguas superficiales están entre 0,1 a 85 mg/l. La biotransformación, volatilización, bioacumulación y fotólisis pueden desempeñar un papel importante en la eliminación de aldrín de la columna de agua. Hay poca información con respecto a los niveles residuales de aldrín en el medio ambiente, probablemente debido a que en el ambiente se transforma rápidamente en dieldrín.

Dieldrín. El dieldrín ha sido muy usado como pesticida para el control de plagas de suelos, frutas y vegetales y para el control de langostas y termitas. También se ha usado para proteger la ropa de lana contra la polilla. El dieldrín ingresa al medio ambiente a través de emisiones y aplicaciones industriales. Las vías a través de las cuales el dieldrín produce una contaminación generalizada del medio ambiente incluyen: la dispersión atmosférica, erosión del suelo por el viento y el agua, mientras que es adsorbida sobre partículas del suelo en el limo de cursos de agua y estuarios. También puede ser transportado como residuo en plantas y animales, especialmente peces y aves silvestres.

Lindano. El hexacloro de benceno (BHC) es el nombre común usado para describir los estereoisómeros mixtos de 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano (HCH). El isómero- $\gamma$ , denominado lindano, es el único isómero hexaclorociclohexano que posee un importante poder insecticida. El BHC (de grado técnico) es una mezcla de los ocho isómeros posibles que constituyen las diferentes composiciones espaciales de los seis átomos de cloro en la forma *trans* del anillo ciclohexano. Su composición se aproxima en un 65% a un isómero- $\alpha$ ; un 11% a uno  $\beta$ ; un 13-14% a uno  $\gamma$ ; un 8-9% a uno  $\delta$ ; y un 1% a uno  $\epsilon$ . El compuesto de menor punto de fusión, se funde a 112,8°C, es el isómero- $\gamma$ . Dado que el  $\gamma$ -BHC (lindano) es un ingrediente activo en el BHC de grado técnico, el BHC de grado técnico tiene ahora un uso comercial limitado, excepto como materia prima para la extracción del isómero- $\gamma$  purificado.

El  $\gamma$ -BHC (lindano) se emplea para el control de insectos en ambientes domésticos y comerciales, en numerosas aplicaciones agrícolas y silvícolas y en la composición de productos para el baño y desinfección de ganado y mascotas. El lindano que se halla en aguas superficiales proviene principalmente de aplicaciones directas e indirectas, escurrimientos agrícolas y descargas industriales. El transporte a grandes distancias y, por consiguiente, la deposición atmosférica parecen ser las vías a través de las cuales el lindano y sus isómeros ingresan a las aguas superficiales de áreas aisladas. Otras fuentes son la industria del papel y de la celulosa, plantas de fabricación y embalaje de pesticidas, la fumigación de granjas y depósitos y abonos para semillas.

El lindano es relativamente estable en la columna de agua. La absorción por materia en suspensión y biota y la volatilización no parecen ser mecanismos importantes para la remoción de este compuesto. El lindano puede transformarse biológicamente, especialmente en los sedimentos anaeróbicos, en penta- y tetraclorociclohexano. En organismos acuáticos se puede producir la bioacumulación de lindano, si bien éste se elimina rápidamente una vez que cesa la exposición continua.

DDT (1,1,1'-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)etano). Fue el primero de una serie de hidrocarburos clorados fabricados como insecticida. El DDT fue sintetizado por primera vez en 1874 y comenzó a ser usado en 1942 y 1943 --durante la Segunda Guerra Mundial-- cuando se demostró su eficacia como insecticida. El DDT ha sido ampliamente usado en todo el mundo tanto en programas de salud pública como agrícolas debido a su eficiencia como insecticida de amplio espectro y a su bajo costo de fabricación.

El DDT tiene varios derivados o metabolitos. Los que más se detectan en la naturaleza son el DDD (TDE), 1,1'-dicloro-2,2-bis-(4-clorofenil)etano y el DDE, 1,1'-dicloro-2,2-bis-(clorofenil)etileno, que son tóxicos, persistentes y se encuentran en todas partes.

El DDT puede ingresar a los ambientes acuáticos a través de su proceso de fabricación y de aplicaciones directas. Las vías para una contaminación generalizada del ambiente por DDT incluyen la dispersión atmosférica, la erosión de suelos por viento y agua y su transporte absorbido por partículas de suelo en el limo de cursos de agua, estuarios y océanos.

Por su persistencia, además de sus propiedades hidrofóbicas y su solubilidad en lípidos, el DDT se concentra en los organismos acuáticos a todos los niveles tróficos. Ingresa a la red alimenticia y se magnifica biológicamente. Los factores de bioconcentración del DDT para varias especies en sistemas acuáticos llegan hasta  $10^6$ .

## 2. Manipulación de las muestras (Aldrin, Dieldrin, Lindano, DDT)

Tomar muestras aleatorias en frascos de vidrio ámbar de 1 l con tapa a rosca revestida. Si no se cuenta con frascos de vidrio ámbar, proteger las muestras contra la luz. Lavar y enjuagar el frasco y el revestimiento de la tapa con acetona o cloruro de metileno y secarlos antes de usarlos. Seguir las prácticas convencionales de muestreo pero no enjuagar el frasco con agua de la muestra. Recolectar muestras compuestas en frascos de vidrio refrigerados. Como alternativa, utilizar equipo automático de muestreo libre de tubos plásticos u otras fuentes potenciales de contaminación; incorporar frascos de vidrio para extraer un mínimo de 250 ml. Refrigerar los frascos a 4°C y protegerlos de la luz durante la composición. Si el extractor de muestras tiene una bomba peristáltica, utilizar una mínima longitud de tubos comprimibles de goma siliconada pero --antes de usarlo-- enjuagarlo con metanol y luego enjuagar varias veces con agua destilada para minimizar la contaminación. Usar un medidor de flujo integrado para extraer compuestos proporcionales al flujo. Llenar los frascos para muestras y, si queda cloro residual, agregar 80 mg de tiosulfato de sodio por litro de muestra y mezclar bien. Helar todas las muestras o enfriarlas a 4°C desde el momento de la recolección hasta el análisis. Analizar las muestras dentro de los 7 días de su recolección y completar el análisis dentro de los 40 días de su extracción.

## 3. Métodos (Aldrin, Dieldrin, Lindano, DDT).

El método para los pesticidas organoclorados se basa en la extracción líquido-líquido de muestras de agua utilizando un solvente mixto, dietiléter/hexano o cloruro de metileno/hexano, seguido por la captación de electrones por cromatografía en fase gaseosa.

### Bifenilos policlorados (PCBs)

#### 1. Aspectos generales

Los bifenilos policlorados (PCBs) han sido muy usados en la industria porque no son inflamables y por su excelente estabilidad térmica, gran resistencia a la hidrólisis ácida y básica, inercia general, solubilidad en solventes orgánicos, excelentes propiedades dieléctricas, resistencia a la oxidación y reducción. También son buenos lubricantes y poseen una película de alta resistencia.

La fórmula empírica de los PCBs es  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ , donde n puede tener cualquier valor entre 1 y 10. Teóricamente, existen 209 congéneres posibles de bifenilos clorados de los cuales 194 tienen más de dos átomos de cloro. Los PCBs con 5 o más átomos de cloro por molécula se denominan "clorobifenilos mayores" y tienen mayor persistencia en el medio ambiente que los "clorobifenilos menores".

Los congéneres de los PCBs tienen baja solubilidad en agua y altos coeficientes de partición octanol-agua, potencial bioacumulación y resistencia a la degradación. Su eliminación de la columna de agua se logra mediante absorción en materia en suspensión y sedimentada, especialmente en los sedimentos de partículas pequeñas y en los enriquecidos con materia orgánica. Los PCBs son muy estables y persistentes en el medio ambiente, siendo probablemente la transformación fotoquímica su principal vía de degradación en la columna de agua. La transformación microbiana en los depósitos sedimentados se restringe a los congéneres clorados menores en condiciones aeróbicas, si bien estudios recientes han indicado que varios penta- y hexaclorobifenilos pueden ser dechlorados por bacterias anaerobias. Los PCBs son solubles en los lípidos de sistemas biológicos y, por consiguiente, tienden a acumularse en los tejidos grasos, en particular los altamente clorados.

#### 2. Manipulación de las muestras

Véase lo indicado para los pesticidas organoclorados.

#### 3. Métodos

La muestra de agua se extrae con un solvente orgánico, después de lo cual el solvente del extracto se elimina y se concentra a un volumen adecuado para un análisis directo por cromatografía en fase gaseosa. Su separación, detección y medición se efectúan por captación de electrones por cromatografía en fase gaseosa.

### Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs)

#### 1. Aspectos generales

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) se generan por procesos que entrañan la combustión incompleta de materia orgánica. Por lo tanto, son producidos por la quema de combustibles y desechos, por las plantas de energía termal y por los motores de combustión interna. Los materiales que contienen hidrocarburos aromáticos polinucleares también pueden ingresar directamente

al ambiente acuático por la liberación de petróleo crudo y productos derivados del petróleo durante las etapas de exploración, producción y transporte y por filtración natural. Los PAHs también son liberados por los materiales usados dentro del agua, tales como pilotes, muelles y medios de contención creosotados o alquitranados. Se piensa que la deposición atmosférica es una importante vía de ingreso de PAHs en el ambiente acuático y que es responsable de una parte importante de la concentración básica de PAHs. Las descargas en el agua y la tierra también aportan cantidades significativas de PAHs.

Las concentraciones de PAHs en los ecosistemas acuáticos suelen ser mayores en los sedimentos, intermedias en la biota acuática y menores en la columna de agua. Asimismo, los niveles pueden ser bastante variables y reflejar, en parte, el grado de desarrollo urbano e industrial en una cuenca hidrográfica y el uso específico del agua. Los procesos para su remoción incluyen la volatilización de los PAHs de bajo peso molecular y la fotólisis de los PAHs disueltos en la columna de agua. Los compuestos acumulados en los sedimentos del fondo también sufren en parte procesos de biodegradación y biotransformación. Tanto los PAHs de bajo como de alto peso molecular se acumulan con bastante rapidez en los tejidos de los organismos acuáticos; sin embargo, también se puede producir rápidamente el metabolismo y separación de los compuestos de PAH.

## 2. Manipulación de las muestras

Véase lo indicado para los pesticidas organoclorados. Los PAHs son sensibles a la luz, lo que requiere del almacenamiento de muestras, extractos y testigos en frascos de vidrio ámbar o envueltos en papel de aluminio para minimizar la descomposición fotolítica.

## 3. Métodos

La muestra de agua se extrae mediante un solvente orgánico, después de lo cual el solvente se limpia y se concentra a un volumen adecuado para el análisis directo por cromatografía en fase gaseosa. La separación, detección y medición se realiza por cromatografía en fase gaseosa y un espectrómetro de masa o un detector de ionización a llama. Standard Methods (1989, APHA) también presenta un método cromatográfico líquido de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) que emplea detección ultravioleta y fluorescente.

## Atrazina

### 1. Aspectos generales

La atrazina, 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-1,3,5-triazina, es un herbicida que se usa para controles previos y posteriores al crecimiento de malezas anuales tanto latifoliadas como herbáceas. Los usos comerciales incluyen el control de malezas herbáceas en el maíz, sorgo, caña de azúcar y piña como así también diversas aplicaciones en césped y silvicultura. Se usa, además, como esterilizador de suelos en tierras no agrícolas --pistas de aterrizaje, playas de estacionamiento y parques industriales. La atrazina puede ingresar al ambiente acuático durante los procesos de producción, derramamiento, uso y eliminación. La mayor pérdida de atrazina por escurrimiento superficial se produce inmediatamente después de su aplicación y durante precipitaciones.

La principal acción biológica de la atrazina es el bloqueo de la fotosíntesis. Debido a sus potenciales efectos nocivos para las algas y plantas acuáticas vasculares (y, por consiguiente, para los peces e invertebrados acuáticos), la concentración de atrazina en aguas dulces no debe superar los 2 µg/l para no afectar la vida acuática.

### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras de agua para la determinación de atrazina deben recolectarse en frascos de vidrio de cuello largo (1 l) y conservarse en la oscuridad a 4°C hasta que sean analizadas. Se recomienda revestir las tapas con teflón o bien usar papel de aluminio pesado pre-lavado para impedir que la muestra entre en contacto con la tapa. Las muestras deben analizarse lo antes posible después de su recolección.

### 3. Métodos

Los herbicidas neutros como la atrazina se analizan por el método de cromatografía en fase gaseosa para la extracción líquido-líquido. Con este método, los herbicidas neutros se aíslan del agua mediante la acidificación de la muestra seguida por la extracción con solventes usando diclorometano. Los componentes ácidos co-extraídos se separan de los neutros por contra-extracción con solución alcalina. Las otras interferencias se eliminan mediante columna cromatográfica sobre Florisil antes del análisis por cromatografía en fase gaseosa. Se puede usar un detector de captación de electrones para medir todos los parámetros; sin embargo, con un detector fósforo-nitrógeno se obtiene una mayor especificidad y sensibilidad a la atrazina.

## 2,4-D

### 1. Aspectos generales

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético --2,4-D-- se emplea como herbicida sistémico para controlar malezas latifoliadas en el cultivo de cereales y en propiedades industriales, prados, césped, pastizales y tierras no cultivadas. También se usa en el cultivo de granos

para eliminar otras malezas, en la silvicultura y para abrir vías de acceso para las empresas de servicios públicos. Los usos acuáticos incluyen el control de macrofitas con raíces y malezas flotantes y sumergidas.

El 2,4-D ingresa al ambiente acuático desde las plantas de fabricación y empaque de herbicidas y desde los efluentes municipales a través de la deposición atmosférica y la aplicación directa en aguas superficiales. Los principales procesos de eliminación en el agua incluyen la degradación fotoquímica y la descomposición microbiana en condiciones aeróbicas. La degradación microbiana también se produce en los suelos y se ve favorecida por condiciones húmedas y cálidas y un alto contenido orgánico.

## 2. Manipulación de las muestras

Recolectar las muestras en frascos de vidrio ámbar de 1 l con tapas revestidas. Si no se dispone de frascos de vidrio ámbar, proteger las muestras de la luz.

## 3. Métodos

Se recomienda una cromatografía en fase gaseosa que utiliza la derivación y la cromatografía en fase gaseosa con un detector de captación de electrones. Dado que los herbicidas ácidos fenoxiclorados como el 2,4-D pueden aparecer en el agua de diversas formas (por ejemplo, ácidos, sales, ésteres), se incluye una etapa de hidrólisis para permitir la medición de la parte activa del compuesto. Los ácidos fenoxiclorados y sus ésteres se extraen de la muestra de agua acidificada con éter etílico. Los extractos son hidrolizados y se elimina todo material extraño con un lavado con solvente. Los ácidos se convierten en ésteres metílicos y se limpian en una columna de microadsorción. Los ésteres metílicos se determinan mediante cromatografía en fase gaseosa.

### Aldicarb

#### 1. Aspectos generales

El aldicarb es un pesticida oxima-carbamato que se emplea principalmente para remolachas, papas, tabaco, cebollas, nueces y plantas ornamentales. Los pesticidas carbamato son parientes sintéticos del alcaloide fisostigmina de la semilla de calabar. Comprende a un grupo diverso de sustancias químicas orgánicas basadas en el ácido carbámico ( $H_2NCOOH$ ). La toxicidad del carbamato para los insectos se debe a la inhibición de acetilcolinesterasa en ciertas uniones sinápticas del sistema nervioso. El aldicarb es uno de los pesticidas registrados más tóxicos con una dosis letal promedio de 0,6 mg/kg de peso corporal.

Los destinos ambientales de los carbamatos son muy variados: la vida de cada compuesto en una situación específica depende de varios parámetros físicos y químicos. Si bien hay cierta información sobre su persistencia en los sistemas terrestres, poco es lo que se sabe acerca de su persistencia en los sistemas acuáticos. En general, como clase, los carbamatos no se consideran contaminantes del medio ambiente a largo plazo; no tienen tanta persistencia como muchos de los pesticidas organoclorados en circunstancias similares.

Los principales procesos que rigen el destino de los carbamatos en ambientes acuáticos son la hidrólisis alcalina, la fotólisis y la biodegradación, aunque los niveles de remoción de la columna de agua varían considerablemente para cada carbamato. La absorción aparentemente no desempeña un papel importante en la remoción de carbamatos de la columna de agua. Como son solubles en agua, es dable esperar que solo una pequeña fracción de los carbamatos presentes en los sistemas acuáticos se asocie con los sedimentos. La bioacumulación de carbamatos no parece ser importante en ambientes acuáticos debido a su débil carácter lipofílico y a su relativamente rápida degradación.

#### 2. Manipulación de las muestras

Se recomienda congelar la muestra inmediatamente después de su recolección y antes de su análisis. Dado que esto no siempre es posible, Lesage (1989) propuso el uso de cartuchos Supelco C8 de fase revertida para recolectar las muestras de aldicarb y enviarlas al laboratorio. Una de las ventajas de este tratamiento es que también es posible pre-concentrar la muestra.

#### 3. Métodos

El aldicarb se metaboliza a metabolitos tóxicos, anhídrido sulfuroso y sulfona de aldicarb; por lo tanto, cualquier análisis práctico de residuos debe tener en cuenta el complejo bioactivo total ya sea por sumatoria de los análisis de los compuestos individuales o por conversión de los residuos a un material común. Los métodos por cromatografía en fase gaseosa tienen dificultades para diferenciar el aldicarb principal de los productos metabólicos y están sujetos a procedimientos analíticos un tanto restrictivos.

Uno de los métodos eficaces que puede medir bajos niveles de residuos de aldicarb emplea la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) y pre-concentración directa. Con esta técnica, los residuos de aldicarb se separan en una columna de HPLC en fase reversa, utilizando una fase móvil con gradiente acetónitrita-agua. La separación es seguida por hidrólisis post-columna para producir metilamina y por la formación de un fluoróforo con o-ftalaldehído y 2-mercaptoetanol antes de la detección por fluorescencia (Chaput, 1986). Las mejoras en la etapa de pre-concentración consisten en el uso de cartuchos de extracción en fase sólida que también actúan como excelentes dispositivos para la recolección y el envío de las muestras (Lesage, 1989).

## Pesticidas organofosforados

### 1. Aspectos generales

Los compuestos organofosforados gozan de una creciente participación en el mercado de insecticidas orgánicos sintéticos. Ello se debe a varios factores: (i) un amplio campo de aplicación para numerosas plagas de diversos cultivos; (ii) un resultado ventajoso en el análisis costo-desempeño; y (iii) un reducido nivel de resistencia en varios tipos de insectos en comparación con otros insecticidas orgánicos. En América del Norte, tres compuestos --paratión, metilparatión y malatión-- representan el principal volumen anual de ventas de organofosforados. Los insecticidas organofosforados funcionan por un mecanismo común: la inhibición de la colinesterasa en el sistema nervioso.

La mayor parte de los pesticidas organofosforados (excepto la diazinona) se hidrolizan fácilmente en el agua. Esto es importante porque el insecticida se puede detoxificar en la planta antes de que el producto llegue al mercado. Ingresan al ambiente acuático por diversas vías, entre las que se incluyen la fumigación, la aplicación directa en cuerpos de agua y, lo más importante, la lixiviación y escurrimiento superficial de los ecosistemas terrestres tratados. Los mecanismos eficaces para su eliminación son: la absorción en los sedimentos, la volatilización desde cuerpos de agua poco profundos y de los suelos, la degradación microbiana y la hidrólisis química.

El malatión, paratión y el metilparatión se degradan rápidamente en el medio ambiente de modo que no es dable esperar una bioacumulación significativa en los organismos acuáticos.

### 2. Manipulación de las muestras

Las muestras de agua se deben recolectar en frascos de vidrio de 1,2 l y almacenar a 4°C o por arriba del punto de congelamiento a fin de retardar la degradación de algunos pesticidas organofosforados. Antes de ajustar la tapa de plástico se debe recubrir la boca del recipiente con un trozo limpio de papel de aluminio. Es preferible efectuar la extracción en el terreno y enviar los extractos a los laboratorios para su análisis. Evitar la exposición al sol.

### 3. Métodos

Para medir los pesticidas organofosforados específicos (por ejemplo, malatión, paratión, etc.) se utilizan métodos de cromatografía en fase gaseosa. Si bien un detector de captación de electrones es adecuado para este análisis, el detector fotométrico a llama (FPD) y los detectores de nitrógeno-fósforo (NPD) poseen una mayor sensibilidad y detección. Los métodos estandarizados pueden obtenerse de Analytical Methods Manual (1991, V.3) y de la U.S. EPA (Method 1618).

## 6.0 REFERENCIAS

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association & Water Pollution Control Federation, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, Washington, D.C.

U.S.-EPA, 1989. Method 1618: Organo-halide Pesticides, Organo-phosphorus Pesticides, and Phenoxy-acid Herbicides by Wide Bore Capillary Column Gas Chromatography with Selective Detectors. Office of Water Regulations and Standards, Industrial Technology Division, June 1989.

Chaput, D., 1986. On-line Trace Enrichment for Determination of Aldicarb Species in Water, Using Liquid Chromatography with Post-column Derivatization. J. Assoc. Off. Anal. Chem. V. 69:985-989.

Lesage, S. 1989. Solid-Phase Sample Collection for the Analysis of Aldicarb Residues in Groundwater. LC-GC 7(3).

Krause, R.T., 1980. Mutiresidue Method for Determining N-Methylcarbamate Insecticides in Crops, Using High Performance Liquid Chromatography. J. Assoc. Anal. Chem. V. 63, No.5: 1114-1124.

Environment Canada (1979). Analytical Methods Manual. Inland Waters Directorate, Ottawa, Canada.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO IV: MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION**

Preparado por  
Dr. Michel Meybeck  
Laboratoire de Géologie Appliquée  
Université Pierre et Marie Curie  
París, Francia

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	IMPORTANCIA DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION EN LOS ESTUDIOS PRELIMINARES SOBRE CALIDAD DEL AGUA .....	1
2.1	Tipos de sólidos en suspensión .....	1
2.2	Los sólidos en suspensión y la calidad ambiental .....	1
2.3	Información pertinente sobre la calidad de los sólidos en suspensión .....	2
2.4	Origen de los sólidos en suspensión .....	2
2.5	Comportamiento de los compuestos químicos ligados con los sólidos en suspensión .....	2
2.6	Un programa de monitoreo de la calidad de los sólidos en suspensión .....	4
2.6.1	Objetivos .....	4
2.6.2	Estudios recomendados en el Programa GEMS/Agua .....	4
3.0	TRABAJO DE CAMPO .....	6
3.1	Contaminación de las muestras .....	6
3.2	Puntos de muestreo y extractores de muestras .....	6
3.3	Separación de los sólidos en suspensión de la fase disuelta .....	7
3.3.1	Sólidos en suspensión .....	7
3.3.2	Sedimentos superficiales en ríos y lagos .....	7
3.3.3	Testigos de lagos .....	7
3.4	Mediciones a campo adicionales y precauciones en el almacenamiento .....	8
4.0	TRABAJO DE LABORATORIO .....	8
4.1	Pre-tratamiento de las muestras .....	8
4.2	Análisis .....	9
4.3	Control de la calidad analítica .....	9
5.0	EVALUACION DE DATOS .....	10
5.1	Presentación de los datos .....	10
5.2	Discusión de los resultados .....	10
5.3	Flujos de contaminación en ríos .....	12
6.0	REFERENCIAS .....	13

## 1.0 INTRODUCCION

El monitoreo de sólidos en suspensión es considerado uno de los principales componentes del programa GEMS/Agua. Si bien puede ser de gran utilidad en estudios sobre calidad del agua, pocas veces se aplica el monitoreo de rutina de los sólidos en suspensión en ríos y lagos. Las siguientes recomendaciones se basan en el trabajo de Thomas y Meybeck (1991) y tienen en cuenta la reorientación del programa GEMS/Agua para la Fase II. Mayor información sobre metales traza en ríos se puede encontrar en Horowitz (1991).

Como el monitoreo de los sólidos en suspensión difiere del monitoreo del agua en sí, en este capítulo se pone especial atención en el muestreo y en los análisis adicionales que se deben realizar con los sólidos en suspensión o depositados. El análisis de los elementos disueltos no difiere en esencia de los análisis recomendados en el Capítulo III de esta Guía. Por consiguiente, aquí solo se presentan las operaciones especiales de laboratorio relativas a la disolución de los sólidos en suspensión. La parte final describe los métodos para la presentación de datos y discusión de resultados.

Este capítulo reseña dos niveles de monitoreo --el estudio básico y el monitoreo completo de los sólidos en suspensión-- habida cuenta de la diferente capacidad técnica y financiera de los países que participan en el programa GEMS/Agua.

## 2.0 IMPORTANCIA DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION EN LOS ESTUDIOS PRELIMINARES SOBRE CALIDAD DEL AGUA

### 2.1 Tipos de sólidos en suspensión

Según sea su medio de transporte, es posible distinguir distintos tipos de sólidos en suspensión en ríos y lagos. Los tres principales son:

- (i) Partículas de sólidos en suspensión que se mantienen en suspensión por la turbulencia del agua sin entrar en contacto con el lecho del cuerpo de agua. En los ríos los sólidos en suspensión totales suelen variar entre unos pocos  $\text{mg.l}^{-1}$  y unos pocos  $\text{g.l}^{-1}$ ; sin embargo, durante crecidas, por ejemplo, se han detectado concentraciones mayores en algunos ríos. En los lagos, la concentración de sólidos en suspensión suele ser inferior a  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  y está compuesta principalmente por detritus orgánico lacustre y material térreo muy fino. En los ríos, los sólidos en suspensión tienen su origen en la erosión de la tierra y suelen ser de partículas relativamente pequeñas (por ejemplo, fracciones de arcilla y limo).
- (ii) El acarreo de fondo es aquella parte de los sólidos en suspensión que permanece en contacto casi constante con el lecho del río y que se desplaza por arrastre o deslizamiento. El acarreo de fondo está compuesto por partículas gruesas (arena gruesa, grava, guijarros) que se deslizan por el lecho del río a una velocidad mucho menor que la del agua.
- (iii) La materia depositada (o sedimentos de fondo) resulta de la disminución del nivel de energía en el cuerpo de agua. Los sólidos gruesos se depositan primero. En el centro de los lagos, los sedimentos generalmente se presentan como partículas pequeñas de las fracciones de limo y arcilla, mientras que en los ríos los sólidos depositados son más heterogéneos con capas finas y gruesas alternadas.

En Golterman *et al.* 1983 se puede encontrar mayor información sobre el origen, transporte y presencia de sólidos en suspensión.

### Sólidos disueltos y en suspensión

La distinción entre sólidos disueltos y en suspensión es principalmente técnica ya que no hay una discontinuidad física entre los estados disuelto y sólido, los que están vinculados por el estado coloidal. Por lo tanto, la relación entre sólidos en suspensión y sólidos disueltos para una muestra dada dependerá del método de separación. Actualmente, el medio de separación más comúnmente usado es el de filtración a través de filtros de un poro de  $0,4$  ó  $0,45 \mu\text{m}$ . El empleo de la centrifugación de flujo continuo ha alcanzado gran difusión porque proporciona cantidades mucho mayores de sólidos en suspensión que los filtros, los cuales se obstruyen con mayor facilidad (Horowitz *et al.* 1989). Debido a las dificultades y a los costos de los métodos de separación adecuados (por ejemplo, centrifugación), en el programa GEMS/Agua se recomienda usar los sólidos depositados, la excepción corresponde a la determinación de flujos en ríos, en cuyo caso habrá que analizar los sólidos en suspensión.

### 2.2 Los sólidos en suspensión y la calidad ambiental

En los estudios de calidad ambiental se debe tener en cuenta los sólidos en suspensión debido a las funciones que cumplen como:

- (i) portadores de contaminantes: los metales pesados y los micro-contaminantes orgánicos son transportados principalmente por los sólidos en suspensión. El porcentaje de metales pesados llevados por los sólidos en suspensión varía entre 20% y 99%, según sea la cantidad y tipo de los sólidos en suspensión. Por lo tanto, en las determinaciones de flujo es importante tener en cuenta los sólidos en suspensión.
- (ii) reservorios de contaminantes: una vez depositados, los sólidos contaminados constituyen una fuente potencial de contaminación para la biota, ya sea por contacto directo o por la liberación de contaminantes en la columna de agua. Por lo general, los sólidos depositados se analizan junto con la biota en los estudios ecotoxicológicos.

- (iii) indicadores de contaminación: como los contaminantes generalmente se concentran en las partículas, estos sólidos se pueden usar para detectar la contaminación ambiental aun cuando las concentraciones en el agua sean muy bajas. Este es el uso más común de los sedimentos en los ríos.
- (iv) registro de contaminación: los sedimentos depositados en lagos y ríos pueden suministrar registros completos de los cambios ambientales a través del tiempo, incluso de la contaminación. Con este propósito, en la actualidad se están realizando muchos estudios de los sedimentos en los lagos, que están menos sujetos a un nuevo arrastre. A partir de estos depósitos también es posible estudiar los cambios ocurridos en las concentraciones de nutrientes y materia orgánica en los cuerpos de agua.

### 2.3 Información pertinente sobre la calidad de los sólidos en suspensión

Además de la lista de variables consideradas en el Programa GEMS/Agua, con frecuencia se requiere de otro tipo de información adicional para corroborar la interpretación de los datos sobre sólidos en suspensión (por ejemplo, aluminio, contenido de carbonatos o cuarzo, granulometría) o para el cómputo de flujos (por ejemplo, velocidad de sedimentación). En el Cuadro 1 se presentan cuatro categorías de información y variables pertinentes para los sólidos en suspensión.

Cabe destacar que la lista de variables presentadas en el Cuadro 1 no es exhaustiva. Muchas otras sustancias pueden ser nocivas tanto para el hombre como para la biota, pero el análisis de las sustancias enumeradas proporciona una primera estimación de la calidad de los sólidos en suspensión. A pesar de su importancia para el monitoreo de los sólidos en suspensión, por ahora, no se ha hecho referencia a los análisis microbiológicos.

### 2.4 Origen de los sólidos en suspensión

Las partículas naturales encontradas en los cuerpos de agua están compuestas, principalmente, por material proveniente de la erosión de la tierra, incluidos detritus rocosos, varios minerales residuales (arcillas, feldspatos y cuarzo) y detritus orgánico térreo. Los sólidos en suspensión también pueden tener su origen en la atmósfera (cenizas volcánicas, aerosoles marinos, productos originados por la erosión eólica) y en material autóctono producido en el mismo cuerpo de agua (por ejemplo, materia orgánica y, algunas veces, carbonato de calcio). Estos sólidos en suspensión pueden contener elementos tóxicos que existen en forma natural tales como plomo, arsénico, cadmio y mercurio; nutrientes (nitrógeno, fósforo); carbono orgánico, etc.; la concentración de estos elementos constituye lo que se denominará la base natural. Esta "base" variará tanto geográfica como temporalmente de acuerdo con las características geológicas, climáticas y de vegetación. En algunas regiones, la concentración "base" de un elemento dado puede ser lo suficientemente alta como para producir efectos nocivos en la biota y en el hombre.

Hay diversas actividades del hombre que ejercen dos grandes efectos en los sólidos en suspensión:

- (i) modifican las cantidades y la composición de los sólidos en suspensión naturales; e
- (ii) incorporan sustancias sintéticas que no están presentes en forma natural en el medio ambiente (compuestos xenobióticos), que pueden ser nocivos para el hombre y la biota. Las sustancias sintéticas se pueden descargar como partículas de diversas actividades industriales, urbanas y agrícolas o bien pueden descargarse en solución y ser fácilmente captadas por las partículas mediante varios procesos (por ejemplo, adsorción).

### 2.5 Comportamiento de los compuestos químicos ligados con los sólidos en suspensión

Los contaminantes y nutrientes en suspensión se pueden separar en diferentes formas químicas (especiación) que probablemente se hallen en los sólidos en suspensión. Estas formas dependen del origen de las sustancias ligadas con los sólidos en suspensión y de las condiciones ambientales imperantes (por ejemplo, pH, potencial redox, etc.). Las principales formas en las que contaminantes y nutrientes se encuentran en los sólidos en suspensión son:

- adsorbidas en las partículas;
- ligadas con la materia orgánica, que está compuesta principalmente de desechos orgánicos y sustancias húmicas;
- ligadas con carbonatos;
- ocluidas en los óxidos de Fe y Mn, que se presentan como recubrimiento de partículas;
- ligadas con sulfuros;
- incluidas en la matriz de minerales (minerales específicos, silicatos y otros minerales inalterables).

En ausencia de contaminación, la mayoría de los compuestos minerales (metales traza, fósforo mineral, arsénico) se encuentra en las tres últimas categorías. Cuando la concentración de estas variables aumenta, los elementos adicionales son adsorbidos en las partículas y ligados con las sustancias orgánicas. La gran mayoría de los compuestos orgánicos sintéticos se encontrarán en la fracción adsorbida.

La capacidad de adsorción de los sólidos en suspensión es inversamente proporcional a su granulometría; las fracciones más finas (coloides y arcillas) y la materia orgánica tendrán las mayores concentraciones de metales traza y de contaminantes orgánicos.

Como las condiciones ambientales varían, las diversas formas de los contaminantes asociados a los sólidos en suspensión tienden a alterarse y pueden ser liberados en distintas cantidades en solución y quedar a disposición de la biota.

Cuadro 1. Tipo de información pertinente para el análisis e interpretación de los sólidos en suspensión (con ejemplo ficticio).

A. DESCRIPCION DE LA ESTACION			
Cuerpo de agua:	Río Phison	Código de la muestra:	007
Código/nombre de la estación:	Puente Paraíso	Profundidad de la muestra:	cm
Descarga del río:	120,0 m <sup>3</sup> /s	Tipo de muestra (suspensión/depósito):	
Fecha del muestreo:	01-04-1991	Tipo de extractor (manual/ instantáneo/ testigo):	
B. TRATAMIENTO DE LA MUESTRA			
<u>Tratamiento físico</u>	<u>Tratamiento químico</u>	<u>Método analítico</u>	
1. sin tratar: agua no filtrada	1. ácido (nombre)	1. analizador de C orgánico	
2. filtración	2. extracción con solvente	2. espectrometría de absorción atómica	
3. ultracentrifugación	3. ...	3. espectrometría de absorción atómica sin llama	
4. tamizado	4. ...	4. cromatografía en fase gaseosa	
5. secado (°C)		5. ...	
6. ignición (°C)			
C. RESULTADOS ANALITICOS			
		Tratamientos	
		Físico	Químico
			Análisis
1. <u>Contaminantes inorgánicos:</u>			
Arsénico	12,5	µg As g <sup>-1</sup>	4;5 (50°C) 1
Cadmio	0,95	µg Cd g <sup>-1</sup>	4;5 (106°C) 1
Cromo	215	µg Cr g <sup>-1</sup>	4;5 (106°C) 1 2
Cobre	45	µg Cu g <sup>-1</sup>	4;6 (550°C) 1 2
Mercurio	0,22	µg Hg g <sup>-1</sup>	4;5 (50°C) 1
Níquel	135	µg Ni g <sup>-1</sup>	4;6 (550°C) 1 2
Plomo	260	µg Pb g <sup>-1</sup>	4;5 (50°C) 1
Zinc	340	µg Zn g <sup>-1</sup>	4;6 (550°C) 1 2
2. <u>Nutrientes:</u>			
Carbono orgánico en suspensión	5,3%		
Nitrógeno en suspensión	0,58%		
Fósforo total en suspensión	1630	µg P g <sup>-1</sup>	
3. <u>Contaminantes orgánicos:</u>			
Agua de río sin filtrar:			
PCB:	0,60	µg.l <sup>-1</sup>	
ΣDDT:	0,24	µg.l <sup>-1</sup>	
Lindano:	0,30	µg.l <sup>-1</sup>	
Hidrocarburos totales:	7200	µg.l <sup>-1</sup>	
Sedimentos del fondo:			
PCB:	170	µg.kg <sup>-1</sup>	
ΣDDT:	23	µg.kg <sup>-1</sup>	
Lindano:	37	µg.kg <sup>-1</sup>	
Hidrocarburos totales:	240	µg.kg <sup>-1</sup>	
4. <u>Análisis complementarios:</u>			
Aluminio:	105000	µg Al g <sup>-1</sup>	
Hierro:	55000	µg Fe g <sup>-1</sup>	
Tamaño de partícula (media):	35	µm	
Contenido de cuarzo:	7,5%		
D. OTRA INFORMACION			
Contenido de agua (sedimentos del fondo):	23	% peso húmedo	
Total sólidos en suspensión (muestras de río):		mg.g <sup>-1</sup>	

## 2.6 Un programa de monitoreo de la calidad de los sólidos en suspensión

### 2.6.1 Objetivos

Los objetivos de un programa de monitoreo de la calidad de los sólidos en suspensión son:

- (i) estimar los niveles actuales de contaminantes hallados en los sólidos en suspensión y sus variaciones temporales y espaciales;
- (ii) determinar la bio-disponibilidad directa o potencial de estas sustancias durante el transporte de sólidos en suspensión por ríos, lagos y embalses;
- (iii) determinar los flujos de estas sustancias hacia los principales cuerpos de agua (lagos, embalses, mares regionales y océanos);
- (iv) establecer las tendencias de dichos niveles y flujos.

Estos objetivos se enumeran en un orden de creciente complejidad, en el que cada paso entraña mediciones adicionales (es decir, análisis complementarios). El nivel actual de contaminación se puede estimar analizando tan solo unas pocas muestras por año. La determinación de flujos requiere de mediciones continuas o muy frecuentes de los sólidos en suspensión y de la descarga de agua junto con frecuentes análisis químicos de los sólidos en suspensión.

La determinación de las tendencias de niveles y flujos generalmente se logra estudiando los sedimentos depositados en el fondo de un lago o río desde el inicio de las actividades del hombre en el área que rodea al cuerpo de agua. Esto significa realizar estudios cronológicos del sedimento, los que suelen basarse en sofisticadas mediciones del radionúclido o en determinaciones palinológicas. Por consiguiente, el tipo de información que se puede obtener del estudio de los sólidos en suspensión en ríos y lagos es muy variable y dependerá del tipo de estudio que se efectúe. En el Cuadro 2 se presenta un resumen.

Cuadro 2. Principales objetivos de los estudios sobre sólidos en suspensión

	RIOS	LAGOS Y EMBALSES
SOLIDOS EN SUSPENSION	R1 - Actual nivel de contaminación de los sólidos en suspensión R2 - Flujos de contaminantes y nutrientes hacia mares o lagos	L1 - Actual nivel de los sólidos en suspensión L2 - Actual nivel de eutroficación L3 - Actual velocidad de sedimentación vertical de contaminantes y nutrientes
SEDIMENTOS	R3 - Actual nivel de contaminación de los sólidos en suspensión R4 - Registro de la contaminación en algunos casos	L4 - Registro de la contaminación desde el inicio de la industrialización

R3 y L4 son los objetivos más comunes de los estudios sobre sólidos en suspensión.

### 2.6.2 Estudios recomendados en el Programa GEMS/Agua

Antes de crear una nueva red de monitoreo o de ampliar la existente, se recomienda llevar a cabo estudios preliminares para reunir información sobre las características actuales de los cuerpos de agua de interés. Estos estudios son necesarios para seleccionar los puntos de muestreo, para establecer los periodos de muestreo, los dispositivos de muestreo adecuados y para interpretar los resultados. El Cuadro 3 resume la información requerida para diversos tipos de estudio.

Cuadro 3. Estudios preliminares e información requerida para el monitoreo de los sólidos en suspensión

	OBJETIVOS	ESTUDIO PRELIMINAR	INFORMACION REQUERIDA
RIOS	R2	- Descarga de agua (Q)	- Régimen fluvial - Estadísticas sobre descargas extremas
	R2	- Sólidos en suspensión (TSS)	- Variabilidad de TSS - Relación TSS = f(Q) - Descarga anual de sedimentos
	R2 R4	- Inventario de las principales fuentes de contaminación	- Ubicación de las fuentes de contaminación - Tipos de contaminantes - Cantidades descargadas aproximadas
	R4	- Confección de mapas de sedimentos	- Presencia de depósitos de sedimentos finos
LAGOS Y EMBALSES	L4	- Estudio batimétrico	- Puntos más profundos - Mapa batimétrico
	L4	- Estudio de sedimentos	- Area de deposición - Presencia de depósitos finos
	L4	- Inventario de las principales fuentes de contaminación	- Ubicación de las fuentes de contaminación - Tipos de contaminantes - Cantidades descargadas aproximadas

R2: Flujos de contaminación y de nutrientes hacia mares y lagos.

R4: Registro de contaminación en algunos casos.

L4: Registro de contaminación desde el comienzo de la industrialización.

Cuadro 4. Monitoreo recomendado para los sólidos en suspensión dentro del programa GEMS/Agua

	Tipo de estación	Tipo de sólidos	Extractor de muestra (3) (4)	Compuestos químicos analizados	Frecuencia de muestreo
RIOS	Base	sedimento	manual	metales traza; contaminantes orgánicos (1)	1/5 años
	Tendencia	sedimento	instantáneo	metales traza; contaminantes orgánicos; nutrientes (2)	2-4/año
	Flujo en ríos		sólidos en suspensión	frasco + centrifugación	As,Cd,Cr, Cu,Pb,Hg, Se, Zn
agua sin filtrar			frasco o balde	hidrocarburos totales; PAH total; hidrocarburos clorados totales; ΣDDT; endrina; aldrín; PCBs; atrazina, fenol	12/año
LAGOS Y EMBALSES	Base	sedimentos superficiales (centro del lago)	instantáneo o testigo	metales traza; contaminantes orgánicos (1)	1/5 años
	Tendencia	sedimentos (perfil vertical en el centro del lago)	testigo	(2)	1/10 años

(1) en especial los compuestos más volátiles y persistentes (Hg, As, Pb, PCB, DDT)

(2) listado definido después de haber realizado los estudios preliminares y los inventarios de contaminantes

(3) previamente limpiados

(4) para la selección del equipo de muestreo, véase también Mudroch y Macknight (1991).

- El estudio de sedimentos es mucho más sencillo debido a los medios para el muestreo existentes en ríos y lagos. En el Programa GEMS/Agua se recomienda efectuar estas actividades (ver R3 y L4).
- Asimismo, se recomienda que en los límites internacionales, en las desembocaduras de ríos, en grandes lagos y océanos se tenga en cuenta los flujos de contaminantes, materia orgánica y nutrientes (ver R2 en el Cuadro 2).
- Las actividades de monitoreo se resumen en el Cuadro 4.

### 3.0 TRABAJO DE CAMPO

#### 3.1 Contaminación de las muestras

Muchas de las variables seleccionadas para el programa GEMS/Agua están presentes en los sólidos en suspensión en muy bajos niveles ( $10^6 \text{ g.g}^{-1}$  a  $10^9 \text{ g.g}^{-1}$ ). Por lo tanto, la menor contaminación de los sólidos en suspensión durante el muestreo, la recuperación de la muestra, el almacenamiento o el tratamiento previo a su análisis puede dar origen a resultados erróneos. Las precauciones a tomar para evitar la contaminación dependen de las sustancias que se desee estudiar.

A continuación se proporciona una guía de precauciones relativas a las operaciones de muestreo y almacenamiento para las siguientes clases de microcontaminantes:

- Microcontaminantes inorgánicos (arsénico y metales pesados). El extractor debe ser de acero inoxidable, de plástico o revestido en plástico. Hay que evitar los elementos de goma. Si no se consigue un extractor de plástico, la muestra debe retirarse lo antes posible y descartar la parte del sedimento que haya estado en contacto directo con el extractor. El extractor debe haber sido previamente lavado con ácido nítrico de grado analítico diluido (5%) y enjuagado con agua bidestilada. Los recipientes para el almacenamiento de las muestras de agua y sedimentos también deberán ser de plástico y estar prelavados.
- Microcontaminantes orgánicos (compuestos organoclorados, hidrocarburos, etc.). El recolector debe ser metálico, preferentemente de acero inoxidable, y ser enjuagado con hexano o con otro solvente orgánico que no contenga hidrocarburos clorados. Los recipientes de vidrio para el almacenamiento de las muestras se deben enjuagar de igual manera, calentar a 300°C durante 4 horas para eliminar la materia orgánica y sellar con papel de aluminio enjuagado. El conjunto de filtros y el filtro de fibra de vidrio también deben enjuagarse con hexano. Hay que evitar el uso de dispositivos plásticos durante todo el estudio de microcontaminantes orgánicos --desde las operaciones de muestreo hasta su análisis en el laboratorio.
- Carbono orgánico y nutrientes. Los dispositivos de muestreo y el equipo de filtración pueden ser de metal o plástico y deben ser lavados y enjuagados según el procedimiento usual del laboratorio. Sin embargo, para los análisis de fósforo es necesario o bien un lavado con detergente libre de fosfatos o un enjuague adicional. Se pueden utilizar recipientes de vidrio para el almacenamiento de las muestras de agua y sedimentos.

La muestra que se seleccione para el análisis de los sedimentos del fondo debe tomarse de la parte interna del material de la muestra de sedimentos que no haya estado en contacto directo con las paredes del recolector y conservarse en un recipiente adecuado (bolsas plásticas para los metales traza, recipientes de vidrio para las sustancias orgánicas tóxicas).

A fin de prevenir cualquier tipo de contaminación cruzada, las muestras que se seleccionen para realizar determinaciones de sustancias inorgánicas deben permanecer completamente separadas de las orgánicas durante todo el estudio; es decir, desde el muestreo hasta el análisis.

#### 3.2 Puntos de muestreo y extractores de muestras

##### Lagos y embalses

En la mayoría de los casos, las muestras de sedimentos se pueden tomar en el centro geográfico del lago, que generalmente está cerca de su parte más profunda. Si el punto más profundo está lejos del centro o si hay muchas cuencas lacustres, es posible que con una sola estación se pueda describir adecuadamente a varias estaciones de base. Para llevar a cabo un registro de la contaminación, se puede usar un extractor de columna testigo. Para los sedimentos superficiales, el extractor Ekman-Birge suele ser adecuado si se lo eleva lentamente.

##### Ríos

- Para el muestreo de sólidos en suspensión, la sección del río debe ser lo más homogénea posible a fin de evitar la multiplicación de los puntos de muestreo verticales y a lo largo de una sola vertical. La calidad de los sólidos en suspensión a través de una sección es mucho menos variable que su cantidad, si bien ésta puede influir en la calidad debido a las variaciones en la granulometría. Se puede considerar que una muestra integrada, obtenida mezclando agua de diversos puntos de la columna de agua según su carga promedio de sedimentos, es representativa de la calidad de las partículas en la sección transversal siempre y cuando haya una buena homogeneidad lateral. Se pueden utilizar frascos de muestreo grandes y baldes prelavados (ver sección 3.1).

- (ii) Las muestras de depósitos en ríos se deben recolectar en los remansos, donde la velocidad del agua es mínima. En los ríos grandes, habrá que usar un extractor instantáneo. Los extractores tipo Shipek-and-Ponar son adecuados, pero probablemente requieran del empleo de un guinche.

### 3.3 Separación de los sólidos en suspensión de la fase disuelta

#### 3.3.1 Sólidos en suspensión

Para separar los sólidos en suspensión en ríos de la fase disuelta, se recomienda filtrar la muestra si se requieren cantidades pequeñas (100 mg). Si se deben efectuar múltiples análisis, entonces se necesitará una cantidad mayor (10 a 200 litros de agua), lo que puede requerir el empleo de una técnica de centrifugación de flujo continuo (Horowitz et al., 1989).

