

PARTE 1

DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

ÍNDICE

1. Introducción	1-5
2. Propósito del Monitoreo de Calidad de Agua.....	1-5
3. Necesidad de Información para la Gestión	1-6
4. Objetivos Específicos del Monitoreo de Calidad de Agua	1-6
5. Estudio Piloto (Investigación Preliminar).....	1-7
6. Descripción del Área de Monitoreo.....	1-8
6.1 Definición del Área de Monitoreo	1-8
6.2 Condiciones y Procesos	1-8
6.3 Información Meteorológica e Hidrológica.....	1-8
6.4 Cuerpos de Agua.....	1-9
6.5 Usos del Agua.....	1-9
7. Selección de Estaciones de Muestreos.....	1-10
7.1 Ríos y Arroyos	1-10
7.2 Lagos y Reservorios.....	1-11
8. Parámetros de Monitoreo.....	1-12
9. Cronograma de Muestreo.....	1-15

1. INTRODUCCIÓN

Este manual puede ser consultado para implementar el monitoreo de ambientes de aguas superficiales. DINAMA, DINAGUA, OSE, gobiernos municipales y público en general necesitarán información básica a los efectos de crear una metodología que permita el seguimiento de los cambios de la calidad del agua, así como obtener un conocimiento general del estado de sus recursos acuáticos. Mediante el monitoreo se pretende determinar tendencias a largo plazo en la calidad de agua en grandes áreas; pudiéndose aplicar asimismo a diferentes escalas, desde lo nacional a lo local, para que las aguas superficiales sean monitoreadas regularmente. Este manual de monitoreo incluye también la colecta de datos de calidad de agua para determinar el impacto de industrias y rellenos sanitarios en los recursos hídricos.

2. PROPÓSITO DEL MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

La principal razón para el monitoreo de calidad de agua ha sido, tradicionalmente, la necesidad de verificar si la característica del recurso es adecuada para determinados usos. Sin embargo, el monitoreo ha sido desarrollado para determinar tendencias en la calidad de los ambientes acuáticos y cómo el ambiente es afectado por la descarga de contaminantes, por actividades humanas (e.g. procesos de tratamientos de residuos).

El monitoreo y la evaluación de la calidad del agua están basados, en última instancia, en las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua. No obstante, el monitoreo y la evaluación son un proceso de análisis, interpretación y comunicación de esas propiedades dentro del más amplio contexto del uso y actividad humana y la conservación de los recursos naturales. El objetivo final es brindar información útil para la gestión. Las formas, estilos y estrategias de gestión pueden variar dependiendo de las instituciones, los recursos y las prioridades.

El monitoreo y la evaluación de la calidad de agua pueden ser desarrollados desde diferentes perspectivas, combinando en diferentes formas las siguientes metas:

- Uso del agua. ¿Cumple el agua con los requerimientos del usuario en cantidad y calidad? (respecto a estándares definidos)
- Influencias en la calidad del agua por el uso directo o por otras actividades humanas o por procesos naturales. ¿Cuáles son esas influencias?
- Impactos en la calidad del agua (como medio de transporte y tiempo de exposición a potenciales contaminantes).
- Control y regulación de la calidad del agua. ¿Cuál es la capacidad del agua de asimilar contaminantes? ¿Los estándares son adecuados? ¿Las acciones de gestión y estrategias de control son apropiadas y efectivas?
- ¿Cómo varía geográficamente la calidad del agua en relación al uso?
- ¿Cómo ha evolucionado la tendencia en la calidad del agua hasta el estado actual, influenciada por políticas de gestión?
- ¿Qué factores de las actividades pasadas y presentes han y están influenciando la calidad del agua? ¿Qué factores de las actividades planeadas pueden afectar la tendencia futura? ¿Cuál será esa tendencia?

- ¿Cómo influye la calidad del agua sobre el medio ambiente, especialmente en el litoral marino, suelos, biota y humedales?