Si bien algunos elementos tóxicos ligados con la fracción coloidal pueden pasar a través del filtro de 0,4  $\mu\text{m}$  ó 0,45  $\mu\text{m}$ , este tipo de técnica de separación, recomendada en el programa GEMS/Agua, se usa mucho en el análisis de contaminantes inorgánicos.

Las muestras de agua deben filtrarse cuanto antes después de su recolección. Cuando las circunstancias no permitan la filtración del agua dentro de las 24 horas, el tiempo transcurrido entre recolección y filtración debe registrarse en la planilla de datos analíticos.

Normalmente, la filtración se realiza con un equipo de filtración de vidrio bajo succión. Actualmente, existen en el mercado bombas de vacío manuales que son fáciles de manejar en el campo. La muestra debe ser agitada bien antes de volcarla en el embudo a fin de asegurar su homogeneidad.

Se debe poner especial cuidado al separar la materia disuelta de los sólidos en suspensión. Según sea el tipo de sustancias a analizar se pueden usar dos tipos de filtros diferentes:

- (i) Para las sustancias inorgánicas se recomienda el empleo de filtros inorgánicos (policarbonato, celulosa, acetato). Se deben usar los filtros que tengan los más bajos valores de blancos para los elementos traza de interés.
- (ii) Para las mediciones de sustancias orgánicas, carbono orgánico en suspensión y clorofila se recomienda el uso de filtros de fibra de vidrio. Los filtros de fibra de vidrio pueden absorber hidrocarburos clorados disueltos.

Para el análisis de metales, los filtros siempre deben limpiarse en una solución diluida de ácido de grado analítico y enjuagarse con agua bidestilada; los filtros usados para el análisis de sustancias orgánicas deben enjuagarse con un solvente y calentarse a 300°C. Los filtros enjuagados con agua deben conservarse en platillos Petri; los otros, en recipientes limpios de metal o de vidrio sellados con papel de aluminio o con tapa a rosca. Todos los filtros deben ser pesados antes de ser usados. Quizás sea necesario cambiar los filtros varias veces durante la filtración. Se puede usar material de filtración paralelo (por ejemplo, cerámica, plástico) para acelerar la filtración. Una vez que toda el agua ha pasado por los filtros, éstos se quitan con pinzas y colocan en recipientes adecuados con todas las precauciones necesarias para evitar la contaminación. Para las determinaciones de blancos, también hay que efectuar análisis químicos en cinco filtros sin uso, similares a los utilizados para la filtración.

#### 3.3.2 Sedimentos superficiales en ríos y lagos

Los sedimentos superficiales se pueden extraer directamente con una cuchara metálica o de plástico previamente limpiada (según sean los compuestos; ver 3.1) colocada en la superficie del extractor.

#### 3.3.3 Testigos de lagos

La recuperación de sedimentos de un testigo debe efectuarse cuidadosamente a fin de evitar la destrucción de la interfaz sedimento/agua y la mezcla de diferentes capas de sedimentos. Se recomienda el siguiente procedimiento:

- (i) La capa superior de agua se extrae cuidadosamente haciendo sifón hasta que solo queda un centímetro de agua por encima de la interfaz sedimento-agua; luego se la transfiere a un frasco y se filtra;
- (ii) La capa superior del sedimento ("material flotante", "barro fluido") se extrae con sifón y se conserva como representativa de la capa superior del testigo;
- (iii) El testigo se sella cuidadosamente en las partes inferior y superior y se lo lleva al laboratorio en posición vertical (se debe evitar inclinarlo);
- (iv) Por lo general, el sedimento está contenido en un tubo interno. El sedimento debe extraerse del tubo centímetro a centímetro por medio de un pistón y cortar en capas; durante esta operación, no se debe permitir ningún derrame de sedimento;
- (v) El corte debe efectuarse poco después de tomar la muestra de sedimento fresco. Se pueden separar partículas del agua intersticial mediante filtración a presión o centrifugando cada trozo de sedimento (Adams 1991).

- (vi) Se deben tomar alicuotas de volúmenes conocidos de sedimento fresco para determinar su densidad y el contenido de agua, especialmente en las capas superiores.

### 3.4 Mediciones a campo adicionales y precauciones en el almacenamiento

#### Lagos y embalses:

La información requerida para calcular la velocidad de sedimentación son el contenido de agua y la densidad (es decir, masa de materia seca por unidad de volumen) del sedimento, los que deben determinarse para cada porción separada de un testigo.

#### Ríos:

Para calcular flujos de contaminantes y/o nutrientes en los ríos, es imperativo disponer de un registro continuo de la descarga del río. Se recomienda llevar a cabo estudios intensivos a fin de determinar la cantidad de sólidos en suspensión transportada por el río. Esto debiera dar lugar a un muestreo intensivo de los sólidos en suspensión (WMO 1981).

#### Almacenamiento:

Todas las muestras deben secarse antes de almacenarlas. La temperatura de secado varía según el tipo de contaminante o nutriente: por ejemplo, 20°C para organoclorados e hidrocarburos; 50°C para nutrientes, carbono orgánico total y compuestos de minerales volátiles tales como Hg, Pb. Se recomienda que las muestras que se vayan a usar para determinar metales traza y nutrientes se almacenen --antes del análisis-- en bolsas de plástico en una heladera. Las muestras para la determinación de hidrocarburos y otras sustancias orgánicas deben almacenarse en recipientes de vidrio, sellados con papel de aluminio y conservarse en un freezer (-20°C). La manipulación y el almacenamiento de muestras se describen en Mudroch y Bourbonniere (1991).

## 4.0 TRABAJO DE LABORATORIO

### 4.1 Pre-tratamiento de las muestras

Por lo general, los sólidos en suspensión deben disolverse antes de analizarlos. La solubilización o extracción puede ser completa o parcial, con presencia de una o más de las diversas especies físico-químicas.

En el programa GEMS/Agua se recomienda que en el primer nivel del estudio se determine las cantidades totales de contaminantes y nutrientes después de realizar un pre-tratamiento adecuado. El análisis de los sedimentos depositados en lagos debe efectuarse con materia seca. Para los contaminantes inorgánicos en las estaciones de "tendencia", "base" y "flujo en ríos", se recomienda efectuar el análisis de todos los contaminantes y nutrientes en los sólidos en suspensión con materia seca obtenida después de la filtración o ultra-centrifugación. Para las sustancias orgánicas tóxicas, el análisis puede efectuarse con agua sin filtrar, ya que el uso común de solventes orgánicos normalmente permite una extracción completa.

Para el análisis del contenido total de As y metales traza los procedimientos para la digestión total de sedimentos más comunes son:

- (i) Descomposición por ácido fluorhídrico. La literatura describe pocas técnicas de extracción que utilicen ácido fluorhídrico. Por ejemplo: 100 mg de muestra de sedimentos en polvo se digieren con una mezcla de 6 ml de ácido hidrófluórico, 4 ml de ácido nítrico y 1 ml de ácido perclórico en una bomba de Teflón (Agemian y Chau 1976). En un procedimiento descrito por Tessier et al (1979) primero se hace digerir en un crisol de platino 1 g de sedimento seco con una mezcla de ácido perclórico (2 ml) y ácido fluorhídrico (10 ml) hasta casi alcanzar la sequedad total; luego, se añade otra vez ácido perclórico (1 ml) y ácido fluorhídrico (10 ml) y nuevamente se hace evaporar la mezcla hasta el punto de sequedad. Finalmente, se agrega ácido perclórico (1 ml) solo y la muestra se hace evaporar hasta que aparecen vapores blancos. El residuo se disuelve en ácido clorhídrico (12 N) y se diluye a 25 ml. La solución resultante luego se analiza mediante espectrometría de absorción atómica a llama para determinar metales traza. El uso de ácido perclórico en la extracción de sedimentos exige un especial cuidado porque existe la posibilidad de que la fuerte oxidación de la materia orgánica en el sedimento produzca una explosión. Por lo tanto, todos los procedimientos de extracción que empleen ácido perclórico deben llevarse a cabo en una campana de ventilación especialmente diseñada para eso. El ácido hidrófluórico es difícil de manipular y peligroso de almacenar. Esta digestión proporciona un verdadero valor "total"; sin embargo, muchos organismos ambientales ya no la utilizan porque la digestión recupera metales ligados con la red de estructura cristalina del sedimento que no están disponibles en el medio ambiente.
- (ii) Acido clorhídrico-nítrico (agua regia). Generalmente, se utiliza para todos los metales traza, excepto el mercurio. Esta digestión brinda valores "totales" pero excluye los metales ligados con la red de estructura cristalina del sedimento. Estos valores generalmente exceden la cantidad de metales traza que puede llegar a estar disponible en el medio ambiente. El procedimiento consiste en lo siguiente: se transfiere 50 mg de la muestra a un vaso de precipitado de 50 ml de capacidad. Se añade una mezcla de HNO<sub>3</sub>-HCl (1:3) y la muestra se calienta en una placa calentadora durante 30 minutos a temperatura moderada (60°C); después de enfriarla a temperatura ambiente, la muestra se diluye con 50 ml de agua destilada.

Como alternativa se usan bombas de Teflón para la digestión de muestras de sedimentos que han de ser analizadas para determinar Cd, Hg y As: en una bomba de Teflón se coloca 100 mg de sedimentos en polvo y se agrega 5 ml de agua regia. La bomba sellada se calienta en un horno a 110°C durante dos horas.

- (iii) Acido clorhídrico 0.5N. Se emplea para determinar las concentraciones de metales traza que estén ligeramente unidos a los sedimentos minerales y que son los que mayores posibilidades tienen de participar en interacciones químicas y biológicas ambientalmente significativas. El procedimiento consiste en lo siguiente: calentar la muestra y el ácido en un vaso de precipitado cubierto con un vidrio de reloj cóncavo-convexo sobre una placa calefactora a 90°C durante 30 minutos. Después de enfriarla, filtrarla a través de un papel filtrante W42 y diluirla cuantitativamente con agua destilada hasta completar un volumen de 50 ml. Este método no extrae metales de la materia orgánica (compuestos formados por nitrógeno orgánico, sulfuro, oxígeno) y solo se debe usar cuando la materia orgánica represente menos del 30% del peso de la muestra. (La materia orgánica se puede estimar como: Carbono Orgánico en Suspensión x 1,7.) Para las muestras que contengan >30% de materia orgánica, utilizar el método del agua regia.
- (iv) Fusión con metaborato de litio (con determinación simultánea de sílice). En un crisol de platino o grafito se coloca 50 mg de muestra y se mezcla con aproximadamente 200 ml de  $\text{LiBO}_3$  antes de calentarla durante 15 minutos a 1100°C; la materia fundida se enfría a temperatura ambiente. Se añade 25 ml de ácido nítrico al 10% y la totalidad de la masa se disuelve utilizando un agitador magnético. La muestra se transfiere a un matraz y se diluye hasta completar 50 ml.

#### 4.2 Análisis

Los métodos analíticos se describen en el Capítulo III de esta Guía y en las referencias. Algunos de los métodos que se pueden utilizar con facilidad en un programa rutinario de monitoreo son los siguientes:

Materia orgánica y nutrientes: Carbono orgánico en suspensión (POC por sus siglas en inglés). En el mercado existen instrumentos para determinar POC en sólidos en suspensión secos. La determinación se efectúa mediante oxidación húmeda de la materia orgánica seguida por la transferencia de  $\text{CO}_2$  y su posterior medición.

Fósforo total: La muestra se digiere con ácido sulfúrico y con peroxisulfato de potasio.

Nitrógeno total: El nitrógeno total (N orgánico y  $\text{HN}_4^+$  inorgánico, si este último no hubiera sido eliminado previamente) se determina mediante el clásico método Kjeldahl.

Arsénico y metales traza: La muestra solubilizada después del pre-tratamiento se analiza mediante la Espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros. Para determinar Hg se recomienda la Espectrometría de Absorción Atómica sin Llama. En FAO (FAO, 1976), en el Manual USGS (Skougstad et al 1979) y en Salomons y Förstner (1984) se describen otros procedimientos en detalle.

Compuestos organoclorados: Los filtros secos se muelen en un mortero previamente limpio o se pulverizan en una licuadora previamente limpiada. En el caso de caso de moler con licuadora, se puede agregar un solvente para comenzar la extracción. El solvente de extracción común es el acetonitrilo. Si los filtros son molidos estando secos, la extracción se puede realizar con un solvente. El extracto se diluye con agua filtrada a razón de 5 partes de agua por 1 parte de extracto. Luego se extrae la solución agua-acetonitrilo con hexano libre de hidrocarburos clorados. El extracto de hexano se purifica mediante microcolumna cromatográfica sobre Florisil. El extracto limpio luego se evapora hasta alcanzar un volumen conveniente para su análisis. Esto se puede efectuar con un evaporador rotativo seguido por un concentrador Kuderna Danish. El extracto final se analiza mediante cromatografía en fase gaseosa. El procedimiento analítico completo se describe en el Manual de la FAO (FAO, 1976).

Es importante que se controlen todos los procedimientos de pretratamiento y análisis para detectar una posible contaminación intercalando simultáneamente blancos con las muestras que se analizan.

#### 4.3 Control de la calidad analítica

Los procedimientos para recolección y pretratamiento de muestras deben estandarizarse lo más posible durante todo el estudio. Mediante el control de la calidad analítica --comparaciones intra- e inter-laboratorios-- se puede garantizar la comparabilidad de los análisis. La precisión de los análisis dentro de cada uno de los laboratorios puede comprobarse analizando materiales de referencia estándar de concentraciones conocidas. Los ejercicios de intercalibración se realizan mediante el análisis de muestras homogéneas de concentración desconocida. Es preferible usar muestras de referencia que tengan una matriz similar a la de las sustancias a ser controladas. También es preferible preparar estas muestras comenzando con las muestras de campo que contengan sólidos en suspensión ya contaminados en vez de preparar muestras con adiciones de concentración conocida de la(s) variable(s) de interés. Ello evitará diferencias en el pretratamiento entre muestras artificiales y naturales.

## 5.0 EVALUACION DE DATOS

### 5.1 Presentación de los datos

Todas las recomendaciones hechas en los Capítulos I y IX de esta Guía también se aplican a los sólidos en suspensión. Cuando se suministran datos sobre sólidos en suspensión, se recomienda incluir la siguiente información (Cuadro 1):

- (i) la descripción completa de los procedimientos de recolección de muestras, incluidos: ubicación, tipo de muestra, cantidad muestreada, cantidad de muestras, tipo de aparato de filtración y filtros usados;
- (ii) descripción completa de los pretratamientos de las muestras (digestión ácida, lixiviación parcial, solvente orgánico, extracción, etc.);
- (iii) método analítico utilizado.

Para el programa GEMS/Agua, todas las concentraciones deben registrarse como masa contaminante por masa de materia seca en suspensión ( $\text{mg.g}^{-1}$ ;  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ;  $\text{ng.g}^{-1}$ ) para los contaminantes inorgánicos y nutrientes y como masa contaminante por litro de agua sin filtrar para los contaminantes orgánicos (ver Cuadro 1). Para la columna de sedimentos, cada nivel analizado debe considerarse como una muestra separada e informado en formulario aparte.

### 5.2 Discusión de los resultados

La discusión de los resultados debe tener en cuenta varios factores, siendo los más pertinentes: dilución de contaminantes por materia no contaminada, tales como cuarzo o carbonatos; tamaño y evaluación de los valores básicos naturales (en el caso de elementos que están presentes naturalmente).

#### Efecto de la distribución del tamaño de las partículas

La granulometría influye en la calidad de los sólidos en suspensión. Es importante destacar los siguientes puntos:

- (i) Las partículas más finas (por ejemplo, minerales arcillosos) por lo general tienen el mayor contenido de contaminantes debido a su capacidad de adsorción.
- (ii) Las partículas más gruesas (fragmentos de rocas, minerales de carbonato de cuarzo y otros minerales inertes) generalmente tienen bajas concentraciones de metales, nutrientes y contaminantes orgánicos. Esta materia gruesa suele diluir a los contaminantes --lo que se denomina efecto de la granulometría o de la matriz. Sin embargo, los sólidos gruesos flotantes o la materia orgánica también pueden estar muy contaminados.

Por lo tanto, es común separar la fracción gruesa superior a 175  $\mu\text{m}$  y realizar el análisis químico en la fracción inferior a 175  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, la parte restante continuará conteniendo una cantidad apreciable de partículas inertes en la fracción de arena (usualmente cuarzo) o hasta en la fracción de limo. Las fracciones de arcilla y limo predominan tanto en los sólidos en suspensión de ríos como en los sedimentos de lagos.

#### Estandarización de los resultados

Los metales traza suelen estar asociados a la arcilla y, en menor grado, a la fracción de limo. Esto se debe a los procesos de adsorción asociados a la minerología de la arcilla, revestimientos de hierro y manganeso, precipitados carbonatados y al carbono orgánico en suspensión. Dado que esto tiende a estar relacionado con la granulometría (efecto matriz) es usual **estandarizar** los datos de concentraciones de metales utilizando o una corrección geoquímica o bien una corrección de matriz más simple.

- (i) Corrección por cuarzo. Los geoquímicos la emplean para estandarizar el componente cuarzo de la muestra debido a que se considera que los contaminantes se asocian a la fracción de cuarzo complementaria. No se utiliza mucho en análisis ambientales por la dificultad para determinar el cuarzo.

La corrección por cuarzo se calcula como: 
$$\frac{\text{Concentración observada} \times 100}{100 - \% \text{ de cuarzo}}$$

- (ii) Carbonatos y otras variables. También se puede hacer correcciones para carbonatos y otras variables si están presentes en cantidades apreciables en los sólidos en suspensión. Las concentraciones corregidas generalmente se registran como contenidos libres de cuarzo o de carbonato.
- (iii) Corrección por aluminio. El efecto de las cantidades variables de minerales arcillosos puede reducirse estandarizando el contenido de contaminantes con el contenido de aluminio en la muestra. Este elemento se relaciona con la cantidad de arcilla, aunque ésta también forma parte de otros minerales y es un elemento muy inerte en el ambiente acuático. Esta corrección es válida para los metales traza, los que generalmente tienen una relación lineal con el contenido de aluminio. El resultado se

expresa como la relación entre la concentración de metal y la concentración de aluminio en la muestra (véase el ejemplo que se brinda más adelante para el Factor de Enriquecimiento de Sedimentos).

- (iv) Corrección por tamaño de partículas. Los estudios han demostrado que los datos de metales traza tienden a estar asociados a la fracción del sedimento (sólidos en suspensión o depositados) <63 µm ó <125 µm. Por consiguiente, el análisis de una muestra que contenga mucha arena "diluirá" la concentración real del metal. Por lo tanto, el valor de la concentración se prorratea según el porcentaje de sólidos <63 µm (ó <125 µm) en la muestra de sedimento, siempre y cuando los sólidos <63 µm (<125 µm) representen no menos de un 30-40% del total de la muestra. Si es menor, el valor prorrateado puede ser erróneo. Esta es la corrección de matriz más comúnmente usada con propósitos ambientales. Si las agencias no pueden determinar si usar el límite 63 µm o el de 125 µm, deben utilizar el 63µm. El valor porcentual de <63 µm se puede determinar mediante la tamización húmeda de una muestra dispersa de sedimento de peso conocido a través de un filtro tarado de 63 µm y pesando el filtro y el contenido después de haberse secado.

Esta corrección se calcula como:

$$\text{Valor corregido } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Concentración de metales traza } (\mu\text{g/g})}{\text{Porcentaje de muestra } <63 \mu\text{m (ó } <125 \mu\text{m)}}$$

#### Estimación de los valores básicos

Otro de los problemas importantes que se presentan al discutir los resultados analíticos es la evaluación de los niveles básicos naturales de las sustancias que se determinan. Este es el caso del carbono orgánico, nutrientes, metales pesados y arsénico, pero no de los micro-contaminantes orgánicos mencionados en el Cuadro 1 que no se encuentran en forma natural en los sedimentos.

Los sedimentos depositados en ríos y lagos antes del comienzo de la era industrial se utilizan para la determinación de los valores básicos naturales. Si bien es posible que se produzcan migraciones de metales pesados y nutrientes de los sedimentos después de depositados, los depósitos del fondo generalmente proporcionan registros valiosos de los niveles de contaminación en el pasado. Por ejemplo, se ha verificado fehacientemente que ha habido un aumento de nitrógeno y fósforo en la parte superior de los sedimentos del fondo de muchos lagos, lo que se relaciona con la eutrofización acelerada. También se han encontrado mayores niveles de metales pesados en lagos contaminados, en algunos casos debido únicamente al aporte atmosférico.

- (i) Sólidos en suspensión en ríos. Para los metales traza y el arsénico asociados a partículas en los ríos se pueden realizar comparaciones con las muestras de sólidos en suspensión tomadas de la parte superior de la cuenca de drenaje, donde generalmente hay menos contaminación. El resultado del análisis de los sólidos en suspensión se puede comparar también con la composición promedio de las rocas en la cuenca, si se conociera su composición química. Si eso no fuera posible, se puede utilizar los contenidos promedio mundiales de arcillas o sólidos en suspensión (Cuadro 5) en los ríos para las comparaciones.

Cuadro 5. Promedio de algunos componentes de los sólidos en suspensión en ríos

	Sólidos en ríos y lagos		
	Variación común en sedimentos de lagos (1)	Promedio en los sólidos en suspensión en ríos (2)	Esquistos promedio (3)
As µg.g <sup>-1</sup>	--	8	13
Cd µg.g <sup>-1</sup>	0,1 - 1,5	0,3	0,3
Cr µg.g <sup>-1</sup>	20 - 90	120	90
Cu µg.g <sup>-1</sup>	20 - 90	50	45
Hg µg.g <sup>-1</sup>	0,15 - 1,5		0,4
Ni µg.g <sup>-1</sup>	30 - 250	80	68
Pb µg.g <sup>-1</sup>	10 - 100	40	20
Zn µg.g <sup>-1</sup>	50 - 250	240	95
POC g.g <sup>-1</sup> (4)	0,005 - 0,2	0,01	
TSS mg.l <sup>-1</sup> (4)		500	

(1) Förstner & Whitman (1981)

(2) modificado de Martin & Meybeck (1979)

(3) Turekian & Wedepohl (1961)

(4) POC: Carbono Orgánico en Suspensión, TSS: Sólidos Totales en Suspensión, Meybeck (1982)

- (ii) Sedimentos de lagos. El impacto de la contaminación en los sedimentos de lagos puede determinarse fácilmente mediante el análisis de los elementos de interés desde el centímetro superior hasta la capa de sedimentación correspondiente a los últimos 100 ó 200 años. Estas mediciones deben comprobarse datando columnas testigo, ya sea por determinación radiocronológica o palinológica. La capa de sedimentos por debajo de este horizonte se usará como base para determinar los valores básicos naturales.

El nivel de contaminación por metales pesados se puede estimar con el factor de Enriquecimiento de Sedimentos (FES) definido como:

$$FES = \frac{\frac{Cz}{Alz} - \frac{Cb}{Al}}{\frac{Cb}{Alb}}$$

donde: Cz = concentración del elemento en la capa z  
 Cb = concentración del elemento en las capas de sedimentos del fondo (correspondiente a la era preindustrial)  
 Alz = concentración del aluminio en la capa z  
 Alb = concentración del aluminio en las capas del fondo.

### 5.3 Flujos de contaminación en ríos

La determinación de flujos de contaminación en ríos es necesaria para evaluar el ingreso de contaminantes en lagos, mares regionales u océanos y para estudiar el balance de la masa de contaminantes en una cuenca de drenaje. Cuando se desea evaluar el aporte de un río a otro cuerpo de agua, las estaciones que se seleccionen para la recolección de muestras deben estar lo más cerca posible de la confluencia. El agua debe estar bien mezclada en la sección transversal del río a fin de minimizar la cantidad de puntos de muestreo.

La frecuencia del muestreo es importante debido a las variaciones en el contenido de sólidos totales en suspensión (TSS, expresado generalmente en  $\text{mg.l}^{-1}$ ) y en el contenido del elemento x en los sólidos en suspensión ( $C_{sx}$  expresado generalmente en  $\text{g.kg}^{-1}$  ó  $\text{mg.kg}^{-1}$ ). La cantidad de elementos por unidad de volumen de agua sin filtrar ( $C_{vx}$ ) se calcula fácilmente como  $CV_x = TSS \cdot C_{sx}$  y se expresa generalmente en  $\text{mg.l}^{-1}$  ó  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . En la mayoría de los estudios, los análisis de sólidos en suspensión no se realizan más de doce veces por año. Dada la probabilidad de que tanto la cantidad de sólidos en suspensión (TSS) como su contenido elemental ( $C_{sx}$ ) varíen entre períodos de muestreo, será necesario interpolar datos, especialmente durante épocas de crecidas cuando el TSS es muy variable.

Se sugieren dos tipos de interpolación:

- (i) Supuesto de flujo constante. El flujo  $Q_{s_{xi}}$  del contaminante x descargado por el río con los sólidos en suspensión es constante durante un período representativo ( $t_i$ ) en el tiempo i del muestreo. La masa total de contaminantes ( $M_x$ ) descargada durante el intervalo de tiempo  $T = \sum t_i$  será:

$$M_x = \sum_i Q_{s_{xi}} t_i$$

$$\text{donde } Q_{s_{xi}} = TSS_i Q_i C_{s_{xi}}$$

$TSS_i$  = total de sólidos en suspensión al momento del muestreo;  
 $C_{s_{xi}}$  = concentración del contaminante x en los sólidos en suspensión;  
 $Q_i$  = descarga de agua al momento del muestreo.

$Q_{s_{xi}}$  se computa para cada muestra. La longitud del período representativo  $t_i$  puede variar con las variaciones en la descarga de agua. Este supuesto es particularmente válido en el caso de fuentes puntuales que liberen un flujo relativamente constante de contaminantes.

- (ii) Supuesto de concentración constante: La concentración  $C_{s_{xi}}$  es constante durante un período dado  $t_i$  al momento del muestreo. La cantidad de sólidos en suspensión descargada durante este período ( $M_{s_i}$ ) debe medirse con la máxima precisión --por ejemplo, mediciones diarias de los sólidos en suspensión (TSS). La masa total de contaminantes descargados será:

$$M_x = \sum_i C_{s_{xi}} M_{s_i}$$

$$\text{donde } M_{s_i} = t_i \sum_j TSS_j Q_j$$

El segundo método tiene en consideración las variaciones en el total de sólidos en suspensión, el que puede llegar a ser de hasta tres órdenes de magnitud en los ríos; es decir, mucho más que las variaciones de  $C_{sx}$ , que normalmente son de un orden de magnitud.

Estos métodos se pueden mejorar si se establecen relaciones entre el flujo de contaminantes  $Q_{s_{xi}}$  y la descarga de agua  $Q_i$ , o entre el nivel de contaminación  $C_{s_{xi}}$  y la cantidad de sólidos en suspensión TSSi. Estas relaciones, cuando existen, permiten formular estimaciones de  $Q_{s_x}$  y  $C_{s_x}$  entre dos periodos consecutivos de muestreo.

## 6.0 REFERENCIAS

Adams, D.D. (1991). Sampling sediment pore water. In: A. Mudroch and S.S. Macknight (eds.). Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling, Chapter 7, pp. 171-202, CRC Press, Boca Raton, Fl.

Agemian, H. and Chau, A.S.Y. (1976). Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. The Analyst, Vol. 101, No. 1207:761-767.

American Public Health Association (1951) Standard methods for the examination of water and waste water (13th ed.). Amer. Publ. Health Ass., Washington, D.C.

Environment Canada (1979) Analytical Methods Manual. Inland Waters Directorate, Ottawa, Canada.

E.P.A. Methods for Chemical Analyses of Water and Wastes. Rept. E.P.A. -600/4-79-020.

Food and Agriculture Organization (1976) FAO Manual of Methods in Aquatic Environmental Research: part 3. Sampling and Analysis of Biological Materials. FAO Fisheries Technical Paper No. 158, 124 p.

Förstner, U. and Wittmann, G.T.W. (1979). Metal Pollution in the Aquatic Environment, Berlin, Heidelberg, New York. Springer Verlag. 400 p.

Golterman, H.L., Sly, P.G. and Thomas, R.L. (1983). Study of the Relationship Between Water Quality and Sediment Transport: A Guide for the Collection and Interpretation of Sediment Quality Data, Unesco, Paris, 231p.

Horowitz, A.J. (1985). A Primer on Trace Metal-Sediment Chemistry. U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 2277, 67 p.

Horowitz, A.J. (1991). A primer on sediment-trace element chemistry, 2nd rev. ed., Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Mi.

Horowitz, A.J., and Elrick, K.A. (1988). Interpretation of bed sediment trace metal data: methods for dealing with grain size effect. Special Technical Publication 976, Am. Soc. Testing and Materials, Philadelphia, PA.

Horowitz, A.J., Elrick, K.A. and Hooper, R.C. (1989). A Comparison of Instrumental Dewatering Methods for the Separation and Concentration of Suspended Sediment for Subsequent Trace Element Analysis. Hydrolog. Processes, 2, p. 163-184.

Martin, J.M. and Meybeck, M. (1979). Elemental Mass-Balance of Material Carried by Major World Rivers. Mar. Chem., 7, p. 173-206.

Meybeck, M. (1982). Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Transport by World Rivers. American J. Science, 282, p. 401-450.

Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R., and Chapman, D. (1991). River Monitoring. In: D. Chapman (ed.) Water Quality Assessments, A Guide to the Use of Biota, Sediment and Water in Environmental Monitoring. Chapter 6, Chapman Publ. London (in press).

Mudroch, A. and Bourbonniere, R.A. (1991). Sediment sample handling and processing. In: A. Mudroch and S.D. MacKnight (eds.) Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling. Chapter 4, pp. 29-96. CRC Press Inc., Boca Raton, Fl.

Mudroch, A. and Macknight, S.D. (1991). Bottom sediment sampling. In: A. Mudroch and S.D. Macknight (eds.) Handbook of Techniques for Aquatic Sediment Sampling. Chapter 4, pp. 29-96. CRC Press Inc. Boca Raton, Fl.

Salomons, W. and Förstner, U. (1984). Metals in the Hydrological Cycle. Springer-Verlag, New York, 350 p.

Skougstad, M.W., Fishman, J.J., Friedman, L.C., Erdman, D.E. and Duncan S.S. Methods for Determination of Inorganic Substances in Water and Fluvial Sediments. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book Ch.AI, 626 p., US Printing Office, Washington, DC.

Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements. Analytical Chemistry, V 51:844-850.

Thomas, R. and Meybeck, M. (1991). The use of particulate matter. In: D. Chapman (ed.). *Water Quality Assessments, A Guide to the Use of Biota, Sediment and Water in Environmental Monitoring*. Chapter 4, Chapman Publ., London (in press).

Thomas, R., Meybeck, M. and Beim, A. (1991b). Lake Monitoring. In: D. Chapman (ed.) *Water Quality Assessments, A Guide to the Use of Biota, Sediment and Water in Environmental Monitoring*. Chapter 7, Chapman Publ., London (in press).

Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 72, p. 175-192.

WMO (1981) *Measurement of River Sediment*. WMO Operational Hydrology Report 16, World Meteorological Organization, Geneva, 61 p.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su profunda gratitud a Arthur Horowitz (U.S. Geological Survey, Doraville, GA) y a Alena Mudroch (National Water Research Institute, Burlington, Ontario) por las correcciones y sugerencias formuladas.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO V: PRINCIPIOS PARA LA PLANIFICACION Y EJECUCION  
DE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS**

Preparado por  
J. Bartram y Dr. D. Wheeler  
Robens Institute  
University of Surrey  
Guildford, Surrey  
Reino Unido

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	ORGANISMOS INDICADORES .....	1
3.0	CARACTERISTICAS DE LOS ORGANISMOS INDICADORES .....	1
3.1	Coliformes termorresistentes (fecales) .....	1
3.2	Coliformes totales .....	2
3.3	Estreptococos fecales (enterococos) .....	2
3.4	Recuento de colonias .....	2
4.0	METODOS ANALITICOS: PRINCIPIOS Y DESCRIPCIONES GENERALES .....	2
4.1	Principales técnicas de aislamiento .....	2
4.2	Membrana filtrante .....	3
4.3	Técnica de tubos múltiples .....	3
5.0	ORGANIZACION DEL MUESTREO Y DE LOS ANALISIS PARA PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS .....	3
5.1	Recursos para los análisis .....	3
5.2	Recolección y traslado de las muestras .....	4
6.0	CONTROL DE CALIDAD Y GARANTIA DE CALIDAD .....	4
6.1	Control de calidad .....	4
6.1.1	Supervisión .....	5
6.1.2	Análisis de muestras estériles .....	5
6.1.3	Revisión de equipos .....	5
7.0	LECTURA ADICIONAL SOBRE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS .....	5

## 1.0 INTRODUCCION

Cuando se planifica el monitoreo microbiológico de cursos de agua y suministros de agua potable, se debe tener en cuenta una serie de consideraciones a fin de asegurar que los métodos y estrategias adoptados produzcan resultados válidos. Estas consideraciones, que se detallan más adelante, incluyen: selección de parámetros; selección de métodos de análisis; organización de apoyo del laboratorio; muestreo y traslado de muestras y garantía de calidad. Si bien los métodos no se describen detalladamente, se proporciona una lista de lecturas recomendadas sobre requerimientos de laboratorio y sobre métodos de muestreo y análisis. Los principios descriptos a continuación serán de utilidad para la planificación y evaluación del monitoreo microbiológico.

## 2.0 ORGANISMOS INDICADORES

Uno de los mayores riesgos relacionados con el agua y las aguas residuales en todo el mundo, especialmente en muchos países en desarrollo, es el de las enfermedades contagiosas asociadas a la contaminación por materia fecal. Si bien ahora es posible hacer análisis para detectar la presencia de patógenos específicos (organismos que causan enfermedades), algunos de estos métodos son costosos y lentos. Dado que no es práctico intentar el aislamiento de patógenos específicos en el agua en forma rutinaria, el análisis de aguas y aguas residuales para verificar parámetros microbiológicos normalmente se efectúa por determinación de la calidad higiénica. Para tal fin se procede al aislamiento y enumeración de los organismos que sirven como indicadores de contaminación fecal. Los laboratorios de referencia deben desarrollar la capacidad para identificar a los patógenos con el objeto de realizar investigaciones y controlar el brote de enfermedades.

Se pueden usar varios indicadores para evaluar la calidad microbiológica del agua y para determinar la eficiencia de los sistemas de tratamiento del agua potable y aguas residuales. También se pueden usar indicadores microbiológicos que no necesariamente estén relacionados con la contaminación fecal. En el Cuadro 1 se presenta las aplicaciones recomendadas de los organismos indicadores más comúnmente usados.

Dentro del programa GEMS/Agua se recomiendan solo dos indicadores: coliformes totales y coliformes termorresistentes ("fecales"). En lo que respecta al riesgo para la salud humana por contacto con aguas contaminadas durante actividades recreativas, es sabido que los estreptococos fecales constituyen uno de los más útiles indicadores de riesgo de enfermedades. Por lo tanto, es probable que los estreptococos fecales se utilicen cada vez más en el análisis de aguas para usos recreativos y que los estándares de calidad para aguas interiores y marítimas destinadas al uso recreativo reflejen esa tendencia. Se recomienda que las agencias relacionadas con la calidad del agua para fines recreativos y la salud humana cuenten con la capacidad analítica para determinar estreptococos fecales.

Cuadro 1. Aplicaciones recomendadas de diferentes micro-organismos indicadores

	Indicadores de riesgo de enfermedades		Indicadores de eficiencia del proceso de tratamiento	
	Agua potable	Usos recreativos	Agua potable	Agua residual
Coliformes termorresistentes (fecales)	4	4	4	4
Coliformes totales	2	2	3	2
Estreptococos fecales (enterococos)	2	3	3	2
Recuento a 37°C	0	0	2	0
Recuento de colonias a 22°C	0	0	3	0

Referencia: 0 = sin importancia; 1 = poco valor; 2 = valor moderado; 3 = importante; 4 = esencial.

Fuente: Organización Mundial de la Salud, 1988. *Training Course Manual for Water and Wastewater Laboratory Technicians*, WHO/PEP/88.11), WHO, Ginebra.

## 3.0 CARACTERISTICAS DE LOS ORGANISMOS INDICADORES

A continuación se brinda la definición de cada uno de los grupos importantes de indicadores:

### 3.1 Coliformes termorresistentes (fecales)

Este grupo *casi siempre* indica la presencia de contaminación fecal. Generalmente, una proporción muy elevada (superior al 95%) de coliformes fecales o termorresistentes aislados del agua es de *Escherichia coli*, organismo que se aloja en el intestino. Sin embargo, a menudo se considera que no es práctico o necesario emprender un análisis bioquímico adicional para confirmar la presencia de *E. coli*. Los coliformes termorresistentes crecen en, o en medios que contienen, lactosa a 44°C ó 44.5°C con producción de ácido y gas. Normalmente se detectan mediante la incorporación de indicadores de pH en el medio.

Se ha sugerido que en algunos ambientes tropicales hay bacterias que sin ser de origen fecal presentan las características de coliformes termorresistentes. Sin embargo, por ahora no hay motivo para cuestionar el uso de los coliformes termorresistentes como los indicadores más útiles de contaminación fecal.

### 3.2 Coliformes totales

Este grupo puede indicar o no la presencia de contaminación fecal; comprende a los coliformes termorresistentes y a otros organismos, incluso algunos que se multiplican en la superficie de plantas. Es más, es posible que algunos miembros del grupo se multipliquen en ambientes acuáticos. En estos casos, un resultado elevado para el grupo de coliformes totales puede estar asociado con un recuento bajo o nulo de coliformes termorresistentes. Estos resultados no indican necesariamente contaminación fecal. No obstante, casi todo el grupo está integrado por bacterias que se pueden encontrar en el intestino. Los coliformes totales crecen en, o en medios que contienen, lactosa a 35°C ó 37°C con producción de ácido y gas. Al igual que los coliformes termorresistentes normalmente se detectan mediante la incorporación de un indicador de pH en el medio.

### 3.3 *Streptococcus* fecales (enterococos)

Este grupo *generalmente* indica la presencia de contaminación fecal. Sin embargo, en algunos casos, especialmente cuando hay una elevada proporción de materia orgánica, uno o dos miembros del grupo pueden multiplicarse en el agua. Además, los *Streptococcus* fecales tienden a persistir más tiempo en el ambiente que los coliformes fecales o totales. Por lo tanto, es posible obtener un recuento de *Streptococcus* fecales mayor al esperado en comparación con los niveles de coliformes fecales y/o totales. En estos casos, puede suponerse que *o bien* ha habido cierto grado de contaminación orgánica o que la fuente de contaminación fecal era remota (en tiempo o distancia). Los *Streptococcus* fecales crecen en, o en medios que contienen, NaNO<sub>3</sub> (azida de sodio) a 37°C-44°C. Generalmente se detectan por reducción de un tinte o por hidrólisis de esculina.

### 3.4 Recuento de colonias

Estos indicadores son de poca o nula importancia para la higiene y simplemente incluyen a todos aquellos micro-organismos (bacterias, levaduras y mohos) que pueden crecer sobre o en un medio agar sólido a 37°C ó 22°C. Por lo tanto, los grupos *excluyen* a los organismos con requerimientos nutricionales complejos y, cuando el crecimiento se produce en la superficie de un medio agar, a los organismos que no crecen en presencia de oxígeno. Además, la técnica de aislamiento generalmente incluye la mezcla de escasos volúmenes de agua con volúmenes relativamente altos de medios agar fundidos a 45°C. El shock térmico resultante puede producir la muerte de una gran proporción de los organismos presentes en la muestra.

## 4.0 METODOS ANALITICOS: PRINCIPIOS Y DESCRIPCIONES GENERALES

### 4.1 Principales técnicas de aislamiento

Las principales técnicas usadas para aislar organismos indicadores del agua son:

- Membrana filtrante (MF)
- Tubos múltiples o número más probable (TM o NMP)
- Recuento de colonias en placas de vaciado (PV)
- Recuento de colonias en placas de distribución superficial (PDS)
- Análisis de presencia/ausencia

Estas técnicas tienen diversas aplicaciones y se las resume en el Cuadro 2.

El recuento de colonias solo tiene valor cuando se realiza en forma regular y si se llevan registros confiables durante muchos meses. Entonces, si se producen cambios sustanciales en un momento dado, puede haber motivo de preocupación. Las bacterias que forman esporas (por ejemplo, especies de *Bacillus*) se recuperan fácilmente como parte del recuento de colonias y, de esa forma, esos recuentos se pueden usar como una guía de la eficiencia de los procedimientos de desinfección, si estos organismos están presentes en el agua en forma natural antes de la desinfección.

Los análisis de presencia/ausencia se usan con mayor frecuencia en los países desarrollados. Como no son cuantitativos, son adecuados solo para el monitoreo de aguas en las cuales no es común encontrar resultados positivos. Estos métodos tienen poca aplicación en aquellos casos en que la contaminación es común y donde el objetivo del análisis es determinar el grado de contaminación. Los análisis de presencia/ausencia no se recomiendan para análisis de aguas superficiales o de agua potable no tratada o parcialmente tratada en los países menos desarrollados.

Cuadro 2. Aplicación recomendada de diferentes técnicas de aislamiento en aguas y aguas residuales

	Agua potable	Agua para usos recreativos	Aguas residuales	Aguas cloacales
Coliformes termorresistentes (fecales)	MF, TM	MF, TM	MF, TM, PU	TM, PDS
Coliformes totales	MF, TM	MF, TM	MF, TM, PDS	TM, PDS
Estreptococos fecales (enterococos)	MF, TM	MF, TM	MF, TM	TM
Recuentos de colonias	PV	N/A	N/A	N/A

MF = Membrana filtrante, TM = Tubos múltiples, PDS = Placa de distribución superficial, PV = Placa de vaciado, N/A = No corresponde.

Fuente: Jamie Bartram y David Wheeler, *Microbiological Methods (Laboratory Analysis)* en: *GEMS/Water Handbook for Water Quality Monitoring in Developing Countries*, Draft, University of Tampere, Finland, 1991.

#### 4.2 Membrana filtrante

Una parte de la muestra, o una dilución de la misma, se introduce de manera aséptica en un aparato de filtración esterilizado que contiene una membrana filtrante estéril. El filtro debe tener poros de un diámetro nominal de 0,2 ó 0,45  $\mu\text{m}$ . La muestra se hace pasar por la membrana filtrante mediante la aplicación de vacío. El filtro retiene cualquier organismo indicador presente en la muestra y luego se lo transfiere a un medio de cultivo en un platillo Petri. El medio de cultivo es selectivo para los micro-organismos indicadores de interés y contribuye a su identificación. Después de un período de resucitación, durante el cual las bacterias se adaptan a las nuevas condiciones, el platillo Petri se lleva a la temperatura adecuada y se incuba. Pasado un cierto tiempo, se habrán formado las colonias que se pueden identificar visualmente y se procede a su recuento. Los resultados se expresan en cantidades de "unidades que forman colonias" (ufc) por 100 ml de muestra original.

La filtración con membrana no es aplicable a muestras semi-sólidas, tales como barros, o a aguas con un alto nivel de turbiedad ya que fácilmente pueden obstruir los filtros. Hay que diluir bajos volúmenes de muestra (es decir, menos de 10 ml) con un volumen adecuado de diluyente estéril antes de proceder a la filtración a fin de asegurar que la muestra se filtre uniformemente por toda la superficie de la membrana filtrante.

Si no hay muestras anteriores del sitio o si se desconoce el nivel actual de contaminación, es aconsejable analizar dos o más volúmenes diferentes para asegurar que la cantidad de colonias en al menos una de las membranas corresponde al margen óptimo para recuento (30-300 colonias por membrana).

#### 4.3 Técnica de tubos múltiples

Esta técnica es conocida también como Método del Número Más Probable (NMP). A diferencia de la MF, se basa en una estimación indirecta de la densidad de microbios en la muestra de agua. Se usan cuadros estadísticos para determinar la cantidad más probable de micro-organismos presentes en la muestra. Esta técnica se usa en muestras muy turbias o semi-sólidas que no se pueden filtrar y que, por lo tanto, no son aptas para el análisis mediante la filtración con membrana. El análisis mediante el método de tubos múltiples no es apto para áreas que no cuenten con el apoyo de laboratorios o que dependan de equipos de análisis portátiles. Además, esta técnica es lenta y tiene mayores requerimientos de equipo, material de vidrio e insumos que la técnica de la membrana filtrante.

La técnica de tubos múltiples se basa en el análisis separado de varios volúmenes de la muestra. Cada volumen se mezcla con un medio de cultivo líquido y se incuba. Los tubos generalmente se incuban inmediatamente. Al comparar el patrón de resultados positivos (definidos en términos de crecimiento según lo indique la turbiedad visible y/o el cambio de color en el medio y/o la producción de gas, cuya detección puede ser facilitada por un pequeño tubo invertido) con los cuadros estadísticos, se obtiene la densidad de micro-organismos en la muestra original. Los cuadros brindan una estimación del "número más probable" (NMP) de bacterias indicadoras por 100 ml de muestra original.

Al igual que con la técnica de la MF, ésta sirve para tener una idea del grado de contaminación que pueda haber en la muestra, lo cual permite elegir la combinación más adecuada de volúmenes de muestra que se han de procesar. Cuando no se dispone de datos previos, la selección se realiza de acuerdo con el tipo de muestra de agua.

### 5.0 ORGANIZACION DEL MUESTREO Y DE LOS ANALISIS PARA PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS

#### 5.1 Recursos para los análisis

El deterioro de la calidad de las muestras durante su traslado es un serio problema para aquellas que deben analizarse microbiológicamente. Este problema se puede minimizar efectuando un análisis inmediato. Por lo general, todos los análisis deben realizarse en un laboratorio que se encuentre lo más cerca posible de la zona de muestreo. En general, el establecimiento de una red

de laboratorios dependerá del balance entre las restricciones impuestas por los costos de equipos y muestreo (los cuales se relacionan en gran medida con la cantidad y frecuencia de muestras a ser analizadas) y los ahorros asociados con el transporte de las muestras.

No siempre es posible establecer una red de laboratorios que permita el traslado de las muestras a un laboratorio central o regional dentro de unas pocas horas de haber sido tomadas. Además, el análisis de muestras microbiológicas recolectadas en lugares remotos o de difícil acceso para la determinación de bacterias indicadoras entraña una serie de problemas tales como deterioro durante el traslado, costo del transporte de las muestras, inadecuación del almacenamiento y de las técnicas de preservación de muestras para un transporte prolongado y mayores costos porque el personal debe repetir los viajes para tomar nuevas muestras.

Por estos motivos y en ciertas circunstancias, es preferible usar un equipo portátil para el análisis de la calidad del agua en el campo. Se ha demostrado que el equipo portátil es efectivo y puede contribuir a superar restricciones logísticas o financieras. Los equipos portátiles varían mucho en cuanto a especificaciones técnicas, tales como la variedad de análisis que pueden efectuar, solidez, grado de independencia de un laboratorio central, portabilidad e insumos requeridos. En ciertos casos, también se pueden usar equipos portátiles en un lugar fijo en reemplazo del laboratorio convencional.

Los laboratorios centrales o nacionales desempeñan numerosas funciones de importancia, entre las que se incluyen el control de calidad para laboratorios regionales y locales y la capacitación del personal de esos laboratorios. En los laboratorios centrales también se pueden realizar ciertos análisis más sofisticados que no se pueden descentralizar debido al alto costo del equipamiento.

## 5.2 Recolección y traslado de las muestras

Uno de los factores importantes a tener en cuenta al planificar el monitoreo microbiológico del agua o de sistemas de abastecimiento de agua potable es el traslado de las muestras. La preservación de las muestras es particularmente difícil en el caso de muestras microbiológicas y el problema se agrava cuando el muestreo se lleva a cabo en zonas remotas o de difícil acceso.

Cuando las muestras deben ser transportadas antes de analizadas, es necesario contar con condiciones de almacenamiento adecuadas durante el transporte. Por este motivo, se debe determinar las condiciones y los períodos máximos de almacenamiento dadas las circunstancias imperantes. Todas las muestras deben llegar al laboratorio dentro de los períodos y en las condiciones acordadas y las muestras que no llenen dichos requisitos deben descartarse. Por lo general, las muestras deben tomarse en frascos de vidrio estériles reservados específicamente para ese propósito y transportados en un medio fresco y oscuro. Los análisis deben completarse dentro de las seis horas siguientes a la recolección de la muestra.

Cuando se analiza agua potable y se practica la cloración, el cloro residual se analiza en el campo y el análisis microbiológico se realiza en una muestra nueva. Si la muestra ha de ser trasladada antes del análisis, entonces se debe neutralizar el cloro utilizando, por ejemplo, tiosulfato de sodio.

## 6.0 CONTROL DE CALIDAD Y GARANTIA DE CALIDAD

El control de calidad requiere de la generación de datos para evaluar y controlar las bondades del método analítico y su funcionamiento. Esto generalmente se describe en términos de precisión en el día y a diario.

Por el contrario, la "garantía de calidad" es el conjunto de medidas tomadas por un laboratorio para asegurar a quienes reciben los datos que éstos son válidos. La garantía de calidad incluye no solo el control de calidad sino también otros aspectos. Por ejemplo, se debe demostrar que los individuos son competentes para desempeñar sus funciones (tal como el análisis de sólidos en suspensión); se debe establecer y documentar los métodos de análisis y los procedimientos para la manipulación de las muestras; y se debe definir y aplicar los procedimientos para la calibración de equipos a intervalos determinados. La garantía de calidad también debe tener en cuenta otros aspectos del funcionamiento del laboratorio, tales como niveles de responsabilidad gerencial y sistemas para la recuperación de datos.

### 6.1 Control de calidad

El control de calidad se describe más detalladamente en el Capítulo VII. Sin embargo, hay una serie de características especiales asociadas con los análisis microbiológicos que merecen ser destacadas.

Todos los métodos analíticos deben estar sujetos a un control de calidad interno. Esto se logra estimando la precisión del método en el día y a diario (precisión es el grado de desviación de los resultados respecto del resultado medio, mientras que la exactitud es el grado de desviación de los resultados respecto del resultado verdadero). Estas mediciones de precisión normalmente se efectúan a través de mediciones duplicadas en alícuotas de la muestra de agua.

El control de calidad en análisis microbiológicos es menos directo que el de los parámetros químicos. Esto se debe al hecho que es muy difícil preparar y almacenar alícuotas de una misma muestra que no cambien sustancialmente con el tiempo. Por lo tanto, es prácticamente imposible controlar las variaciones en la precisión en el día y a diario. De este modo, la validación de los métodos y el control de calidad de equipos y suministros para análisis microbiológicos revisten especial importancia.

Estos problemas de control de calidad para los análisis microbiológicos se agravan cuando se hacen análisis en el mismo sitio, ya que ello implica la realización de menor cantidad de análisis en mayor número de sitios. Se debe poner énfasis en la capacitación del personal responsable para análisis in situ.

El análisis in situ generalmente se realiza en condiciones más rigurosas y es posible que sea efectuado por personal menos especializado. Es así que el control de calidad es más difícil de llevar a cabo en las condiciones en que más se lo necesita. Los tres enfoques que se describen a continuación pueden ayudar a superar este problema.

#### 6.1.1 Supervisión

Se debe asegurar una adecuada supervisión de todos los aspectos del trabajo de campo, incluidos los análisis de calidad del agua. La supervisión del personal en el campo (es decir, en las condiciones en las cuales normalmente efectúan los análisis) puede contribuir a asegurar estándares analíticos adecuados.

#### 6.1.2 Análisis de muestras estériles

Todo el personal a cargo de análisis in situ ocasionalmente debe procesar "muestras" de agua estéril. Si se obtienen resultados positivos, el analista debe reconocer que las técnicas que está utilizando son incorrectas y las deberá corregir.

#### 6.1.3 Revisión de equipos

Como con un equipo portátil es posible visitar más puntos de muestreo para analizar la calidad del agua, lo que resulta en un uso más intenso del mismo, es importante revisarlo en forma regular.

### 7.0 LECTURA ADICIONAL SOBRE ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

Para quienes participan en el programa GEMS/Agua, hay dos textos que les serán de particular utilidad. Ellos son el Manual GEMS, que contiene procedimientos analíticos detallados y la publicación de la Organización Mundial de la Salud *Guías para la Calidad del Agua Potable*. Esta se divide en tres volúmenes y se prevé la publicación de ediciones revisadas para 1992-93.

Para quienes se interesan en el monitoreo de la calidad del agua en los países menos desarrollados, próximamente aparecerá *GEMS/Water Handbook for Water Quality Monitoring in Developing Countries*.

#### Normas Internacionales

ISO 9308-1	Calidad del Agua - Detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termorresistentes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva. Primera Parte: Técnica de la membrana filtrante
ISO 9308-2	Segunda Parte: Técnica de los tubos múltiples (número más probable)
ISO 7899-1	Calidad del Agua - Detección y enumeración de estreptococos fecales Primera Parte: Método por enriquecimiento en un medio líquido
ISO 7899-2	Segunda Parte: Técnica de la membrana filtrante
ISO 8199	Calidad del Agua - Guía general para la enumeración de micro-organismos por cultivo.
ISO 6222	Calidad del Agua - Enumeración de micro-organismos viables - Recuento de colonias por inoculación en o sobre un medio sólido.

WHO (1984). *Guidelines for Drinking Water Quality*. Volumes 1, 2, 3. WHO, Geneva.

APHA (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th edition. APHA, Washington.

Anon (1983). *The Bacteriological Examination of Drinking Water Supplies 1982*. HMSO, London.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO VI: MONITOREO BIOLOGICO**

Preparado por  
J. Jackson  
Centro de Investigaciones sobre Monitoreo y Evaluación  
King's College London  
University of London  
The Old Coach House  
Campden Hill, London W8 7AD

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
1.1.	Tipos de monitoreo biológico .....	1
2.0	BIOMASA DE FITOPLANCTON - CLOROFILA a .....	1
2.1.	Fundamento .....	1
2.2.	Muestreo .....	1
2.3	Principio .....	1
2.4	Aparato .....	1
2.5	Reactivos .....	1
2.6	Procedimiento .....	2
2.7	Cálculos .....	2
3.0	MONITOREO DE LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD .....	2
3.1	Diseño del programa y selección del lugar .....	3
3.2	Características del hábitat .....	3
3.3	Teoría y planificación del muestreo .....	4
3.4	Muestreo de campo .....	4
3.5	Manipulación de muestras .....	4
3.6	Datos .....	5
3.7	El índice Shannon-Weiner .....	5
4.0	ANALISIS DE TEJIDOS BIOLOGICOS .....	5
4.1	Selección de organismos .....	5
4.2	Recolección de muestras .....	6
4.3	Tratamiento de las muestras .....	6
4.4	Blancos y material de referencia .....	7
4.5	Determinación de masa seca .....	7
4.6	Digestión - Método básico .....	7
4.7	Arsénico y estaño .....	8
4.8	Mercurio y selenio .....	8
5.0	REFERENCIAS .....	8

## 1.0 INTRODUCCION

En muchos países, el monitoreo biológico de la calidad del agua se lleva a cabo como un complemento del monitoreo físico y químico. El monitoreo biológico analiza los efectos de comunidades e individuos en las aguas dulces mediante procesos de medición tales como producción primaria de algas, estructura de la comunidad o niveles de contaminantes en organismos individuales.

### 1.1. Tipos de monitoreo biológico

Se podría emplear una gran variedad de técnicas biológicas para examinar el impacto de la actividad humana en el ambiente acuático, desde ensayos moleculares y genéticos hasta estudios ecológicos completos. Aquí solo se describirán las tres técnicas más usadas: medición de la biomasa de fitoplancton por medición de la clorofila *a*; índices simples de diversidad biológica y el uso de tejidos vegetales y animales para controlar contaminantes específicos.

## 2.0 BIOMASA DE FITOPLANCTON - CLOROFILA *a*

### 2.1. Fundamento

Las algas planctónicas --fitoplancton-- crecen en la columna de agua y se pueden usar como indicadores de calidad del agua. El fitoplancton responde a condiciones naturales y a la influencia del hombre por lo que la estructura de la comunidad exhibirá grandes diferencias en distintos cuerpos de agua. Las poblaciones de fitoplancton y biomasa pueden reducirse por el ingreso de sustancias tóxicas pero pueden aumentar por el ingreso artificial de nitratos o fosfatos (provenientes de aguas servidas humanas o fertilizantes). Por lo tanto, no solo indican cuál es la calidad del agua sino que también pueden influir en ella --una gran cantidad de cierto fitoplancton puede producir niveles inaceptables de toxinas y cambios en el pH, color o sabor del agua. Cuando el agua contiene elevadas concentraciones de nutrientes (eutroficación), las poblaciones de fitoplancton pueden eventualmente morir y su descomposición provocar serios problemas por agotamiento de oxígeno en el agua. Los cambios en la biomasa se pueden controlar midiendo la concentración del pigmento fotosintético de la clorofila *a* en el agua.

### 2.2. Muestreo

Las muestras se deben extraer con recolectores. Para el agua que contiene pocos nutrientes (de gran transparencia), se requieren hasta 6 litros. En el caso de aguas eutróficas, 1-2 litros serán suficientes.

### 2.3 Principio

En el fitoplancton existen tres tipos de clorofila: clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *c*. Las clorofilas se extraen de la célula con acetona. Cada clorofila tiene un espectro de absorción de luz característico con picos de absorbancias. El extracto de acetona se analiza en un espectrofotómetro a estos picos --la altura pico indica la concentración de clorofila. La clorofila comienza a degradarse inmediatamente después que la célula muere. Esto puede llevar a error al estimar la concentración en la muestra porque el producto de la degradación de la clorofila *a*, la feofitina *a*, emite luz fluorescente en la misma región espectral. Se debe medir la concentración de feofitina *a* y hacer las correcciones pertinentes.

### 2.4 Aparatos

- Espectrofotómetro con una amplitud de banda espectral entre 0,5 y 2 nm;
- Cubetas de 1 cm; se pueden usar cubetas de mayor paso de luz (generalmente 4 cm ó 10 cm);
- Centrífuga;
- Licuadora de tejidos;
- Tubos para centrífuga, 15 ml, graduados, tapas a rosca;
- Filtros, fibra de vidrio GF/C, 4,7 cm de diámetro;
- Sistema de filtración y bombas;
- Pinzas

(En la medida de lo posible, todos los aparatos deben estar libres de ácido y álcali).

### 2.5 Reactivos

- Suspensión de carbonato de magnesio: 1,0 g MgCO<sub>3</sub> en 100 ml de agua destilada; agitar antes de usar;
- Solución de acetona: 90% de acetona;
- Acido hidroclicóric: 1N HCl.

## 2.6 Procedimiento

- i) Concentrar la muestra de agua mediante filtración (después de registrar el volumen de agua inicial). Filtrar continuamente, sin permitir que el filtro se seque durante la concentración de una misma muestra. Añadir una suspensión de 0,2 ml MgCO<sub>3</sub> a los últimos pocos mililitros de agua en el filtro cuando está por concluir la filtración. Si el análisis se demora, los filtros se deben colocar con pinzas en bolsas individuales etiquetadas y almacenarse a -20°C en la oscuridad. Las muestras se pueden transportar de esta forma.
- ii) Colocar el filtro en la licuadora de tejidos, añadir 2-3 ml de acetona al 90% y moler hasta que las fibras del filtro se separen. Volcar esta acetona y filtro molido en un tubo de centrifuga, enjuagar el tubo donde se realizó la molienda con otros 2 ml de acetona al 90% e incorporar esto al tubo de centrifuga.

Completar el volumen total en el tubo de centrifuga hasta 10 ml con acetona al 90%. Tapar el tubo, etiquetar y almacenar en la oscuridad a 4°C durante 10-12 horas. Las muestras se pueden trasladar en este momento.

- iii) Centrifugar los tubos cerrados durante 15 minutos a 3.000 rpm para clarificar las muestras. Decantar el sobrenadante en un tubo de centrifuga limpio y registrar el volumen.
- iv) Llenar una cubeta con acetona al 90%. Registrar la absorbancia en un espectrofotómetro a 750 nm, 663 nm y 665 nm. En lo posible, llevar a cero con este blanco, de lo contrario registrar las absorbancias y restar de las lecturas de la muestra.
- v) Colocar la muestra en una cubeta y registrar la absorbancia a 750 nm y 663 nm (750a, 663a).
- vi) Añadir dos gotas de 1N HCl a la muestra en una cubeta de 1 cm (aumentar el ácido en proporción al volumen de las cubetas más grandes). Agitar suavemente durante 1 minuto y registrar la absorbancia a 750 nm y 665 nm (750b, 665b).
- vii) Repetir el procedimiento para todas las muestras. Quizás sea necesario tomar algunas muestras preliminares para determinar el mejor volumen de muestra.

## 2.7 Cálculos

- i) Restar las absorbancias:  
663a - 750a, - absorbancia 663a corregida  
665b - 750b, - absorbancia 665b corregida
- ii) Usar las absorbancias 663a y 665b corregidas para calcular:

$$\text{Clorofila } a \text{ (ng/m}^3\text{)} = \frac{26,73 (663a - 665b) (V_e)}{(Vs) (l)}$$

$$\text{Feofitina } a \text{ (ng/m}^3\text{)} = \frac{26,73 (1,7 (665b - 663a) (V_e))}{(Vs) (l)}$$

donde V<sub>e</sub> = volumen de extracto de acetona en litros

donde V<sub>s</sub> = volumen de muestra de agua en m<sup>3</sup>

donde l = paso de luz de la cubeta en cm.

Se debe registrar las concentraciones de clorofila a. La relación de clorofila a y feofitina a indica la efectividad de la preservación de las muestras así como la condición de la población de algas.

## 3.0 MONITOREO DE LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD

El monitoreo biológico de comunidades de organismos acuáticos se emplea para indicar los efectos ecológicos producidos por los cambios en la calidad del agua. Diferentes especies tienen distinta capacidad para resistir condiciones adversas. Al nivel más elemental, esto puede traducirse en el monitoreo de presencia o ausencia de especies particulares que sean sensibles a ciertos tipos de contaminación. Sin embargo, antes de que las especies desaparezcan completamente, se pueden observar cambios más sutiles en la estructura de la comunidad --el monitoreo permite identificar cambios en la cantidad, junto con la ausencia o presencia de especies

como resultado de las condiciones alteradas. Diferentes especies tienen diferentes grados de sensibilidad ante diferentes contaminantes --lo que sería muy difícil de caracterizar para fines prácticos. Los índices de las estructuras de las comunidades brindan sutiles indicaciones de la reacción ecológica a la calidad total del agua. Las técnicas usuales consisten en utilizar índices bióticos o índices de diversidad. Los índices bióticos se basan en buena información taxonómica y ecológica y se pueden usar en ambientes específicos. Los índices de diversidad combinan la riqueza de las especies con la abundancia de cada una para dar una idea general de la estructura de la comunidad. Cabe destacar que estos índices proporcionan tan solo una aproximación de la condición de la comunidad. Generalmente es preferible emplear datos primarios de las comunidades para que los interpreten biólogos expertos: la información se pierde cuando los datos se combinan en un índice que, a su vez, es susceptible de una interpretación simplificada en exceso. En el pasado los índices han sido útiles en muchas áreas, pero se debe realizar un examen crítico de su uso e interpretación.

Los índices de diversidad se pueden usar con cualquier grupo de organismos, ya sea fitoplancton, zooplancton, invertebrados benthicos o peces, pero en algunos casos no es posible separar las reacciones a la calidad del agua de otros factores que pueden influir en la comunidad --tal como la reproducción. Los peces son fáciles de identificar y sus reacciones al estrés son bien conocidas, además de constituir un importante elemento en el uso que el hombre hace del agua. Sin embargo, a menudo se alejan de las aguas de mala calidad y su captura requiere de equipos costosos. El fitoplancton y el zooplancton son sensibles a la calidad del agua pero su identificación exige una cierta habilidad. Los invertebrados benthicos son muy usados y tienen varias ventajas: son relativamente sedentarios y, por consiguiente, reflejan la calidad del agua en un solo punto geográfico; sus ciclos vitales son relativamente largos, lo que permite que sus comunidades integren respuestas a la calidad del agua durante períodos prolongados y son fáciles de recolectar e identificar. Su desventaja es que en algunos ambientes no es fácil recolectarlos --especialmente en ríos y lagos profundos y en ríos rápidos con crecidas estacionales. Las técnicas que aquí se presentan brindan pautas muy básicas para el monitoreo. Es probable que los datos solo sean válidos para la comparación dentro de una zona y para la identificación de tendencias en el tiempo, pero es de esperar que estos métodos constituyan una base para la evolución del monitoreo biológico en el Programa GEMS/Agua.

### 3.1 Diseño del programa y selección del lugar

El diseño del programa y la selección del lugar para el monitoreo biológico son semejantes a los del monitoreo químico y físico. Sin embargo, hay que tener en cuenta algunas consideraciones biológicas específicas.

Si no se dispone de información ecológica, quizás sea conveniente llevar a cabo un estudio cualitativo preliminar para determinar cuáles son los animales que existen. Las búsquedas bibliográficas pueden brindar una fuente útil de información.

El diseño del programa incluye:

- i) Identificación de las mediciones a realizar;
- ii) Selección de puntos y frecuencia del muestreo;
- iii) Selección de los métodos de recolección, almacenamiento y análisis; y
- iv) Procedimiento para el manejo y presentación de datos.

A continuación se describen los métodos para la recolección, análisis y manejo de datos. La selección del punto de muestreo se trata en otra sección pero debe incluir consideraciones referidas a la posibilidad de recolectar muestras biológicas. No se puede recomendar una frecuencia fija: hay que pensar de qué manera puede cambiar la calidad del agua en el curso de un año -- agotamiento del oxígeno, cambios de caudal, dilución de la carga contaminante, temperatura y carga de sedimentos-- y diseñar el monitoreo biológico para que refleje dichos cambios. El muestreo debe ser lo suficientemente frecuente para poder detectar cualquier tendencia estacional natural en las comunidades, tales como reproducción o mortandad.

### 3.2 Características del hábitat

Uno de los elementos importantes en el monitoreo biológico es la descripción del entorno físico de la comunidad de invertebrados. Se debe prestar especial atención a lo siguiente:

- i) Características del sustrato - pedregoso, arenoso, barroso;
- ii) Características del caudal;
- iii) Morfología del canal; y
- iv) Vegetación - macrofitas en el agua  
- vegetación de las riberas

Estas características, junto con las variables físicas y químicas, deben ser registradas ya que son importantes para determinar la estructura de la comunidad de invertebrados. Además, las crecidas estacionales breves pueden ejercer una gran influencia en dicha estructura. En algunas áreas, una gran cantidad de materia en suspensión dará lugar a un lecho móvil --en este caso, habría que reconsiderar el uso de los invertebrados benthicos y pensar que el plancton puede resultar más práctico.

### 3.3 Teoría y planificación del muestreo

La cantidad de unidades a tomar en cada lugar debe estimarse en base a estudios preliminares. El grado de precisión deseado se puede calcular de la siguiente forma:

$$D = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{S^2}{n}}$$

donde D = grado de precisión  
 X = abundancia media  
 S = desviación estándar  
 n = cantidad de unidades

Para los estudios ecológicos, un grado de precisión del 20% suele ser aceptable, de modo que

$$n = \frac{S^2}{(0,2)^2 (\bar{X})^2}$$

La ubicación de las unidades en el lugar de muestreo depende, en cierta medida, del objetivo del monitoreo. El punto de muestreo se divide en una grilla (por ejemplo, una grilla de 3 m x 3 m dará 100 unidades potenciales de muestreo de 30 cm x 30 cm) y las unidades potenciales se enumeran.

En el caso de tendencias temporales y de muestreo rutinario para un monitoreo relativamente poco frecuente, se pueden recolectar muestras de unidades a espacios regulares (por ejemplo, cada tercera unidad). Para un muestreo más frecuente (por ejemplo, para una evaluación del impacto ambiental), las unidades se eligen al azar en la grilla (los números asignados a las unidades se pueden tomar de una tabla de números aleatorios). Si el ambiente no es uniforme --compuesto quizás por varias unidades bióticas-- la grilla se divide según las diferentes áreas, se asigna a cada área una cantidad de unidades en proporción con la fracción de la superficie sobre el total de la grilla y dentro de cada área las unidades se eligen al azar.

### 3.4 Muestreo de campo

Los estudios preliminares pueden basarse en un muestreo cualitativo realizado con una red manual. Los datos de este muestreo no son cuantitativos y deben considerarse semi-cuantitativos si se emplean las técnicas estándar. La red se usa comúnmente en ríos o corrientes poco profundas con substratos erosionados. La red se coloca verticalmente sobre el substrato con la boca en dirección aguas arriba. El operador se para aguas arriba y da puntapiés al substrato en un área determinada durante un tiempo determinado: los invertebrados desprendidos quedan retenidos en la red. Se debe examinar algunas piedras para determinar si hay animales adheridos. Los datos así obtenidos se usan de manera semi-cuantitativa. En ríos con piedras grandes, los animales adheridos a las rocas deben retirarse a mano y el substrato se debe remover a fin de permitir que los animales sean llevados hacia la red. Esta técnica de puntapiés también se puede usar para tomar muestras de las orillas de los lagos, removiendo el substrato y barriendo con la red el área alterada. Esta última técnica no es confiable. Todos los métodos manuales con red tienen problemas debido al sesgo del operador --fuerza del puntapié, duración del muestreo, área de muestreo-- y su aplicación es limitada.

Para el muestreo cuantitativo hay varias técnicas. En aguas poco profundas, con un caudal de >10 cm/s comúnmente se usa un dispositivo de muestreo Surber. Es difícil de usar si en el río abundan las piedras grandes o las macrofitas. El dispositivo consiste en un marco de metal con bisagras que se abre a 90°. El cuadrado vertical se anexa a una red y el ángulo entre los cuadrados tiene pantallas de lona para impedir que los animales se escapen por los costados del marco. El cuadrado horizontal abierto se coloca sobre el substrato, la boca de la red hacia aguas arriba y la parte del substrato que está dentro del cuadrado se introduce en la red. Si el substrato no es parejo, los huecos debajo del cuadrado deben llenarse antes de proceder a removerlo. Como alternativa, se puede adherir una tira de espuma de goma al borde inferior del cuadrado horizontal para asegurar que los huecos queden tapados y que ningún animal escape. El substrato muestreado se puede llevar para su posterior análisis. Por lo general, las redes en los dispositivos de muestreo Surber son mallas de nueve centímetros que pueden atrapar animales > 0,75 mm.

La recolección de muestras de ríos y lagos profundos es más difícil. El método más usual consiste en recolectar desde un bote muestras instantáneas o de sedimentos.

### 3.5 Manipulación de muestras

Si fuera necesario, la muestra puede lavarse hasta quedar libre de sedimentos con un chorro suave de agua en un tamiz de 500 mm. Los animales se colocan en agua en un plato o bandeja blanco para su clasificación y luego se retiran con una pipeta y se

colocan en frascos etiquetados con tapa a rosca. Es más fácil observar a los animales cuando están vivos por su movimiento. Los datos en las etiquetas de los frascos deben registrarse en planillas, incluidos el lugar y la fecha del muestreo.

La muestra puede preservarse antes o después de esta etapa de clasificación, según sean los medios disponibles en el campo. Las muestras se fijan en formalina tamponada durante 24 horas y luego se preservan en alcohol al 70%. La formalina tamponada se obtiene añadiendo 2 g de tetraborato de sodio a 98 ml de formaldehído al 40%. Esta solución se diluye para su uso en la siguiente proporción: 1 parte de formaldehído y 9 partes de agua filtrada. Después de haber quitado el material grueso de arrastre, las muestras que no hayan sido clasificadas se pueden colocar en formalina y almacenar de esta forma hasta su clasificación.

### 3.6 Datos

El supuesto general respecto del uso de los índices de diversidad es que a medida que la contaminación aumenta, la diversidad disminuye. Esto es cierto en algunos casos, pero de ninguna manera es una verdad universal. Es conveniente realizar una interpretación a la luz del conocimiento de la ecología local.

Las muestras deben ser clasificadas y, si es posible, identificadas. Lo ideal es utilizar índices taxonómicos, pero es probable que muchas áreas no dispongan de ellos. El método descrito más adelante no requiere de un conocimiento taxonómico detallado. Sin embargo, su precisión aumenta con la correcta identificación de los animales. En algunos casos, basta con conocer la cantidad de especies (u otras taxa) para reflejar correctamente el impacto de la contaminación, pero ello no tiene en cuenta los cambios en la población y por consiguiente no es lo suficientemente sensible.

### 3.7 El índice Shannon-Weiner

El Índice Shannon-Weiner ha sido muy usado para analizar los cambios en las comunidades de invertebrados resultantes de cambios en la calidad del agua. Combina datos sobre la riqueza de especies (o taxa) con la abundancia individual. Se considera que la diversidad es una función de la cantidad de especies (o taxa) y de la uniformidad en la distribución de individuos entre las especies. Los animales deben clasificarse de acuerdo con taxa particulares (especie, género, familia). Para asegurar la consistencia y la comparabilidad, se aconseja identificar todos los animales en el mismo nivel taxonómico. Los animales de las muestras deben ser clasificados y contados.

El índice se calcula de la siguiente forma:

$$H' = - \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \left( \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \right)$$

donde  $t$  = cantidad de grupos en la muestra (taxa)  
 $n_i$  = cantidad de individuos en el grupo  $i$   
 $N$  = cantidad total de individuos en la muestra

## 4.0 ANALISIS DE TEJIDOS BIOLÓGICOS

Es difícil recomendar métodos estándar para el análisis de sustancias químicas en tejidos biológicos. Existe una amplia gama de técnicas y equipos y, con frecuencia, se aplican diferentes técnicas para diferentes organismos y para diferentes sustancias químicas (por ejemplo, para diferentes metales se pueden usar distintos métodos de digestión). Pero lo más importante no es la estandarización de los métodos sino la aplicación del control de calidad al desarrollo de métodos y el uso de materiales de referencia estándar. La gama de tipos de material biológico demuestra que a menudo hay que modificar los métodos existentes para satisfacer las necesidades de las situaciones emergentes.

Los métodos que aquí se presentan se pueden usar como base para métodos desarrollados en un contexto de buen control de calidad. Se supone que los aspectos fundamentales del análisis de metales son los mismos que para el agua y los sedimentos. No se hace referencia al análisis de sustancias orgánicas sintéticas.

En cuanto a las muestras no-biológicas, se debe evitar la contaminación tanto en el laboratorio como en los aparatos utilizados. Es fundamental lavar con ácido todos los recipientes de plástico o vidrio que entren en contacto con las muestras en tanto que el agua que se usa para enjuague y análisis debe ser lo más pura posible (con preferencia, desionizada y destilada en una destiladora de vidrio).

### 4.1 Selección de organismos

Diferentes organismos reaccionan de maneras muy distintas a la contaminación por metales --algunos eliminan o excretan ciertos metales o acumulan y desintoxican otros. Para el monitoreo de metales, los organismos se seleccionan por dos motivos principales:

o bien porque acumulan metales con el correr del tiempo, con lo cual indican las tendencias residuales en la contaminación por metales, o porque son importantes como alimentos y el metal puede ser transferido a los seres humanos con los consiguientes efectos sobre la salud. Los peces pertenecen a esta última categoría pero, como indicadores, tienen la desventaja de ser móviles y, por ende, de estar sujetos a una variedad de influencias. Al emplear organismos como monitores biológicos de la contaminación por metales, hay que tener en cuenta varios criterios:

- i) el organismo debe acumular metales;
- ii) el organismo debe encontrarse en lugares y cantidades adecuados de modo de permitir un muestreo regular y sin sesgos en todo momento;
- iii) la toma y acumulación deben estar relacionadas con la exposición --esto puede requerir de conocimientos de la fisiología del organismo; y
- iv) su recolección no debe ser costosa.

Para seleccionar a un organismo como indicador de la contaminación por metales en un punto de monitoreo determinado, es preferible que sea relativamente sedentario, es decir, afectado únicamente por la contaminación de ese lugar determinado. Si bien los moluscos bivalvos han sido muy usados como indicadores también hay muchos otros animales y plantas que sirven para el monitoreo biológico. La selección de organismos debe realizarse a escala local y en base a los criterios mencionados precedentemente. Se debe poner énfasis en los conocimientos de fisiología: para explicar los niveles de contaminantes, es necesario comprender el comportamiento del contaminante en el organismo. Un requerimiento obvio es la identificación taxonómica de los organismos en las muestras.

#### 4.2 Recolección de muestras

##### Instrumentos

- Guantes: polietileno o látex (libre de metales);
- Frascos de polietileno o vidrio (lavados con ácido);
- Bolsas de polietileno (libre de metales);
- Agua destilada; y
- Caja aislada, hielo o CO<sub>2</sub> sólido.

Los organismos deben recolectarse tratando de evitar la contaminación por metales o sedimentos y se deben manipular con guantes de polietileno o de látex (previo control de que no estén cubiertos de polvo de zinc). Los organismos deben enjuagarse con agua destilada y colocarse en bolsas de polietileno limpias libres de metales o en recipientes de vidrio o plástico (el lavado con ácido asegura la limpieza). Los frascos o bolsas deben etiquetarse y se debe llevar un registro del lugar y fecha del muestreo. Las muestras pueden luego ser trasladadas al laboratorio, ya sea a -2° y 4°C (refrigeradas) o congeladas a -20°C. El transporte en cajas aisladas es muy práctico --enfriadas con hielo para las muestras refrigeradas y con CO<sub>2</sub> sólido para las muestras congeladas.

#### 4.3 Tratamiento de las muestras

- Agua destilada;
- Lámina de plástico limpia / bandeja de plástico lavada con ácido;
- Cuchillos de acero inoxidable / cuarzo/ politetrafluoretileno (PTFE); y
- Pinzas de PTFE.

Los organismos que deben ser digeridos enteros para el análisis de metales deben enjuagarse muy bien con un chorro suave de agua destilada a fin de quitar todo el material adherido antes de colocarlos en un recipiente limpio.

El tejido de los moluscos bivalvos debe separarse de la concha. En primer lugar, el material adherido a la concha se raspa con un cuchillo y se quita el biso. Se introduce un cuchillo entre las valvas para cortar los músculos aductores. Se abre la concha y el tejido se afloja con un cuchillo. Se deja escurrir el agua y el tejido se retira con pinzas y se coloca en un recipiente limpio.

En las referencias se citan métodos que utilizan una disección más elaborada. Se puede optar por separar el tejido muscular y el hígado para analizarlos individualmente, especialmente los peces. En este caso se debe poner especial cuidado en evitar la contaminación del tejido de interés por otros tejidos, tal como la superficie de la piel. Por lo tanto, la disección debe ser meticulosa.

Si se requieren muestras compuestas, los tejidos de las muestras deben homogeneizarse en una licuadora de tejidos de vidrio/PTFE o en un homogenizador de acero inoxidable y se deben tomar submuestras adecuadas. Generalmente se usan instrumentos de acero inoxidable para preparar muestras para analizar los metales, a excepción de los análisis de manganeso y níquel, en los que pueden surgir problemas de contaminación.

#### 4.4 Blancos y material de referencia

Los procedimientos para el tratamiento de muestras detallados a continuación deben efectuarse con blancos de muestras y material de referencia estándar en forma paralela al de la muestra real, al igual que para las muestras no-biológicas. Los blancos se someten a toda la serie de procedimientos con reactivos e instrumentos, solo que carecen de materia biológica.

#### 4.5 Determinación de masa seca

##### i) Secado en horno

Equipo: frascos para pesar;  
horno de secado (105°C); y  
balanza (preferentemente con platillo superior y con una sensibilidad de  $\pm 0,001$  g).

En primer lugar, el frasco para pesar se seca hasta peso constante en el horno y se registra el peso final del frasco y del tapón. Se coloca 1-2 g de muestra fresca en el frasco y se coloca el tapón. El frasco se pesa y luego se introduce en el horno, donde el tapón se retira, y se deja secar hasta peso constante. Cada vez que se va a retirar el frasco para controlar el peso constante, se debe colocar el tapón, retirar el frasco del horno, dejar enfriar en un desecador y pesar.

##### ii) Secado en freezer

Equipo: recipientes de secado (con tapón);  
freezer para secado; y  
balanza.

Para los materiales que contienen grandes cantidades de lípidos, es preferible el secado en freezer, que se realiza de manera similar al secado en horno en recipientes adecuados.

Tanto el secado en horno como el secado en freezer se pueden realizar en recipientes de digestión de vidrio.

##### iii) Muestra fresca

Para las determinaciones de mercurio, arsénico, estaño y selenio el procedimiento preferido es la digestión de la muestra fresca. En este caso, se puede usar una submuestra para la determinación de masa seca y los valores de metales de la muestra de digestión húmeda se corrigen según corresponda.

#### 4.6 Digestión - Método básico

Los tiempos de digestión y cantidades de ácido deberán ser adaptados según el tipo de muestra. Aquí se presentan solo los métodos más simples --los procedimientos de digestión más complejos se mencionan en las referencias. Se necesitarán digestiones preliminares para determinar los métodos adecuados.

Reactivos: agua destilada; y  
 $\text{HNO}_3$   $d_{20^\circ\text{C}}$  1,4g/ml concentrado

Equipo: plancha calefactora/ horno 120°C - 150°C;  
recipientes de digestión de 25 ml ó más, PTFE;  
matraces de vidrio de borosilicato de 25 ml;  
pipetas;  
campana de flujo laminar / cuarto limpio; y  
campana extractora para digestión.

Colocar la muestra seca en el recipiente de digestión: el equivalente a 1 g de masa fresca debe ser suficiente para un recipiente de 25 ml. Se debe conocer el peso exacto de la masa seca. Agregar suficiente ácido (alrededor de 20 ml de  $\text{HNO}_3$  por cada gramo de masa seca de la muestra). Cerrar el recipiente y dejarlo reposar durante la noche para que se produzca la pre-digestión. Colocar en el horno o en la plancha calefactora a 140°C durante 3 horas. Retirar del calor y dejar enfriar. Analizar el digerido. Si la muestra es clara y de color amarillo pálido, transferirla a un matraz de 25 ml y completar el volumen con agua destilada. Si el digerido es oscuro o turbio, volver a calentar hasta que se aclare.

Si el problema son los costos, se pueden usar vasos de digestión de vidrio de borosilicato con bulbos de reflujo para digerir a 120°C. Para la determinación de plata, el digerido debe dejarse evaporar hasta que se seque, se deja enfriar y el residuo se disuelve en HCl concentrado (~2,5 ml) y se diluye a 25 ml.

#### 4.7 Arsénico y estaño

Reactivos: suspensión de cenizas; 10 g MgO + 6 g Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> en 100 ml H<sub>2</sub>O; agua destilada; y HCl al 50%.

Equipo: vasos de precipitado de vidrio de borosilicato de 100 ml;  
mufla; y  
matraces de vidrio de borosilicato de 50 ml.

Tomar 1-10 g de muestras (masa fresca) después de separar las submuestras para la determinación de masa seca. Añadir a 15 ml de suspensión de cenizas en los vasos de precipitado. Esta mezcla se deja secar a cenizas en la mufla a 500°C. Enfriar y disolver el residuo en 25 ml de HCl al 50%. Completar los 50 ml con agua destilada.

#### 4.8 Mercurio y selenio

Reactivos: agua destilada;  
HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3:1; y  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 volúmenes

Equipo: plancha calefactora 50-80°C; y  
balones Kjeldahl.

El mercurio se puede digerir mejor usando el método básico con recipientes sellados de digestión de PTFE. El siguiente método es una alternativa: determinar el peso seco con una submuestra y colocar 1-10 g de muestra homogeneizada en un balón Kjeldahl con un condensador; digerir con 20 ml HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3:1 a 50-60°C durante 4 horas; enfriar y añadir 10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 30 volúmenes; aumentar la temperatura a 80°C durante 1 hora; diluir a 50 ml en un matraz.

#### 5.0 REFERENCIAS

Cantle, J.E. 1982. Atomic Absorption Spectrometry. Techniques and Instrumentation in Analytical Chemistry, Vol. 5, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

UNEP/FAO/IAEA. 1982. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis. Reference methods for marine pollution studies, No. 7, UNEP, 1982.

UNEP/FAO/IAEA. 1982. Determination of total mercury in selected marine organisms by flameless atomic absorption spectrophotometry. Reference methods for marine pollution studies, No. 8, UNEP, 1982.

UNEP/FAO/IAEA/IOC. 1984. Determination of total cadmium, zinc, lead and copper in selected marine organisms by flameless atomic absorption spectrophotometry. Reference methods for marine pollution studies, No. 11, Rev. 1, UNEP, 1984.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

CAPITULO VII: CONTROL DE LA CALIDAD ANALITICA

Preparado por:

Mr. J. Winter, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA  
Mr. P. Britton, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA  
Mr. O. Krogh, SIT Water Systems A/S, Copenhagen, Dinamarca

INDICE

1.0	INTRODUCCION .....	1
1.1	La necesidad del control de la calidad analítica .....	1
1.2	Alcance de este informe .....	1
2.0	ORGANIZACION DEL PROGRAMA DE AQC PARA LOS LABORATORIOS GEMS/AGUA .....	1
2.1	Introducción .....	1
2.2	Razones para aplicar programas de AQC .....	1
2.3	El sistema global y regional .....	2
2.4	Sistemas de laboratorios de referencia nacionales .....	3
3.0	PROGRAMA DE AQC INTERNO .....	4
3.1	Calibración .....	4
3.2	Blancos de métodos .....	5
3.3	Blancos de campo .....	5
3.4	Precisión .....	5
3.5	Control de recuperación con soluciones estándar .....	6
3.6	Control de precisión mediante recuperación de muestras con adiciones estándar (adiciones de concentración conocida de las variables de interés) .....	8
3.7	Resumen del programa de AQC interno .....	10
3.8	Programa mínimo de AQC .....	10
3.9	Corrección de los problemas .....	10
3.10	Prácticas de laboratorio mejoradas .....	11
3.11	Revisión del desempeño .....	13
4.0	MUESTRAS DE GEMS/AGUA PARA CONTROL DE CALIDAD .....	13
4.1	Objetivo .....	13
4.2	Distribución de las muestras .....	13
4.3	Uso sugerido de las muestras .....	13
4.4	Actividades de seguimiento .....	13
5.0	ESTUDIO DE EVALUACION DEL DESEMPEÑO GEMS/AGUA .....	14
5.1	Objetivo .....	14
5.2	Distribución .....	14
5.3	Informes .....	14
5.4	Evaluación .....	15
5.5	Seguimiento .....	15
6.0	REFERENCIAS .....	19

## 1.0 INTRODUCCION

### 1.1 La necesidad del control de la calidad analítica

El objetivo central de un laboratorio de análisis de aguas es el de generar datos precisos y confiables para describir las características de calidad del cuerpo de agua en estudio. Uno de los componentes esenciales para asegurar resultados precisos y confiables es el control de la calidad analítica (AQC por sus siglas en inglés), que consiste en la aplicación rutinaria de procedimientos para controlar el proceso de medición.

Muchos laboratorios no están convencidos de la necesidad de efectuar un control de la calidad analítica. Consideran que el uso de métodos estándar es todo lo que se necesita para asegurar la precisión de los resultados. Lamentablemente, los estudios comparativos entre laboratorios no apoyan tal optimismo. Se ha llevado a cabo una cantidad de estos estudios y todos demuestran claramente que existen errores analíticos. También se han realizado estudios en colaboración después de la aplicación de procedimientos AQC en los laboratorios participantes. Si bien se siguen produciendo errores analíticos, su magnitud se ha visto considerablemente reducida, lo cual demuestra que un programa de AQC sistemático mejora la calidad de los datos.

Dado que uno de los objetivos de GEMS/Agua es mejorar la validez y comparabilidad de los datos de calidad del agua, se debe poner gran énfasis en la aplicación de programas de AQC en todos los laboratorios participantes.

### 1.2 Alcance de este informe

Si bien hay una cantidad de pautas y recomendaciones relativas al AQC para los laboratorios de análisis de agua, solo unos pocos de dichos laboratorios aplican el programa de AQC en forma rutinaria. Uno de los motivos es que las pautas existentes contienen procedimientos demasiado complicados para el laboratorio tipo. Esas pautas pueden constituir útiles herramientas para coordinadores mundiales o regionales de AQC, pero resultar demasiado generales para los programas nacionales y los laboratorios individuales. Este capítulo tiene por objeto proporcionar una guía detallada y operativa para los laboratorios individuales. Además, este capítulo reseña el programa que incorpora el uso rutinario de materiales QA (calidad analítica) disponibles en el mercado y menciona la disponibilidad de muestras en forma periódica para la evaluación del desempeño de los laboratorios participantes en GEMS/Agua.

## 2.0 ORGANIZACION DEL PROGRAMA DE AQC PARA LOS LABORATORIOS GEMS/AGUA

### 2.1 Introducción

A fin de asegurar resultados buenos y confiables de los laboratorios de análisis de aguas, es necesario contar con lo siguiente:

- (1) instalaciones adecuadas;
- (2) instrumentos, equipos de muestreo, cristalería y reactivos actualizados;
- (3) procedimientos analíticos estandarizados que comprendan las variables deseadas y los límites de concentración;
- (4) personal de laboratorio bien capacitado;
- (5) buen mantenimiento de equipo e instalaciones;
- (6) sistemas de presentación de informes y archivos adecuados; y
- (7) un programa sistemático de control de la calidad analítica.

Todos estos puntos constituyen las actividades de AQC dentro del laboratorio. Este informe se refiere principalmente al punto (7).

### 2.2 Razones para aplicar programas de AQC

El control de la calidad dentro del laboratorio es el componente más importante de cualquier programa de control de calidad. La experiencia enseña que a esta tarea debe destinarse del 10-20% de los recursos de un laboratorio (mano de obra, uso de instrumentos y artículos de consumo). Dicho porcentaje debe considerarse como el mínimo, lo cual es válido para las variables básicas en concentraciones mayores. En el caso de variables más difíciles y variables en concentraciones muy bajas, los recursos destinados a AQC deben ser mayores. A menudo, la determinación de bajas concentraciones de metales pesados y pesticidas requiere que se asigne más del 20% de los recursos al control de la calidad analítica.

Los directores de laboratorios quizá piensen que no pueden dedicar ni siquiera un 10-20% de sus recursos al AQC dentro del laboratorio y, por consiguiente, no aplican un programa sistemático. Esta razón para no aplicar el AQC debe ser rechazada porque

la alternativa es la generación de datos de calidad desconocida y de dudoso valor para la toma de decisiones por parte de los administradores del programa.

Otro motivo esgrimido para no aplicar el AQC es que el laboratorio no dispone de la información necesaria para iniciar un programa de AQC --descripciones técnicas, manuales o pautas. Este informe hace referencia a trabajos y libros que los laboratorios de análisis de agua deben tener o que pueden adquirir. Dichos libros también son importantes como textos de referencia sobre procedimientos analíticos.

Un tercer motivo para no aplicar los procedimientos de AQC es que el químico en jefe y el personal no conocen los procedimientos estadísticos necesarios para instrumentar un programa de AQC. Si bien existen descripciones muy detalladas, hasta éstas requieren de un cierto conocimiento de métodos estadísticos. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de capacitarse en el campo del AQC. El beneficio de tales programas de capacitación ha sido claramente demostrado por los cursos realizados en la región del Pacífico Occidental, el Sudeste Asiático y América.

El último motivo para no aplicar el AQC puede ser la falta de comprensión del problema o la falta de motivación para resolverlo. Si bien la literatura técnica brinda muchos ejemplos de resultados analíticos deficientes producidos por laboratorios que no usan el AQC y demuestra las mejoras que se pueden lograr cuando se éste introduce, es necesario recalcar este hecho continuamente.

### 2.3 El sistema global y regional

La Figura 1 indica cuáles son los centros coordinadores del AQC dentro del marco GEMS/Agua. Los Coordinadores Globales y Regionales ya están trabajando a pleno, habiéndose emprendido una serie de actividades entre las cuales cabe mencionar a las siguientes:

- en un capítulo de la Guía Operativa GEMS/Agua de 1987 se presentaron pautas globales para el AQC;
- en 1982-83, 1985 y 1988-89 se distribuyeron muestras para el control de calidad (QC) a nivel global;
- en 1982-83 y en 1990-91 se realizaron estudios de evaluación global del desempeño (PE por sus siglas en inglés);
- en Europa y el Pacífico Occidental se realizaron estudios regionales de PE;
- en Europa, el Sudeste Asiático, el Pacífico Occidental y América se dictaron cursos regionales sobre AQC; y
- se han organizado cursos nacionales con la cooperación de los coordinadores regionales de AQC.

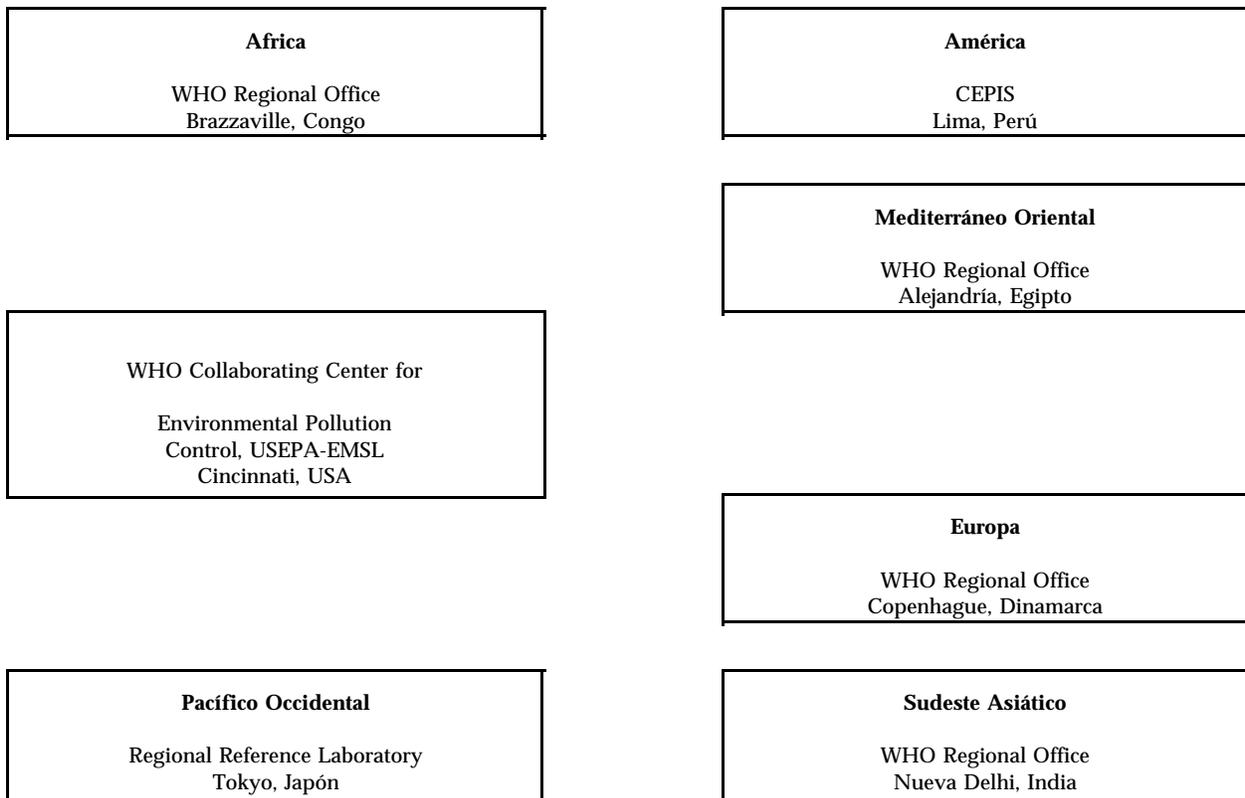


Figura 1. Coordinadores Globales y Regionales de AQC en GEMS/Agua

## 2.4 Sistemas de laboratorios de referencia nacionales

En muchos países se han creado laboratorios de referencia para el análisis del agua, lo que ha redundado en un mejoramiento de la calidad de la labor de las autoridades locales.