3. NECESIDAD DE LA INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN

Cuando un plan de monitoreo de calidad de agua es planeado y ejecutado en su totalidad, las autoridades competentes pueden –razonablemente- esperar que los datos e información obtenidos serán de valor para la toma de decisiones aplicadas a la gestión del recurso. Los siguientes son ejemplos del tipo de información que puede ser generada por el monitoreo:

- ¿Cómo se relaciona la cantidad y calidad del recurso en un cuerpo de agua con los requerimientos de los usuarios?
- ¿Cómo se relaciona la cantidad y calidad del recurso en un cuerpo de agua con los estándares de calidad?
- ¿Cómo es afectada la calidad del agua por procesos naturales que ocurren en la cuenca?
- ¿Cuál es la capacidad del cuerpo de agua para asimilar un incremento en la descarga de residuos sin alcanzar niveles inaceptables de contaminación?
- Si existen o no descargas de residuos conformes a normas y estándares de regulación.
- ¿Qué es lo apropiado y efectivo en materia de acciones de gestión y estrategias para el control de la contaminación?
- ¿Cuál es la tendencia de cambios en la calidad del agua como resultado del tiempo de actividades humanas? ¿La calidad del agua puede empeorar como resultado de la descarga de residuos o mejorar como resultado de la aplicación de medidas de control de la contaminación?
- Las medidas de control que deberían ser implementadas para mejorar o prevenir un mayor deterioro de la calidad del agua.
- Las variables químicas o biológicas en el agua que pueden volverse inadecuadas para usos beneficiosos.
- El peligro para la salud humana que resulta o puede resultar de una pobre calidad en el cuerpo de agua.
- ¿Cómo está o será afectada la calidad del agua por actividades o planes de desarrollo en el área a estudio?
- El efecto del deterioro de la calidad del agua en la vida animal y vegetal en o cerca del cuerpo de agua.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

Los siguientes son los objetivos más representativos, que pueden ser usados como una base para el diseño de una red de monitoreo:

- Identificación de las condiciones de base en el sistema de cuerpos de agua (cuenca).
- Detección de cualquier signo de deterioro en la calidad del agua.
- Identificación de cualquier cuerpo de agua en el sistema que no alcance los estándares de calidad del agua.

- Identificación de cualquier área contaminada.
- Determinación de la extensión y efectos de una descarga de residuos específica.
- Estimación de la carga de contaminantes transportado a través del sistema de cuerpos de agua o subsistemas (cuenca o subcuenca).
- Evaluación de la efectividad de la gestión de la calidad del agua.
- Desarrollo de guías y/o estándares de calidad de agua para usos específicos.
- Desarrollo de regulaciones aplicables a la calidad y a la cantidad de descargas de residuos.
- Desarrollo de un programa de control de contaminación del agua.

El diseño de un monitoreo de calidad del agua requiere una investigación preliminar (estudio piloto) para seleccionar las estaciones de muestreo más apropiadas; tomando en cuenta los usos actuales y potenciales del agua, actuales y potenciales fuentes de contaminación, operaciones de control de la contaminación, condiciones geoquímicas locales y tipo(s) de cuerpo de agua. Los datos obtenidos durante el monitoreo deberían ser compartidos entre las instituciones relevantes incluyendo los gobiernos locales.

5. ESTUDIO PILOTO (INVESTIGACIÓN PRELIMINAR)

Las investigaciones preliminares que cubran el área a monitorear son muy importantes. Esta actividad preliminar facilitará la identificación en el terreno de las secciones del cuerpo de agua más críticas en términos de calidad de agua. Esta investigación ajustará las estaciones previamente diseñadas en escritorio a las condiciones del terreno y al cuerpo de agua, pero debe abarcar lo suficiente como para contemplar la total extensión del curso de agua y de sus tributarios. También es conveniente que esta investigación sea realizada teniendo en cuenta toda la información antecedente, previamente obtenida, para tener una guía útil.

Cuando se comienza con el programa de monitoreo, es útil empezar con un proyecto piloto. Entre otras cosas, esto será una buena ocasión para ganar experiencia de campo para aquellos que están empezando a realizar este tipo de trabajos y además confirmará cuáles componentes del programa pueden ser implementadas como fueron planeados. Puede ser también útil para evaluar la red de muestreo y proveer información acerca de si es necesario coleccionar más (o menos) muestras para incrementar el conocimiento en cuanto a la calidad del agua en varios puntos del curso de agua y de sus tributarios.