Se recomienda que todos los países participantes en el proyecto GEMS/Agua establezcan laboratorios de referencia. Los coordinadores globales y regionales de WHO pueden ayudar al establecimiento de estos laboratorios.

Las figuras 2 y 3 ilustran la posible organización de los laboratorios de referencia tanto en países con numerosos laboratorios dedicados al análisis del agua como en aquellos que solo cuentan con una cantidad limitada de laboratorios.

El objetivo de un laboratorio de referencia nacional es asegurar resultados confiables de los laboratorios dedicados al análisis del agua en el país. Este objetivo se puede alcanzar si el laboratorio de referencia lleva a cabo las siguientes tareas:

- (1) ayudar a los laboratorios participantes a establecer su propio programa interno de AQC;
- (2) realizar estudios de evaluación del desempeño entre laboratorios para controlar el desempeño de los participantes;
- (3) probar nuevos métodos y equipos y brindar recomendaciones y/o instrucciones respecto de la elección de métodos y equipos;
- (4) capacitar al personal de los laboratorios participantes en el uso de un programa de AQC, nuevos procedimientos analíticos y en nuevos instrumentos; y
- (5) cooperar con las organizaciones internacionales dedicadas al análisis del agua.

En las siguientes secciones se hará referencia a los puntos (1) y (2), mientras que los puntos (3) y (5) no serán tratados en este informe.

Las oficinas de coordinación global y regional en el programa GEMS/Agua para el control de la calidad analítica se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Coordinadores y Centros de Referencia Global y Regionales de AQC para el Programa GEMS/Agua

### Coordinador Global de AQC

Quality Assurance Research Division  
Environmental Monitoring Systems Laboratory  
U.S. Environmental Protection Agency  
Cincinnati, Ohio 45268, USA

### Coordinadores y Laboratorios de Referencia Regionales de AQC

#### AFRICA

Programme Manager 2,  
WHO Regional Office for Africa  
P.O. Box No. 6,  
Brazzaville, Congo

#### AMERICA

Director  
CEPIS  
Casilla Postal 4337  
Lima 100, Perú

#### MEDITERRANEO ORIENTAL

Chief  
Environmental Health  
WHO Regional Office for the  
Eastern Mediterranean  
P.O. Box 1517  
Alexandria - 21511, Egipto

#### EUROPA

Director  
Promotion of Environmental Health  
WHO Regional Office for Europe  
8, Scherfigsveg  
DK-2100 Copenhage, Dinamarca

#### SUDESTE ASIATICO

Chief  
Promotion of Environmental Health  
WHO Regional Office for Southeast  
Asia  
Indraprastha Estate  
Mahatma Gandhi Road  
Nueva Delhi - 110002, India

#### PACIFICO OCCIDENTAL

Director  
Department of Sanitary Engineering  
The Institute of Public Health  
6-1, Shirokanedai 4 chome  
Minato-ku  
Tokyo 108, Japón

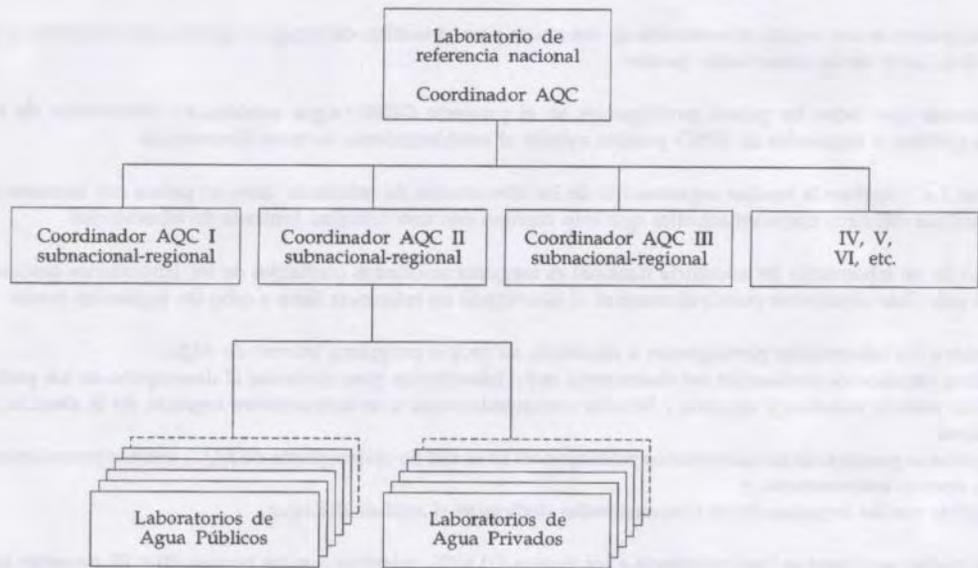


Figura 2. Organización de laboratorios de referencia/coordinadores AQC en países federales con muchos laboratorios de agua

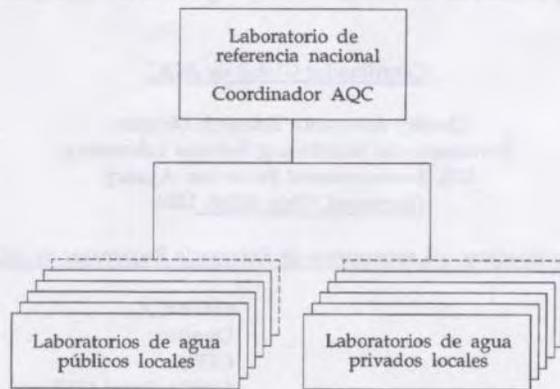


Figura 3. Organización de laboratorios de referencia/coordinadores AQC en países más pequeños y países con cantidad limitada de laboratorios de agua

### 3.0 PROGRAMA DE AQC INTERNO

A continuación se recomiendan los siguientes puntos como base para un programa de AQC interno, los que debieran desarrollarse y emplearse en forma rutinaria en los laboratorios que participan en el programa GEMS/Agua.

#### 3.1 Calibración

- Para cada elemento a analizar, preparar una curva de calibración que abarque la totalidad del rango a utilizar del método (se entiende por elemento a analizar todo componente o característica de una muestra que se mide o identifica).
- Construir una curva utilizando al menos 5 (cinco) puntos, incluido uno cerca del límite superior y uno cerca del límite inferior del rango de concentración.
- La diferencia (D) entre el valor observado para cada calibración estándar ( $X_{OBS}$ ) y el valor pronosticado para ese estándar usando la curva de calibración ajustada ( $X_{PRED}$ ) se puede evaluar de la siguiente forma:

1. Después de disponer de 20 a 25 valores iniciales de  $D = X_{OBS} - X_{PRED}$ , calcular su media ( $\bar{D}$ ) y su desviación estándar ( $S_D$ ).
2. Si el siguiente valor de  $D$  no está dentro del intervalo  $\bar{D} \pm 3S_D$ , el sistema de calibración está fuera de control y debe ser calibrado nuevamente antes de continuar con los análisis de rutina.

Si la curva de calibración fue ajustada minimizando la suma de los cuadrados de las desviaciones absolutas de cada punto de calibración de la curva, entonces los valores de  $D$  también deben darse en unidades absolutas. Sin embargo, si lo minimizado son las desviaciones porcentuales, entonces los valores  $D$  también deberán ser porcentajes del valor pronosticado.

- (d) Si no hay motivo evidente para solicitar una nueva calibración, en vez de seguir los pasos (a) a (c) indicados arriba, se puede verificar una curva de calibración existente al comienzo de una tanda de análisis midiendo dos estándares de calibración --uno en el cuarto inferior de la totalidad del rango de la curva de calibración existente y otro en el cuarto superior de dicho rango.
- (e) Evaluar la diferencia  $D = X_{OBS} - X_{PRED}$  para cada estándar de calibración utilizando los criterios desarrollados en 3.1 (c) y volver a calibrar si los resultados no se encuentran dentro de los límites de control. Al igual que en (c), que los valores de  $D$  sean porcentajes o unidades absolutas depende de la forma en que la curva de calibración haya sido ajustada.
- (f) Registrar los valores de  $D$  para todos los análisis de calibración aceptables y, después de 20 a 25 resultados adicionales, revisar los límites de control asociados volviendo a calcular  $\bar{D}$  y  $S_D$  a partir de los nuevos datos.
- (g) Es importante conservar el signo de todos los valores de  $D$ .

### 3.2 Blancos de métodos

- (a) Por cada conjunto o subconjunto de 20 muestras o menos, analizar un blanco de método. Esto consiste en tomar agua destilada como muestra y someterla al método de rutina completo. También hay que realizar un blanco de método cuando se produzca un cambio en el agua destilada o cuando se introduzca una fuente nueva (un solvente o reactivo de reciente preparación) en el sistema de análisis.
- (b) Someter el blanco de método a la totalidad del procedimiento.
- (c) Una reacción distinta de cero a un blanco de método depende en gran medida del método pero, sin duda alguna, los datos rutinarios asociados deben corregirse o descartarse toda vez que un blanco de método genere un valor superior al límite de detección. Se debe hacer todo lo posible por resolver o minimizar las interferencias en el sistema.

### 3.3 Blancos de campo

Un blanco de campo es una solución del blanco embotellada en el laboratorio, enviada con los frascos al sitio de muestreo, procesada y preservada como una muestra de rutina y devuelta al laboratorio con las muestras de rutina para su análisis.

- (a) Analizar un blanco de campo con cada grupo de muestras de una fuente dada.
- (b) Someter cada blanco de campo a la totalidad del procedimiento.
- (c) Cuando se produzcan interferencias, descartar los resultados analíticos asociados a menos que se disponga de datos suficientes de estos blancos que justifiquen la corrección de los resultados.

### 3.4 Precisión

La precisión es la fidelidad entre los resultados de análisis repetidos de una misma muestra.

- (a) Generar los datos iniciales necesarios mediante la selección aleatoria de muestras de rutina para analizarlas dos veces con el objeto de obtener análisis duplicados. Considerar lo siguiente:
  - (1) Generar estos datos durante un período razonable para reflejar las operaciones diarias.
  - (2) Elegir aquellas muestras que sean más representativas del potencial de interferencia para el tipo de muestra. Si el laboratorio maneja múltiples tipos de muestras con diferentes características de precisión, será necesario establecer y mantener datos básicos y criterios de evaluación por separado para cada tipo de muestra.
  - (3) Finalmente, el programa debe incluir criterios de precisión adecuados para la totalidad del rango de concentración de cada elemento que se analiza rutinariamente dentro de cada tipo de muestra, si fuera necesario.
- (b) Para cada par de análisis duplicados ( $X_1$  y  $X_2$ ), calcular su valor de rango relativo ( $R$ ):

$$R = \frac{|x_1 - x_2|}{(x_1 + x_2) / 2}$$

Donde  $|X_1 - X_2|$  es la diferencia sin signo entre  $X_1$  y  $X_2$ .

- (c) Una vez que se dispone de 50 a 100 valores de R para una variable, ordenar los valores de R de acuerdo con sus estimaciones relacionadas con la concentración de la muestra, organizar los valores en rangos de concentración que parezcan tener un valor de R similar y calcular el valor de R promedio ( $\bar{R}$ ) para cada uno de dichos rangos. Minimizar la cantidad de rangos de concentración en la medida de lo posible.
- (d) Calcular el límite superior (UCL por sus siglas en inglés) para cada rango de concentración según lo recomienda Duncan (1974):  $UCL=3.27 (\bar{R})$ .
- (e) Revisar los datos iniciales para los valores de R superiores al valor UCL para el rango de concentración apropiado. Si se obtienen dichos valores, hay que descartarlos y el valor de UCL asociado debe calcularse de nuevo a partir de los valores de R restantes dentro de dicho rango de concentración.
- (f) Para cada grupo de 20 muestras o menos que se analicen en forma conjunta, evaluar la precisión del sistema con análisis duplicados en una de las muestras seleccionada al azar. Si el valor relativo, R, calculado a partir de estos análisis duplicados, es superior al valor adecuado de UCL, se considera que el sistema está fuera de control y los análisis deben cesar hasta que el problema haya sido corregido. Los problemas con estos datos pueden indicar la necesidad de una observación más estricta de las prácticas de laboratorio aceptadas.
- (g) Actualizar periódicamente (una vez obtenidos de 20 a 25 pares aceptables de datos adicionales para cada nivel de concentración y tipo de muestra) el cuadro de rangos de valores críticos relativos repitiendo el paso 3.4 (d) y utilizando los datos nuevos. Revisar los criterios que se conservan y combinar cualesquiera sean muy similares para concentraciones o tipos de muestras relacionadas. Si los criterios para rangos de concentración adyacentes son muy diferentes, será necesario realizar otra subdivisión por concentración.
- (h) El Cuadro 2 presenta los resultados de los pasos 3.4 (c) y (d) para tres elementos diferentes con el objeto de ilustrar el uso de los valores UCL. Si para el cromo se obtuvieran resultados duplicados de 31.2 y 33.7, la precisión del sistema se controlará de la siguiente manera:

$$R = \frac{|31.2 - 33.7|}{(31.2 + 33.7) / 2} = \frac{|-2.5|}{64.9 / 2} = \frac{2.5}{32.45} = 0.0770$$

Dado que el UCL adecuado según el Cuadro 2 es 0.109 y el valor actual de R no es mayor, se considera que la precisión del sistema de análisis se encuentra dentro de los márgenes normales.

### 3.5 Control de recuperación con soluciones estándar

- (a) Someter al menos una muestra estándar a la totalidad de procesos del método por cada subgrupo de 20 muestras de rutina o menos que se analicen juntas.
- (b) Llevar un registro completo de calibración y recuperación para cada tanda de análisis; una de estas muestras estándar debe ser la última que se analice.
- (c) Usar concentraciones que se aproximen a las halladas en las muestras de rutina asociadas.
- (d) Calcular la recuperación porcentual (P) como:

$$P = \frac{100 (\text{valor observado})}{(\text{valor verdadero})}$$

Cuadro 2. Estimaciones de la precisión de análisis duplicados dentro de rangos de concentración específicos para tres elementos

Elementos a analizar	Rango de concentración	Cantidad de conjuntos de análisis duplicados	Concentración promedio de datos	Rango relativo promedio ( $\bar{R}$ )	$\bar{R}$ para rango combinado de concentración	Resultados finales de UCL
DBO 5 días	1 a 10	21	5.85	0.1776	0.1381	0.452
	10 a 25	30	17.6	0.1104		
	25 a 50	27	36.1	0.0924	0.0652	0.213
	50 a 150	29	102.	0.0638		
	150 a 300	17	197.	0.0564		
	300 a 1.000	12	520.	0.0232		
más de 1.000	3	3341.	0.0528			
Cromo ( $\mu\text{g/l}$ )	5 a 10	32	6.15	0.9612	0.0612	0.200
	10 a 25	15	16.7	0.0340	0.0334	0.109
	25 a 50	16	36.2	0.0319		
	50 a 150	15	85.1	0.0446		
	150 a 500	8	240.	0.0218		
	más de 500	5	31780.	0.0240		
Cobre ( $\mu\text{g/l}$ )	5 a 15	16	11.1	0.1234	0.0940	0.307
	15 a 25	23	19.1	0.0736		
	25 a 50	23	35.4	0.0338	0.0313	0.102
	50 a 100	26	65.9	0.0354		
	100 a 200	10	134.	0.0210		
más de 200	3	351.	0.0130			

- (e) Después de haber analizado de 20 a 25 muestras estándar, calcular la recuperación porcentual promedio ( $\bar{P}$ ) y la desviación estándar ( $S_p$ ) de los valores de P resultantes.
- (f) Si los estándares subsiguientes para la recuperación porcentual no se encuentran dentro del intervalo  $\bar{P} \pm 3 S_p$ , el sistema analítico debe ser revisado para detectar los problemas. Si existen problemas, corregirlos antes de continuar con los análisis. Los problemas con estos datos a menudo requieren de un mayor cuidado en el procesamiento de las muestras anterior a la medición real.
- (g) Tandas de 8 ó más puntos sucesivos, ya sea que todos estén por debajo o por encima de  $\bar{P}$ , también indican que el sistema está fuera de control. Usar un diagrama  $\bar{X}$  de Shewhart para facilitar la evaluación de los resultados de la recuperación porcentual.
- (h) En el Cuadro 3 y en la Figura 4 se presentan un ejemplo del cálculo de la recuperación porcentual y el desarrollo de un diagrama  $\bar{X}$  de Shewhart respectivamente.
- (i) Registrar la recuperación de todos los estándares de control aceptables y, después de 20 a 25 resultados adicionales, revisar los límites de control asociados volviendo a calcular  $\bar{P}$  y  $S_p$  a partir de los datos nuevos. Al igual que en 3.4 (g), se debe revisar periódicamente las subdivisiones de criterios por tipo de muestra y rangos de concentración a fin de evaluar su adecuación.

Cuadro 3. Análisis\* de estándares de fosfato-fósforo total; en mg/l PO<sub>4</sub>-P total

Punto	Conocido	Obtenido	Recuperación porcentual P <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>
1	0.34	0.33	97	9,409
2	0.34	0.34	100	10,000
3	0.40	0.40	100	10,000
4	0.49	0.49	100	10,000
5	0.49	0.49	100	10,000
6	0.50	0.47	94	8,836
7	0.50	0.53	106	11,236
8	0.50	0.56	112	12,544
9	0.52	0.59	113	12,769
10	0.66	0.70	106	11,236
11	0.66	0.60	91	8,281
12	0.67	0.65	97	9,409
13	0.68	0.65	96	9,216
14	0.83	0.80	96	9,216
15	1.3	1.2	92	8,464
16	1.3	1.3	100	10,000
17	1.6	1.7	106	11,236
18	2.3	2.3	100	10,000
19	2.3	2.4	104	10,816
20	3.3	3.3	100	10,000
21	4.9	4.6	94	8,836
		TOTALES	2104	211,504

\*Utilizando un método colorimétrico con digestión de persulfato.

Figura 4. Diagrama de control de Shewhart para datos de recuperación porcentual.

### 3.6 Control de precisión mediante recuperación de muestras con adiciones estándar (adiciones de concentración conocida de las variables de interés)

- (a) Para la recuperación proceder de igual manera que en 3.5, con la excepción de que --en vez de al agua destilada-- se agrega una adición de concentración conocida a una muestra ambiental de rutina elegida al azar entre las de la tanda analítica presente; los valores de P para los datos de recuperación se calculan como:

$$P = \frac{100 \left[ X - \left( \frac{Bv}{V} \right) \right]}{T}, \text{ donde:}$$

- X = los resultados analíticos de la muestra con adiciones estándar  
 B = la concentración básica naturalmente presente en la muestra  
 T = la concentración conocida de la adición  
 V = el volumen de muestra usado y  
 v = el volumen de la concentración agregada.

- (b) Al agregar concentraciones conocidas, asegurarse de que:
- Se agrega una concentración suficiente como para que --por lo menos-- duplique la concentración original o llegue a la concentración para la cual se ha establecido la curva de calibración. Si la concentración original es mayor que el punto medio de la curva estándar, el agua original debe diluirse hasta que la concentración alcance la mitad inferior del rango de calibración y analizarse nuevamente antes de agregar la concentración conocida.
  - El volumen de una adición de concentración conocida debe mantenerse al mínimo y no superar el 5% del volumen de la muestra. En los análisis de materia orgánica, el volumen de una adición de concentración conocida debe ser de 150 ml/litro o menor, de modo tal que no se afecte la solubilidad del estándar en el agua.
- (c) Los valores de P resultantes deben hallarse dentro del  $\bar{P} \pm 3 S_p$  calculado a partir de los datos previos de recuperación de la adición estándar. De lo contrario, el sistema está fuera de control y la fuente del problema debe ser identificada y corregida antes de continuar con los análisis. Los problemas con estos datos a menudo indican interferencias en la muestra matriz.
- (d) Al igual que en 3.5 (g), las tandas de 8 ó más resultados en el mismo lado de  $\bar{P}$  indican que el sistema está fuera de control y se recomienda el uso de un diagrama  $\bar{X}$  de Shewhart para facilitar la evaluación de los resultados.
- (e) Si  $\bar{P}$  se calcula según se lo indicado en 3.6 (a) y no como se especifica en 3.5 (d), las recuperaciones porcentuales de una muestra con adición estándar pueden tratarse según el ejemplo del Cuadro 3 y la Figura 4. Los cálculos pertinentes son:

$$\bar{P} = \left( \sum_{i=1}^n P_i \right) / n = 2104 / 21 = 100.2$$

$$S_P = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^n P_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2}{n} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{20} \left( 211,504 - \frac{2104^2}{21} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{20} (10,504)} = \sqrt{525.16} = 22.93$$

$$\bar{P} \pm 3 S_p = 100.2 \pm 17.8 = 82.4 \text{ a } 118.0$$

Por lo tanto, los valores de recuperación porcentual entre 82,4% y 118% para los estándares de PO<sub>4</sub>P total dentro de márgenes de concentración de 0.34 a 4.9 indicarían que la precisión del sistema analítico está controlada. El diagrama  $\bar{X}$  de Shewhart se ilustra en la Figura 4.

- (f) Revisar y actualizar periódicamente los criterios de recuperación al igual que en 3.5 (i).

### 3.7 Resumen del programa de AQC interno

El programa recomendado para el control de la calidad analítica se resume a continuación:

- Cinco estándares para desarrollar una curva de calibración en concentraciones que abarquen el rango de trabajo, según sea necesario, o bien medición de dos estándares de calibración para verificar la curva de calibración existente.
- Un blanco de método por tanda.
- Un blanco de campo por conjunto de muestras.
- Un duplicado para controlar la precisión (al menos una cada 20 muestras de rutina).
- Una muestra estándar para controlar la recuperación y la calibración (al menos una cada 20 muestras de rutina). En cada tanda el estándar debe ser la última muestra analizada.
- Una muestra con adición de concentración conocida para controlar la recuperación en presencia de una muestra matriz (al menos una cada 20 muestras de rutina).
- Total: para tandas de hasta 20 muestras de rutina se requerirán de siete a diez análisis de AQC; para tandas de 21 a 40 muestras de rutina se requerirán de 10 a 13 análisis de AQC, etc.
- Los puntos (a) a (f) debieran ser práctica corriente en todo laboratorio.

### 3.8 Programa mínimo de AQC

Para operaciones muy pequeñas o pequeñas muestras, el programa de AQC descrito quizás no sea práctico o necesario para todos los elementos a analizar. Siempre que el AQC deba reducirse por debajo del nivel recomendado, se deberá mantener el siguiente programa mínimo de AQC:

- Continuar con la calibración o con los controles de calibración al igual que en 3.1.
- Analizar un blanco de campo por cada conjunto de muestras para detectar contaminación. Si se detecta el elemento a analizar, se debe realizar un blanco de método para determinar si el problema de contaminación surge en el laboratorio o en el campo.
- Analizar una muestra con adición de concentración conocida al concluir cada tanda de análisis a fin de detectar problemas de recuperación o precisión. Si la recuperación porcentual está fuera de los límites de control, analizar un estándar para definir con mayor exactitud la fuente probable del problema. La recuperación infructuosa del estándar indicaría o un problema de matriz o bien un problema de precisión. Un problema de precisión produciría en forma aleatoria una recuperación fallida, probablemente debida a una técnica de análisis pobre o inconsistente.

### 3.9 Corrección de los problemas

Resultados extremos, inesperados o dudosos son, por lo general, detectados e informados por el laboratorista o notados por el supervisor al revisar los resultados. Cuando se observa una desviación, se debe investigar la secuencia completa: muestreo, preservación de muestras, tiempos de conservación, análisis y control de calidad. El programa documentado de control interno de la calidad analítica proporcionará los medios básicos para llevar a cabo la revisión.

- (a) Muestreo

Revisar los registros de la recolección de muestras. Controlar la técnica de preservación, el registro de manipulación de las muestras, el tiempo de traslado y el estado de las muestras al ingresar al laboratorio.

(b) Método analítico

Corroborar que el método sea el adecuado para la aplicación y verificar que se lleve a cabo correctamente.

(c) Cálculos

Controlar los cálculos para determinar si hubo una transposición de números o errores matemáticos. Verificar que los resultados se registren en las unidades correctas (es decir, miligramos/litro o miligramos/kilogramo o microgramos/litro, etc.).

(d) Reactivos

Controlar los resultados de AQC con el agua destilada. Controlar los reactivos para detectar cambios en el frasco y en la partida y constatar que no se hayan excedido las fechas de vencimiento.

(e) Soluciones titulantes

Si se aplican métodos químicos húmedos, controlar la normalidad de las soluciones titulantes --tiosulfato de sodio, sulfato ferroso de amonio, dicromato de potasio, ácido sulfúrico, etc.-- comparándolas con un estándar primario.

(f) Instrumental

Dado que los dispositivos mecánicos y electrónicos pueden funcionar mal o descalibrarse, realizar los siguientes controles semanalmente o más asiduamente, según el uso.

1. Controlar la precisión de la balanza usando pesas de referencia que se conservan exclusivamente con este propósito y no se emplean en pesajes de rutina.
2. Controlar la linealidad y la longitud de onda del espectrofotómetro utilizando filtros de vidrio de referencia que se pueden obtener de los fabricantes de instrumental u otras fuentes.
3. Controlar el medidor de pH usando soluciones buffer frescas. Si la fuente de estas soluciones buffer es dudosa, volver a controlar con buffers de una fuente diferente.
4. Controlar la producción adecuada de luz de las lámparas de absorción atómica utilizando un estándar y un blanco para detectar diferencias en la señal.
5. Controlar el medidor de oxígeno disuelto, el medidor de turbiedad y el medidor de conductividad comparándolos con estándares conocidos.
6. Consultar los manuales de operación de los instrumentos para obtener asesoramiento adicional sobre el control de los mismos.

(g) Confirmación de la corrección de un problema

Analizar o volver a analizar las muestras para confirmar la fuente y la corrección de los problemas. Confirmar las recuperaciones mediante análisis de las muestras de referencia conocidas.

## 3.10 Prácticas de laboratorio mejoradas

La detección de fallas es una práctica que los laboratorios deben adoptar para mejorar su funcionamiento.

(a) Muestreo

Llevar un libro diario de campo (encuadrado) para registrar las mediciones a campo, hora, temperatura, sitio del muestreo, condiciones climáticas y cualquier otra información pertinente.

(b) Errores en la transcripción de datos

Ingresar los resultados de los análisis directamente en los libros del laboratorio. Volver a controlar los datos ingresados en informes o en resúmenes de datos computarizados comparándolos con los resultados originales registrados en los libros del laboratorio.

(c) Estándares

Las soluciones estándar empleadas para calibrar los instrumentos pueden degradarse con la luz, un almacenamiento inadecuado, contaminación accidental o antigüedad. Las soluciones estándar deben compararse frecuentemente con estándares o muestras de referencia obtenidas de una fuente externa de buena reputación mediante análisis paralelos.

Se deben preparar estándares nuevos con frecuencia o comprarlos ya listos para usar. La frecuencia de los controles y la preparación o adquisición de estándares deben fundarse en el conocimiento de la estabilidad de las soluciones estándar. Casi todos los estándares deben prepararse o reemplazarse al menos cada seis (6) meses.

(d) Reactivos

Llevar un registro de la fecha en que los productos químicos se reciben y se abren por primera vez. Registrar fechas y detalles de la preparación de reactivos, incluso estimaciones de su vencimiento.

Etiquetar y fechar todos los recipientes que contienen reactivos. Elaborar un plan para reordenar los productos químicos según su vencimiento estimado.

Los laboratoristas deben someter blancos de reactivos a la totalidad del proceso de muestreo y análisis. En colorimetría, el blanco de reactivo debe compararse con el agua destilada a fin de detectar cualquier reacción inusual.

A medida que se lea una curva estándar, se deben usar los puntos en la curva para graficar una línea de regresión para el análisis.

(e) Material de referencia

Hay material de referencia de dos tipos. El primero está constituido por productos químicos de máxima pureza para la preparación de concentraciones exactas (conocidas) en solución. Estas se emplean como estándares de calibración. El segundo comprende las muestras para el control de calidad u otras muestras no-calibrativas de productos químicos puros en agua o en otras matrices también en concentraciones conocidas pero para ser usadas como controles de calibración, instrumental, técnicas, del laboratorista, etc. Estos productos químicos o materiales se pueden obtener mediante el pago de un arancel del National Institute of Standards and Technology de los Estados Unidos, del National Research Council de Canadá, del Community Bureau of Reference de Europa, del National Institute for Environmental Studies de Japón, de otras fuentes gubernamentales y algunas firmas comerciales. Las muestras para el control de calidad y los estándares de calibración, anteriormente suministrados en forma gratuita por la U.S. Environmental Protection Agency, ahora se pueden obtener en series y tipos expandidos a través de fuentes comerciales seleccionadas, que los identifican como Materiales de Referencia "EPA Certified". Se puede obtener un listado de dichas fuentes de Quality Assurance Research Division, EMSL-Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268-1525. Listados de otras fuentes se consiguen de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y de los catálogos de referencia REMCO.

(f) Agua destilada de laboratorio

El agua de laboratorio puede contaminarse por el uso o mantenimiento indebidos de una unidad de destilación o desionización. El agua de alta calidad se deteriora con el almacenamiento. Aparte de la contaminación del agua cruda debido a fallas en el sistema, los contaminantes más comunes son el cloro, amoníaco, dióxido de carbono, bacterias y metales traza. El amoníaco y el dióxido de carbono son absorbidos del aire y el cloro es un problema de arrastre. Los metales traza pueden presentarse por fallas en el estañado de las cañerías de destilación o en tanques de almacenamiento, en unidades con cañerías de cobre, accesorios de bronce o por las soldaduras de plomo empleadas en las conexiones. La proliferación de bacterias se puede producir en cualquier sistema de almacenamiento de agua. En los recipientes de plástico o vidrio transparente expuestos a la luz se pueden desarrollar algas. Para el monitoreo continuo de la calidad del agua se recomienda el uso de un medidor de conductancia específica. Lo ideal es preparar el agua destilada inmediatamente antes de usarla y no almacenarla. Los problemas con este agua frecuentemente se manifiestan como resultados irregulares o como una excesiva variabilidad entre los análisis de blancos de métodos.

(g) Lavado de elementos

Una fuente común de errores es la contaminación por el lavado y/o enjuague incorrectos de los elementos. Tales errores generan resultados irregulares o una variabilidad excesiva entre los análisis de blancos de métodos. Un modo de resolver el problema es tener juegos de cristalería y frascos de muestras separados para diferentes tipos de análisis, tales como: materia inorgánica en general, metales traza, o materia orgánica traza. El agente de limpieza así como el procedimiento de lavado y enjuague deben adecuarse al tipo de análisis a llevar a cabo.

(h) Otras fuentes de contaminación

No almacenar las muestras de agua que contengan trazas de contaminación con muestras de agua o de aguas residuales que presenten un alto grado de contaminación. No conservar las muestras en el mismo refrigerador con las soluciones estándar. Proteger las muestras y los estándares contra la humedad, el polvo, gases, humo de tabaco, insecticidas y otros contaminantes que se encuentran en el aire ambiental. En lo posible, los laboratorios debieran tener aire acondicionado para evitar los problemas de contaminación y humedad. Este tipo de contaminación aparecerá como una diferencia entre los blancos de campo y de método.

### 3.11 Revisión del desempeño

Los laboratoristas deben llevar un registro permanente de los controles de calidad que se efectúen. El supervisor se debe reunir con sus laboratoristas con frecuencia con el objeto de revisar los resultados de los controles de calidad y corregir cualquier problema que se detecte. Las deficiencias deben registrarse en el libro de registro, en el cual se debe indicar el método analítico aplicado, los instrumentos usados y los laboratoristas participantes, el problema, la fuente probable de error, las medidas tomadas y los resultados de la corrección. Es posible obtener auténticos beneficios de un programa de control de calidad y mejorar la calidad general de los datos solo después de haber descubierto y corregido las deficiencias y confirmado su corrección.

## 4.0 MUESTRAS DE GEMS/AGUA PARA CONTROL DE CALIDAD

### 4.1 Objetivo

Las muestras para control de calidad son muestras de referencia en concentraciones conocidas para un programa de AQC interno que el laboratorio utiliza para verificar la calibración, el método, al analista o el instrumental. No son sustitutos de los estándares locales, de las muestras duplicadas o de muestras con adiciones de concentración conocida de las variables de interés (adición estándar) que se analizan en forma rutinaria en el programa de control de calidad de cada laboratorio. Las muestras para control de calidad se pueden incorporar al agua natural y al agua destilada a fin de determinar recuperaciones; o bien, mediante la comparación de las recuperaciones de estas aguas, se pueden generar medidas distintas del sesgo del método y se puede detectar la posible interferencia del agua natural.

### 4.2 Distribución de las muestras

Durante 1990 los laboratorios GEMS/Agua recibieron en forma gratuita una serie estándar de muestras para el control de calidad en ampollitas selladas para los seis tipos de muestras especificadas en el Cuadro 4. Estas muestras abarcan la mayoría de las variables de interés primario para el programa GEMS/Agua. Cada tipo de muestra se entrega con instrucciones para la manipulación y preparación de las muestras en el laboratorio y con un informe de los valores verdaderos. Se recomendó limitar el conocimiento de los valores verdaderos al director del laboratorio o al laboratorista encargado del control de calidad hasta que los análisis se hayan terminado. Se recomendó que, en lo posible, las muestras se "disfracen" como muestras de rutina. De este modo se garantiza una manipulación más normal o rutinaria por parte del personal, lo que resulta en una medición más valedera del desempeño del laboratorio.

Dado que las muestras para el control de calidad "EPA Certified" ahora (1991) se obtienen mediante el pago de un arancel a través de proveedores comerciales, se está estudiando la forma de financiar una mayor distribución de estas muestras.

### 4.3 Uso sugerido de las muestras

Queda a criterio de cada laboratorio decidir qué muestras se analizarán para el control de calidad, de qué manera se aplicarán y si se informará o no al laboratorista sobre los componentes o sus concentraciones. En la Sección 3 precedente se brinda una guía de los controles internos pertinentes.

### 4.4 Actividades de seguimiento

Los laboratorios participantes no han de informar en forma rutinaria sobre los resultados de los análisis efectuados con las muestras para el control de calidad. Si el análisis de las muestras revela problemas de control de calidad que no puedan ser solucionados por el laboratorio en cuestión, se deberá solicitar asesoramiento y asistencia técnica al coordinador regional para el control de calidad de WHO.

Antes de entrar en la segunda etapa de un estudio global de AQC, es decir, el análisis de muestras desconocidas en un estudio formal de evaluación del desempeño, es necesario que el laboratorio haya completado con éxito los controles internos.

Cuadro 4. Muestras de GEMS/Agua para control de calidad previamente distribuidas entre los laboratorios\*

TIPO Y CANTIDAD DE MUESTRAS	VARIABLES DISPONIBLES
Análisis de Metales Traza (1)	aluminio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio, vanadio y zinc; 1 nivel de cada uno
Análisis de Minerales (3)	sodio, potasio, calcio, magnesio, pH, sulfato, cloruro, fluoruro, alcalinidad total, dureza total, total de sólidos disueltos y conductancia específica; 1 nivel de cada uno
Análisis de Nutrientes (2)	N-nitrato, N-amoniaco, N-total Kjeldhal, P-ortofosfato y P total; 1 nivel de cada uno
Análisis de Demanda (2)	DBO, DQO, CTO; 2 niveles de cada uno
Análisis de Pesticidas de Hidrocarburos Clorados - I (1)	aldrín, dieldrín, DDT, DDE, DDD y heptacloro en acetona; 1 nivel de cada uno
Análisis de residuo no filtrable, total filtrable, volátil (2)	2 niveles de cada uno
* Total: 10 u 11 ampollitas por grupo	

## 5.0 ESTUDIO DE EVALUACION DEL DESEMPEÑO GEMS/AGUA

### 5.1 Objetivo

Las muestras para el control de calidad se suministran con valores conocidos y límites de desempeño con el objeto de ayudar a los distintos laboratorios en sus programas internos de AQC. Los estudios de evaluación del desempeño que incluyen análisis de muestras desconocidas proporcionan una base para evaluar el desempeño de los laboratorios y para estimar la precisión y recuperación analítica combinada de los laboratorios que participan en la red de monitoreo de GEMS/Agua.

### 5.2 Distribución

Los laboratorios que forman parte de GEMS/Agua deben participar en los estudios de evaluación del desempeño, cuya programación les será notificada por la Oficina Regional de WHO o la de Ginebra. Hay seis tipos de muestras en cada paquete, según se indica en el Cuadro 5. Las instrucciones sobre preparación y análisis se entregan con cada tipo de muestra.

Desde 1982 y a pedido de WHO, el Environmental Monitoring Systems Laboratory de USEPA en Cincinnati periódicamente realiza un estudio formal para la evaluación del desempeño de los laboratorios GEMS/Agua. Las muestras suministradas a los laboratorios se remiten como desconocidas. Los resultados se codifican para mantener la confidencialidad y se evalúan de acuerdo con los límites aceptables que se ha demostrado que se pueden obtener para los elementos analizados. Los resultados se informan a cada laboratorio y los resultados codificados se resumen y remiten a las Oficinas Regionales y de Ginebra de WHO con el objeto de contar con una medición general del desempeño de los laboratorios GEMS/Agua.

#### Futuros estudios de evaluación del desempeño

En 1991, el EMSL de Cincinnati llevó a cabo un segundo estudio sobre evaluación del desempeño para WHO. Los elementos indicados en el Cuadro 5 abarcan a la mayoría de los elementos básicos medidos en forma rutinaria e informados a GEMS/Agua. La Oficina de WHO en Ginebra espera continuar con estos estudios en forma periódica en el futuro.

### 5.3 Informes

Los resultados de los análisis de cada muestra examinada para evaluar el desempeño se consignan en el formulario correspondiente y se envían al coordinador de AQC de la oficina regional de WHO (ver lista en el Cuadro 1).

Las instrucciones para consignar los resultados se adjuntan a las muestras.

Cuadro 5. Alcance del estudio de 1991 sobre evaluación del desempeño de los laboratorios GEMS/Agua

TIPO Y CANTIDAD DE MUESTRAS	VARIABLES DISPONIBLES
Análisis de Metales Traza (2)	aluminio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio, níquel, selenio, vanadio y zinc; 1 nivel de cada uno
Análisis de Minerales (8)	sodio, potasio, calcio, magnesio, pH, sulfato, cloruro, fluoruro, alcalinidad total, dureza total, total de sólidos disueltos y conductancia específica; 1 nivel de cada uno.
Análisis de Nutrientes (4)	N-nitrato, N-amoniaco, N-total Kjeldhal, P-ortofosfato y P total; 1 nivel de cada uno
Análisis de Demanda (2)	DBO, DQO, CTO
Análisis de Pesticidas de Hidrocarburos Clorados - I (2)	aldrín, dieldrín, DDT, DDE, DDD y heptacloro en acetona
Análisis de residuo no filtrable, total filtrable, volátil (2)	total de sólidos en suspensión
Total: 20 ampollitas por laboratorio	

#### 5.4 Evaluación

A los efectos del informe de evaluación, los laboratorios se identifican solamente mediante un código numérico. Cada laboratorio de la red conocerá su propio código pero no el de los demás. La lista de códigos es confidencial y solo la conocen el EMSL de Cincinnati y el coordinador de GEMS/Agua en WHO.

Vencido el plazo, el EMSL de Cincinnati tabulará todos los datos recibidos y preparará informes de evaluación individuales sobre los resultados obtenidos en cada laboratorio en comparación con los límites establecidos por Britton (16) en base a estadísticas. El Cuadro 6 es un ejemplo del informe de evaluación. Este tipo de informe será entregado a cada laboratorio. Los resultados del laboratorio se consignan en la columna "Valor Consignado" y su cumplimiento con los límites se indicará en la columna "Evaluación". El estudio global de AQC de GEMS/Agua se basa en el programa de USEPA para la evaluación de laboratorios que analizan aguas y aguas residuales.

Además, EMSL de Cincinnati preparará un informe que resume todos los resultados obtenidos. Se espera que, en base a este informe, un grupo de expertos examine el componente de control de la calidad analítica para GEMS/Agua y asesore sobre actividades futuras.

#### 5.5 Seguimiento

Los problemas con los resultados que no concuerdan con los límites aceptables en el estudio de evaluación del desempeño se pueden resolver en tres etapas:

1. Concluida la evaluación del desempeño. Si los resultados están dentro de los límites aceptables, no es necesaria ninguna otra operación fuera del AQC normal de rutina.
2. Si algunos resultados están fuera de los límites aceptables, el coordinador de AQC de la oficina regional de WHO puede trabajar con el laboratorio para identificar y corregir el problema.
3. Una vez que los problemas han sido, aparentemente, solucionados, el coordinador de AQC de la oficina regional de WHO suministrará al laboratorio muestras adicionales para el control de calidad (con valores conocidos) a fin de confirmar la resolución de los problemas.

Nota: Los resultados del primer estudio de evaluación del desempeño están incluidos en las Referencias 15 y 16 de la Bibliografía.

Cuadro 6. Ejemplo de un informe del estudio GEMS/Agua de evaluación del desempeño

Número de Código del Laboratorio.....

Fecha.....

Elementos a analizar	Cantidad de muestras	Valor consignado	Valor verdadero	Límites aceptables <sup>a</sup>	Límites de advertencia <sup>b</sup>	Evaluación del desempeño <sup>c</sup>
Metales traza en microgramos por litro						
ALUMINIO	1		473.	359.-641.	394.-606.	
	2		60.2	30.0-136.	43.4-123.	
ARSENICO	1		120.	73.6-164	84.8-152.	
	2		17.5	9.24-24.4	11.1-22.5	
BERILIO	1		473.	392.-549.	412.-529	
	2		22.5	16.9-29.2	18.4-27.6	
CADMIO	1		32.5	22.7-36.5	24.4-34.8	
	2		2.60	.573-4.35	1.05-3.88	
COBALTO	1		171.	141.-201	149.-194	
	2		13.7	9.34-17.7	10.4-16.6	
CROMO	1		76.5	53.8-96.2	59.0-91.0	
	2		9.18	5.50-13.1	6.44-12.1	
COBRE	1		130.	106.-152.	111.-146.	
	2		11.4	6.70-17.4	8.02-16.1	
HIERRO	1		275.	222.-330.	235.-317.	
	2		15.4	3.55-30.9	6.93-27.5	
MANGANESO	1		189.	152.-225	161.-216.	
	2		18.2	10.7-25.2	12.5-23.4	
MERCURIO	1		6.11	4.08-8.22	4.61-7.69	
	2		.797	.182-1.43	.337-1.27	
NIQUEL	1		150.	114.-181.	122.-173	
	2		15.0	6.37-24.4	8.60-22.1	
PLOMO	1		210.	167.-252.	177.-242.	
	2		27.1	17.6-39.6	20.3-36.9	
SELENIO	1		35.0	17.8-48.3	21.7-44.5	
	2		4.77	1.89-7.13	2.55-6.47	
VANADIO	1		367.	259.-476.	287.-448.	
	2		72.4	35.2-107.	44.5-97.6	
ZINC	1		140.	115.-164.	121.-158.	
	2		14.0	4.18-25.6	6.84-23.0	

(a) Intervalo de predicción del 99% (ref. 16).

(b) Intervalo de predicción del 95% (ref. 16)

(c) ACEPTABLE, es decir, dentro de los límites de advertencia.

CONTROLAR ERROR, es decir, dentro de los límites aceptables pero más allá de los límites de advertencia. Un valor con esta evaluación no necesita seguimiento.

INACEPTABLE, es decir, más allá de los límites aceptables.

DATO INSERVIBLE, es decir, la respuesta no se puede juzgar cuantitativamente.

## Ejemplo de informe de evaluación del desempeño

Número de Código del Laboratorio.....

Fecha.....

Elementos a analizar	Cantidad de muestras	Valor consignado	Valor verdadero	Límites aceptables <sup>a</sup>	Límites de advertencia <sup>b</sup>	Evaluación del desempeño <sup>c</sup>
Minerales en miligramos por litro (excepto lo indicado)						
pH (en unidades de pH)	3		5.45	5.32-5.56	5.35-5.53	
	4		6.45	6.31-6.60	6.35-6.56	
Conductancia específica (µmhos 25°C)	1		136.	118.-153.	122.-148.	
	2		568.	487.-641.	506.-622.	
TDS a 180°C	1		78.0	47.4-119.	56.2-110.	
	2		357.	278.-424.	296.-406.	
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	1		29.3	23.4-34.5	24.8-33.1	
	2		142.	130.-150.	133.-148.	
Calcio	1		8.28	6.66-9.82	7.06-9.43	
	2		38.5	33.2-43.3	34.4-42.0	
Magnesio	1		2.10	1.48-2.62	1.63-2.48	
	2		11.1	8.95-12.9	9.44-12.4	
Sodio	1		7.8	6.64-9.11	6.95-8.80	
	2		43.8	38.0-49.9	39.5-48.4	
Potasio	1		2.4	1.82-3.01	1.97-2.86	
	2		8.8	7.21-10.6	7.63-10.1	
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	1		18.4	13.6-23.4	14.8-22.2	
	2		84.9	76.5-88.3	78.0-86.9	
Cloruro	1		24.1	20.9-27.6	21.8-26.8	
	2		83.8	76.6-92.0	78.5-90.1	
Fluoruro	1		.147	.0958-.215	.111-.200	
	2		1.05	.897-1.21	.935-1.17	
Sulfato	1		11.2	7.41-14.1	8.25-13.3	
	2		89.0	75.0-99.6	78.0-96.6	
Demanda en miligramos por litro						
DQO	1		40.2	26.6-49.3	29.4-46.5	
	2		92.	72.6-107.	76.9-102.	
CTO	1		15.8	11.0-20.5	12.2-19.2	
	2		36.1	26.6-47.7	28.8-42.4	
DQO 5 días	1		26.7	15.9-37.5	18.6-34.9	
	2		61.1	37.4-85.0	43.2-79.2	

(a) Intervalo de predicción del 99% (ref. 16).

(b) Intervalo de predicción del 95% (ref. 16)

(c) ACEPTABLE, es decir, dentro de los límites de advertencia.

CONTROLAR ERROR, es decir, dentro de los límites aceptables pero más allá de los límites de advertencia. Un valor con esta evaluación no necesita seguimiento.

INACEPTABLE, es decir, más allá de los límites aceptables.

DATO INSERVIBLE, es decir, la respuesta no se puede juzgar cuantitativamente.

## Ejemplo de informe de evaluación del desempeño

Número de Código del Laboratorio.....

Fecha.....

Elementos a analizar	Cantidad de muestras	Valor consignado	Valor verdadero	Límites aceptables <sup>a</sup>	Límites de advertencia <sup>b</sup>	Evaluación del desempeño <sup>c</sup>
Minerales en miligramos por litro (excepto lo indicado)						
Nitrógeno - Amoníaco	1		.663	.544-.779	.573-.750	
	2		2.51	2.15-2.87	2.24-2.78	
Nitrógeno - Nitrato	1		4.3	3.79-4.75	3.91-4.63	
	2		.352	.294-.408	.308-.393	
Ortofosfato	1		2.19	1.98-2.38	2.03-2.33	
	2		3.69	3.36-4.01	3.44-3.93	
Nitógeno - Kjeldahl	3		7.69	6.30-8.96	6.63-8.63	
	4		13.3	10.9-15.3	11.5-14.7	
Fosforo total	3		.515	.455-.597	.473-.579	
	4		.911	.820-1.04	.847-1.01	
Pesticidas en microgramos por litro						
Aldrin	1		.118	.0348-.147	.0489-.133	
	2		.591	.207-.733	.274-.666	
Diledrin	1		.186	104-.270.	.125-.1249	
	2		.698	.365-1.03	.449-.948	
DDD	1		.212	.0914-.316	.120-.288	
	2		.397	.190-.569	.238-.521	
DDE	1		.131	.0523-.205	.0715-.185	
	2		.505	.286-.671	.334-.623	
DDT	1		.290	.155-.440	.191-.404	
	2		.958	.445-1.36	.559-1.23	
Heptacloro	1		.065	.0217-.0983	.0314-.0886	
	2		.323	.119-.449	.161-.408	
Heptacloro epóxido	1		.335	.201-.421	.229-.399	
	2		.805	.341-1.20	.453-1.09	
Residuo no filtrable en miligramos por litro						
Residuo no-filtrable	1		31.6	24.3-38.9	26.1-37.1	
	2		44.2	36.3-52.1	38.3-50.1	

(a) Intervalo de predicción del 99% (ref. 16).

(b) Intervalo de predicción del 95% (ref. 16)

(c) ACEPTABLE, es decir, dentro de los límites de advertencia.

CONTROLAR ERROR, es decir, dentro de los límites aceptables pero más allá de los límites de advertencia. Un valor con esta evaluación no necesita seguimiento.

INACEPTABLE, es decir, más allá de los límites aceptables.

DATO INSERVIBLE, es decir, la respuesta no se puede juzgar cuantitativamente.

## 6.0 REFERENCIAS

1. UNEP/WHO (1985) GEMS/WATER Operational Guide Chapter IV; analytical quality control, Geneva, World Health Organization (WHO/EFP/85.4)
2. WHO (1982) Global study on analytical quality control, 1982/1983. Annex III: Recommended quality control programme, Geneva, World Health Organization (WHO/82.30)
3. CEPIS (1979) Guide for the evaluation of water, pp.80-85 (Technical Document No. 4).
4. NEERI (1979) Basic principles of statistics for analytical quality control.  
 NEERI (1979) Laboratory manuals for analytical quality control: lead, P, DDT, residue, chromium, iron, mercury, fluoride and ammonia.  
 NEERI (1979) Analytical quality control exercises.  
 NEERI (1979) Analytical quality control (training programme).
5. US EPA (1979) Handbook for analytical quality control in water and waste water laboratory, US Environmental Protection Agency (EPA 600/4-79-019).
6. [Handbook on within-laboratory quality control in water laboratory], Denmark, Water Quality Institute (Project No. 180-21-16) (en danés).
7. WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE (1974) Manual on analyses for water pollution control: analytical errors, Copenhagen, World Health Organization.
8. KATEMAN, G. & PIPES, F.W. (1981) Quality control in analytical chemistry, Wiley Interscience Chemical Analysis, Vol. 60.
9. DUNCAN, A.J. (1974) Quality control and industrial statistics, Illinois.
10. YODEN, W.J. & STEINER (1975) Statistical manual of the AQC.
11. WATER RESEARCH CENTRE (1978) En: Cheeseman, R.V. & Wilson, A.L., ed. Manual on analytical quality control for the water industry, Medmenham, U.K. (TR 66).
12. WATER RESEARCH CENTRE (1976) Accuracy required of analytical results for water quality data banks, Medmenham, U.K. (TR 34).
13. NATIONAL AGENCY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION (1983) Interlaboratory analytical quality control in water chemistry. An international comparison, Horsholm, Reference Laboratory for Chemical Water Analysis (den 7, January).
14. IUPAC (1982) En: Egan, H. & West, T.S., ed. Collaborative interlaboratory studies in chemical analyses, Oxford, New York, Pergamon Press.
15. WINTER, J.A. (1985) Quality assurance support to the GEMS/WATER programme, Water Quality Bulletin, Vol. 10, No. 4, pp. 181-185 and 216.
16. BRITTON, P.W. (1986) Laboratory performance evaluation studies and their relationships to the global environmental monitoring system in water (GEMS/WATER), World Health Statistical Quarterly, Vol. 39, No. 1, pp. 46-57.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO VIII: MEDICIONES HIDROLOGICAS CUANTITATIVAS**

Preparado por la Secretaría de la  
WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	LA FUNCION DE LAS MEDICIONES HIDROLOGICAS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA ....	1
3.0	REQUERIMIENTOS DE DATOS .....	2
3.1	Mediciones hidrológicas cuantitativas realizadas al momento del muestreo .....	2
3.2	Series temporales de datos hidrológicos para calcular caudales acumulados .....	3
3.3	Datos de sólidos en suspensión .....	3
4.0	TECNICAS RECOMENDADAS PARA MEDICIONES HIDROLOGICAS .....	3
4.1	Ríos .....	3
4.2	Lagos .....	4
4.3	Aguas subterráneas .....	5
5.0	TECNICAS PARA EL CALCULO DE CAUDALES ACUMULADOS Y ANALISIS DE ERROR .....	5
5.1	Cálculo de caudales acumulados .....	5
5.2	Técnicas de interpolación .....	7
5.3	Análisis de errores .....	7
6.0	PRESENTACION DE DATOS .....	7
6.1	Datos hidrológicos obtenidos al momento del muestreo .....	7
6.2	Datos hidrológicos para cálculos de balance de masas .....	8
6.3	Parámetros estadísticos para informes sumarios .....	8
7.0	REFERENCIAS .....	8

## 1.0 INTRODUCCION

El presente capítulo versa sobre la función de las mediciones hidrológicas en el monitoreo de la calidad del agua, incluye un listado de los requerimientos de datos hidrológicos, indica las técnicas de medición hidrológica recomendadas y describe la aplicación de dichas mediciones hidrológicas en el monitoreo de la calidad del agua. Las siguientes publicaciones de la WMO proporcionan información detallada sobre el monitoreo de la cantidad y calidad del agua:

- Guide to Hydrological Practices [1]<sup>1</sup>
- Manual on Stream Gauging [2]
- Manual on Water Quality Monitoring [3]
- Manual on Operational Methods for the Measurement of Sediment Transport [4].

En el Cuadro 1 se incluye un listado de los capítulos de esas publicaciones que contienen material referido al tema que aquí se trata.

Cuadro 1. Capítulos de interés de la Guía y Manuales de la WMO

Fuente	Capítulo	Título
[1] <sup>1</sup>	10	Niveles de agua (altura)
	11	Medición de la descarga
	12	Aforo de cursos de agua
	13	Descarga de sedimentos
	14	Hielo sobre ríos, lagos y embalses
	17	Calidad del agua superficial
[2]	4	Medición de la altura
	5	Medición de la descarga con métodos convencionales de medidores de corriente
	6	Nuevos métodos
	8	Medición de la descarga con diversos métodos
[3]	2	Condiciones generales para el muestreo del agua
	10	Procedimientos para el muestreo de sedimentos
[4]	1	Medición de sólidos en suspensión
	2	Medición del transporte de fondo
	3	Medición de la descarga total de sedimentos
	6	Procesamiento de datos

## 2.0 LA FUNCION DE LAS MEDICIONES HIDROLOGICAS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El monitoreo de la calidad del agua requiere de mediciones hidrológicas para cumplir diversos fines, a saber:

- estimar los valores instantáneos promedio de los componentes de la calidad del agua en el río, cuerpo de agua subterránea o lago al momento de realizar el muestreo (caudal o volumen instantáneo);
- calcular los caudales acumulados o el balance de masas de los componentes de interés para la calidad del agua (series temporales históricas de datos de caudal);

<sup>1</sup> Para 1992-93 se ha previsto la publicación de la 5a edición de la Guide to Hydrological Practices de la WMO; los títulos de los capítulos hacen referencia a esa edición.

- estimar los errores en los datos de calidad del agua originados en mediciones hidrológicas, los que se agravarán cuando se combinen con otros errores;
- aportar datos a los modelos de calidad del agua (series temporales históricas de datos de caudal).

Por todas estas razones, es de suma importancia que las mediciones hidrológicas y el muestreo del agua para la determinación de su calidad estén perfectamente coordinados.

### 3.0 REQUERIMIENTOS DE DATOS

El monitoreo de la calidad del agua requiere de dos tipos básicos de datos hidrológicos:

- datos cuantitativos, tales como nivel del agua, velocidad, caudal y presencia de hielo sobre o en el agua;
- carga de sólidos en suspensión (materia en suspensión y transporte de fondo<sup>2</sup>), que corresponde al campo de la calidad del agua pero es tradicionalmente medida por los hidrólogos.

A su vez, los datos hidrológicos básicos se pueden dividir en dos subgrupos: mediciones hidrológicas realizadas al momento del muestreo (véase 3.1) y datos de series temporales históricas para todo el periodo registrado (véase 3.2).

#### 3.1 Mediciones hidrológicas cuantitativas realizadas al momento del muestreo

Para ríos con relaciones altura-descarga estables y variaciones relativamente pequeñas en el nivel del agua, generalmente es suficiente efectuar una lectura del nivel del agua y las usuales observaciones de las condiciones del hielo al momento de realizar el muestreo. Si la relación altura-descarga presenta histéresis (es decir, un lazo relacionado con caudales crecientes o decrecientes), será necesario realizar cuidadosas lecturas antes y después del muestreo además de las tomadas durante el muestreo mismo para determinar el estado del río (en ascenso o en descenso). La cantidad de lecturas a realizar antes y después del muestreo y el intervalo entre ellas se determinarán en cada estación según las características de histéresis de la relación altura-descarga. Si dicha relación es inestable --es decir, si el lecho del río cambia con el correr del tiempo y el caudal-- será necesario efectuar una medición de la descarga al momento del muestreo.

Cabe destacar que cuando se extraen muestras de un único punto, no es imprescindible tomar la muestra en la misma sección en la que se midió el nivel del agua y/o la descarga. Sin embargo, en la medida de lo posible, ésta debiera ser la metodología preferida.

Si fuera necesario realizar un muestreo en múltiples puntos de una sección transversal, tanto las mediciones hidrológicas como el muestreo se deben llevar a cabo en la misma sección transversal. Las mediciones y observaciones son iguales que para un punto único de muestreo, pero en este caso es necesario medir el caudal. Durante las mediciones de descarga se debe medir la velocidad en todos los puntos de muestreo.<sup>3</sup>

En el caso de lagos y embalses, si el muestreo se efectúa en ríos afluentes o efluentes, las mediciones requeridas son las mismas; a excepción del momento de muestreo, es aconsejable realizar observaciones de los niveles y oleaje de los lagos (véase 3.2) a unos pocos intervalos, antes y después, según sean las condiciones del lago y otras condiciones locales. Si las mediciones se llevan a cabo dentro del mismo lago, al momento del muestreo --así como a unos pocos intervalos antes y después-- se deben realizar las siguientes mediciones hidrológicas para los parámetros que no se miden en forma continua:

- niveles del agua en todas las escalas del lago;
- condiciones del hielo en todos los puntos de observación;
- características del oleaje, elevación del nivel por efecto del viento y oscilaciones de la superficie del lago.

Además, si los programas de muestreo de temperatura y de medición de corrientes se realizan en forma rutinaria en el lago

<sup>2</sup> Por ahora y dadas las actuales dificultades para medir el transporte de fondo con un instrumento de aceptación universal, la descarga de sedimentos del transporte de fondo no se incluye en el proyecto GEMS/Agua.

<sup>3</sup> El muestreo y las mediciones de velocidad deben realizarse en forma simultánea, si fuera posible. La velocidad en un punto de un río varía rápidamente en el tiempo pero la mayoría de las técnicas de medición obtienen una velocidad promedio para un período de 1-2 minutos. La calidad del agua también puede variar con la velocidad. Si se toman muestras de un volumen de 1 litro o más en un minuto de la medición de velocidad, esta variación se reduce significativamente.

(embalse), es necesario coordinarlos con los de muestreo para la determinación de la calidad del agua a fin de ejecutarlos en forma simultánea. En el caso de embalses, también se debe observar el funcionamiento de los mecanismos de toma y descarga al momento del muestreo.

En el caso de muestras de aguas subterráneas, se debe registrar el nivel del agua en el pozo al momento del muestreo. Si el pozo no tuviera un registrador de nivel o si los niveles del agua se midieran a intervalos superiores a un día, también habrá que medir los niveles del agua a unos pocos intervalos antes y después de tomar la muestra. Los intervalos se fijarán en base a las condiciones locales, en especial la velocidad de variación del nivel del agua. Si al momento del muestreo se está extrayendo agua del pozo con fines exploratorios u operativos, también se deberá registrar los niveles y descargas de los pozos auxiliares que lo circunden a unos pocos intervalos antes y después del muestreo. Siempre se deberá registrar la profundidad a la cual se toma la muestra. Si la muestra se tomara de agua extraída del pozo, esto también deberá registrarse --al igual que la tasa de bombeo o velocidad de extracción de agua del pozo al momento de muestreo.

### 3.2 Series temporales de datos hidrológicos para calcular caudales acumulados

En el caso de ríos, los datos de las series temporales requeridos para cálculos de caudales acumulados serán los caudales diarios en el período de cálculo. Sin embargo, cuando la variación del caudal en el curso del día sea grande y haya, además, una gran variación (un orden de magnitud) en el parámetro de calidad del agua que se esté midiendo, habrá que registrar los caudales a intervalos menores.

Para el cálculo de los caudales acumulados que ingresan y egresan de lagos, embalses y aguas subterráneas, se requerirán las siguientes series temporales:

- datos de los caudales de los ríos que ingresan y egresan de los sistemas, como en el caso del cálculo de caudales acumulados de ríos;
- niveles del agua del lago (embalse) y una relación volumen / almacenamiento; y
- niveles del agua subterránea.

El intervalo para recolectar estos datos dependerá de la complejidad y tiempo de respuesta del sistema. En este caso, los demás datos requeridos para las series temporales --tales como precipitación, evaporación del lago (o datos meteorológicos para su estimación), infiltración e ingresos y egresos controlados por el hombre-- deberán ser suministrados por las organizaciones que los controlan en colaboración con el servicio hidrológico. En la mayoría de los casos bastará con conocer los valores diarios de dichos parámetros.

### 3.3 Datos de sólidos en suspensión

Los requerimientos de datos de sólidos en suspensión generalmente serán la descarga diaria --estimada por el Servicio Hidrológico (véase 3.1)-- y la granulometría de los sólidos en suspensión. Sin embargo, cuando los sólidos en suspensión contengan una importante carga de contaminantes, será necesario proporcionar datos detallados de la concentración de sólidos en suspensión y del caudal en varios puntos. En aquellos casos en que el Servicio Hidrológico no cuente con datos suficientes, se requerirá una lista de valores de concentraciones de sólidos en suspensión durante el período en estudio.

## 4.0 TECNICAS RECOMENDADAS PARA MEDICIONES HIDROLOGICAS

En general, las técnicas recomendadas para mediciones hidrológicas son las indicadas en "Guide to Hydrological Practices" [1] y en "Manual on Stream Gauging" [2]. En esta Guía solo se hace una breve referencia a las técnicas descritas en dichos trabajos. También se mencionan algunas otras técnicas aplicables a casos especiales y que no han sido descritas en las publicaciones citadas. Sin embargo, como no son técnicas muy difundidas, para mayor información el usuario de esta Guía deberá remitirse a la bibliografía citada en la sección Referencias.

### 4.1 Rios

Para que la calidad de los datos se mantenga durante todo el análisis, es esencial que los datos del muestreo de la calidad del agua sean compatibles con la estimación de la descarga.

Las estaciones de aforo hidrométrico de la red GEMS/Agua deberán estar situadas en la misma sección en que se realiza el muestreo para determinar la calidad del agua --o lo más cerca posible. Cuando la calidad del agua en la sección transversal del río no es homogénea, lo cual significa múltiples puntos de muestreo por toda la sección, no es aconsejable medir la descarga y realizar el muestreo en dos secciones distintas.

Como se indicara en el punto 3, en el caso de ríos, los datos hidrológicos requeridos para la red de monitoreo de la calidad del agua son: nivel, velocidad, descarga de agua, condiciones del hielo, temperatura y sólidos en suspensión.

Los niveles de agua se deben medir con el equipo descrito en la Guía [1] y el Manual [2] de la WMO, o con un aforador digital o un medidor de nivel acústico [2]. Las técnicas de medición empleadas deberán ser las descritas en la Guía de la WMO [1].

La velocidad y la descarga deben medirse, siempre que sea posible, con medidores de corriente ([1] y [2]) o métodos ultrasónicos [2]. Las mediciones deben afectar lo menos posible las características de calidad del agua. Se deben tomar especiales recaudos para no alterar el lecho y las muestras de agua se deberán extraer aguas arriba del punto de medición.

No se recomiendan las mediciones de descarga con flotantes ([1] y [2]) ni con vertederos dado que los primeros no son lo suficientemente exactos para los análisis de calidad del agua y los segundos pueden alterar las condiciones normales de calidad del agua en el punto de medición.

Las mediciones del hielo en ríos deberán realizarse aplicando las técnicas recomendadas por la WMO [1]. Las mismas se harán de modo de evitar toda interferencia con la calidad del agua (reaireación por agujeros en el hielo, agitación de sedimentos al tomar muestras de hielo anclado, etc.).

La temperatura del agua en ríos se medirá siguiendo las técnicas recomendadas por la WMO ([2] y [3]). Dado que una gran variación en la temperatura del agua en una sección transversal o longitudinal puede indicar la existencia de condiciones anómalas en la calidad del agua y, como la temperatura del agua se puede medir fácilmente, se recomienda efectuar estudios exploratorios de temperatura cuando se sospeche la existencia de dichas condiciones. La temperatura de la superficie del agua también se puede medir con sensores remotos. Sin embargo, la temperatura de la superficie rara vez es representativa de la temperatura del agua por debajo de la superficie: con la técnica de sensores remotos no se pueden obtener perfiles de temperatura. En el caso de aguas interiores, la pobre resolución espacial de los actuales barredores radiométricos a microondas de los satélites impedirá la medición de la temperatura del agua.

Las mediciones de sólidos en suspensión se realizarán según lo recomendado por la WMO ([1], [3] y [4]). En ríos con distribución uniforme de sólidos en suspensión en la sección transversal (buena mezcla), se puede efectuar una sola medición. En dichas secciones transversales se podría aplicar un coeficiente de corrección, determinado en base a mediciones en múltiples puntos en secciones transversales, a fin de reducir los errores provocados por el muestreo en un solo punto (véase 5.1). En ríos con una distribución irregular de sólidos en suspensión en la sección transversal se deberá realizar un muestreo en múltiples puntos y/o tomar múltiples muestras integradas en profundidad. Además de analizar los sólidos en suspensión, se recomienda extraer muestras y analizar los sedimentos ([3] y [4]). Siempre que sea posible, se deberá tomar muestras testigo no alteradas dado que ellas pueden proporcionar un registro histórico de la calidad del agua. El Capítulo IV de la presente Guía brinda mayor información sobre análisis de sólidos en suspensión y sedimentos.

## 4.2 Lagos

En el caso de lagos, las técnicas de medición para las estaciones de muestreo situadas sobre ríos efluentes son similares a las empleadas para los ríos y descritas en 4.1. Para los ríos afluentes se deberá tener en cuenta --si fuere necesario-- la influencia de los efectos del remanso provocados por altos niveles del agua en los lagos.

La elevación del nivel por efecto del viento y las oscilaciones de la superficie de lagos y embalses se medirán con, por lo menos, cuatro medidores de nivel con cámaras de quietamiento [1], dos de ellos ubicados en lados opuestos del lago en la dirección de los vientos predominantes independientemente de la forma del lago y dos ubicados en forma perpendicular a dicho eje. Las características del oleaje del lago se medirán al menos dos veces al día con una boya de oleaje o visualmente.

Las mediciones de corrientes efectuadas en lagos y embalses deben incluir la velocidad y dirección y se coordinarán con la toma de muestras de sedimentos del fondo y de agua para determinar su calidad. En algunos casos, se puede usar fotografías aéreas o imágenes satelitales para delinear áreas donde se produzcan variaciones muy marcadas. Al establecer los puntos de muestreo en los lagos se debe tener en cuenta posibles variaciones pronunciadas en la calidad del agua entre uno y otro punto.

Las mediciones de temperatura en lagos y embalses también son importantes indicadores de variaciones en la calidad del agua y deben coordinarse con las mediciones de corrientes y el muestreo para determinar la calidad del agua. En 4.1 se describen las técnicas para medir la temperatura.

En el caso de embalses, el funcionamiento de ciertas estructuras --como son los descargadores de fondo-- puede crear artificialmente corrientes de circulación y corrientes de distinta densidad. Este aspecto debe ser tenido muy en cuenta al planificar los programas de medición de corrientes y muestreo de calidad del agua.

El muestreo de sedimentos en lagos se realizará con técnicas similares a las de los ríos (véase 4.1). Cabe destacar, nuevamente, la importancia de obtener muestras de sedimentos del fondo no alterados para conocer las variaciones históricas.

Como se indicara en 3.2, además de las mediciones en lagos y embalses propiamente dichos, el análisis de datos de calidad del agua también requiere de una serie de mediciones relativas al balance masa-energía en el lago o embalse en estudio. Estas consisten, principalmente, en mediciones de precipitación, evaporación e infiltración y deberán llevarse a cabo según lo prescripto por la WMO [1].

### 4.3 Aguas subterráneas

Para planificar una estrategia de muestreo en un sistema de aguas subterráneas es menester contar con una gran cantidad de información hidrogeológica [3].

En 4.1 se describen las técnicas de medición de caudales que ingresan y egresan de un sistema de aguas subterráneas por el caudal de un río. En este caso, reviste particular importancia el flujo de manantiales y las técnicas para medirlo se ilustran detalladamente en esa sección.

Para los modelos de calidad del agua de sistemas de aguas subterráneas, es necesario contar con información sobre niveles del agua, gradientes hidráulicos, velocidad y dirección del movimiento del agua. La WMO [3] recomienda confeccionar un inventario de los pozos, perforaciones y manantiales alimentados por cada acuífero y registrar todo lo referente al uso de la tierra.

Las muestras de aguas subterráneas se extraen de aguas de drenaje, pozos abiertos y pozos perforados. Las muestras se extraerán solo después de haber bombeado lo suficiente como para asegurar que las obtenidas son muestras frescas [5].

Como se indicara anteriormente, para los modelos de calidad del agua en sistemas de aguas subterráneas es fundamental que los datos de calidad del agua coincidan en tiempo y espacio con los parámetros hidrogeológicos mencionados. En la Guía de la WMO [1] se describe la instalación de pozos de observación y los métodos para medir los niveles de agua subterránea. Para determinar el caudal proveniente de un acuífero [2] se puede aplicar el método volumétrico de cálculo de descargas. Para calcular el balance hídrico del sistema también es necesario llevar un registro detallado de las extracciones (tasas de bombeo y duración).

La información sobre velocidad y dirección del caudal dentro de un acuífero se puede obtener de estudios con tintes o del análisis de los datos de un sistema de inventario bien organizado. Hay que tomar las precauciones necesarias al analizar muestras de sistemas en los que se hayan efectuado estudios con tintes.

**Nota:** El programa GEMS/Agua solo se interesa por la calidad del agua en ríos, lagos y sistemas de aguas subterráneas. No obstante, si las estaciones de muestreo se instalaran en alcantarillas abiertas u otros canales artificiales, se deberán aplicar las técnicas de medición recomendadas en EPA [6], Capítulo 7, Mediciones de Caudal.

## 5.0 TECNICAS PARA EL CALCULO DE CAUDALES ACUMULADOS Y ANALISIS DE ERROR

Dentro del marco de la Red Global de Monitoreo de la Calidad del Agua, los análisis de calidad del agua tienen por objeto establecer valores promedio de caudales instantáneos para los parámetros de calidad del agua y cantidades de materia disuelta o en suspensión (caudales acumulados transportados por el agua a través de secciones de ríos o a través de lagos, embalses o sistemas de aguas subterráneas durante períodos definidos). Esta sección versa sobre el cálculo de valores medidos de caudales instantáneos acumulados y de cantidades acumuladas de materia durante períodos definidos basados en análisis de calidad del agua y mediciones del caudal.

### 5.1 Cálculo de caudales acumulados

Al estimar caudales instantáneos y/o volúmenes de materia durante períodos definidos, uno se puede encontrar frente a una de tres situaciones básicas:

- (a) se cuenta con mediciones del instante o período en consideración: en este caso se procede al cálculo con métodos simples y directos;
- (b) no se cuenta con mediciones de un instante dado pero sí de otros momentos del intervalo: en este caso los cálculos exigen interpolación en el tiempo;
- (c) no se cuenta con ninguna medición de la sección de interés pero sí de otros puntos de la región: en este caso los cálculos exigen interpolación en el tiempo y en el espacio.

En 5.2 se tratan las interpolaciones en el tiempo y el espacio.

Los caudales acumulados en los ríos son el producto de la descarga local ( $l^3/t$ ) y la concentración ( $mg/l$ ). Si los valores tienen una distribución más o menos pareja en la sección transversal, se puede usar los valores medios locales.

Así:

$$Q_M = c Q \quad (1)$$

donde:

$Q_M$  = caudales acumulados  
 $c$  = concentración  
 $Q$  = descarga

**¡Preste atención a las dimensiones correctas!**

Si la distribución de la velocidad y la concentración muestran grandes variaciones en la sección transversal, se deberá aplicar un procedimiento de integración:

$$Q_M = \int_0^B \int_0^H C_i V_i dy dz = \sum_{i=1}^n c_i Q_i \quad (2)$$

donde:

$B$  = ancho del río  
 $H$  = profundidad del río  
 $C_i$  = concentración en la vertical  $i$   
 $V_i$  = velocidad en la vertical  $i$   
 $n$  = cantidad de elementos en que se divide la sección transversal.

Se puede efectuar una aproximación usando un coeficiente empírico  $K_n$ :

$$Q_M = K_n c Q \quad (3)$$

Este coeficiente ( $K_n$ ) debe basarse en exámenes previos más detallados. Cabe observar que  $K_n$  puede variar con  $Q$ . La Guía de la WMO [1] contiene un gráfico para usar en el cálculo de descarga de sedimentos, en tanto que WMO [4] brinda información adicional sobre el cálculo de caudales acumulados.

En general, los lagos y sistemas de aguas subterráneas requieren de un método similar al usado para los ríos. Los análisis comúnmente se realizan calculando los caudales acumulados de los ríos que ingresan y egresan del sistema con la consiguiente variación en la calidad del agua almacenada. Será necesario contar con datos de cualquier aporte o extracción de los sistemas controlados por el hombre para el cálculo del balance energético y de masas. Existen modelos de calidad del agua que aplican técnicas de conservación de masa y energía para sistemas de lagos, embalses y aguas subterráneas. Las complicaciones surgen cuando los tres sistemas están combinados, en cuyo caso se recomienda efectuar controles empleando una técnica de balance de masas. En lagos grandes la precipitación local puede ejercer una influencia importante, razón por la cual debe ser incluida en los cálculos.

Para obtener los caudales acumulados de un parámetro de calidad del agua en un período definido, es necesario contar con los valores de concentración a intervalos discretos y con datos de caudales correspondientes al mismo período. En cursos de agua naturales, es posible establecer una relación concentración de contaminante-descarga. Se puede usar la ecuación (2) para calcular la masa en el intervalo requerido mediante la integración con respecto al tiempo.

## 5.2 Técnicas de interpolación

Si no se dispone de los datos necesarios, éstos deberán derivarse de los datos de localidades y/o tiempos adyacentes. Cuando las determinaciones de calidad del agua se efectúan a intervalos más bien prolongados (semanal o quincenalmente, o a intervalos aun mayores), el cálculo de los caudales acumulados para un período definido generalmente se realiza suponiendo que la concentración varía linealmente. Este supuesto solamente es aceptable para ríos con variaciones temporales muy pequeñas en la concentración de una sustancia dada --lo que rara vez se da en la realidad. Otros métodos de interpolación que se pueden utilizar son los siguientes:

- técnicas basadas en regresiones simples o múltiples;
- técnicas basadas en modelos conceptuales.

Las técnicas de interpolación espacial se aplican cuando se intenta calcular los caudales acumulados de un área para la cual solo se dispone de información sobre la calidad del agua de algunas de las cuencas. Las técnicas de interpolación que se pueden utilizar en tales casos incluyen las siguientes:

- mapas de calidad del agua;
- análisis de regresión múltiple (modelos estadísticos);
- modelos conceptuales.

No se recomienda el uso de extrapolaciones porque generan mayores errores.

## 5.3 Análisis de errores

Los errores de estimación de los datos de caudales acumulados provienen de errores en los datos de concentración y descarga respectivamente.

El error estándar de estimación de los caudales acumulados,  $\sigma_M$ , puede derivarse de los de sus dos componentes básicos, como sigue:

$$\sigma_M = Q_M \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{c}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Q}{Q}\right)^2} \quad (4)$$

donde  $\sigma_c$  y  $\sigma_Q$  son los errores estándar de estimación de concentración (c) y descarga (Q), respectivamente. Ambos pueden estar compuestos por varios elementos, según sea el procedimiento aplicado para su cálculo.

## 6.0 PRESENTACION DE DATOS

Los datos hidrológicos son necesarios para procesar datos de calidad del agua en las distintas etapas de almacenamiento, publicación e interpretación. Cuando el procesamiento de los datos de calidad del agua se realiza fuera del servicio hidrológico que lleva a cabo las mediciones hidrológicas, es necesario un mayor grado de detalle en la presentación de los datos. Este es el supuesto sobre el que se trabaja en los puntos siguientes. En aquellos casos en que los datos hidrológicos y de calidad del agua sean procesados por una misma organización, se harán los ajustes que correspondan en su presentación. El formato sugerido para la presentación de datos hidrológicos tiene por objeto sustentar los informes de datos de calidad del agua y no necesariamente deberán incluirse en los informes de calidad del agua.

### 6.1 Datos hidrológicos obtenidos al momento del muestreo

Los datos hidrológicos obtenidos al momento del muestreo que se deben consignar para el procesamiento de datos de calidad del agua deben incluir los siguientes:

- nivel del agua y tendencias del nivel del agua;
- pendiente de la superficie del agua y tendencias de la pendiente de la superficie del agua (si se conoce);
- condiciones del hielo y temperatura del agua;
- transparencia del agua (si se conoce) y observaciones visuales respecto del color del agua;
- caudal de agua y error estimado;
- velocidades del agua en todos aquellos puntos de la sección transversal en que se realice el muestreo (muestreo múltiple);
- datos de sólidos en suspensión; concentración promedio, granulometría (si se conoce);
- datos sobre transporte de fondo (si se conoce);
- observaciones relativas a condiciones y vegetación del lecho del río.

## 6.2 Datos hidrológicos para cálculos de balance de masas

Como se indicara en el punto 5, los datos hidrológicos son necesarios para interpolar datos referidos a la calidad del agua, como datos de entrada para calcular balances de masas y para interpolar caudales acumulados en estaciones no aforadas. Por lo tanto, la presentación de los datos hidrológicos para calcular caudales acumulados deberá incluir:

- caudales diarios en estaciones de monitoreo de calidad del agua y errores estimados;
- medición de volúmenes de flujo (promedios) y estimación del error para el cálculo de caudales acumulados en las estaciones de aforo de interés.

En el caso de lagos, embalses y sistemas de aguas subterráneas, los datos específicos que se consignent dependerán de los datos de entrada para el cálculo del balance de masas.

## 6.3 Parámetros estadísticos para informes sumarios

Estos parámetros deberán ser similares a los parámetros estadísticos seleccionados para los informes sumarios de datos de calidad del agua (Capítulos IX y X de esta Guía). Habida cuenta de que los informes se realizarán en forma periódica (con toda probabilidad, anualmente), los datos hidrológicos estadísticos deberán incluir:

- caudales instantáneos medios, mínimos y máximos y las fechas en que se produjeron durante el período que se informa;
- caudales instantáneos medios, mínimos y máximos y las fechas en que se produjeron durante el período registrado;
- caudales medios, mínimos y máximos estacionales (mensuales) y momento en que se produjeron durante el período que se informa;
- caudales medios, mínimos y máximos estacionales (mensuales) y momento en que se produjeron durante el período registrado;
- tendencias estadísticamente significativas y periodicidad (a excepción de la anual) durante el período registrado;
- errores estimados (límites de confianza) para los datos arriba mencionados.

## 7.0 REFERENCIAS

- [1] WMO Guide to Hydrological Practices, 2 Volumes, Fourth Edition (1981) Fifth Edition (in preparation), WMO No. 168.
- [2] WMO Manual on Stream Gauging, 2 Volumes, Operational Hydrology Report No. 13, WMO No. 519, Geneva, 1980.
- [3] WMO Manual on Water Quality Monitoring - Planning and Implementation of Sampling and Field Testing, Operational Hydrology Report No. 27, WMO No. 680, Geneva, 1988.
- [4] WMO Manual on Operational Methods for the Measurement of Sediment Transport, Operational Hydrology Report No. 29, WMO No. 686, Geneva, 1989.
- [5] WHO Water Quality Surveys, IHD/WHO Working Group on the Quality of Water, Paris, 1978.
- [6] E.P.A. Handbook for Monitoring Industrial Waste Water, Washington, D.C., 1973.

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

CAPITULO IX: PROCESAMIENTO Y COMUNICACION DE DATOS

Revisado por R.A. Duffield  
Centro de Colaboración de la World Health Organization  
para la Calidad del Agua Superficial y Subterránea

National Water Research Institute  
Canada Centre for Inland Waters  
Burlington, Ontario,  
Canadá

INDICE

1.0	INTRODUCCION .....	1
1.1	Desarrollo del sistema .....	1
1.2	Flujo de datos .....	1
1.3	Precisión .....	1
1.4	Acceso .....	1
2.0	INGRESO DE DATOS .....	1
2.1	Formulario de la estación .....	2
2.2	Formulario de datos (información general) .....	6
2.3	Formulario de datos (instrucciones detalladas) .....	7
3.0	PRODUCTOS .....	7
3.1	Listado de errores detectados en el control de calidad .....	10
3.2	Inventarios de estaciones, datos y variables .....	10
3.2.1	Inventario de estaciones .....	10
3.2.2	Inventario de datos .....	10
3.2.3	Inventario de variables .....	10
3.3	Listado de datos detallados .....	10
3.4	Listado de datos sumarios .....	10
3.5	Informe de masa de carga contaminante .....	10
3.6	Estado de actualización de la comunicación de datos .....	10
3.7	Sumario medio por año .....	10
3.8	Sumario de percentiles por año .....	11
3.9	Sumario de percentiles por año/periodo de registro .....	11
	ANEXO I - Instrucciones para el ingreso de datos .....	22
	ANEXO II - Centros Regionales y Regiones Geográficas .....	23
	ANEXO III - Códigos de países .....	24
	Orden numérico .....	24
	Orden alfabético .....	30
	ANEXO IV - Selección y códigos de variables .....	36
	Orden numérico .....	36
	Orden alfabético .....	45
	ANEXO V - Codigos de variables obsoletos .....	54

## 1.0 INTRODUCCION

El Centro de Colaboración de la WHO para la Calidad del Agua Superficial y Subterránea (WHO/CC) en el Canada Centre for Inland Waters (CCIW) tiene a su cargo el procesamiento y la comunicación de los datos generados por el proyecto de UNEP/WHO/UNESCO/WMO para el monitoreo global de la calidad del agua (GEMS/Agua). Para cooperar con esta tarea, el Centro de Datos Globales en el CCIW ha desarrollado un Sistema para el Manejo de Datos Globales de Agua (GLOWDAT por sus siglas en inglés) en su sistema centralizado de computación. Este capítulo brinda una introducción a este sistema de datos y describe los procedimientos para presentar los datos relativos a la calidad del agua y para recuperar información a través del sistema GLOWDAT.

### 1.1 Desarrollo del sistema

GLOWDAT está basado en probadas técnicas de almacenamiento/recuperación de datos perfeccionadas con modernas tecnologías para bases de datos. Los principios y formatos usados en los sistemas de computación existentes se analizaron a la luz de los requerimientos del proyecto GEMS/Agua. En particular, el sistema GLOWDAT ha adaptado muchas de las convenciones empleadas en NAQUADAT (The NATIONAL Water QUALity DATa Bank of Canada). La base de datos fue originalmente desarrollada con el sistema para el manejo de base de datos SYSTEM 2000 y desde entonces se lo ha convertido al sistema Oracle de manejo de base de datos.

### 1.2 Flujo de datos

Fundamentalmente, las muestras recolectadas en el punto de monitoreo se analizan en el laboratorio local y los datos se ingresan en formularios de datos codificados y se envían al Centro Nacional. El Centro Nacional reúne los formularios, los controla, agrega –si es necesario– información hidrométrica codificada y remite la información a través del Centro Regional o directamente al Centro de Datos Globales en el CCIW. La información hidrológica detallada requerida para las Estaciones de Flujo en Ríos debe ser enviada a través del Centro de Datos Globales sobre Esguimientos (GRDC) en el Instituto Federal de Hidrología de Coblenza (Alemania). El GRDC funciona bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial (WMO). El principal medio de transmisión de datos a WHO/CC es el formulario obligatorio para datos originales. Los países pueden remitir los datos correspondientes en medios aptos para ser leídos en computadoras (es decir, cintas magnéticas, diskettes) o por correo electrónico. En el Anexo I se proporcionan las instrucciones pertinentes. Para cumplir con los requisitos del sistema basta con la sola comunicación de los datos en los formularios.

Las especificaciones para las cintas magnéticas son: 9 pistas, 1600/6250 BPI, con o sin etiqueta, EBCDIC, ASCII, con un registro lógico y físico de 80 caracteres. Se pueden usar otras especificaciones para las cintas previo acuerdo con WHO/CC.

Los archivos remitidos en diskettes deben estar en formato ASCII, de acuerdo con el Anexo I, en diskettes de 3 1/2" ó 5 1/4" de baja o alta densidad.

Los archivos pueden enviarse por correo electrónico al Global Data Centre en el CCIW a la dirección internet de GEMS @ CSX.CCIW.CA.

Los datos recibidos son procesados por el Global Data Centre, el que luego remite informes completos a los Centros Regionales. Los sumarios de datos tratados estadísticamente se envían regularmente a WHO y luego al GEMS's Program Activity Centre de UNEP en Nairobi. Los informes de datos sumarios se publican cada tres años (1979-81, 82-84, 85-87, etc.)

### 1.3 Precisión

El éxito de un sistema de información computarizado depende del ingreso correcto de datos precisos y validados. Por este motivo, es necesario efectuar estrictos controles de validación y verificación en todos los niveles –local, nacional, regional y global. De igual forma, para que los resultados tengan validez, la codificación de datos a ser almacenados debe realizarse en forma consistente. Es imperativo respetar estrictamente las convenciones para la codificación de datos indicadas en este manual.

### 1.4 Acceso

La participación de un país en el proyecto GEMS/Agua lleva implícita la aceptación de compartir los datos relativos a la calidad del agua con los demás países participantes.

## 2.0 INGRESO DE DATOS

Los procedimientos para ingresar datos en GLOWDAT son simples. Fundamentalmente, cada análisis requiere de la siguiente información:

- (1) ubicación del punto de muestreo (lugar y profundidad);
- (2) fecha del muestreo (año, mes y día);

- (3) variable medida (código);
- (4) resultados analíticos y valor físico de la descarga instantánea (cuando corresponda).

Para que el ingreso de esta información en el sistema computarizado sea lo más simple posible, se requieren dos formularios:

- (1) Formulario de la estación: contiene detalles relativos al punto de monitoreo. Este formulario debe completarse una sola vez para cada punto de muestreo y remitirse a la WHO/CC en el CCIW antes de procesar cualquier dato. A continuación, todos los datos se vinculan a la información de la estación pertinente mediante el número de la estación.
- (2) Formulario de datos: contiene los resultados analíticos de una muestra en particular. Hay un *Formulario de datos* para cada muestra de agua original con espacio suficiente para ingresar los resultados de los análisis efectuados en esa muestra. El *Formulario de datos* también se puede utilizar para modificar o anular datos cuando sea necesario.

Los formularios han sido diseñados de modo de facilitar su llenado y permitir el ingreso directo de los resultados consignados en los mismos. La información en estos formularios debe ser ingresada cuidadosamente, una cifra en cada casillero. Los pequeños números impresos en estos formularios corresponden a instrucciones referidas al ingreso de datos y no deben ser tenidos en cuenta cuando se ingresan resultados o códigos. En el Anexo I se brindan instrucciones para el ingreso de datos en estos formularios.

Los decimales deben codificarse usando un casillero para el punto decimal. Las variables deben registrarse en las unidades indicadas en el Anexo IV.

## 2.1 Formulario de la estación

El *Formulario de la estación* se completa una sola vez para cada punto de muestreo. La Figura 1 representa un formulario básico en tanto que la Figura 2 muestra un formulario lleno.

A continuación se brindan las instrucciones para codificar la información requerida en el *Formulario de la estación*. Los puntos 1-12 y 28-29 deben completarse para cada estación; los puntos 13-17, 18-21 ó 22-27 han de llenarse para el tipo de agua respectivo. Es obligatorio completar por lo menos uno de los puntos de los grupos 13-17, 18-21 ó 22-27 y los puntos 1-6 y 28-29.

Los valores promedio o medios deben calcularse usando los valores obtenidos durante los últimos cinco años o en cualquier otro período disponible.

- (1) Número de la estación - el número de la estación es un código numérico de 6 dígitos compuesto por los dos siguientes subcampos:
  - (a) Código del país - los 3 primeros dígitos representan al país. Los códigos de los países se presentan en el Anexo III tanto en orden numérico como alfabético.
  - (b) Número secuencial - los 3 últimos dígitos representan un número secuencial comenzando por el 001. Este número es asignado por el Centro Nacional y es exclusivo de cada estación en ese país.
- (2) Octante - un código numérico de un dígito que indica el octante del globo.

Esto último se rige por una convención de la WMO. El código se selecciona del siguiente cuadro.

<u>Código Octante</u>	<u>Longitud Greenwich</u>			<u>Hemisferio</u>
0	0°	-	90° O	Norte
1	90°	-	180° O	Norte
2	180°	-	90° E	Norte
3	90°	-	0° E	Norte
5	0°	-	90° O	Sur
6	90°	-	180° O	Sur
7	180°	-	90° E	Sur
8	90°	-	0° E	Sur

- (3) Latitud - compuesta por los siguientes subcampos:
  - (a) Grados - un campo de dos dígitos para los grados;
  - (b) Minutos - dos dígitos para los minutos;
  - (c) Segundos - dos dígitos para los segundos.

Cuando no se pueda proporcionar la ubicación precisa, ingresar solamente la latitud al grado o minuto más cercano, asegurándose de que tal latitud no esté fuera de los límites físicos de ese país.

(4) Longitud - compuesta por los siguientes subcampos:

- (a) Grados - un campo de tres dígitos para los grados;
- (b) Minutos - dos dígitos para los minutos;
- (c) Segundos - dos dígitos para los segundos.

Cuando no se pueda proporcionar la ubicación precisa, ingresar solamente la longitud al grado o minuto más cercano, asegurándose de que tal longitud no esté fuera de los límites físicos de ese país.

- (5) Elevación media de la superficie del agua - ingresar la elevación media de la superficie del agua por encima del nivel medio del mar, en metros, hasta un decimal. Para las estaciones con pozos, la referencia corresponde al nivel estático del agua.
- (6) Profundidad promedio de sondeo - ingresar la profundidad promedio del agua en la estación, en metros, hasta un decimal. En las estaciones de ríos, se debe ingresar la profundidad promedio del río. Para las estaciones con pozos, ingresar la profundidad desde el nivel estático del pozo hasta el fondo.
- (7) Fecha de apertura de la estación - ingresar la fecha en que la estación se estableció como punto de monitoreo GEMS/Agua. La fecha está compuesta por el año (2 dígitos), mes (2 dígitos) y día (2 dígitos).
- (8) Centro regional - ingresar el código del centro regional de WHO, si lo hubiere (ver Anexo II).
- (9) Organismo responsable de la recolección - ingresar el código del organismo responsable, si lo hubiere.
- (10) Código de la estación WMO - ingresar el número de identificación internacional de la estación de observación hidrológica asignado por la WMO, si lo hubiere.
- (11) Tipo de estación - ingresar el tipo de estación; los tipos válidos son base, tendencia o flujo en ríos.
- (12) Región geográfica - ingresar el código correspondiente a la región geográfica del mundo; los códigos válidos se presentan en el Anexo II.

Estaciones en lagos/embalses únicamente

- (13) Profundidad máxima - ingresar la profundidad máxima del lago o embalse, en metros, hasta un decimal.
- (14) Superficie - ingresar la superficie del lago o embalse, en km<sup>2</sup>, hasta un decimal.
- (15) Volumen - ingresar el volumen del lago o embalse, en km<sup>3</sup>, hasta un decimal.
- (16) Tiempo de retención - ingresar el tiempo de retención del agua en el lago o embalse, en años, hasta un decimal.
- (17) Superficie de la cuenca hidrográfica - ingresar la superficie de la cuenca hidrográfica para el lago o embalse, en km<sup>2</sup>.

La posición del punto decimal en los apartados 13-17 puede modificarse según las necesidades, pero siempre que se use un decimal, habrá que ingresarlo solo en un casillero del formulario.

Estaciones de ríos únicamente

- (18) Ancho del río - ingresar el ancho del río a la altura de la estación durante condiciones de descarga promedio, en metros, hasta un decimal.

La posición del punto decimal en el apartado 18 puede modificarse según las necesidades, pero siempre que se use un decimal, habrá que ingresarlo solo en un casillero del formulario.

- (19) Descarga - ingresar la descarga promedio del río en la estación, en m<sup>3</sup>/s. en base a datos registrados durante un periodo de 3 a 5 años.
- (20) Superficie de la cuenca aguas arriba - ingresar la superficie de la cuenca del río aguas arriba, en km<sup>2</sup>.



Figura 2

**PNUMA/OMS/UNESCO/OMM**  
**Programa sobre Vigilancia y Evaluación de la Calidad Mundial del Agua**  
**GEMS/Agua - Formulario de Estación** 

Los números en casilla pequeñas son solo instrucciones para la recogida de datos

Fecha **92-02-29**

Número de registro	1	1
1. Número de estación (País/Secuencial)	2	039 007
2. Octante	8	7
3. Latitud (Gr. Min. Seg.)	9	67 27 30
4. Longitud (Gr. Min. Seg.)	15	733 42 00
5. Elevación media de la superficie del agua (m)	22	75.0
6. Profundidad promedio de sondeo (m)	28	25.0
7. Fecha de apertura de la estación AA/MM/DD	34	600601
8. Centro regional de la OMS	40	AMRA
9. Organismo responsable de las tomas	44	03902
10. Código de estación de OMM	49	
11. Tipo de estación	59	BASELINE
12. Región geográfica	67	NA

*Baseline = base; Trend = tendencia; GRF = medida de flujos*

Rellene solamente la sección pertinente, registrando las condiciones promedio

Rellene Solamente la Sección Pertinente

**Lago/Embalse**

Número de registro **2** Duplique las columnas 2 a 7

13. Profundidad máx. (m) **8**

14. Área (km<sup>2</sup>) **14**

15. Volumen (km<sup>3</sup>) **21**

16. Tiempo de Retención (años) **28**

17. Área de la cuenca (km<sup>2</sup>) **35**

**Río**

Número de registro **3** Duplique las columnas 2 a 7

18. Ancho del río (m) **18** 7800.0

19. Caudal (m<sup>3</sup>/sec.) **15** 10300

20. Área de la cuenca aguas arriba (km<sup>2</sup>) **21** 1655000

21. Área aguas arriba del límite de marea **28**

**Pozo/Fuente**

Número de registro **4** Duplique las columnas 2 a 7

22. Área del acuífero (km<sup>2</sup>) **8**

23. Elevación (m) **13**

24. Profundidad del revestimiento impermeable del pozo (m) **19**

25. Zona de producción (m) **25**

26. Extracción media (m<sup>3</sup>/día) **31**

27. Nivel medio de la toma (m) **37**

Número de registro **5** Duplique las columnas 2 a 7

28. Nombre del país **8** CANADA

29. Identificador de la estación **36** RIO MACKENZIE

Número de registro **6** Duplique las columnas 2 a 7

30. Narrativa de la estación **8** A ORILLAS DEL RIO ARCTIC RED, T. N. O. 7 2 KM CORRIENTE ARRIBA A PARTIR DE ESTACION 1 H D

**7** Duplique las columnas 2 a 7 **8** ESTACION NAQUADAT 00 NW 10 LA 003 WSC ESTACION DE FLUJO 10 LA 003

- (21) Superficie de la cuenca aguas arriba del límite mareal - ingresar la superficie de la cuenca aguas arriba del límite mareal, en km<sup>2</sup>. El límite mareal es el límite de la intrusión salina en condiciones promedio.

Estaciones con pozos/manantiales únicamente

- (22) Superficie del acuífero - ingresar la superficie del acuífero, en km<sup>2</sup>.
- (23) Elevación - ingresar la elevación del terreno por encima del nivel del mar, en metros, hasta un decimal.
- (24) Profundidad del revestimiento impermeable en el pozo - ingresar la profundidad del revestimiento impermeable en el pozo (longitud del entubado del pozo) desde la superficie del suelo, en metros, hasta un decimal.
- (25) Zona de producción - ingresar el espesor de la capa, en metros, hasta un decimal, a través de la cual el agua puede entrar al pozo. Esta zona suele extenderse desde el extremo inferior del entubado del pozo hasta el fondo del mismo.
- (26) Caudal medio de extracción - ingresar el caudal medio de extracción del agua, en m<sup>3</sup>/día, hasta un decimal.
- (27) Nivel medio de depresión de la toma de agua - ingresar el nivel de agua por encima del nivel medio del mar durante un período de extracción normal.

La posición del punto decimal en los apartados 23-27 puede modificarse según las necesidades, pero siempre que se use un decimal, habrá que ingresarlo solo en un casillero del formulario.

Todas las estaciones

- (28) Nombre del país - ingresar el nombre del país donde se ha establecido la estación.
- (29) Identificador de la estación - ingresar la identificación única de la estación, por ejemplo:
- Lago Ontario, Estación 001
  - Río Támesis, en el Puente de Londres
  - Pozo a1-2Z3, Región 2
- (30) Descripción de la estación - describir el punto de muestreo u otras condiciones especiales. Para las estaciones con pozos/manantiales, incluir las características geográficas del acuífero. En el caso de ríos, describir la respectiva estación de medición de caudal y su ubicación respecto del punto de muestreo.

## 2.2 Formulario de datos (información general)

El *Formulario de datos* se emplea para ingresar los resultados analíticos de una muestra en la base de datos. El formulario ha sido diseñado de modo de permitir el ingreso de todos los resultados analíticos requeridos por el programa GEMS/Agua. El *Formulario de datos* básico es el que se presenta en la Figura 3, en tanto que la Figura 4 es un ejemplo del formulario completado.

En la sección superior del *Formulario de datos* se identifica la estación, la fecha y profundidad del muestreo y se especifica si la muestra de agua ha sido integrada (muestra compuesta). También se incluyen espacios para escribir el nombre y tipo de estación para uso administrativo. La mayor parte del formulario está destinado a los resultados de los análisis efectuados en la muestra. Específicamente, el *Formulario de datos* contiene:

- (a) el nombre abreviado de la variable a ser medida y las unidades de los resultados (esto es para el analista; no se ingresa en el sistema computarizado);
- (b) el código de la variable GLOWDAT que define los métodos y unidades empleadas;
- (c) una "marca" que se puede usar para calificar el resultado analítico;
- (d) el valor real medido, incluido el punto decimal pertinente.

El Centro Nacional puede completar las columnas de códigos antes de reproducir los formularios que serán usados por los laboratorios. Las variables deben seleccionarse entre las listadas en el Anexo IV. Para los métodos no incluidos en la lista se puede solicitar códigos adicionales al Centro de Datos Globales WHO/CC. El *Formulario de datos* se puede usar no solo para agregar nuevos datos sino también para modificar o eliminar datos que hayan sido ingresados al sistema.

El analista puede registrar los resultados directamente en el *Formulario de datos* al lado de los números del código de las variables respectivas. Estos resultados juntamente con el número de la estación, la fecha y profundidad indicados en la parte superior del formulario completan la información requerida para cada muestra.

### 2.3 Formulario de datos (instrucciones detalladas)

A continuación se presentan instrucciones detalladas para ingresar la información requerida en el *Formulario de datos*. Para todas las muestras se debe completar los puntos 1-6.

- (1) Agregar, cambiar, borrar - escribir A si los datos en el formulario deben incorporarse a la base de datos; C si los datos en el sistema deben ser cambiados; D si los datos en el sistema deben ser suprimidos. Cuando los datos se cambian o modifican, el valor nuevo reemplaza al viejo para esa variable. Cabe destacar que un formulario solo se puede usar para un solo propósito; se deben usar formularios separados para cambiar o borrar datos que ya hayan sido ingresados al sistema.
- (2) Número de la estación - ingresar el número de la estación cerciorándose de que corresponda al del formulario de estación respectivo.
- (3) Fecha de recolección de la muestra - ingresar la fecha en que la muestra fue tomada. El código de la fecha está compuesto por el año (2 dígitos), mes (2 dígitos) y día (2 dígitos).
- (4) Hora de recolección de la muestra - ingresar la hora local en que la muestra fue tomada. La hora está compuesta por la hora (2 dígitos, 00-23) y los minutos (2 dígitos, 00-59). Para una muestra integrada en el tiempo, la hora consignada debe ser la hora en que comienza el período de integración.
- (5) Profundidad de la muestra - ingresar la profundidad por debajo de la superficie del agua a que se tomó la muestra, en metros, hasta un decimal. Para una muestra integrada verticalmente, se debe ingresar la profundidad mayor.
- (6) Muestra integrada - escribir V si la muestra está integrada verticalmente; H si está integrada horizontalmente; T si la muestra está integrada en el tiempo. Si la muestra no es integrada, dejar el espacio en blanco.

El resto del *Formulario de datos* se usa para registrar los resultados analíticos. Los nombres de la variable y de las unidades ya están impresos en el formulario para uso en el laboratorio. El código de la variable GLOWDAT –un código de 5 dígitos que representa a la variable y al método analítico– debe ingresarse de acuerdo con el método en uso. El Anexo IV proporciona los códigos correspondientes a las variables. Solo se pueden usar los códigos aprobados.

MARCA - Opcionalmente, se puede usar una marca para calificar cualquier resultado analítico. La marca es un código de un carácter que indica una de las dos siguientes condiciones:

- L - El valor fue inferior al límite de detección (el valor ingresado es el límite mínimo de detección).
- G - El valor fue superior al límite de medición (el valor ingresado es el valor máximo que se puede medir).

El Valor analítico o resultado de un análisis se registra en los casilleros correspondientes a la descripción y código de la variable. Es fundamental que el punto decimal, si se ingresa, se registre en un casillero propio (ver Figura 5) y que las unidades sean las correctas.

### 3.0 PRODUCTOS

Una vez que los datos de calidad del agua han sido recibidos y procesados en el Centro de Datos Globales de WHO/CC, se podrá contar con una amplia variedad de informes y estadísticas:

- (1) Listado de errores detectados en el control de calidad
- (2) Inventarios de estaciones (Figura 5), datos y variables (Figura 6)
- (3) Listado de datos detallados (Figura 7)
- (4) Listado de datos sumarios (Figuras 8 y 9)
- (5) Informe de masa de carga contaminante (Figura 10)
- (6) Estado de actualización de la comunicación de datos (Figura 11)
- (7) Sumario medio por año (Figura 12)
- (8) Sumario de percentiles por año (Figura 13)
- (9) Sumario de percentiles por año/período de registro (Figura 14)
- (10) Otros informes acordados con el Centro de Datos Globales (ver también el Capítulo X).

Si bien la información en estos informes es completa, la misma puede ser seleccionada por el usuario. El *Inventario de Estaciones*, por ejemplo, puede incluir todas las estaciones de monitoreo ingresadas o puede restringirse a las que están ubicadas en un país en particular.

Figura 3

# PNUMA/OMS/UNESCO/OMM

## Programa sobre Vigilancia y Evaluación de la Calidad Mundial del Agua

### GEMS/Agua - Formulario de datos



Nombre de la estación \_\_\_\_\_

Acción	Número de la estación	Fecha de la muestra	Profundidad de la muestra	Muestra integrada	V - Vertical H - Horizontal T - En tiempo
A - Agregar C - Cambiar D - Borrar	País    Secuencial	Año    Mes    Día    Hora    Min	En metros	<input type="checkbox"/>	
	1                      2	8                      8                      8                      8                      8	18	24	

#### Indicadores generales de la calidad del agua, sales disueltas, nutrientes

Marcas:  L - Menor que  
 G - Mayor que

<p>25</p> <p>pH <input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Conductividad eléctrica <math>\mu</math>S/cm <input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Total de sólidos suspendidos mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Amoníaco mg/l N <input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Magnesio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Potasio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>37</p> <p>Caudal instantáneo <math>m^3/s</math> <input type="text" value="9"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Oxígeno disuelto mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Fósforo-total particul. <math>\mu</math>g/g P <input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Nitrógeno orgánico-particul. <math>\mu</math>g/g N <input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Fluoruro-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cloruro-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>49</p> <p>Transparencia m <input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="6"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Porcentaje sat. oxígeno dis. % <input type="text" value="0"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Fósforo-total disuelto mg/l P <input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="7"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Nitrógeno orgánico-disuelto mg/l N <input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Sodio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Sulfatos mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>61</p> <p>Alcalinidad mg/l CaCO<sub>3</sub> <input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Temperatura °C <input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Fósforo-total no filtrado mg/l P <input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Nitrato+Nitrito mg/l N <input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Calcio-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Sílice reactivo mg/l SiO<sub>2</sub> <input type="text" value="1"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p>
--	---	---	--

#### Balance iónico, materia orgánica, contaminación microbiana, contaminantes inorgánicos

<p>Suma de cationes meq/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Carbóno orgánico-particul. <math>\mu</math>g/g C <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Coliformes-total no./100 ml <input type="text" value="3"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Arsénico-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cadmio-disuelto mg/l <input type="text" value="4"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cobre-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Plomo-disuelto mg/l <input type="text" value="8"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Mercurio-disuelto <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Selenio-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Suma de aniones meq/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>DBO mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Coliformes- fecal no./100 ml <input type="text" value="3"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Arsénico-total mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cadmio-total mg/l <input type="text" value="4"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cobre-total mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="9"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Plomo-total mg/l <input type="text" value="8"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Mercurio-total <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Selenio-total mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Índice de adsorción de sodio</p> <p>DDO mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="2"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Aluminio-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Boro-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>0510 <input type="checkbox"/></p> <p>Cromo-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hierro-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Manganeso-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Níquel-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Zinc-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Carbóno orgánico-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Clorofila A mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Aluminio-total mg/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Boro-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cromo-total mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hierro-total mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Manganeso-total mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Níquel-total mg/l <input type="text" value="2"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Zinc-total mg/l <input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p>
--	--	--	---

#### Materia particulada, contaminantes orgánicos

<p>Aluminio-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="1"/><input type="text" value="3"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Arsénico-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="3"/><input type="text" value="3"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hierro-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="2"/><input type="text" value="6"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Fenoles <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="9"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="1"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hidrocarbónos clorinados-total <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="9"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Atrazina <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Mercurio-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cadmio-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="4"/><input type="text" value="8"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Manganeso-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="2"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Benceno <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="9"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Diéldrín <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>PCB <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Plomo-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="8"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Cromo-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="2"/><input type="text" value="4"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Selenio-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="3"/><input type="text" value="4"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Aldrín <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="1"/><input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hidrocarbónos-total <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>2,4-D <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="3"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Cobre-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="2"/><input type="text" value="9"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Zinc-partículas <math>\mu</math>g/g <input type="text" value="3"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>DDT <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="2"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Hidrocarb. poliarom.-total <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="0"/><input type="text" value="6"/><input type="text" value="5"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="5"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Lindane <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="0"/><input type="text" value="7"/><input type="text" value="0"/> <input type="checkbox"/></p> <p>Aldicarbó <math>\mu</math>g/l <input type="text" value="1"/><input type="text" value="8"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="4"/><input type="text" value="4"/> <input type="checkbox"/></p>
---	---	---	---

Comprobado:	Notas:
Fecha:	

Figura 4

# PNUMA/OMS/UNESCO/OMM

## Programa sobre Vigilancia y Evaluación de la Calidad Mundial del Agua

### GEMS/Agua - Formulario de datos



Nombre de la estación: SASKATCHEWAN RIVER

Acción A - Agregar C - Cambiar D - Borrar	Número de la estación País Secuencial 1 <input type="text" value="A"/> 2 <input type="text" value="039004"/>	Fecha de la muestra Año Mes Día Hora Min 8 <input type="text" value="82"/> 9 <input type="text" value="07"/> 10 <input type="text" value="26"/> 11 <input type="text" value="15"/> 12 <input type="text" value="15"/>	Profundidad de la muestra En metros 18 <input type="text" value="0."/> 19 <input type="text" value="0"/>	Muestra integrada <input type="checkbox"/> 24 V - Vertical H - Horizontal T - En tiempo	Marcas: <input type="checkbox"/> L - Menor que <input type="checkbox"/> G - Mayor que
--	--	---	--	---	--

#### Indicadores generales de la calidad del agua, sales disueltas, nutrientes

25 pH <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="10"/>	37 Caudal instantáneo m <sup>3</sup> /s <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/>	49 Transparencia m <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="6"/>	61 Alcalinidad mg/l CaCO <sub>3</sub> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="75"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Conductividad eléctrica µS/cm <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="76"/>	Oxígeno disuelto mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="9"/>	Porcentaje sat. oxígeno dis. % <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>	Temperatura °C <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Total de sólidos suspendidos mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="6"/>	Fósforo-total particul. µg/g P <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="0"/>	Fósforo-total disuelto mg/l P <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="7"/>	Fósforo-total no filtrado mg/l P <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/>
Amoníaco mg/l N <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/>	Nitrógeno orgánico-particul. µg/g N <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/>	Nitrógeno orgánico-disuelto mg/l N <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/>	Nitrito+Nitrito mg/l N <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/>
Magnesio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="9"/>	Fluoruro-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/>	Sodio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="2"/>	Calcio-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Potasio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="2"/>	Cloruro-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="8"/>	Sulfatos mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/>	Sílice reactivo mg/l SiO <sub>2</sub> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>

#### Balance iónico, materia orgánica, contaminación microbiana, contaminantes inorgánicos

Suma de cationes meq/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/>	Suma de aniones meq/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/>	Índice de adsorción de sodio <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>	Carbón orgánico-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>
Carbón orgánico-particul. µg/g C <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/>	DBO mg/l O <sub>2</sub> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>	DCO mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>	Clorofila A mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/>
Coliformes-total no./100 ml <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Coliformes- fecal no./100 ml <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/>	Aluminio-disuelto mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Aluminio-total mg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Arsénico-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/>	Arsénico-total mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Boro-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Boro-disuelto mg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Cadmio-disuelto mg/l <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Cadmio-total mg/l <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Cromo-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="2"/>	Cromo-total mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/>
Cobre-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Cobre-total mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Hierro-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/>	Hierro-total mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Plomo-disuelto mg/l <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Plomo-total mg/l <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Manganeso-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/>	Manganeso-total mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Mercurio-disuelto µg/l <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/>	Mercurio-total µg/l <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/>	Níquel-disuelto mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Níquel-total mg/l <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>
Selenio-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="0"/>	Selenio-total mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/>	Zinc-disuelto mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/>	Zinc-total mg/l <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>

#### Materia particulada, contaminantes orgánicos

Aluminio-partículas µg/g <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="3"/>	Mercurio-partículas µg/g <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/>	Plomo-partículas µg/g <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="2"/>	Cobre-partículas µg/g <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="9"/>
Arsénico-partículas µg/g <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="3"/>	Cadmio-partículas µg/g <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="8"/>	Cromo-partículas µg/g <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="4"/>	Zinc-partículas µg/g <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/>
Hierro-partículas µg/g <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="6"/>	Manganeso-partículas µg/g <input type="text" value="2"/> <input type="text" value="5"/>	Selenio-partículas µg/g <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="4"/>	DDT µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/>
Fenoles µg/l <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/>	Benceno µg/l <input type="text" value="9"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/>	Aldrín µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/>	Hidrocarb. poliarom.-total µg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="5"/>
Hidrocarbomos clorinados-total µg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="9"/>	Dieldrín µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="2"/>	Hidrocarbomos-total µg/l <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/>	Lindane µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="7"/> <input type="text" value="0"/>
Atrazina µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="5"/>	PCB µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="6"/> <input type="text" value="5"/>	2,4-D µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="5"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="3"/>	Aldicarbido µg/l <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="8"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="4"/> <input type="text" value="4"/>

Comprobado: John Doe  
 Fecha: 82-03-30

Notas:

### 3.1 Listado de errores detectados en el control de calidad

Como una etapa del proceso de verificación, cada resultado analítico remitido a GLOWDAT se compara con los límites previamente asignados para determinar su razonabilidad. Además, se realiza una serie de controles lógicos. Estas pruebas computarizadas tienen por objeto fundamental detectar errores gruesos en la traslación de datos y no eximen al laboratorio local o al Centro Regional o Nacional de su responsabilidad de validar los datos antes de remitirlos al sistema computarizado.

Siempre que mediante la lógica del control de calidad se detectan errores al ingresar los datos en el sistema computarizado, se generan *listados de errores*. En la medida de lo posible, los errores menores, como los errores en el ingreso de datos, son corregidos en el Centro de Datos Globales de WHO/CC utilizando los formularios obligatorios de datos originales que deben enviarse por separado y que corresponden a lo enviado en medio magnético. Los errores de mayor importancia son devueltos inmediatamente a los Centros Regionales o Nacionales para su corrección.

### 3.2 Inventarios de estaciones, datos y variables

3.2.1 **Inventario de estaciones** - un listado que proporciona una tabulación completa de información sobre uno o todos los puntos de monitoreo en la red global. Esta tabulación contiene toda la información indicativa y descriptiva almacenada en GLOWDAT relativa a cada punto de monitoreo. Esta información, originalmente presentada en el *Formulario de la estación*, constituye un inventario actual de las estaciones de la red. En la Figura 5 se presenta un ejemplo de tabulación.

3.2.2 **Inventario de datos** - un listado de computadora que se puede adaptar para mostrar la cantidad y tipos de variables medidas en una estación, país, región o en toda la red. La Figura 6 presenta un ejemplo de este tipo de inventario.

3.2.3 **Inventario de variables** - un listado que brinda una tabulación completa de todos los nombres de las variables junto con una descripción de los códigos GLOWDAT correspondientes a los métodos de análisis, las unidades pertinentes y las referencias para cada método (Anexo IV).

### 3.3 Listado de datos detallados

El *Listado de datos detallados* proporciona un registro cronológico de los datos de monitoreo de una estación particular durante un periodo determinado. Cada informe normalmente incluye todas las variables a partir del inicio del año calendario.

A pedido, se puede especificar los periodos, seleccionar y ordenar las variables en la página y se puede preparar un informe para clases de estaciones (por ejemplo, todas las estaciones de ríos de un país). La Figura 7 es un ejemplo del *Listado de datos detallados*.

### 3.4 Listado de datos sumarios

(A) El *Listado de datos sumarios* brinda un panorama estadístico general de los datos recolectados en una estación particular durante un periodo determinado. Para cada variable medida, se indica el nombre abreviado, el código, las unidades, la cantidad de valores "inferiores al límite de detección" (Valores L), la cantidad de valores "superiores al límite de medición" (Valores G) y la cantidad de valores sin marcar. La información estadística que normalmente se suministra incluye los valores sin marcar, los Valores G y los Valores L. El valor utilizado para los valores marcados G y L es el ingresado en la planilla de datos. La Figura 8 brinda un ejemplo de *Listado de datos sumarios*.

(B) En la Figura 9 se presenta un ejemplo de otro sumario estadístico por variable.

### 3.5 Informe de masa de carga contaminante

Los valores suministrados en el informe de masa de carga contaminante se calculan multiplicando la concentración instantánea por los valores de descarga instantánea y los resultados se indican en kg/s. El formato del informe es igual al del listado detallado. Solo se prepara para las estaciones de ríos. En la Figura 10 se brinda un ejemplo de este tipo de informe.

### 3.6 Estado de actualización de la comunicación de datos

Este informe presenta el estado de los datos contenidos en la base. Para cada estación, el informe suministra la primera y la última fechas de muestreo junto con la cantidad de puntos de toma de datos. En la Figura 11 se presenta un ejemplo de este tipo de informe.

### 3.7 Sumario medio por año

Este informe brinda la cantidad de observaciones y la media por año para las variables y las estaciones requeridas. Un ejemplo de este tipo de informe se presenta en la Figura 12.

### 3.8 Sumario de percentiles por año

Este informe brinda los percentiles 1º, 10º, 25º, 50º, 75º, 90º y 99º por año para las estaciones seleccionadas. En la Figura 13 se presenta un ejemplo de este tipo de informe.

### 3.9 Sumario de percentiles por año/periodo de registro

Este informe incluye la cantidad de observaciones, valores mínimos y máximos, la media y los percentiles 25º y 75º tanto para el año requerido como para el periodo total de registro. Un ejemplo de este informe se presenta en la Figura 14.

Es de esperar que durante el programa de monitoreo surja la necesidad de contar con otros tipos de productos. La flexibilidad de GLOWDAT permite generar distintos informes. Los pedidos de variaciones en la presentación de los datos deben remitirse al Centro de Datos Globales de WHO/CC en el CCIW.

Figura 5

## MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - INVENTARIO DE ESTACIONES

NOMBRE DE LA ESTACION - MACKENZIE RIVER NUMERO DE LA ESTACION - 039001  
 PAIS - CANADA OCTANTE - 1  
 FECHA DE INAUGURACION - 60-06-01 LATITUD - 67/27/30  
 CENTRO REGIONAL - AMRA LONGITUD - 133/42/00  
 AGENCIA DE RECOLECCION - 03902 NIVEL DEL AGUA (M) - 15.0  
 CODIGO WMO - BASE PROFUNDIDAD PROMEDIO (M) - 25.0  
 TIPO DE ESTACION - RIO  
 SUPERFICIE DE LA CUENCA AGUAS ARRIBA (KM\*\*2) - 1655000 ANCHO DEL RIO (M) - 1800.0  
 SUPERFICIE AGUAS ARRIBA DEL LIMITE MAREAL (KM\*\*2) - DESCARGA(M\*\*3/SEC) - 10300.

## DESCRIPCION

EN RED RIVER (ARTICO), N.W.T., 1.2 KM AGUAS ARRIBA DE LA ESTACION I.H.D.  
 NAQUADAT 00NW10LA0003.WSC ESTACION DE FLUJO 10LA003.

NOMBRE DE LA ESTACION - NELSON RIVER NUMERO DE LA ESTACION - 039002  
 PAIS - CANADA OCTANTE - 1  
 FECHA DE INAUGURACION - 72-07-06 LATITUD - 56/22/59  
 CENTRO REGIONAL - AMRA LONGITUD - 94/34/59  
 AGENCIA DE RECOLECCION - 03902 NIVEL DEL AGUA (M) - 9999.9  
 CODIGO WMO - IMPACTO PROFUNDIDAD PROMEDIO (M) - 9999.9  
 TIPO DE ESTACION - RIO  
 SUPERFICIE DE LA CUENCA AGUAS ARRIBA (KM\*\*2) - 1010000 ANCHO DEL RIO (M) - 2280.0  
 SUPERFICIE AGUAS ARRIBA DEL LIMITE MAREAL (KM\*\*2) - 892300. DESCARGA(M\*\*3/SEC) - 2280.0

## DESCRIPCION

NELSON RIVER EN LA ESTACION GENERADORA DE KETTE CROSSING, MANITOBA  
 ESTACION NAQUADAT 00MA05UF0002

NOMBRE DE LA ESTACION - ST. LAWRENCE RIVER NUMERO DE LA ESTACION - 039003  
 PAIS - CANADA OCTANTE - 0  
 FECHA DE INAUGURACION - 79-03-19 LATITUD - 45/24/00  
 CENTRO REGIONAL - AMRA LONGITUD - 73/38/00  
 AGENCIA DE RECOLECCION - 03902 NIVEL DEL AGUA (M) - 15.0  
 CODIGO WMO - IMPACTO PROFUNDIDAD PROMEDIO (M) - 5.0  
 TIPO DE ESTACION - RIO  
 SUPERFICIE DE LA CUENCA AGUAS ARRIBA (KM\*\*2) - 1026000 ANCHO DEL RIO (M) - 1200.0  
 SUPERFICIE AGUAS ARRIBA DEL LIMITE MAREAL (KM\*\*2) - DESCARGA(M\*\*3/SEC) - 8240.

## DESCRIPCION

POR DEBAJO DE LOS RAPIDOS LACHINE EN LA TOMA PARA EL SUMINISTRO DE  
 LA MUNICIPALIDAD DE MONTREAL.  
 ESTACION NAQUADAT 00QU020A9028.WSC. ESTACION DE FLUJO 020A016.

Figura 6

GLOWDAT		MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - INVENTARIO DE DATOS			
ESTACION - SASKATCHEWAN RIVER		NUMERO DE LA ESTACION 039004			
PAIS - CANADA					
UBICACION - OCT. 1 LAT. 53/50/30 LONG. 101/20/06					
CENTRO REGIONAL - AMRA					
CODIGO	VARIABLE	1979	1980	1981	1982
02041	COND ELEC	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
02061	TEMP	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
05105	B DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
06510	PAH	1...1.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
06532	FENOLES	111.1...11111	111.11111111	111111111111	111.111...11
06606	CN	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
06711	CLORA A	111...111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
07105	N03NO2	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
07506	NH3	.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
08101	O2 DIS	.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
08201	D.B.O.	.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
09105	F DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
10101	ALC TOT	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
10301	PH	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
10401	SOL SUSP - 105	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
11103	NA DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
12102	MG DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
14101	SI REAC	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
15103	P DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
15255	ORTOFOS DIS	.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
15405	P TOTAL	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
15901	P SUSP	.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
16306	SULFATO	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
17203	CL DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18000	P,P-DDT	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18005	O,P-DDT	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18010	P,P-DDD	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18020	P,P-DDE	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18075	ALFA-BHC	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18125	MREX	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18130	ALDRIN	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18140	ENDRIN	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
18150	DIELDRIN	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
19103	K DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
20103	CA DIS	11111.111111	111.11111111	111111111111	111.111...11
25104	MN DIS	.....1.....	111.11111111	111111111111	111.111...11
26104	FE DIS	.....1.....	111.11111111	111111111111	111.111...11

PROFUNDIDAD (M) 5.0  
 ELEVACION (M) 258.0  
 TIPO DE AGUA RIO

Figura 7

MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - LISTADO DE DATOS

GLOWDAT

ESTACION - SASKATCHEWAN RIVER  
 PAIS - CANADA  
 UBICACION - OCT. 1 LAT. 53/50/30 LONG. 101/20/06  
 CENTRO REGIONAL - AMRA  
 NUMERO DE LA ESTACION 039004  
 PROFUNDIDAD(M) 5.0  
 ELEVACION(M) 258.0  
 TIPO DE AGUA RIO

FECHA	HORA	PROFUND.	COND ELEC	TEMP	B DIS	PAH	FENOLES	CN	NO3NO2	NH3	O2 DIS	F DIS
A--M--D		METROS	USIE/CM	°C	MG/L B	UG/L	MG/L	MG/L CN	MG/L N	MG/L N	MG/L O2	MG/L P
82-01-26	1515	.0	476.	.0	.1	1.000L	.001	.003	.23	.10L	12.9	.2
82-02-23	1430	.0	437.	.0	.1	1.000L	.002	.001	.35	.13	11.8	.2
82-03-23	1330	.0	425.	.0	.1	1.000L	.001L	.004	.37	.20	14.2	.2
82-05-26	1420	.0	288.	17.0	.0	1.000L	.002	.001	.01	.10L	11.4	.1
82-06-15	1615	.0	283.	17.5	.1	1.000L	.002	.002	.11	.10L	9.2	.1
82-07-13	1500	.0	385.	20.0	.1	1.000L	.001	.003	.09	.10L	7.2	.1
82-11-23	1430	.0	395.	.0	.1	--	.002	.002	.02	.10L	13.8	.2
82-12-08	1500	.0	379.	.5	.1	--	.001	.001L	.03	.10	13.0	.1
83-01-25	1430	.0	448.	.0	.1	--	.002	.002	.21	.20	10.6	.1
83-03-02	1820	.0	414.	.0	.1	--	.002	.002	.33	.10L	9.4	.2
83-03-30	1445	.0	403.	1.0	.1	--	.005	.002	.31	.10L	10.3	.1
83-05-26	1441	.0	301.	8.0	.1	--	.004	.004	.01	.10L	10.2	.1
83-06-14	1400	.0	340.	15.0	.1	--	.004	.003	.01	.10L	7.5	.1
83-07-19	1450	.0	360.	22.0	.1	--	.007	.002	.04	.10L	7.5	.1
83-08-23	1620	.0	313.	17.0	.1	--	.006	.005	.05	.10L	8.4	.2
83-09-20	1837	.0	338.	7.0	.1	--	.003	.004	.06	.10L	10.6	.1
83-10-18	1534	.0	345.	4.0	.1	--	.002	.003	.08	.10L	12.0	.1
83-12-06	1350	.0	360.	.2	.1	--	--	.002	.06	.10L	13.5	.1

FECHA	HORA	PROFUND.	PH	SOL SUSP	NA DIS	MG DIS	SI REAC	P DIS	ORTOFOS	P TOTAL	P SUSP	SULFATO
A--M--D		METROS	UNID. PH	105 °C	MG/L NA	MG/L MG	MG/L	MG/L P	MG/L P	MG/L P	MG/L P	MG/L SO
82-01-26	1515	.0	8.0	16.	22.	19.	--	.016	.010	.043	--	60
82-02-23	1430	.0	8.1	12.	15.	17.	3.60	.005	.003L	.010	--	58
82-03-23	1330	.0	7.8	10.	18.	13.	3.80	.015	.014	.030	--	56
82-05-26	1420	.0	8.4	50.	12.	12.	.40	.009	.003L	.060	--	34
82-06-15	1615	.0	8.1	66.	13.	11.	1.20	.014	.003L	.070	--	36
82-07-13	1500	.0	7.8	175.	16.	13.	2.00	.010	.003L	.130	.120	48
82-11-23	1430	.0	8.1	11.	17.	.80	.80	.017	.010	.023	.013	59
82-12-08	1500	.0	8.0	11.	17.	16.	.80	.009	.003L	.036	.017	52
83-01-25	1430	.0	8.1	21.	20.	18.	2.50	.013	.006	.031	.018	56
83-03-02	1820	.0	8.0	16.	16.	17.	3.20	.018	.009	.040	.022	52
83-03-30	1445	.0	8.0	5.	16.	16.	3.20	--	--	.025	--	46

Figura 8

MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - RESUMEN ESTADISTICO POR ESTACION

5.0  
258.0  
RIO

PROFUNDIDAD(M)  
ELEVACION(M)  
TIPO DE AGUA

NUMERO DE LA ESTACION 039004

ESTACION - SASKATCHEWAN RIVER  
PAIS - CANADA  
UBICACION - OCT. 1 LAT. 53/50/30 LONG. 101/20/06  
CENTRO REGIONAL - AMRA

PERIODO REQUERIDO DEL - 79-01-01 AL 89-12-31  
PERIODO DE REGISTRO DEL - 79-01-17 AL 88-03-16

LAS ESTADISTICAS INCLUYEN TODOS LOS DATOS MARCADOS SEGUN LO INFORMADO

COND	TEMP	B	PAH	FENOLES	CN	CLORO A	NO3NO2	NH3
ELEC	DIS	DIS	UG/L	MG/L	MG/L CN	MG/L	MG/L N	MG/L N
02041	05105	05105	06510	06532	06606	06711	07105	07506
USIE/CM	MG/L B	MG/L B	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L N	MG/L N
NO. DE VALORES L MARCADOS	0	0	37	9	2	2	7	39
NO. DE VALORES G MARCADOS	0	0	0	0	0	0	0	0
NO. DE VALORES SIN MARCAR	90	92	0	51	61	10	56	17
MEDIA	374.	11.5	1.000	.002	.003	.0043	.12	.10
MINIMO	240.	.0	1.000	.001	.001	.0010	.01	.05
FECHA DEL MINIMO	79-04-25	81-12-15	81-07-29	80-02-13	81-10-21	79-01-17	83-06-14	86-06-17
PERCENTIL 10°	301.	.0	1.000	.001	.001	.0010	.01	.05
MEDIANA	370.	10.4	1.000	.002	.003	.0040	.06	.10
PERCENTIL 90°	448.	25.0	1.000	.005	.005	.0074	.32	.11
MAXIMO	498.	25.0	1.000	.007	.009	.0110	.41	.20
FECHA DEL MAXIMO	88-02-16	80-02-13	80-11-26	81-06-16	81-07-29	80-03-26	84-03-20	84-03-20
DESVIACION ESTANDAR	56.	10.5	.000	.002	.002	.0033	.12	.03

F DIS	F DIS	ALC TOT	PH	SOL SUSP	SOL SUSP	NA DIS	MG DIS	AL DIS
MG/L F	MG/L F	MG/L	UNID. PH	105 °C	FIJOS	MG/L NA	MG/L MG	MG/L AL
09105	09106	10101	10301	10401	10501	11103	12102	13102
MG/L F	MG/L F	MG/L	UNID. PH	MG/L	MG/L	MG/L NA	MG/L MG	MG/L AL
NO. DE VALORES L MARCADOS	0	0	0	1	0	0	0	36
NO. DE VALORES G MARCADOS	0	0	0	0	0	0	0	0
NO. DE VALORES SIN MARCAR	52	63	91	91	24	89	91	0
MEDIA	.1	133.09	7.9	45.	41.	16.	15.	.100
MINIMO	.1	7.50	7.1	1.	5.	10.	10.	.100
FECHA DEL MINIMO	83-03-30	84-08-15	80-02-13	79-02-21	84-11-21	85-05-14	84-05-08	85-06-18
PERCENTIL 10°	.1	110.00	7.5	7.	8.	12.	12.	.100
MEDIANA	.1	130.00	7.9	24.	33.	16.	14.	.100
PERCENTIL 90°	.2	164.00	8.2	108.	69.	20.	18.	.100
MAXIMO	.2	176.00	8.4	175.	190.	23.	20.	.100
FECHA DEL MAXIMO	79-09-20	79-01-17	82-05-26	82-07-13	85-04-24	80-01-24	79-01-17	86-02-25
DESVIACION ESTANDAR	.0	25.72	.3	43.	39.	3.	2.	.000

Figura 9

MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - SUMARIO ESTADISTICO POR VARIABLE

VARIABLE 02041 COND ELEC USIE/CM

PARA ESTACIONES EN RIOS PERIODO REQUERIDO DEL 80-01-01 AL 90-12-31

CENTRO REGIONAL - AMBA

LAS ESTADISTICAS INCLUYEN TODOS LOS DATOS MARCADOS  
INCLUSO LOS DATOS INFERIORES AL LIMITE DE DETECCION

NOMBRE DEL PAIS	NOMBRE DE LA ESTACION	TOTAL	VALORES SIN MARCAR			PERCENTIL 10°	MEDIANA	PERCENTIL 90°	MAXIMO	DESV. EST.
			TOTAL	MINIMO	MEDIA					
ARGENTINA	RIO DE LA PLATA BUENOS AIRES	125	125	181.	127.	178.	251.	307.	49.	
	RIO PARAGUAY Y PUERTO BERMEJO	27	27	104.	13.	95.	183.	401.	85.	
	RIO PARANA CORRIENTES	75	75	33.	4.	31.	58.	77.	22.	
	RIO PARANA PUERTO LIBERTAD	30	30	48.	22.	25.	51.	78.	16.	
	RIO PARANA ROSARIO	14	14	147.	114.	116.	144.	220.	29.	
	RIB. SERRA ASUL-FAZ SOBRADINHO	40	40	32.	21.	25.	41.	56.	7.	
	RIO CAPIBARIBE	38	38	702.	111.	147.	708.	1350.	326.	
	RIO GUANDU-TOMADA D'AGUA	87	87	70.	31.	52.	63.	514.	50.	
	RIO JACUL,JA 042	20	20	45.	32.	34.	42.	90.	13.	
	RIO PARAIBA DO SUL-APARECIDA	59	59	55.	25.	45.	55.	75.	9.	
BRASIL	RIO PARAIBA DO SUL-BARRA MANSA	94	94	61.	42.	57.	70.	270.	25.	
	RIO SAO FRANCISCO-PETROLANDIA	47	47	77.	11.	18.	64.	97.	89.	
	RIO VELHAS - HONORIO BICALHO	48	48	42.	19.	30.	42.	63.	10.	
	CHURCHILL RIVER	50	50	84.	57.	60.	77.	139.	22.	
	FRASER RIVER	69	69	126.	5.	79.	124.	258.	36.	
	GREAT BEAR RIVER	29	29	157.	90.	109.	158.	206.	25.	
	MACKENZIE RIVER	65	65	264.	160.	217.	256.	352.	39.	
	NELSON RIVER	15	15	271.	168.	179.	248.	401.	66.	
	ROSEAU RIVER	59	59	468.	250.	310.	410.	990.	164.	
	SAINTE JOHN RIVER	33	33	63.	38.	41.	64.	90.	14.	
CANADA	SASKATCHEWAN RIVER	79	79	376.	274.	313.	369.	498.	54.	
	SKEENA RIVER	20	20	96.	58.	59.	91.	136.	28.	
	SLAVE RIVER	30	30	205.	160.	166.	200.	263.	26.	
	ST. LAWRENCE RIVER	27	27	291.	176.	248.	301.	320.	32.	
	STIKINE RIVER	15	15	115.	90.	94.	113.	151.	17.	
	RIO MAIPO EN EL MANZANO	114	114	1003.	585.	709.	1003.	1461.	215.	
	RIO MAPOCHO EN LOS ALMENDROS	117	117	247.	137.	166.	232.	676.	75.	
	RIO CAUCA JUANCHITO	39	39	105.	73.	80.	104.	181.	21.	
	RIO MEDELLIN MACHADO	12	12	129.	0.	0.	0.	140.	140.	
	RIO DAULE	10	10	53.	13.	13.	17.	145.	56.	
ECUADOR	RIO SAN PEDRO	42	42	99.	28.	33.	333.	539.	129.	
	RIO LOS PLATANOS	6	6	363.	150.	150.	385.	510.	128.	
	RIO FIXCAYA	13	13	149.	130.	132.	145.	175.	13.	
GUATEMALA	RIO TZEPELA	3	3	68.	40.	166.	166.	175.	13.	
								85.		

Figura 10

MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - MASA INSTANTANEA DE CARGA CONTAMINANTE

GLOWDAT  
 ESTACION - MISSISSIPPI RIVER  
 PAIS - ESTADOS UNIDOS  
 UBICACION - OCT. 1 LAT. 32/18/45 LONG. 90/54/25  
 CENTRO REGIONAL - AMRA  
 NUMERO DE LA ESTACION 028001  
 PROFUNDIDAD(M) 14.0  
 ELEVACION(M) 21.0  
 TIPO DE AGUA RIO

NOTA - 1) LAS MASAS DE CARGA CONTAMINANTE SE CALCULAN MULTIPLICANDO LA CONCENTRACION INSTANTANEA POR LA DESCARGA INSTANTANEA  
 2) PARA LOS CALCULOS LOS DATOS MARCADOS "L" TIENEN VALOR "CERO" Y LOS DATOS MARCADOS "G" TIENEN EL VALOR INFORMADO

FECHA	HORA	PROFUND.	LI DIS	TOC	N KJEL	NO3NO2	O2 DIS	F DIS	MG DIS	CL DIS	ALDRIN
A--N--D	METROS	KG/SEG									
79-01-03	1500	.0	--	--	3.56E+01	2.61E+01	2.71E+02	2.38E+00	1.90E+02	3.33E+02	--
79-02-07	1230	.0	7.81E+01	7.81E+01	1.82E+01	2.60E+01	3.44E+02	2.60E+00	1.82E+02	3.38E+02	--
79-03-06	1300	.0	2.32E+02	2.32E+02	3.64E+01	3.31E+01	3.98E+02	3.31E+00	2.32E+02	4.64E+02	0.00E+00
79-04-03	1230	.0	--	--	2.78E+01	7.53E+01	3.65E+02	3.96E+00	3.57E+02	7.53E+02	0.00E+00
79-05-01	1200	.0	5.64E+02	5.64E+02	3.29E+01	8.93E+01	3.76E+02	4.70E+00	4.23E+02	6.11E+02	0.00E+00
79-06-05	1300	.0	1.58E+02	1.58E+02	1.58E+01	3.69E+01	1.74E+02	5.27E+00	2.90E+02	5.00E+02	0.00E+00
79-07-03	1130	.0	--	--	1.23E+01	2.64E+01	1.14E+02	3.52E+00	2.29E+02	3.87E+02	--
79-08-07	1200	.0	1.69E+02	1.69E+02	1.48E+01	2.75E+01	1.27E+02	4.23E+00	1.90E+02	4.02E+02	--
79-09-25	1330	.0	--	--	1.23E+01	2.00E+01	1.51E+02	4.08E+00	1.84E+02	2.25E+02	--
79-10-02	1100	.0	3.25E+01	3.25E+01	4.33E+00	1.02E+01	8.87E+01	2.16E+00	1.51E+02	1.95E+02	--
79-11-06	1330	.0	1.54E+02	1.54E+02	1.79E+01	3.33E+01	2.82E+02	5.13E+00	2.56E+02	5.89E+02	--
79-12-11	1200	.0	--	--	2.43E+01	3.09E+01	2.56E+02	4.42E+00	2.43E+02	3.09E+02	--
80-01-08	1130	.0	1.31E+02	1.31E+02	1.64E+01	2.29E+01	2.11E+02	3.27E+00	1.80E+02	2.46E+02	--
80-02-05	1100	.0	--	--	1.44E+01	5.04E+01	3.42E+02	7.19E+00	3.24E+02	6.11E+02	--
80-04-04	1300	.0	1.69E+02	1.69E+02	2.36E+01	5.06E+01	2.59E+02	6.74E+00	3.37E+02	5.39E+02	--
80-04-28	1300	.0	3.51E+01	3.51E+01	7.02E+00	1.76E+01	1.47E+02	3.51E+00	1.58E+02	3.69E+02	--
80-06-03	1300	.0	--	--	1.64E+01	4.43E+01	1.33E+02	4.93E+00	2.14E+02	4.60E+02	--
80-06-27	1100	.0	6.44E+01	6.44E+01	5.52E+00	1.29E+01	6.17E+01	1.84E+00	1.20E+02	1.66E+02	--
80-07-29	1300	.0	5.98E+01	5.98E+01	2.39E+00	1.11E+01	9.20E+01	3.59E+00	1.55E+02	2.39E+02	--
80-08-26	1300	.0	--	--	4.28E+00	1.03E+01	6.76E+01	2.57E+00	1.28E+02	1.54E+02	--
80-10-08	1100	.0	4.13E+01	4.13E+01	4.13E+00	6.61E+00	7.02E+01	1.38E+00	1.03E+02	1.24E+02	--
80-11-03	1300	.0	4.50E+01	4.50E+01	5.40E+00	8.20E+00	1.13E+02	1.80E+00	1.17E+02	1.98E+02	--
80-12-01	1330	.0	--	--	2.49E+00	6.98E+00	6.73E+01	9.97E+01	8.97E+01	1.20E+02	--
81-01-13	1200	.0	2.72E+01	2.72E+01	4.35E+00	5.44E+00	6.52E+01	1.63E+00	5.98E+01	1.20E+02	--
81-03-03	1400	.0	4.45E+01	4.45E+01	7.79E+00	1.11E+01	1.14E+02	2.23E+00	1.11E+02	2.56E+02	--
81-02-25	1500	.0	--	--	6.62E+00	1.80E+01	8.99E+01	1.89E+00	1.14E+02	1.89E+02	--
81-03-25	1100	.0	1.58E+02	1.58E+02	2.46E+01	3.69E+01	1.28E+02	3.52E+00	2.46E+02	3.17E+02	--
81-04-28	1200	.0	0.00E+00	0.00E+00	2.41E+01	5.06E+01	1.64E+02	4.81E+00	2.65E+02	3.37E+02	--
81-05-28	1200	.0	--	--	1.49E+01	3.47E+01	1.54E+02	4.96E+00	2.23E+02	3.23E+02	--
81-06-24	1200	.0	1.03E+02	1.03E+02	8.84E+00	2.65E+01	9.42E+01	2.95E+00	1.91E+02	2.21E+02	--
81-07-29	1100	.0	3.65E+01	3.65E+01	4.56E+00	1.28E+01	7.30E+01	2.74E+00	1.37E+02	1.82E+02	--
81-09-22	1200	.0	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Figura 11

## MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - ESTADO DE ACTUALIZACION DE LA COMUNICACION DE DATOS

## CENTRO REGIONAL TODOS

NOMBRE DEL PAIS	ESTACION	NOMBRE DE LA ESTACION	FECHA DEL PRIMER MUESTREO	FECHA DEL ULTIMO MUESTREO	CANTIDAD DE PUNTOS DE TOMA DE DATOS	
ARGENTINA	001001	RIO PARANA PUERTO LIBERTAD	1979-09-18	1982-04-13	464	
	001002	RIO PARANA CORRIENTES	1979-09-17	1988-10-26	1758	
	001003	RIO PARAGUAY Y PUERTO BERMEJO	1980-02-04	1983-03-17	306	
	001004	RIO PARANA ROSARIO	1979-09-25	1986-01-20	425	
	001005	RIO DE LA PLATA BUENOS AIRES	1979-09-17	1986-12-29	2014	
	001006	RIO URUGUAY CONCEPCION DEL UR.	1979-09-20	1981-04-11	62	
	001007	EMBALSE SALTO GRANDE	1979-09-18	1982-04-20	44	
	001008	EMBALSE SAN ROQUE	1986-03-05	1986-12-17	219	
	001009	SALTA DTO. ANTA-TOLLOCHE	1979-09-18	1986-07-29	196	
	AUSTRALIA	033001	LA TROBE RIVER	1979-01-17	1987-12-02	995
033002		MITTA MITTA RIVER	1979-01-10	1987-12-15	1036	
033003		YARRA RIVER	1979-01-16	1987-12-01	1031	
033004		MURRAY RIVER	1979-01-03	1987-12-29	4008	
033005		RIVER MURRAY, MANNUM	1979-01-05	1987-12-28	5075	
033006		MOUNT BOLD RESERVOIR	1979-01-02	1987-12-29	2810	
033007		409025 MURRAY AT YARRAWONGA	1979-01-02	1981-12-29	1281	
033008		410008MURRUMBIDGEE -BURRINJUCK	1979-01-31	1981-09-07	158	
033009		425007 DARLING AT BURTUNDY	1979-01-02	1981-12-14	1276	
033011		LAKE BURRAGORANG	1979-07-03	1987-09-15	813	
BANGLADESH		136001	KAPTAI LAKE	1979-03-22	1984-11-24	353
		136002	LOWER GANGES RIVER (PADHA)	1979-03-22	1984-10-25	325
		136003	BRAHMAPUTRA RIVER	1979-11-23	1983-12-20	419
	136004	MEGHNA RIVER	1980-01-29	1984-12-27	640	
	136005	SURMA RIVER	1979-11-30	1984-12-30	291	
	136006	KARNAPHULI RIVER	1979-11-14	1984-12-20	509	
	136007	GROUND WATER (TUBE WELL WATER)	1979-11-26	1984-12-08	168	
	136008	GROUND WATER FROM MOLADI	1980-03-15	1984-12-08	203	
	136009	TUBE WELL WATER	1979-11-15	1984-12-12	210	
	BELGICA	051001	ESCAUT RIVER AT BLEHARIES	1978-01-19	1989-12-07	3214
		051002	MEUSE RIVER AT VISE			0
		051003	MEUSE RIVER AT HASTIERE			0
		051004	NICRAMOUT RESERVOIR			0
051006		WATERLOO			0	
051007		WARNETON - LYS RIVER	1978-01-18	1989-12-07	2792	
051008		LEERS/NORD - ESPIERRE RIVER	1978-02-14	1989-12-06	2398	
051009		DOEL - SCHELDT RIVER	1978-02-08	1989-12-18	4688	
051010		BLEHARIES - SCHELDT RIVER	1979-02-01	1980-11-05	152	
051011		ERQUELINNES - SAMBEE RIVER	1978-01-19	1989-12-07	2690	
051012		HEER/AGIMONT - MEUSE RIVER	1978-01-25	1989-12-14	2508	
051013		LANAYE/TERNAATEN - MEUSE RIVER	1978-01-04	1989-12-12	4977	

Figura 12

GLOWDAT MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - MEDIAS DE ESTACIONES POR AÑO

VARIABLE 02061 TEMP °C  
02062 TEMP °C

LAS ESTADISTICAS INCLUYEN TODOS LOS DATOS MARCADOS SEGUN LO INFORMADO

NOMBRE DE LA ESTACION	1979		1980		1981	
	NUMERO	MEDIA	NUMERO	MEDIA	NUMERO	MEDIA
MACKENZIE RIVER	2	12.8	9	8.0	10	4.8
NELSON RIVER	-	-	-	-	-	-
ST. LAWRENCE RIVER	-	-	-	-	3	12.7
SASKATCHEWAN RIVER	11	5.6	11	6.3	12	7.8
SLAVE RIVER	4	15.0	7	13.1	5	10.6
ROSEAU RIVER	12	7.1	12	6.8	12	8.9
FRASER RIVER	5	9.5	11	9.3	4	4.0
LAKE HURON	-	-	-	-	-	-
GREAT BEAR RIVER	3	5.2	8	3.1	5	2.7
LAKE ONTARIO MID LAKE	54	6.0	22	3.7	456	7.1
SUPERIOR MID LAKE	-	-	-	-	-	-
SAINT JOHN RIVER	1	18.0	5	9.1	-	-

Figura 13

MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - SUMARIO ESTADÍSTICO POR ESTACION

ESTACION - FRASER RIVER PROFUNDIDAD (M) 10.0  
 PAIS - CANADA ELEVACION (M) 45.0  
 UBICACION - OCT. 1 LAT. 49/23/15 LONG. 121/27/00 RIO  
 CENTRO REGIONAL - AMRA TIPO DE AGUA

NUMERO DE LA ESTACION 039007

LAS ESTADISTICAS INCLUYEN TODOS LOS DATOS MARCADOS SEGUN LO INFORMADO

PARAMETRO	UNIDADES	CODIGO	OBSERVACIONES	AÑO 1985									
				1%	10%	25%	50%	75%	90%	99%			
COND ELEC	USIE/CM	02041	19	20.	106.	152.	155.	162.	165.	54.			
TEMP	°C	02061	19	-1	.0	.5	2.0	7.0	11.0	3.6			
N03NO2	MG/L N	07105	19	.01	.07	.10	.11	.12	.13	.03			
F DIS	MG/L F	09105	19	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.0			
ALC TOT	MG/L	10101	19	8.62	43.50	59.60	60.70	63.20	64.30	13.69			
PH	UNID. PH	10301	19	1.4	7.3	7.7	7.8	7.9	8.0	1.7			
SOL SUSP - 105	MG/L	10401	12	2.	14.	20.	35.	69.	83.	12.			
SOL SUSP FIJOS	MG/L	10501	12	1.	11.	17.	29.	63.	71.	10.			
NA DIS	MG/L NA	11103	19	0.	2.	4.	5.	5.	6.	1.			
SI REAC	MG/L	14101	19	.80	4.60	6.40	6.50	6.70	6.90	1.49			
P TOTAL	MG/L P	15405	19	.002	.013	.014	.025	.058	.096	.021			
SULFATO	M/L SO4	16306	19	1.	8.	10.	11.	12.	12.	3.			
CL DIS	MG/L CL	17203	19	0.	2.	3.	4.	5.	5.	1.			
K DIS	MG/L K	19103	19	-1	.6	.8	.8	.9	1.0	.2			
CA DIS	MG/L CA	20101	19	3.040	15.600	19.800	20.600	21.600	21.900	4.599			
MN TOTAL	MG/L MN	25004	18	.00	.01	.01	.02	.05	.08	.02			
FE TOTAL	MG/L FE	26004	18	.00	.16	.27	.78	2.16	3.32	.71			
CU TOTAL	MG/L CU	29005	18	.000	.002	.002	.004	.005	.008	.002			
ZN TOTAL	MG/L ZN	30005	18	.000	.002	.002	.005	.011	.015	.004			
CD TOTAL	MG/L CD	48002	18	.000	.001	.001	.001	.001	.001	.000			
HG TOTAL	UG/L HG	80011	12	.003	.020	.020	.020	.020	.041	.007			
PB TOTAL	MG/L PB	82002	18	.000	.001	.001	.001	.001	.003	.002			
TEMP-AIRE	°C	97060	18	-6	1.5	5.0	7.0	10.0	14.9	4.8			

Figura 14

## MONITOREO GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - SUMARIO ESTADISTICO POR ESTACION

ESTACION - FRASER RIVER. PROFUNDIDAD(M) 10.0  
 PAIS - CANADA ELEVACION(M) 45.0  
 UBICACION - OCT. 1 LAT. 49/23/15 LONG. 121/27/00 TIPO DE AGUA RIO  
 CENTRO REGIONAL - AMRA NUMERO DE LA ESTACION 039007

LAS ESTADISTICAS INCLUYEN TODOS LOS DATOS MARCADOS SEGUN LO INFORMADO

PARAMETRO	UNIDADES	CODIGO	OBSERV.	MIN	MAX	AÑO 1985					OBSERV.	MIN	MAX	PERIODO DE REGISTRO 79-07-17 AL 85-10-28				
						25%	MEDIANA	75%	25%	MEDIANA				75%	25%	MEDIANA	75%	
COND ELEC	USIE/CM	02041	19	102.	258.	152.	155.	162.	74	5.	258.	125.	106.	152.				
TEMP	°C	02061	19	-.5	17.0	.5	2.0	7.0	87	-.5	21.9	7.5	3.0	12.5				
CN	MG/L CN	06606	0	---	---	---	---	---	1	.001	.001	---	---	---				
NO3NO2	MG/L N	07105	19	.04	.13	.10	.11	.12	87	.00	.21	.09	.05	.12				
F DIS	MG/L F	09105	19	.0	.1	.0	.1	.1	62	.0	.2	.1	.0	.1				
F DIS	MG/L F	09106	0	---	---	---	---	---	25	.0	.1	.1	.0	.1				
ALC TOT	MG/L	10101	19	43.10	65.20	59.60	61.60	63.20	87	24.00	65.20	51.30	45.20	58.40				
PH	UNID. PH	10301	19	7.1	8.2	7.7	7.9	7.9	74	7.0	8.2	7.8	7.7	7.9				
SOL SUSP 105	MG/L	10401	12	12.	85.	20.	35.	69.	70	2.	475.	37.	18.	75.				
SOL SUSP FIJOS	MG/L	10501	12	9.	72.	17.	29.	63.	47	2.	287.	32.	17.	67.				
NA DIS	MG/L NA	11103	19	2.	6.	4.	5.	5.	87	1.	6.	3.	2.	4.				
SI REAC	MG/L	14101	19	4.00	7.10	6.40	6.50	6.70	87	3.90	7.30	5.80	4.80	6.50				
P TOTAL	MG/L P	15405	19	.011	.100	.014	.028	.058	61	.011	.502	.052	.020	.096				
SULFATO	MG/L SO4	16306	19	6.	13.	10.	11.	12.	87	4.	13.	8.	6.	10.				
CL DIS	MG/L CL	17203	19	1.	5.	3.	4.	5.	87	1.	5.	2.	1.	3.				
K DIS	MG/L K	19103	19	.6	1.0	.8	.8	.9	87	.4	1.0	.7	.6	.8				
CA DIS	MG/L CA	20101	19	15.200	21.900	19.800	21.000	21.600	87	9.800	22.200	17.700	15.600	19.400				
MN TOTAL	MG/L MN	25004	18	.01	.08	.01	.02	.05	59	.01	.30	.04	.02	.08				
FE TOTAL	MG/L FE	26004	18	.02	3.54	.27	.78	2.16	59	.02	13.00	1.35	.61	3.25				
CU TOTAL	MG/L CU	29005	18	.001	.008	.002	.004	.005	59	.001	.020	.004	.003	.007				
ZN TOTAL	MG/L ZN	30005	18	.001	.021	.005	.005	.011	59	.001	.033	.005	.002	.010				
CD TOTAL	MG/L CD	48002	18	.001	.001	.001	.001	.001	59	.001	.001	.001	.001	.001				
HG TOTAL	UG/L HG	80011	12	.020	.050	.020	.020	.020	48	.020	.050	.020	.020	.020				
PB TOTAL	MG/L PB	82002	18	.001	.009	.001	.001	.001	59	.001	.009	.001	.001	.002				
TEMP-AIRE	°C	97060	18	-3.0	24.0	5.0	7.0	10.0	61	-3.0	25.0	10.0	6.5	16.0				
DESC. INST.	M/S	97160	0	---	---	---	---	---	36	538.0	8610.0	2095.0	1217.5	4392.5				

## ANEXO I - Instrucciones para el ingreso de datos

Instrucciones generales

1. Cada formulario brinda información para más de una línea de entradas.
2. Los casilleros pequeños indican las columnas de registro para el ingreso de datos.
3. Ingresar los decimales según se indica en los formularios.
4. Cada campo debe comenzar en la columna de registro indicada. Usar un casillero para cada columna. Por ejemplo, la elevación media de la superficie del agua en el *formulario de la estación*:

22			1	0	.	2
----	--	--	---	---	---	---

se ingresa en el archivo como "blanco blanco 1 0 . 2" comenzando en la columna 22 y finalizando en la columna 27.

De igual forma, la latitud:

9	0	5		1	5		2	0
---	---	---	--	---	---	--	---	---

se ingresa como "0 5 1 5 2 0" comenzando en la columna 9 y finalizando en la columna 14.

Formulario de la estación

1. Se brinda un registro para cada línea de entrada. El número de registro se ingresa en la columna 1 de la línea correspondiente.
2. Solo es necesario ingresar los registros con datos codificados. Por ejemplo, solo debe haber uno de los registros enumerados 2, 3 y 4. De igual forma, es probable que no se requiera alguno de los registros 5, 6 y 7.
3. Duplicar las columnas 2-7 inclusive del Registro N° 1 en cada línea subsiguiente preparada a partir del *formulario de la estación*.

Formulario de datos

1. La información indicativa en las columnas 1-24 inclusive debe repetirse en cada línea preparada a partir del *Formulario de datos*.
2. La columna 1 de cada línea siempre tendrá un caracter alfabético (A,C ó D).
3. Duplicar las columnas 1-24 inclusive del Registro N° 1 en cada línea subsiguiente preparada a partir del *Formulario de datos*.
4. El orden en que se ingresan los conjuntos de datos en el archivo es irrelevante.

## ANEXO II - Centros Regionales y Regiones Geográficas

Códigos de Centros Regionales

AFRA Africa  
  
AMRA América Central y del Sur

EMRA Mediterráneo Oriental

EURA Europa

SEAA Sudeste Asiático

WPRA Pacífico Occidental

Centros Regionales WHO

AFRO/WHO  
P.O. Box No. 6  
Brazzaville  
Congo  
Attention: PM2

PAHO/WHO  
525 Twenty-third Street, NW  
Washington, DC 20037  
U.S.A.  
Attn: Environmental Health Program

EMRO/WHO  
P.O. Box 1517  
Alejadria - 21511  
Egipto  
Attn: Chief, Environmental Health

WHO/EURO  
8 Scherfigsvei  
DK -2100 Copenhagen  
Dinamarca  
Attn: Director, Promotion of Environmental Health

SEARO/WHO  
World Health House  
Indraprastha Estate  
Mahatma Gandhi Road  
Nueva Delhi - 110002  
India  
Attn: Chief, Environmental Health

PEPAS  
c/o The WHO Programme Coordinator  
P.O. Box 12550  
50782 Kuala Lumpur  
Malasia  
Attn: Director

Códigos de Regiones Geográficas

AFRI Africa  
MIDD Medio Oriente  
ASIA Asia  
OCEA Oceanía

EURO Europa  
NA América del Norte  
CASA América Central y del Sur  
CARI Caribe

## ANEXO III - Códigos de países

## Orden numérico

<u>CODIGO DE PAIS</u>	<u>FECHA DE ADMISION EN LAS NACIONES UNIDAS</u>	<u>NOMBRE DEL PAIS</u>
001	24 OCTUBRE 1945	ARGENTINA
002	24 OCTUBRE 1945	BRASIL
003	24 OCTUBRE 1945	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE BIELORRUSIA
004	24 OCTUBRE 1945	CHILE
005	24 OCTUBRE 1945	CHINA
006	24 OCTUBRE 1945	CUBA
007	24 OCTUBRE 1945	REPUBLICA FEDERAL CHECA Y ESLOVACA
008	24 OCTUBRE 1945	DINAMARCA
009	24 OCTUBRE 1945	REPUBLICA DOMINICANA
010	24 OCTUBRE 1945	EGIPTO
011	24 OCTUBRE 1945	EL SALVADOR
012	24 OCTUBRE 1945	FRANCIA
013	24 OCTUBRE 1945	HAITI
014	24 OCTUBRE 1945	REPUBLICA ISLAMICA DE IRAN
015	24 OCTUBRE 1945	LIBANO
016	24 OCTUBRE 1945	LUXEMBURGO
017	24 OCTUBRE 1945	NUEVA ZELANDIA
018	24 OCTUBRE 1945	NICARAGUA
019	24 OCTUBRE 1945	PARAGUAY
020	24 OCTUBRE 1945	FILIPINAS
021	24 OCTUBRE 1945	POLONIA
022	24 OCTUBRE 1945	ARABIA SAUDITA
023	24 OCTUBRE 1945	REPUBLICA ARABE SIRIA
024	24 OCTUBRE 1945	TURQUIA
025	24 OCTUBRE 1945	REPÚBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE UCRANIA
026	24 OCTUBRE 1945	UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS

027	24 OCTUBRE 1945	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
028	24 OCTUBRE 1945	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
029	24 OCTUBRE 1945	YUGOSLAVIA
030	25 OCTUBRE 1945	GRECIA
031	30 OCTUBRE 1945	INDIA
032	31 OCTUBRE 1945	PERU
033	1 NOVIEMBRE 1945	AUSTRALIA
034	2 NOVIEMBRE 1945	COSTA RICA
035	2 NOVIEMBRE 1945	LIBERIA
036	5 NOVIEMBRE 1945	COLOMBIA
037	7 NOVIEMBRE 1945	MEXICO
038	7 NOVIEMBRE 1945	SUDAFRICA
039	9 NOVIEMBRE 1945	CANADA
040	13 NOVIEMBRE 1945	ETIOPIA
041	13 NOVIEMBRE 1945	PANAMA
042	14 NOVIEMBRE 1945	BOLIVIA
043	15 NOVIEMBRE 1945	VENEZUELA
044	21 NOVIEMBRE 1945	GUATEMALA
045	27 NOVIEMBRE 1945	NORUEGA
046	10 DICIEMBRE 1945	PAISES BAJOS
047	17 DICIEMBRE 1945	HONDURAS
048	18 DICIEMBRE 1945	URUGUAY
049	21 DICIEMBRE 1945	ECUADOR
050	21 DICIEMBRE 1945	IRAQ
051	27 DICIEMBRE 1945	BELGICA
052	19 NOVIEMBRE 1946	AFGANISTAN
053	19 NOVIEMBRE 1946	SUECIA
054	16 DICIEMBRE 1946	TAILANDIA
055	19 DICIEMBRE 1946	ISLANDIA
056	30 SEPTIEMBRE 1947	PAKISTAN
057	30 SEPTIEMBRE 1947	YEMEN
058	19 ABRIL 1948	MYANMAR

059	11 MAYO 1949	ISRAEL
060	28 SEPTIEMBRE 1950	INDONESIA
061	14 DICIEMBRE 1955	ALBANIA
062	14 DICIEMBRE 1955	AUSTRIA
063	14 DICIEMBRE 1955	BULGARIA
064	14 DICIEMBRE 1955	CAMBOYA DEMOCRATICA
065	14 DICIEMBRE 1955	FINLANDIA
066	14 DICIEMBRE 1955	HUNGRIA
067	14 DICIEMBRE 1955	IRLANDA
068	14 DICIEMBRE 1955	ITALIA
069	14 DICIEMBRE 1955	JORDANIA
070	14 DICIEMBRE 1955	REPUBLICA DEMOCRATICA POPULAR DE LAOS
071	14 DICIEMBRE 1955	LIBIA ARABE JAMAHIRIYA
072	14 DICIEMBRE 1955	NEPAL
073	14 DICIEMBRE 1955	PORTUGAL
074	14 DICIEMBRE 1955	RUMANIA
075	14 DICIEMBRE 1955	ESPAÑA
076	14 DICIEMBRE 1955	SRI LANKA
077	12 NOVIEMBRE 1956	MARRUECOS
078	12 NOVIEMBRE 1956	SUDAN
079	12 NOVIEMBRE 1956	TUNEZ
080	18 DICIEMBRE 1956	JAPON
081	8 MARZO 1957	GHANA
082	17 SEPTIEMBRE 1957	MALASIA
083	12 DICIEMBRE 1958	GUINEA
084	7 OCTUBRE 1960	NIGERIA
085	20 SEPTIEMBRE 1960	BENIN
086	20 SEPTIEMBRE 1960	REPUBLICA CENTRAL AFRICANA
087	20 SEPTIEMBRE 1960	CHAD
088	20 SEPTIEMBRE 1960	CONGO
089	20 SEPTIEMBRE 1960	CHIPRE
090	20 SEPTIEMBRE 1960	GABON

091	20 SEPTIEMBRE 1960	COSTA DE MARFIL
092	20 SEPTIEMBRE 1960	MADAGASCAR
093	20 SEPTIEMBRE 1960	NIGER
094	20 SEPTIEMBRE 1960	SOMALIA
095	20 SEPTIEMBRE 1960	TOGO
096	20 SEPTIEMBRE 1960	CAMERUN
097	20 SEPTIEMBRE 1960	BURKINA FASO
098	20 SEPTIEMBRE 1960	ZAIRE
099	28 SEPTIEMBRE 1960	MALI
100	28 SEPTIEMBRE 1960	SENEGAL
101	27 SEPTIEMBRE 1961	SIERRA LEONA
102	27 OCTUBRE 1961	MAURITANIA
103	27 OCTUBRE 1961	MONGOLIA
104	14 DICIEMBRE 1961	REPUBLICA UNIDA DE TANZANIA
105	18 SEPTIEMBRE 1962	BURUNDI
106	18 SEPTIEMBRE 1962	JAMAICA
107	18 SEPTIEMBRE 1962	RUANDA
108	18 SEPTIEMBRE 1962	TRINIDAD Y TOBAGO
109	8 OCTUBRE 1962	ARGELIA
110	25 OCTUBRE 1962	UGANDA
111	14 MAYO 1963	KUWAIT
112	16 DICIEMBRE 1963	KENYA
113	1 DICIEMBRE 1964	MALAWI
114	1 DICIEMBRE 1964	MALTA
115	1 DICIEMBRE 1964	ZAMBIA
116	21 SEPTIEMBRE 1965	GAMBIA
117	21 SEPTIEMBRE 1965	MALDIVAS
118	21 SEPTIEMBRE 1965	SINGAPUR
119	20 SEPTIEMBRE 1965	GUAYANA
120	17 OCTUBRE 1966	BOTSWANA
121	17 OCTUBRE 1966	LESOTHO
122	9 DICIEMBRE 1966	BARBADOS
123	14 DICIEMBRE 1967	YEMEN DEMOCRATICO

124	24 ABRIL 1968	MAURICIO
125	24 SEPTIEMBRE 1968	SUAZILANDIA
126	12 NOVIEMBRE 1968	GUINEA ECUATORIAL
127	13 OCTUBRE 1970	FIJI
128	21 SEPTIEMBRE 1971	BAHRAIN
129	21 SEPTIEMBRE 1971	BHUTAN
130	21 SEPTIEMBRE 1971	QATAR
131	7 OCTUBRE 1971	OMAN
132	9 DICIEMBRE 1971	EMIRATOS ARABES UNIDOS
133	18 SEPTIEMBRE 1973	BAHAMAS
134	18 SEPTIEMBRE 1973	REPUBLICA DEMOCRATICA DE ALEMANIA
135	18 SEPTIEMBRE 1973	REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA
136	17 SEPTIEMBRE 1974	BANGLADESH
137	17 SEPTIEMBRE 1974	GRENADA
138	17 SEPTIEMBRE 1974	GUINEA-BISSAU
139	16 SEPTIEMBRE 1975	CABO VERDE
140	16 SEPTIEMBRE 1975	MOZAMBIQUE
141	16 SEPTIEMBRE 1975	SAO TOME Y PRINCIPE
142	10 OCTUBRE 1975	PAPUA NUEVA GUINEA
143	12 NOVIEMBRE 1975	COMOROS
144	4 DICIEMBRE 1975	SURINAM
145	21 SEPTIEMBRE 1976	SEYCHELLES
146	1 DICIEMBRE 1976	ANGOLA
147	15 DICIEMBRE 1976	SAMOA
148	20 SEPTIEMBRE 1977	DJIBOUTI
149	20 SEPTIEMBRE 1977	VIET NAM
150		REPUBLICA DE COREA
151		MONACO
152		HONG KONG
153		GUAM
154	19 SEPTIEMBRE 1978	ISLAS SOLOMON
155	18 DICIEMBRE 1978	DOMINICA

156	18 SEPTIEMBRE 1979	SANTA LUCIA
157	25 AGOSTO 1980	ZIMBABUE
158	16 SEPTIEMBRE 1980	SAINT VICENT Y GRENADINES
159	15 SEPTIEMBRE 1981	VANUATU
160	25 SEPTIEMBRE 1981	BELIZE
161	1 NOVIEMBRE 1981	ANTIGUA Y BARBUDA
162	23 SEPTIEMBRE 1983	SAINT KITTS Y NEVIS
163	21 SEPTIEMBRE 1984	BRUNEI DARUSSALAM

## ANEXO III - Códigos de países

## Orden alfabético

<u>CODIGO DEL PAIS</u>	<u>PAIS</u>
052	AFGANISTAN
061	ALBANIA
34	REPUBLICA DEMOCRATICA DE ALEMANIA
135	REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA
146	ANGOLA
161	ANTIGUA Y BARBUDA
022	ARABIA SAUDITA
109	ARGELIA
001	ARGENTINA
033	AUSTRALIA
062	AUSTRIA
133	BAHAMAS
128	BAHRAIN
136	BANGLADESH
122	BARBADOS
051	BELGICA
160	BELICE
085	BENIN
129	BHUTAN
003	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE BIELORRUSIA
042	BOLIVIA
120	BOTSWANA
002	BRASIL
163	BRUNEI DARUSSALAM
063	BULGARIA
097	BURKINA FASO
105	BURUNDI
139	CABO VERDE
064	CAMBOYA DEMOCRATICA

096	CAMERUN
039	CANADA
086	REPUBLICA CENTRAL AFRICANA
036	COLOMBIA
143	COMOROS
088	CONGO
150	REPUBLICA DE COREA
034	COSTA RICA
091	COSTA DE MARFIL
006	CUBA
087	CHAD
007	REPUBLICA FEDERAL CHECA Y ESLOVACA
004	CHILE
005	CHINA
089	CHIPRE
008	DINAMARCA
148	DJIBOUTI
155	DOMINICA
009	REPUBLICA DOMINICANA
049	ECUADOR
010	EGIPTO
011	EL SALVADOR
132	EMIRATOS ARABES UNIDOS
075	ESPAÑA
028	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
040	ETIOPIA
127	FIJI
020	FILIPINAS
065	FINLANDIA
012	FRANCIA
090	GABON
116	GAMBIA
81	GHANA

030	GRECIA
137	GRENADA
153	GUAM
044	GUATEMALA
119	GUAYANA
083	GUINEA
138	GUINEA BISSAU
126	GUINEA ECUATORIAL
013	HAITI
047	HONDURAS
152	HONG KONG
066	HUNGRIA
031	INDIA
060	INDONESIA
014	REPUBLICA ISLAMICA DE IRAN
154	ISLAS SOLOMON
050	IRAQ
067	IRLANDA
055	ISLANDIA
059	ISRAEL
068	ITALIA
106	JAMAICA
080	JAPON
069	JORDANIA
112	KENYA
111	KUWAIT
070	LAOS
121	LESOTHO
015	LIBANO
035	LIBERIA
071	LIBIA
016	LUXEMBURGO
092	MADAGASCAR

082	MALASIA
113	MALAWI
117	MALDIVAS
099	MALI
114	MALTA
077	MARRUECOS
124	MAURICIO
102	MAURITANIA
037	MEXICO
151	MONACO
103	MONGOLIA
140	MOZAMBIQUE
058	MYANMAR
072	NEPAL
018	NICARAGUA
093	NIGER
084	NIGERIA
045	NORUEGA
017	NUEVA ZELANDIA
131	OMAN
046	PAISES BAJOS
056	PAKISTAN
041	PANAMA
142	PAPUA NUEVA GUINEA
019	PARAGUAY
032	PERU
021	POLONIA
073	PORTUGAL
130	QATAR
027	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
107	RUANDA
074	RUMANIA
156	SANTA LUCIA

162	SAINT KITTS Y NEVIS
158	SAINT VINCENT Y GRENADINES
147	SAMOA
141	SAO TOME Y PRINCIPE
100	SENEGAL
145	SEYCHELLES
101	SIERRA LEONA
118	SINGAPUR
023	REPUBLICA ARABE SIRIA
094	SOMALIA
076	SRI LANKA
125	SUAZILANDIA
038	SUDAFRICA
078	SUDAN
053	SUECIA
144	SURINAM
054	TAILANDIA
104	REPUBLICA UNIDA DE TANZANIA
095	TOGO
108	TRINIDAD Y TOBAGO
079	TUNEZ
024	TURQUIA
025	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE UCRANIA
110	UGANDA
026	UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS
048	URUGUAY
159	VANUATU
043	VENEZUELA
149	VIET NAM
057	YEMEN
123	YEMEN DEMOCRATICO
029	YUGOSLAVIA

098

ZAIRE

115

ZAMBIA

157

ZIMBABUE

## ANEXO IV - Selección y códigos de variables

## Orden numérico

## ANEXO IV

## DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
00120	SUMA DE CATIONES	3	SUMA DE CATIONES	MEQ/L	
00125	SUMA DE ANIONES	3	SUMA DE ANIONES	MEQ/L	
00190	MUESTRA INTEGRADA - CODIGO SOLO PARA USO INTERNO	0	MUESTRA INTEG.	N/A	VERTICAL (V), HORIZONTAL (H), HORA (T)
02041	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	0	COND.ELECT.	USIE/CM	MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD
02061	TEMPERATURA	1	TEMP.	°C	TERMOMETRO DE MERCURIO
02062	TEMPERATURA	1	TEMP.	°C	TERMOMETRO ELECTRICO
02076	TRANSPARENCIA	1	TRANS.	METRO	DISCO SECCHI 30 CM
05001	BORO - TOTAL	1	B TOTAL	MG/L B	AAS
05002	BORO - TOTAL	1	B TOTAL	MG/L B	COLORIMETRIA
05101	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	AAS
05102	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	METODO DE LA CURCUMINA
05103	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	FLUORIMETRIA
05105	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	COLORIMETRIA
06076	CARBONO ORGANICO - EN SUSPENSION	3	CARB.ORG.-SUSP.	UG/G	ANALIZADOR CHN
06077	CARBONO ORGANICO - EN SUSPENSION	3	CARB.ORG.-SUSP.	UG/G	IONIZACION A LA LLAMA
06101	CARBONO ORGANICO - DISUELTO	1	CARB.ORG.-DIS.	MG/L	ANALISIS INFRAROJO
06505	HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS	2	PHA	UG/L	GC-MS
06569	HIDROCARBUROS CLORADOS TOTALES	1	TOT-HIDROC-CLOR	UG/L	TITULACION MICROULOMETRICA
06570	HIDROCARBUROS TOTALES	1	TOT-HIDROCAR.	UG/L	ESPECTROSCOPIA, INTENSIDAD INFRARROJA
06711	CLOROFILA A	4	CLORA A	MG/L	COLORIMETRIA

## ANEXO IV

## DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
07105	NITROGENO, NITRATO + NITRITO	2	NO3NO2	MG/L N	COLORIMETRIA
07401	NITROGENO ORGANICO DISUELTO	1	NIT.ORG.-DIS	MG/L	KJELDAHL CON REMOCION DE NH3
07403	NITROGENO ORGANICO DISUELTO	1	NIT.ORG.-DIS	MG/L	CALCULO POR DIFERENCIA
07506	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	ELECTRODO ION SELECTIVO
07551	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	NESSLERIZACION DIRECTA
07553	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	DESTILACION Y TITULACION
07554	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	DESTILACION Y NESSLERIZACION
07555	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	COLORIMETRIA
07556	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	COLORIMETRIA (AZUL INDOPHENOL)
07912	NITROGENO ORGANICO - SUSPENSION	3	NIT.ORG.-SUS	UG/G	ANALIZADOR CHN
08001	OXIGENO DISUELTO-PORCENTAJE SATUR.	0	FORC.SAT.OD	PORCENTAJE	CALCULO O NOMOGRAMA
08101	OXIGENO DISUELTO	1	O2 DIS.	MG/L O2	METODO WINKLER
08102	OXIGENO DISUELTO	1	O2 DIS.	MG/L O2	MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO
08201	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	0	DBO	MG/L O2	METODO DE DILUCION DE 5 DIAS
08301	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	0	DQO	MG/L O2	METODO K2CRO7
09104	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	COLORIMETRIA
09105	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	ELECTRODO ION SELECTIVO
09106	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	METODO DEL POTENCIAL DE ELECTRODOS
09107	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	INTERCAMBIO DE IONES
09110	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	FOTOMETRICO (COMPLEJO LA-ALIZARINA)
10101	ALCALINIDAD TOTAL(CACO3)	2	ALC.TOT.	MG/L	TITULACION POTENCIOMETRICA

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
10102	ALCALINIDAD TOTAL(CACO3)	2	ALC.TOT.	MG/L	TITULACION COLORIMETRICA
10300	PH	1	PH	UNIDADES PH	METODO COLORIMETRICO
10301	PH	1	PH	UNIDADES PH	MEDIDOR PH (ELECTROMETRICO)
10302	PH	1	PH	UNIDADES PH	MEDIDOR PH (ELECTROMETRICO) A 25°C
10401	SOLIDOS EN SUSPENSION 105°C	0	SOL.SUSP - 105	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
10408	SOLIDOS EN SUSPENSION 180°C	0	SOL.SUSP - 180	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
11102	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	AAS
11103	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	FOTOMETRIA DE LLAMA
11105	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	AAS - ASPIRACION DIRECTA
11201	SODIO - COEFICIENTE DE ADSORCION	3	SAR	UNID.REL.	CALCULO POR DIFERENCIA
12102	MAGNESIO - DISUELTO	0	MG DIS.	MG/L MG	AAS
12103	MAGNESIO - DISUELTO	0	MG DIS.	MG/L MG	COLORIMETRIA (EDTA)
13001	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	COLORIMETRIA
13002	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	AAS - ASPIRACION DIRECTA
13003	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
13050	ALUMINIO SEDIMENTOS	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - DIGESTION ACIDA
13101	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	COLORIMETRIA
13102	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	AAS - ASPIRACION DIRECTA
13103	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
13202	ALUMINIO - SUSPENSION	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - DIGESTION ACIDA
13203	ALUMINIO - SUSPENSION	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
14101	SILICE REACTIVA	2	SIL.REACT.	MG/L	COLORIMETRIA
15405	FOSFORO - TOTAL	3	P TOTAL	MG/L P	COLORIMETRIA
15417	FOSFORO TOTAL DISUELTO	3	TOTAL P DIS	MG/L	COLORIMETRIA
15902	FOSFORO TOTAL EN SUSPENSION	3	TOT. P SUSP.	UG/G	CALCULO POR DIFERENCIA
15903	FOSFORO TOTAL EN SUSPENSION	3	TOT. P SUSP.	UG/G	COLORIMETRIA CON EXTRACCION ACIDA
16301	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	METODO GRAVIMETRICO
16302	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	METODO TURBIDIMETRICO
16303	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	TITULACION
16304	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	AUTOANALIZADOR
16306	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	COLORIMETRIA
16309	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	INTERCAMBIO DE IONES
17201	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	TITULACION CON NITRATO MERCURICO
17202	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	FOTENCIOMETRICO CON NITRATO DE PLATA
17203	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	COLORIMETRIA
17204	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	TITULACION CON NITRATO DE PLATA
17205	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	ELECTRODO ION ESPECIFICO
17207	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	INTERCAMBIO DE IONES
18002	DDT - TOTAL	3	TOTAL DDT	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18070	GAMMA-BHC (LINDANO)	3	LINDANO	UG/L	CROMATOGRAFIA LIQUIDA
18130	ALDRIN	3	ALDRIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18150	DIELDRIN	3	DIELDRIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA

## ANEXO IV

## DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
18165	PCBS	3	PCBS	UG/L	
18415	ATRAZINA - TOTAL	1	ATRAZINA	UG/L	GLC
18444	ALDICARB	2	ALDICARB	UG/L	HPLC
18503	2,4-D	2	2,4-D	UG/L	CAPTACION DE ELECTRONES - GLC
19102	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	AAS
19103	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	FOTOMETRIA DE LLAMA
19105	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	AAS - ASPIRACION DIRECTA
20101	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	TITULACION EDTA
20103	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	AAS
20105	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	EMISION A LA LLAMA
24002	CROMO - TOTAL	3	CR TOTAL	MG/L CR	AAS
24050	CROMO SEDIMENTOS	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
24052	CROMO - DISUELTO	3	CR DIS	MG/L CR	AAS
24053	CROMO SEDIMENTOS	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
24202	CROMO - SUSPENSION	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
24203	CROMO - SUSPENSION	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25004	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25005	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25009	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	COLORIMETRIA
25050	MANGANESO SEDIMENTOS	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25101	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	COLORIMETRIA

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
25104	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25105	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25204	MANGANESO - SUSPENSION	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25205	MANGANESO - SUSPENSION	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26002	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	COLORIMETRIA
26004	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26005	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26050	HIERRO SEDIMENTOS	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26102	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	COLORIMETRIA
26104	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26105	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26204	HIERRO - SUSPENSION	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26205	HIERRO - SUSPENSION	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
28001	NIQUEL - TOTAL	3	NI TOTAL	MG/L NI	AAS - ASPIRACION DIRECTA
28002	NIQUEL - TOTAL	3	NI TOTAL	MG/L NI	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
28101	NIQUEL - DISUELTO	3	NI DIS	MG/L NI	AAS - ASPIRACION DIRECTA
28102	NIQUEL - DISUELTO	3	NI DIS	MG/L NI	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29001	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	COLORIMETRIA
29005	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29006	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	AAS - ASPIRACION DIRECTA
29050	COBRE SEDIMENTOS	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
29101	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	COLORIMETRIA
29105	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29106	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	AAS - ASPIRACION DIRECTA
29205	COBRE - SUSPENSION	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29206	COBRE - SUSPENSION	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30001	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	COLORIMETRIA
30004	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30005	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
30050	ZINC SEDIMENTOS	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30101	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	COLORIMETRIA
30104	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30105	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
30204	ZINC - SUSPENSION	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30205	ZINC - SUSPENSION	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
33003	ARSENICO - TOTAL	3	AS TOTAL	MG/L AS	COLORIMETRIA
33007	ARSENICO - TOTAL	3	AS TOTAL	MG/L AS	AAS
33050	ARSENICO SEDIMENTOS	3	AS - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA - DIGESTION ACIDA
33103	ARSENICO - DISUELTO	3	AS DIS	MG/L AS	COLORIMETRIA
33104	ARSENICO - DISUELTO	3	AS DIS	MG/L AS	AAS
33202	ARSENICO - SUSPENSION	3	AS - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA - DIGESTION ACIDA
34002	SELENIO - TOTAL	3	SE TOTAL	MG/L SE	AAS

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
34050	SELENIO - SUSPENSION	3	SE - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
34102	SELENIO - DISUELTO	3	SE DIS	MG/L SE	AAS
34202	SELENIO - SUSPENSION	3	SE - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
36001	COLIFORMES - TOTALES	0	COLIFORMES TOTALES	NO/100ML	TUBOS MULTIPLES
36002	COLIFORMES - TOTALES	0	COLIFORMES TOTALES	NO/100ML	MEMBRANA FILTRANTE
36011	BACTERIAS DE COLIFORMES FECALES	0	COL.FEC.	NO/100ML	TUBOS MULTIPLES
36012	BACTERIAS DE COLIFORMES FECALES	0	COL FEC	NO/100ML	MEMBRANA FILTRANTE
48001	CADMIO - TOTAL	3	CD TOTAL	MG/L CD	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48002	CADMIO - TOTAL	3	CD TOTAL	MG/L CD	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
48053	CADMIO SEDIMENTOS	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48101	CADMIO - DISUELTO	3	CD DIS	MG/L CD	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48102	CADMIO - DISUELTO	3	CD DIS	MG/L CD	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
48201	CADMIO - SUSPENSION	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48202	CADMIO - SUSPENSION	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
80011	MERCURIO - TOTAL	3	HG TOTAL	UG/L HG	AAS
80016	MERCURIO - TOTAL	3	HG TOTAL	UG/L HG	AAS (TECNICA DE VAPOR EN FRIJO)
80050	MERCURIO SEDIMENTOS	3	HG - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
80111	MERCURIO - DISUELTO	3	HG DIS	UG/L HG	AAS
80201	MERCURIO - SUSPENSION	3	HG - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
82001	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82002	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden numérico)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC ***	ABREVIATURA *****	UNIDADES *****	METODO *****
82008	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	COLORIMETRIA
82050	PLOMO SEDIMENTOS	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82101	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82102	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	COLORIMETRIA
82103	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
82201	PLOMO - SUSPENSION	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82202	PLOMO - SUSPENSION	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
95011	FENOLES	1	FENOLES	UG/L	GC
95100	BENCENO	1	BENCENO	UG/L	GC - MS
97160	DESCARGA INSTANTANEA	1	DESC.INST.	M3/S	ALTURA DEL AFORADOR

## ANEXO IV - Selección y códigos de variables

## Orden alfabético

## ANEXO IV

## DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC ***	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
18503	2, 4-D	2	2, 4-D	UG/L	CAPTACION DE ELECTRONES - GLC
10102	ALCALINIDAD TOTAL(CACO3)	2	ALC.TOT.	MG/L	TITULACION COLORIMETRICA
10101	ALCALINIDAD TOTAL(CACO3)	2	ALC.TOT.	MG/L	TITULACION POTENCIOMETRICA
18444	ALDICARB	2	ALDICARB	UG/L	HPLC
18130	ALDRIN	3	ALDRIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
13101	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	COLORIMETRIA
13103	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
13102	ALUMINIO - DISUELTO	3	AL DIS.	MG/L AL	AAS - ASPIRACION DIRECTA
13202	ALUMINIO - SUSPENSION	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - DIGESTION ACIDA
13203	ALUMINIO - SUSPENSION	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
13001	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	COLORIMETRIA
13002	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	AAS - ASPIRACION DIRECTA
13003	ALUMINIO - TOTAL	3	AL TOTAL	MG/L AL	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
13050	ALUMINIO SEDIMENTOS	3	AL - SUSPENSION	UG/G	AAS - DIGESTION ACIDA
07554	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	DESTILACION Y NESSLERIZACION
07555	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	COLORIMETRIA
07506	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	ELECTRODO ION SELECTIVO
07553	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	DESTILACION Y TITULACION
07556	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	COLORIMETRIA (AZUL INDOFENOL)
07551	AMONIACO	2	NH3	MG/L N	NESSLERIZACION DIRECTA
33103	ARSENICO - DISUELTO	3	AS DIS	MG/L AS	COLORIMETRIA

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
33104	ARSENICO - DISUELTO	3	AS DIENEXO IV	MG/L AS	AAS
33202	ARSENICO - SUSPENSION	3	AS - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA - DIGESTION ACIDA
33007	ARSENICO - TOTAL	3	AS TOTAL	MG/L AS	AAS
33003	ARSENICO - TOTAL	3	AS TOTAL	MG/L AS	COLORIMETRIA
33050	ARSENICO SEDIMENTOS	3	AS - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA - DIGESTION ACIDA
18415	ATRAZINA - TOTAL	1	ATRAZINA	UG/L	GLC
36012	BACTERIAS DE COLIFORMES FECALES	0	COL FEC	NO/100ML	MEMBRANA FILTRANTE
36011	BACTERIAS DE COLIFORMES FECALES	0	COL.FEC.	NO/100ML	TUBOS MULTIPLES
95100	BENCENO	1	BENCENO	UG/L	GC - MS
05102	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	METODO DE LA CURCUMINA
05105	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	COLORIMETRIA
05103	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	FLUORIMETRIA
05101	BORO - DISUELTO	1	B DIS.	MG/L B	AAS
05002	BORO - TOTAL	1	B TOTAL	MG/L B	COLORIMETRIA
05001	BORO - TOTAL	1	B TOTAL	MG/L B	AAS
48101	CADMIO - DISUELTO	3	CD DIS	MG/L CD	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48102	CADMIO - DISUELTO	3	CD DIS	MG/L CD	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
48202	CADMIO - SUSPENSION	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
48201	CADMIO - SUSPENSION	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48001	CADMIO - TOTAL	3	CD TOTAL	MG/L CD	AAS - ASPIRACION DIRECTA
48002	CADMIO - TOTAL	3	CD TOTAL	MG/L CD	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
48053	CADMIO SEDIMENTOS	3	CD - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
06076	CARBONO ORGANICO - EN SUSPENSION	3	CARB.ORG.-SUSP.	UG/G	ANALIZADOR CHN
20101	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	TITULACION EDTA
20103	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	AAS
20105	CALCIO - DISUELTO	3	CA DIS	MG/L CA	EMISION A LA LLAMA
06101	CARBONO ORGANICO - DISUELTO	1	CARB.ORG.-DIS.	MG/L	ANALISIS INFRAROJO
06077	CARBONO ORGANICO - EN SUSPENSION	3	CARB.ORG.-SUSP.	UG/G	IONIZACION A LA LLAMA
06711	CLOROFILA A	4	CLORA A	MG/L	COLORIMETRIA
17207	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	INTERCAMBIO DE IONES
17205	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	ELECTRODO ION ESPECIFICO
17204	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	TITULACION CON NITRATO DE PLATA
17203	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	COLORIMETRIA
17201	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	TITULACION CON NITRATO MERCURICO
17202	CLORURO	0	CL DIS.	MG/L CL	POTENCIOMETRICO CON NITRATO DE PLATA
29101	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	COLORIMETRIA
29105	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29106	COBRE - DISUELTO	3	CU DIS	MG/L CU	AAS - ASPIRACION DIRECTA
29206	COBRE - SUSPENSION	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
29205	COBRE - SUSPENSION	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29005	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
29006	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	AAS - ASPIRACION DIRECTA

## ANEXO IV

## DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
29001	COBRE - TOTAL	3	CU TOTAL	MG/L CU	COLORIMETRIA
29050	COBRE SEDIMENTOS	3	CU - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
36002	COLIFORMES - TOTALES	0	COLIFORMES TOTALES	NO/100ML	MEMBRANA FILTRANTE
36001	COLIFORMES - TOTALES	0	COLIFORMES TOTALES	NO/100ML	TUBOS MULTIPLES
02041	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	0	COND.ELECT.	USIE/CM	MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD
24052	CROMO - DISUELTO	3	CR DIS	MG/L CR	AAS
24203	CROMO - SUSPENSION	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
24202	CROMO - SUSPENSION	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
24002	CROMO - TOTAL	3	CR TOTAL	MG/L CR	AAS
24053	CROMO SEDIMENTOS	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
24050	CROMO SEDIMENTOS	3	CR - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
18002	DDT - TOTAL	3	TOTAL DDT	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
08201	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	0	DBO	MG/L O2	METODO DE DILUCION DE 5 DIAS
08301	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	0	DQO	MG/L O2	METODO K2CR07
97160	DESCARGA INSTANTANEA	1	DESC.INST.	M3/S	ALTURA DEL AFORADOR
18150	DIELDRIN	3	DIELDRIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
95011	FENOLES	1	FENOLES	UG/L	GC
09104	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	COLORIMETRIA
09106	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	METODO DEL POTENCIAL DE ELECTRODOS
09107	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	INTERCAMBIO DE IONES
09105	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	ELECTRODO ION SELECTIVO

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
09110	FLUORURO - DISUELTO	1	F DIS	MG/L F	FOTOMETRICO (COMPLEJO LA-ALIZARINA)
15405	FOSFORO - TOTAL	3	P TOTAL	MG/L P	COLORIMETRIA
15417	FOSFORO TOTAL DISUELTO	3	TOTAL P DIS	MG/L	COLORIMETRIA
15902	FOSFORO TOTAL EN SUSPENSION	3	TOT. P SUSP.	UG/G	CALCULO POR DIFERENCIA
15903	FOSFORO TOTAL EN SUSPENSION	3	TOT. P SUSP.	UG/G	COLORIMETRIA CON EXTRACCION ACIDA
18070	GAMMA-BHC (LINDANO)	3	LINDANO	UG/L	CROMATOGRAFIA LIQUIDA
06569	HIDROCARBUROS CLORADOS TOTALES	1	TOT-HIDROC-CLOR	UG/L	TITULACION MICROCULOMETRICA
06505	HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS	2	PHA	UG/L	GC-MS
06570	HIDROCARBUROS TOTALES	1	TOT-HIDROCAR.	UG/L	ESPECTROSCOPIA, INTENSIDAD INFRARROJA
26104	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26105	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26102	HIERRO - DISUELTO	2	FE DIS	MG/L FE	COLORIMETRIA
26205	HIERRO - SUSPENSION	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26204	HIERRO - SUSPENSION	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26004	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	AAS - ASPIRACION DIRECTA
26002	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	COLORIMETRIA
26005	HIERRO - TOTAL	2	FE TOTAL	MG/L FE	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
26050	HIERRO SEDIMENTOS	3	FE - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
12103	MAGNESIO - DISUELTO	0	MG DIS.	MG/L MG	COLORIMETRIA (EDTA)
12102	MAGNESIO - DISUELTO	0	MG DIS.	MG/L MG	AAS
25101	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	COLORIMETRIA

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
25104	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25105	MANGANESO - DISUELTO	2	MN DIS	MG/L MN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25204	MANGANESO - SUSPENSION	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25205	MANGANESO - SUSPENSION	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25004	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
25009	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	COLORIMETRIA
25005	MANGANESO - TOTAL	2	MN TOTAL	MG/L MN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
25050	MANGANESO SEDIMENTOS	3	MN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
80111	MERCURIO - DISUELTO	3	HG DIS	UG/L HG	AAS
80201	MERCURIO - SUSPENSION	3	HG - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
80011	MERCURIO - TOTAL	3	HG TOTAL	UG/L HG	AAS
80016	MERCURIO - TOTAL	3	HG TOTAL	UG/L HG	AAS (TECNICA DE VAPOR EN FRIO)
80050	MERCURIO SEDIMENTOS	3	HG - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
00190	MUESTRA INTEGRADA - CODIGO SOLO PARA USO INTERNO	0	MUESTRA INTEG.	N/A	VERTICAL(V), HORIZONTAL(H), HORA(T)
28102	NIQUEL - DISUELTO	3	NI DIS	MG/L NI	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
28101	NIQUEL - DISUELTO	3	NI DIS	MG/L NI	AAS - ASPIRACION DIRECTA
28001	NIQUEL - TOTAL	3	NI TOTAL	MG/L NI	AAS - ASPIRACION DIRECTA
28002	NIQUEL - TOTAL	3	NI TOTAL	MG/L NI	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
07912	NITROGENO ORGANICO - SUSPENSION /	3	NIT.ORG.-SUS	UG/G	ANALIZADOR CHN
07401	NITROGENO ORGANICO DISUELTO	1	NIT.ORG.-DIS	MG/L	KJELDAHL CON REMOCION DE NH3

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
07403	NITROGENO ORGANICO DISUELTO	1	NIT.ORG.-DIS	MG/L	CALCULO POR DIFERENCIA
07105	NITROGENO, NITRATO + NITRITO	2	NO3NO2	MG/L N	COLORIMETRIA
08102	OXIGENO DISUELTO	1	O2 DIS.	MG/L O2	MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO
08101	OXIGENO DISUELTO	1	O2 DIS.	MG/L O2	METODO WINKLER
08001	OXIGENO DISUELTO-PORCENTAJE SATUR.	0	PORC.SAT.OD	PORCENTAJE	CALCULO O NOMOGRAMA
18165	PCBS	3	PCBS	UG/L	
10301	PH	1	PH	UNIDADES PH	MEDIDOR PH (ELECTROMETRICO)
10302	PH	1	PH	UNIDADES PH	MEDIDOR PH (ELECTROMETRICO) A 25°C
10300	PH	1	PH	UNIDADES PH	METODO COLORIMETRICO
82101	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82102	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	COLORIMETRIA
82103	PLOMO - DISUELTO	3	PB DIS	MG/L PB	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
82201	PLOMO - SUSPENSION	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82202	PLOMO - SUSPENSION	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
82001	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	AAS - ASPIRACION DIRECTA
82002	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
82008	PLOMO - TOTAL	3	PB TOTAL	MG/L PB	COLORIMETRIA
82050	PLOMO SEDIMENTOS	3	PB - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
19103	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	FOTOMETRIA DE LLAMA
19105	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	AAS - ASPIRACION DIRECTA
19102	POTASIO - DISUELTO	1	K DIS	MG/L K	AAS

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
34102	SELENIO - DISUELTO	3	SE DIS	MG/L SE	AAS
34050	SELENIO - SUSPENSION	3	SE - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
34202	SELENIO - SUSPENSION	3	SE - SUSPENSION	UG/G	AAS SIN LLAMA
34002	SELENIO - TOTAL	3	SE TOTAL	MG/L SE	AAS
14101	SILICE REACTIVA	2	SIL.REACT.	MG/L	COLORIMETRIA
11201	SODIO - COEFICIENTE DE ADSORCION	3	SAR	UNID.REL.	CALCULO POR DIFERENCIA
11105	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	AAS - ASPIRACION DIRECTA
11102	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	AAS
11103	SODIO - DISUELTO	0	NA DIS.	MG/L NA	FOTOMETRIA DE LLAMA
10401	SOLIDOS EN SUSPENSION 105°C	0	SOL.SUSP - 105	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
10408	SOLIDOS EN SUSPENSION 180°C	0	SOL.SUSP - 180	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
16304	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	AUTOANALIZADOR
16301	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	METODO GRAVIMETRICO
16302	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	METODO TURBIDIMETRICO
16303	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	TITULACION
16306	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	COLORIMETRIA
16309	SULFATO	0	SULFATO	MG/L SO4	INTERCAMBIO DE IONES
00125	SUMA DE ANIONES	3	SUMA DE ANIONES	MEQ/L	
00120	SUMA DE CATIONES	3	SUMA DE CATIONES	MEQ/L	
02062	TEMPERATURA	1	TEMP.	°C	TERMOMETRO ELECTRICO
02061	TEMPERATURA	1	TEMP.	°C	TERMOMETRO DE MERCURIO

ANEXO IV

DICCIONARIO DE CODIGOS DE VARIABLES (Orden alfabético)

ESTOS SON LOS UNICOS CODIGOS VALIDOS PARA LOS DATOS DE GEMS/AGUA DURANTE LA FASE II DEL PROGRAMA.  
 LOS CODIGOS QUE YA NO TIENEN VALIDEZ, PERO QUE HAN SIDO USADOS EN EL PASADO, SE INCLUYEN EN EL ANEXO V.

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
02076	TRANSPARENCIA	1	TRANS.	METRO	DISCO SECCHI 30 CM
30105	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
30101	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	COLORIMETRIA
30104	ZINC - DISUELTO	3	ZN DIS	MG/L ZN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30204	ZINC - SUSPENSION	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30205	ZINC - SUSPENSION	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
30004	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	AAS - ASPIRACION DIRECTA
30005	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	AAS - EXTRACCION POR SOLVENTE
30001	ZINC - TOTAL	3	ZN TOTAL	MG/L ZN	COLORIMETRIA
30050	ZINC SEDIMENTOS	3	ZN - SUSPENSION	UG/G	AAS - ASPIRACION DIRECTA

ANEXO V - Codigos de variables obsoletos

ANEXO V

CODIGOS DE VARIABLES OBSOLETOS

LOS SIGUIENTES CODIGOS DE VARIABLES YA NO SON REQUERIDOS EN LA FASE II DE GEMS/AGUA Y SOLO TIENEN VALIDEZ PARA DATOS ANTERIORES

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
01000	SULFURO DE HIDROGENO	2	H2S	MG/L	
03001	LITIO - TOTAL	1	LI TOTAL	MG/L LI	AAS
03002	LITIO - TOTAL	1	LI TOTAL	MG/L LI	EMISION A LA LLAMA
03101	LITIO - DISUELTO	1	LI DIS	MG/L LI	AAS
03102	LITIO - DISUELTO	1	LI DIS	MG/L LI	EMISION A LA LLAMA
06001	CARBONO ORGANICO - TOTAL	0	TOC	MG/L C	
06402	CO2 - DISUELTO	0	CO2 DIS	MG/L	
06510	HIDROCARBUROS POLIAROMATICOS	3	PAH	UG/L	ESPECTRO-FOTOMETRIA DE FLUORESCENCIA
06532	FENOLES	3	FENOLES	MG/L	
06606	CIANURO	3	CN	MG/L CN	COLORIMETRIA
07001	NITROGENO ORGANICO KJELDAHL	1	N KJEL	MG/L N	METODO KJELDAHL
07004	NITROGENO ORGANICO KJELDAHL	1	N KJEL	MG/L N	COLORIMETRIA
07207	NITRITO	2	NO2-N	MG/L N	COLORIMETRIA (SULFANILAMIDA)
07306	NITRATO	2	NO3-N	MG/L N	METODO DE LA BRUCINA
07309	NITRATO	2	NO3-N	MG/L N	ACIDO CROMOTROPICO
07313	NITRATO	2	NO3-N	MG/L N	REDUCCION POR CADMIO
07314	NITRATO	2	NO3-N	MG/L N	METODO DE ALEACION DE DEVARDA
08401	VALOR DE PERMANGANATO	0	V PERM	MG/L O2	
08402	VALOR DE PERMANGANATO	0	V PERM	MG/L O2	DIGESTION DE 4 HORAS
10120	ALCALINIDAD TOTAL	2	ALC.TOT	MEQ/L	TITULACION VISUAL
10121	ALCALINIDAD TOTAL	2	ALC.TOT	MEQ/L	TITULACION ELECTROMETICA

ANEXO V

CODIGOS DE VARIABLES OBSOLETOS

LOS SIGUIENTES CODIGOS DE VARIABLES YA NO SON REQUERIDOS EN LA FASE II DE GEMS/AGUA  
Y SOLO TIENEN VALIDEZ PARA DATOS ANTERIORES

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	Nº DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
10501	SOLIDOS NO VOLATILES EN SUSPENSION	0	SOLIDOS NO VOL. SUSP	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
10511	SOLIDOS VOLATILES EN SUSPENSION	0	SOLIDOS VOL. SUSP	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
10531	SOLIDOS VOLATILES DISUELTOS	0	SOLIDOS VOL.DIS	MG/L	METODO GRAVIMETRICO
10702	SURFACTANTES MBAS ANIONICOS	1	TENS AN	MG/L	MBAS
10705	SURFACTANTES NO ANIONICOS	1	TENS NON	MG/L	MBAS
11001	SODIO - TOTAL	0	NA TOTAL	MG/L NA	AAS
11002	SODIO - TOTAL	0	NA TOTAL	MG/L NA	FOTOMETRIA DE LLAMA
12001	MAGNESIO - TOTAL	0	MG TOTAL	MG/L	COLORIMETRIA
12002	MAGNESIO - TOTAL	0	MG TOTAL	MG/L MG	AAS
12003	MAGNESIO - TOTAL	0	MG TOTAL	MG/L MG	TITULACION EDTA
15103	FOSFORO - DISUELTO	3	P DIS	MG/L P	COLORIMETRIA
15205	ORTOFOSFATO - TOTAL	3	ORTO P TOTAL	MG/L P	COLORIMETRIA
15254	ORTOFOSFATO SOL.REACTIVO	3	PO4-P SOL	MG/L PO4	COLORIMETRIA
15255	ORTOFOSFATO - DISUELTO	3	ORTO P DIS	MG/L P	COLORIMETRIA
15313	FOSFATO INORGANICO - TOTAL	3	P INORG.AH TOTAL	MG/L P	COLORIMETRIA
15364	FOSFATO DISUELTO INORGANICO	3	P INORG AH DIS	MG/L	COLORIMETRIA
15403	FOSFATO - TOTAL	3	PO4 TOTAL	MG/L PO4	COLORIMETRIA
15408	FOSFATO - TOTAL	3	PO4 TOTAL	MG/L P	COLORIMETRIA
15601	ORGANOFOSFORO - TOTAL	3	ORGANO P TOTAL	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA
15621	ORGANOFOSFORO DISUELTO	3	ORGANO P DIS	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA
15901	FOSFORO - SUSPENSION	3	P SUSP.	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA

ANEXO V

CODIGOS DE VARIABLES OBSOLETOS

LOS SIGUIENTES CODIGOS DE VARIABLES YA NO SON REQUERIDOS EN LA FASE II DE GEMS/AGUA Y SOLO TIENEN VALIDEZ PARA DATOS ANTERIORES

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
15921	ORTOFOSFATO - SUSPENSION	3	ORTO P SUSP	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA
15931	FOSFATO INORGANICO EN SUSPENSION	3	P INORG AH SUSP	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA
15961	ORGANOFOSFORO EN SUSPENSION	3	P ORGANO SUSP	MG/L P	CALCULO POR DIFERENCIA
17860	COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS TOTALES	3	COMP ORGANOCCL	UG/L	
18000	P,P-DDT	3	P,P-DDT	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18005	O,P-DDT	3	O,P-DDT	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18010	P,P-DDD	3	P,P-DDD	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18015	O,P-DDD	3	O,P-DDD	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18020	P,P-DDE	3	P,P-DDE	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18025	O,P-DDE	3	O,P-DDE	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18075	ALFA-BHC	3	ALFA-BHC	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18125	MIREX	3	MIREX	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18140	ENDRIN	3	ENDRIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18803	P,P-DDD OLEFIN	3	P,P-DDD OLEFIN	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
18814	BHC	3	BHC	UG/L	CROMATOGRAFIA EN FASE GASEOSA
19001	POTASIO - TOTAL	1	K TOTAL	MG/L K	AAS
19002	POTASIO - TOTAL	1	K TOTAL	MG/L K	FOTOMETRIA DE LLAMA
20003	CALCIO - TOTAL	3	CA TOTAL	MG/L CA	AAS
20004	CALCIO - TOTAL	3	CA TOTAL	MG/L CA	EMISION A LA LLAMA
24101	CROMO - HEXAVALENTE	3	CR HEX	MG/L CR	COLORIMETRIA
36101	ESTREPTOCOCOS FECALES	0	ESTREP.FEC	NO/100ML	FERMENTACION EN TUBOS MULTIPLES

ANEXO V

CODIGOS DE VARIABLES OBSOLETOS

LOS SIGUIENTES CODIGOS DE VARIABLES YA NO SON REQUERIDOS EN LA FASE II DE GEMS/AGUA  
Y SOLO TIENEN VALIDEZ PARA DATOS ANTERIORES

CODIGO	DESCRIPCION ALFABETICA	N° DEC	ABREVIATURA	UNIDADES	METODO
*****	*****	***	*****	*****	*****
36102	ESTREOTOCOCOS FECALES	0	ESTREP.FEC	NO/100ML	MEMBRANA FILTRANTE
36301	RECUESTO FITOPLANCTON	0	RECUESTO FITOP.	NO./L	
36302	BIOMASA DE FITOPLANCTON	1	BIO FITOP	MG/M3	
36303	RECUESTO ESPECIES FITOPLANCTON	0	RECUESTO ESP.FITOP	NO.	
36304	RECUESTO FITOPLANCTON	0	RECUESTO FITOP	NO./ML	
56001	BARIO - TOTAL	1	BA TOTAL	MG/L BA	AAS
56002	BARIO - TOTAL	1	BA TOTAL	MG/L BA	EMISION A LA LLAMA
56101	BARIO - DISUELTO	1	BA DIS	MG/L BA	AAS
56102	BARIO - DISUELTO	1	BA DIS	MG/L BA	EMISION A LA LLAMA
97060	TEMPERATURA - AIRE	1	TEMP-AIRE	°C	

PROGRAMA SOBRE MONITOREO Y EVALUACION GLOBAL DE LA CALIDAD DEL AGUA  
UNEP/WHO/UNESCO/WMO

GUIA OPERATIVA GEMS/AGUA

**CAPITULO X: ANALISIS Y PRESENTACION DE DATOS**

Preparado por  
A.S. Fraser  
National Water Research Institute  
Canada Centre for Inland Waters  
Burlington, Ontario  
Canadá

**INDICE**

1.0	INTRODUCCION .....	1
2.0	UN SOFTWARE DE MICROCOMPUTADORA PARA EL ANALISIS DE DATOS GEMS/AGUA .....	1
2.1	Descripción de RAISON .....	1
2.2	Aplicación de RAISON/GEMS .....	2
3.0	ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS DATOS .....	2
3.1	Visualización de puntos de muestreo .....	2
3.2	Evaluación de datos estándar a nivel global y regional .....	3
	- Gráfico ( <i>box plots</i> ) de percentiles .....	3
	- Distribución de frecuencias .....	4
3.3	Interpretación y presentación de datos a nivel local .....	4
	- Gráficos X-Y y de dispersión .....	4
	- Series temporales .....	5
3.4	Presentación de datos de descarga .....	5
3.5	Cuadros sumarios de datos .....	6

## 1.0 INTRODUCCION

A partir de la Fase II del programa GEMS/Agua, se comenzará a producir anuarios con los datos GEMS/Agua. Estos anuarios, o informes sumarios anuales, consistirán en sumarios estadísticos estandarizados de los resultados del monitoreo de todas las estaciones por país y durante el año de referencia. Después de la clasificación de rutina de los datos remitidos, se analizarán los resultados del monitoreo para detectar cambios significativos o valores inusuales en comparación con los datos anteriores.

Los anuarios incluirán mapas, gráficos y cuadros que permitirán comparar los resultados con los criterios de calidad del agua relativos a su uso. En la medida de lo posible, se proporcionará información sobre carga contaminante para las estaciones de flujo en ríos. Todo el material a ser incluido en el anuario será generado con el software RAISON, desarrollado en el National Water Research Institute de Environment Canada en Burlington, Ontario.

El presente capítulo describe brevemente las posibilidades de RAISON y RAISON/GEMS, el software de aplicación utilizado para la evaluación estadística y numérica cuantitativa de la base de datos GEMS/Agua y presenta ejemplos de salidas típicas que serán incluidas en los anuarios.

## 2.0 UN SOFTWARE DE MICROCOMPUTADORA PARA EL ANALISIS DE DATOS GEMS/AGUA

### 2.1 Descripción de RAISON

La sigla RAISON significa Regional Analysis by Intelligent Systems ON a microcomputer (Análisis Regional Mediante Sistemas Inteligentes en una microcomputadora). RAISON es un sistema de análisis numérico cuantitativo con gráficos GIS (Sistema de Información Geográfica) y funciones de sistemas expertos. RAISON también permite el desarrollo y la aplicación de modelos de simulación y predicción ambiental. RAISON está configurado de forma tal que pueda ser ejecutado en una microcomputadora con un monitor gráfico VGA. El programa se puede usar en cualquier sistema compatible con IBM que tenga suficiente velocidad (se recomienda 386) y capacidad de almacenamiento (se recomienda un mínimo de 40 Mb). El sistema ha sido específicamente desarrollado para satisfacer los requerimientos de evaluaciones e investigaciones de temas ambientales de gran escala. El sistema está integrado por una base de datos, una planilla electrónica y componentes de análisis y gráficos. Cada uno de estos elementos está perfectamente integrado en el sistema general, lo que permite un movimiento transparente y la transferencia de información entre todos ellos.

La base de datos es un sistema basado en esquemas que permite al usuario diseñar la interfaz de la base de datos de acuerdo con sus requerimientos individuales. Las configuraciones definidas por el usuario pueden contener información tanto numérica como alfanumérica. Las bases de datos son muy versátiles ya que permiten combinar diversos tipos de datos en una sola estructura. El programa permite importar/exportar en formatos compatibles con los paquetes comerciales de bases de datos más comunes. Los datos se pueden revisar y corregir directamente en los archivos de la base de datos. La recuperación de los datos se puede hacer directamente desde la planilla electrónica y desde el sistema de mapas así como desde el mismo sistema de base de datos.

Las planillas electrónicas son muy utilizadas para evaluar datos en muchos campos. RAISON tiene una planilla de cálculo totalmente funcional integrada al sistema, de modo tal que las funciones y las relaciones determinadas en forma de planilla de cálculo pueden ser fácilmente transferidas al GIS (Sistema de Información Geográfica) para su manejo y presentación. El menú principal tiene comandos a través de los cuales se accede directamente a los sistemas gráficos y de base de datos. Para el tratamiento de los datos, el usuario dispone de un sistema científico de graficación con posibilidad total para efectuar correcciones y/o modificaciones (*editing*). La planilla electrónica también tiene una serie de funciones predefinidas para el manejo de datos. Las funciones definidas por el usuario se pueden aplicar a las celdas de la planilla de cálculo, lo que permite realizar el análisis numérico en forma rápida y eficiente.

Además de las funciones definidas por el usuario, RAISON cuenta con funciones estadísticas estándar. Desde el menú principal se puede acceder al análisis de distribución de frecuencias, gráficos de percentiles, análisis de regresión y correlación y estadísticas descriptivas estándar. Todos los análisis efectuados dentro del ambiente integrado pueden visualizarse transfiriéndolos al sistema gráfico. El usuario puede construir pantallas de componentes múltiples combinando imágenes numéricas, gráficas y mapas.

RAISON posee además un potente editor de gráficos y un conjunto de funciones para la manipulación y el control de las imágenes. Las funciones incluyen traslación de bloques, control de color por pixel, manipulación de textos para los títulos y demás notas y diversas herramientas de dibujo. El editor de gráficos permite una amplia variedad de formatos gráficos, incluidas las imágenes de *scanners*.

El componente de confección de mapas RAISON y GIS permite la recuperación de mapas en los cuales se puede seleccionar parámetros de múltiples bases de datos y de diferentes características. Se puede tener acceso a estaciones individuales o agrupadas por regiones. Una vez que los resultados numéricos o la información sobre los atributos calculados del mapa han sido analizados, pueden ser transferidos directamente al sistema de confección de mapas. Además, se pueden hacer y presentar dentro del sistema construcciones lógicas de información sobre dichos atributos. La resolución de los mapas depende exclusivamente de la escala empleada al ingresarlos. El sistema permite un enfoque localizado rápido (*zooming*) entre varios mapas con amplio acceso a conjuntos de datos, sea cual fuere la escala elegida. Para seleccionar los mapas y estaciones que se

han de evaluar se emplean íconos. Los datos se pueden recuperar mediante el sistema de mapas, ya sea por estación de monitoreo individual o seleccionando un grupo de estaciones y encerrándolas en un polígono. Todas las estaciones del grupo se ingresan juntas en un solo archivo de trabajo.

El lenguaje macro RPL - RAISON Programming Language (Lenguaje de Programación RAISON), diseñado para acceder a todas las funciones RAISON en modo "batch", permite al usuario construir procedimientos aplicables a archivos múltiples. Esta característica permite, por ejemplo, que un procedimiento determinado pueda ejecutarse estación por estación y que los resultados se recopilen por país, incluidos los mapas y gráficos requeridos para la función de interpretación y comunicación.

El sistema RAISON constituye una base flexible desde la cual es posible emprender una amplia variedad de evaluaciones ambientales e investigaciones. Las características integradas de RAISON incrementan la capacidad del usuario para analizar y evaluar rápida y eficientemente los datos de monitoreo y generar productos de calidad que faciliten la interpretación.

## 2.2 Aplicación de RAISON/GEMS

RAISON/GEMS es el programa de aplicación actualmente empleado para las evaluaciones numéricas cuantitativas y estadísticas de la base de datos GEMS/Agua. Dado que el sistema es de base geográfica, se puede realizar una evaluación interactiva y obtener la visualización de todos los parámetros existentes en los archivos GEMS/Agua utilizando un marco geográfico. RAISON/GEMS ha sido desarrollado para facilitar la interpretación de los datos GEMS/Agua. Al integrar las funciones analíticas de base de datos, planilla electrónica, gráficos y sistema de información geográfica con métodos numéricos y estadísticos, el sistema RAISON/GEMS constituye una herramienta poderosa para interpretar y determinar efectos en el agua a nivel local, regional y global. La estructura de la base de datos permite el empleo de formatos de datos variables. Esta flexibilidad simplifica las operaciones para estudios multidisciplinarios integrados.

Aunque el sistema RAISON incluye funciones de sistemas expertos, la aplicación de RAISON/GEMS no incluye este componente. La capacidad modular de RAISON permite un desarrollo gradual en su uso. La aplicación de GEMS/Agua es completamente funcional para los actuales requerimientos de manejo, análisis y visualización de la base de datos. Si los requerimientos de interpretación de GEMS/Agua aumentan, se puede incorporar esta posibilidad.

Si bien existen muchos y variados métodos para analizar, presentar e interpretar datos referidos a la cantidad y a la calidad de los recursos hídricos, este capítulo tiene por objeto brindar algunos procedimientos básicos que apuntan a simplificar y hacer más coherente el enfoque para los datos GEMS/Agua. La presentación clara y eficiente de los datos puede contribuir en gran medida a facilitar su interpretación. Mediante el uso de una serie de procedimientos estandarizados para el análisis de datos, la presentación de resultados tratados estadísticamente puede contribuir a la identificación de temas de interés y a la determinación de tendencias en las variables de calidad y cantidad del agua. El reconocimiento de tendencias regionales y globales en el sector hídrico puede ayudar a identificar cambios a corto y largo plazo que afecten a grandes sectores de la población mundial.

## 3.0 ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS DATOS

### 3.1 Visualización de puntos de muestreo

Las actividades de monitoreo de GEMS/Agua están centradas en las estaciones. Sin embargo, es conveniente revisar la información a nivel regional y global, además de la que se puede obtener examinando las estaciones de monitoreo individuales. La Figura 1 muestra la ubicación de todas las estaciones de monitoreo existentes en la Fase I para las cuales existe información en los archivos de GEMS/Agua. Estos mapas son útiles para las evaluaciones globales y para identificar la distribución global de los parámetros.



Figura 1. Distribución de las estaciones de monitoreo GEMS/Agua durante la Fase I (1979-1990) del programa.

### 3.2 Evaluación de datos estándar a nivel global y regional

Las investigaciones realizadas a nivel nacional se pueden representar con mayor grado de resolución y claridad. La Figura 2 muestra un primer plano de las estaciones de monitoreo de la Fase I de GEMS/Agua en la India. Estos mapas también se pueden usar con RAISON/GEMS para acceder directamente a las bases de datos con criterios de recuperación selectiva. A partir de este punto, se puede proceder a efectuar análisis numéricos y estadísticos cuyos resultados pueden emplearse en la generación de mapas.



Figura 2. Puntos de monitoreo de GEMS/Agua en la India durante la Fase I del programa.

Para iniciar una evaluación de datos estándar, se pueden construir gráficos (*box plots*) de percentiles para las estaciones individuales o agrupadas en diversos niveles de agregación (por ejemplo, tipos de estaciones a nivel nacional, regional y global). La Figura 3 es un ejemplo de gráfico de percentiles que resume la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) medida en todas las estaciones GEMS/Agua y presentada para las seis regiones globales de GEMS/Agua.

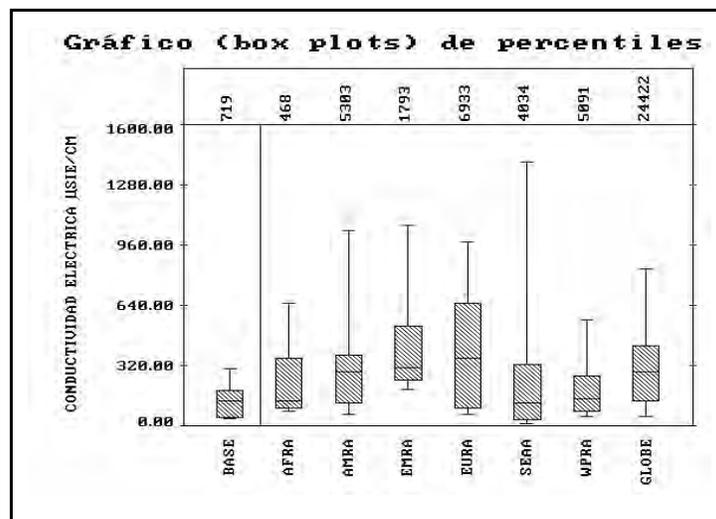


Figura 3. Conductividad eléctrica expresada en percentiles (véase el texto para una explicación detallada).

Las estadísticas usadas son el percentil 10<sup>o</sup>, que es la base extendida de la caja; el percentil 25<sup>o</sup>, que es la base de la caja; el percentil 50<sup>o</sup>, que es la línea horizontal que divide la caja; el percentil 75<sup>o</sup>, que es el borde superior de la caja y el percentil 90<sup>o</sup>, que aparece como el borde superior extendido de la caja. En la parte superior de la Figura 3 se indica la cantidad de muestras utilizadas en cada cálculo.

Los datos presentados corresponden a las cinco regiones de WHO --Africa (AFRA), América (AMRA), Mediterráneo Oriental (EMRA), Europa (EURA), Sudeste Asiático (SEAA) y el Pacífico Occidental (WPRA)-- y se comparan con los datos de las estaciones de base (BASE) y los de todas las estaciones GEMS/Agua (GLOBE).

Al procesar las distribuciones de frecuencia, se puede evaluar e identificar tendencias en los datos, incluso de valores atípicos. La Figura 4 presenta un histograma simple para la variable pH en cada una de las regiones de GEMS/Agua. El número (3) en la figura identifica el método de determinación del pH usado en el análisis. La figura también incluye las distribuciones para los casos globales y de estaciones de base. Cabe destacar que la escala vertical para el caso global difiere de la del resto de la figura.

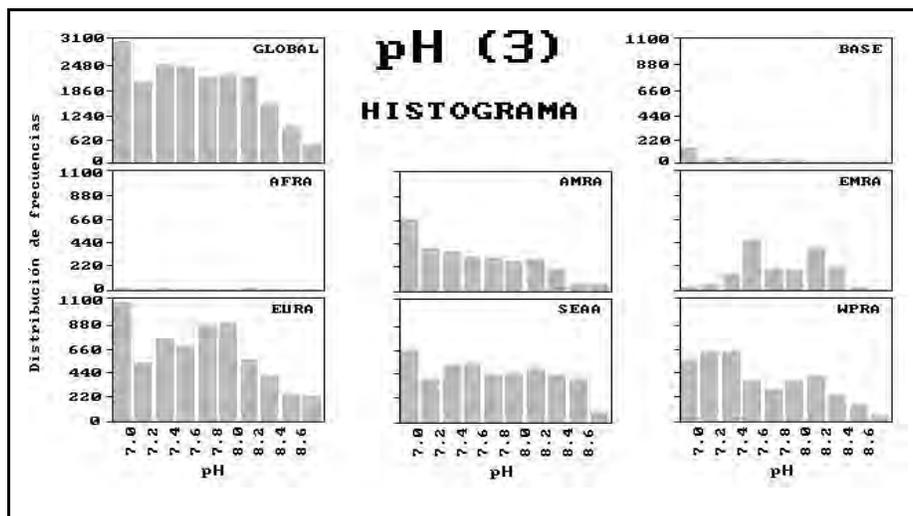


Figura 4. Histograma de frecuencias para el pH en las regiones globales de GEMS/Agua.

### 3.3 Interpretación y presentación de datos a nivel local

La producción y visualización del material gráfico se puede realizar de diferentes formas, según sea el análisis que se esté llevando a cabo. Por lo general, se recomienda gráficos X-Y, de dispersión, series temporales y de regresión para visualizar datos con el objeto de identificar las condiciones de calidad del agua.

Según se muestra en la Figura 5, con el sistema RAISON los gráficos se pueden incluir en los mapas. Este tipo de presentación es muy útil para los informes sobre condiciones ambientales. La Figura 5 brinda un ejemplo para el Río Thika en Kenya, con datos de alcalinidad, calcio, sulfato y pH de una estación individual. Es posible agrupar las estaciones de una cuenca hidrográfica, nación o región mediante la recuperación y el agregado de los datos.

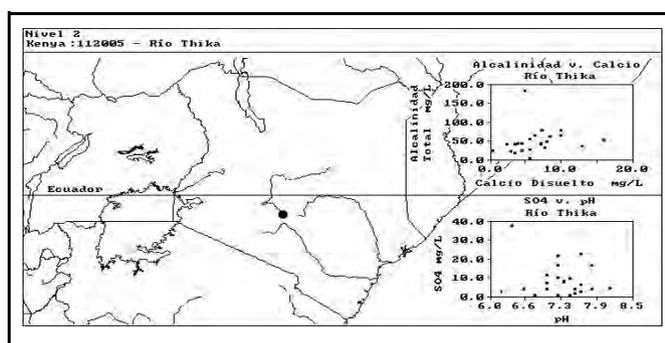


Figura 5. Alcalinidad v. calcio y sulfato v. pH para el Río Thika, Kenya.

Las pruebas estadísticas que emplean análisis de regresión se pueden utilizar tanto para la verificación de la calidad de los datos como para la identificación de tendencias. La Figura 6 es un ejemplo de regresión para el Río Fraser en Canadá.

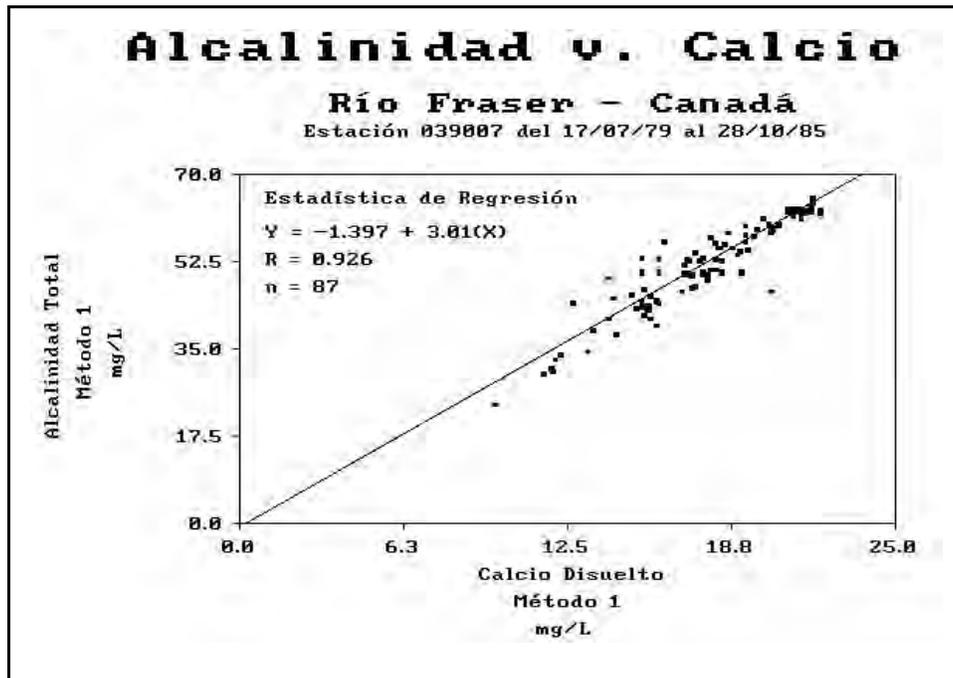


Figura 6. Análisis de regresión para alcalinidad v calcio en el Río Fraser, Canadá.

### Series Temporales

Los criterios y normas de calidad del agua que se establezcan para el abastecimiento de agua potable, riego y uso industrial se pueden visualizar para conjuntos de datos de una estación individual o en forma colectiva para una cuenca hidrográfica. El Huang He de China es un ejemplo de este tipo de análisis (Figura 7).

Los cambios a largo plazo referidos a criterios específicos pueden indicar la aparición de problemas ambientales que debieran tratarse antes de que surjan mayores dificultades en el uso del agua. Al analizar los cambios a largo plazo en la calidad del agua de ríos, el análisis de series temporales de registros de descarga instantánea en combinación con uno o más parámetros específicos permite representar relaciones dependientes y/o independientes con facilidad.

La Figura 8 brinda un ejemplo en el que las concentraciones de sólidos en suspensión y la descarga instantánea en el Río Huang He de China se presentan en serie y en forma simultánea. La figura muestra una relación entre la concentración de sólidos en suspensión y la descarga. Una vez identificadas, este tipo de relaciones puede constituir la base de modelos de procesos determinísticos o estocásticos que pueden dar lugar a mejores políticas de manejo correctivo.

### 3.4 Presentación de datos de descarga

Muchos de los procesos que se producen en los sistemas fluviales están regidos por mecanismos de transporte controlados por el régimen hidráulico. Si se utilizan las medias de descarga mensual a largo plazo, es posible identificar y usar distintos patrones estacionales de caudal para la interpretación de temas referidos a la calidad y a la cantidad del agua. La Figura 9 es un ejemplo de este tipo de análisis para una estación ubicada cerca de la desembocadura del Río Fraser en Canadá.

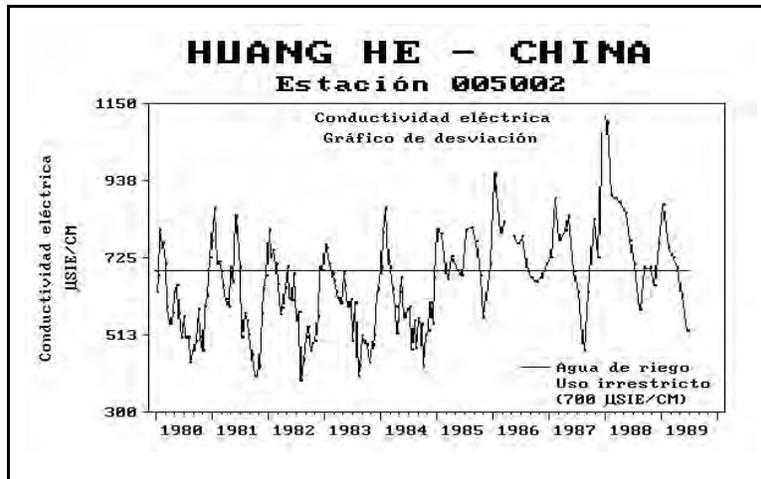


Figura 7. Gráfico de desviación usando el estándar de riego en el Río Huang He, China.

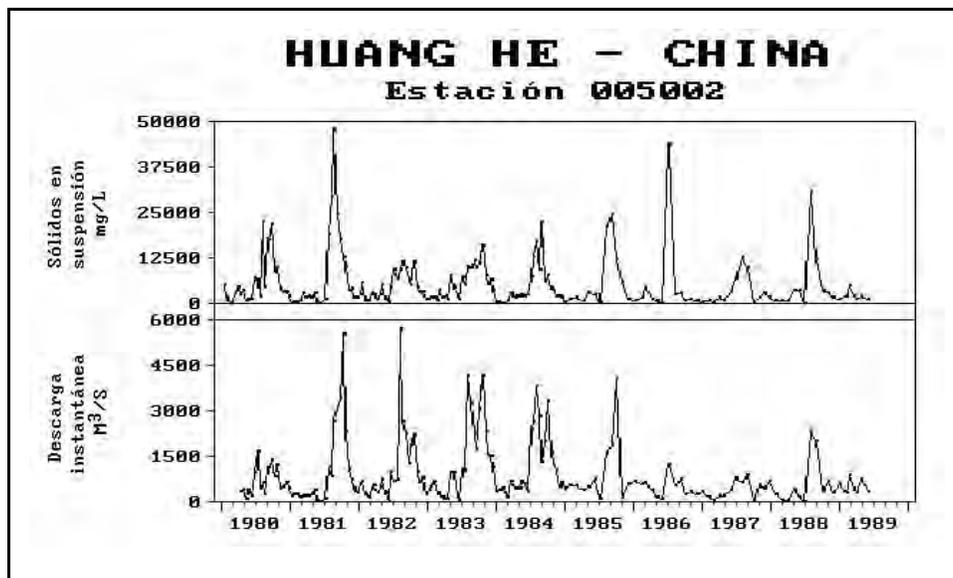


Figura 8. Gráfico de series temporales apiladas para sólidos en suspensión y descarga en el Huang He, China.

### 3.5 Cuadros sumarios de datos

Los sumarios de datos en forma de cuadros estadísticos pueden brindar la información necesaria para muchos componentes de las evaluaciones ambientales. La Figura 10 muestra un cuadro de medianas de una selección de parámetros que describen el registro general y la tendencia de una estación en el Huang He, China. Este tipo de salida se puede construir de distintas maneras. Una de las estadísticas más útiles que se pueden producir como cuadro es la de la mediana, ya que ésta es un indicador robusto de la distribución de los datos. Para identificar los cambios de un año a otro en los valores de los parámetros, las medianas anuales se pueden presentar estación por estación en el tiempo. Los parámetros deben agruparse en un dominio funcional para facilitar su comparación al evaluar diferentes aspectos. Los cambios en los valores son fáciles de detectar e investigar.

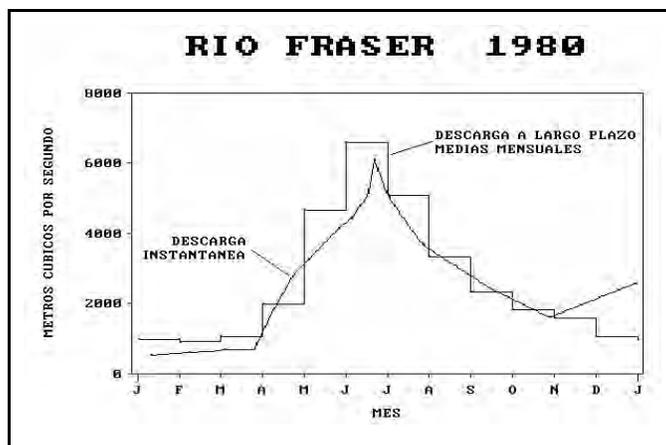


Figura 9. Descarga instantánea media y a largo plazo en el Río Fraser, Canadá.

<b>REGISTRO GENERAL Y TENDENCIA 1982 - 1988</b>								
MEDIANAS ANUALES : HUANG HE CHINA 005002								
NAME		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
COND E	( $\mu$ Sie)	604	615	595	732	720	765	785
TEMP	( $^{\circ}$ C)	15.4	15.2	14.8	15.3	17.1	16.4	15.5
NO2NO3	(mg/L)	1.85	1.95	2.15	2.35	2.34	2.36	2.79
ALC TOT	(meq/L)	3.25	3.15	3.30	2.80	3.30	171.0	169.5
pH		8.1	8.1	8.2	7.9	8.3	8.2	8.0
SS (105)	(mg/L)	4222	5272	2573	2420	1370	1825	2567
ORTO FOS	(mg/L)	0.009	0.020	0.020	0.020	0.009	0.010	0.005
Cl DIS	(mg/L)	62	59	54	68	64	73	74
P P DDT	( $\mu$ g/L)	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.040	0.040
COL FEC	(#/100)	635	592	2917	667	920	730	1025
Hg DIS	( $\mu$ g/L)	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200

NOTE: STARTING 1987 : ALK UNITS = (mg/L) ; DDT IS TOTAL

Figura 10. Valores anuales medianos de parámetros seleccionados (1982-1988) del Huang He, China.

En toda evaluación de la calidad del agua de ríos hay que analizar las variaciones tanto en el año como en el período total de registro. Comparar la distribución de percentiles de los datos de parámetros anuales con la distribución de la frecuencia a largo plazo puede contribuir a identificar alteraciones en la totalidad del sistema. Al detectar tales cambios, es necesario investigar sus causas (por ejemplo, desviaciones de agua, modificaciones en las cargas contaminantes y actividades urbanas, industriales y agrícolas). La Figura 11 brinda un ejemplo de este tipo de cuadros para parámetros seleccionados de una estación en el Río Fraser, Canadá.

<b>RESEÑA ESTADÍSTICA</b>												
039007 : AMRA : R. FRASER CANADA												
NAME	N	AÑO 1985					PERIODO DE REGISTRO					
		MIN	25	50	75	MAX	N	MIN	25	50	75	MAX
COND E ( $\mu$ Sie)	19	102	152	155	162	258	74	5	106	125	152	258
TEMP ( $^{\circ}$ C)	19	-0.5	0.5	2.0	7.0	17.0	87	-0.5	3.0	7.5	12.5	21.9
NO3NO2 (mg/L)	19	0.04	0.10	0.11	0.12	0.13	87	0.00	0.05	0.09	0.12	0.21
ALC TOT (mg/L)	19	43.1	59.6	61.6	63.2	65.2	87	24.0	45.2	51.3	58.4	65.2
pH	19	7.1	7.7	7.9	7.9	8.2	74	7.0	7.7	7.8	7.9	8.2
SS 105 (mg/L)	12	12	20	35	69	85	70	2	18	37	75	475
Na DIS (mg/L)	19	2	4	5	5	6	87	1	2	3	4	6
Si REAC (mg/L)	19	4.0	6.4	6.5	6.7	7.1	87	3.9	4.8	5.8	6.5	7.3
FOS TOT (mg/L)	19	.001	.014	.028	.058	0.10	61	.011	.020	.052	.096	.502
SO4 (mg/L)	19	6	10	11	12	13	07	4	6	0	10	13
Ca DIS (mg/L)	19	15.2	19.5	21.0	21.6	21.9	87	9.5	15.6	17.7	19.4	22.2

Figura 11. Cuadro comparativo de distribución de frecuencias para parámetros seleccionados de una estación en el Río Fraser, Canadá.

Al combinar la información descriptiva que identifica el número y la ubicación (latitud/longitud) de la estación GEMS/Agua, país, nombre de la cuenca y área de drenaje con los ejemplos precedentes de estadísticas descriptivas de las estaciones, las evaluaciones a nivel regional y las reseñas de datos globales, es posible procesarlos e incorporarlos en archivos de informes para su posterior inclusión en los anuarios.

Los ejemplos precedentes describen los tipos básicos de manejo y visualización de los datos que se usarán en el análisis preliminar de los datos GEMS/Agua. Los temas y requerimientos específicos determinarán los tipos de manejo, análisis y presentación de datos que habrá que utilizar para facilitar su interpretación. También se pueden incluir en el anuario otros tipos de análisis que no han sido descriptos en este capítulo; en especial, cuando se requiere de análisis detallados adicionales para destacar los temas de interés general o de amplio alcance ambiental.