El estudio piloto o investigación preliminar ayudará además a ajustar los aspectos de logística necesarios para ejecutar satisfactoriamente el monitoreo. Por ejemplo, se comprueba el acceso a las estaciones de muestreo y los aspectos a tener en cuenta para cada sitio seleccionado. En la realidad, los sitios de muestreo pueden ser evaluados como impracticables por una variedad de razones, entre ellas dificultades de transporte y acceso. De forma similar, las metodologías a emplear durante los muestreos, tales como los medios de transporte, técnicas de análisis de campo o preservación y transporte de muestras, también serán evaluadas y oportunamente ajustadas. Especialmente deben ser ajustados con precisión los volúmenes requeridos para las muestras que serán analizadas posteriormente en laboratorio, así como los métodos de preservación y transporte de esas muestras.

Las investigaciones preliminares también brindan oportunidades para capacitar al personal y para asegurar que los miembros del mismo participen en el proceso de planeamiento. Este involucramiento, sumado a la ejecución de investigaciones preliminares, a menudo puede evitar problemas e ineficiencias importantes que de otra forma podrían surgir.

6. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE MONITOREO

6.1 Definición del Área de Monitoreo

El programa de monitoreo abarca todo el sistema de cuerpos de agua (la cuenca) del área a estudio (río principal y todos sus tributarios, tales como arroyos, cañadas, zanjas, canales, así como los lagos y estanques que descargan en el río o en sus tributarios)

En caso de que la cuenca sea muy extensa, resulta conveniente dividir el área en subcuencas más pequeñas. En este caso, cada subcuenca es hidrológica y ecológicamente discreta y constituye una unidad lógica para el planeamiento y la gestión del uso del agua y para el monitoreo de la calidad del agua. La dinámica de la calidad del agua en el curso superior y las fuentes de contaminantes que pueden afectarla, pueden ser relacionadas con los efectos aguas abajo. La descripción del área de estudio incluye el tamaño de la cuenca o subcuenca en km², su localización geográfica y la identificación y descripción de cada cuerpo de agua incluido en el área.

6.2 Condiciones y Procesos

Las características ambientales en el área a estudio deberán ser descritas tan completamente como sea posible. Estas características tienen un efecto en la calidad del agua y pueden ser útiles como contexto y referencia para el análisis de los datos cuando sean evaluados.

En particular, deberán describirse -como mínimo- las siguientes características:

- Clima
- Geología (composición de la roca)
- Edafología (composición del suelo)
- Geomorfología (forma del suelo)
- Vegetación (terrestre y acuática)
- Fauna
- Actividades humanas, incluyendo:
 - Población
 - Urbanización (ciudades, pueblos)
 - Infraestructura vial (rutas, caminos, puentes)
 - Uso del suelo (industria, agricultura, forestación, recreación, etc.)

6.3 Información Meteorológica e Hidrológica

Las precipitaciones sobre la cuenca (intensidad, frecuencia, máximos) y la escorrentía asociada son muy importantes, especialmente cuando el programa incluye el monitoreo

de flujos o cargas en suspensión de materiales erosionados. Algunas técnicas de interpretación de datos también requieren información hidrológica confiable. Se pueden obtener datos e información confiable de caudales si existen estaciones de aforo o centrales de generación hidroeléctrica cercanas al punto de muestreo.

En caso de que no existan estas fuentes de información, el caudal puede estimarse a partir de la estación de aforo más cercana. Como último recurso se puede estimar el caudal mediante cálculos a partir de la precipitación en la cuenca, el área de superficie, un factor de escorrentía y un factor que involucra el tiempo de flujo, aún cuando los valores medidos son mucho mejores que los estimados. En caso que sea necesaria realizar una estimación, deberá contarse con un hidrólogo experto.

6.4. Cuerpos de Agua

Los reservorios y lagos en la cuenca pueden ser descritos por el área del espejo de agua, profundidad y, si es posible, volumen (calculado a partir de cartas batimétricas) y tiempo de residencia. El tiempo de residencia teórico de un lago puede variar desde meses en un lago de aguas someras hasta algunas décadas en grandes lagos. Desde el punto de vista limnológico, la mayoría de los lagos presentan mezcla incompleta. Esta característica afecta profundamente el tiempo de retención ya que los lagos no tienen un comportamiento homogéneo en la columna de agua.

La composición del agua en un lago o reservorio está influenciada por el balance ingreso-egreso de caudales, por intercambios entre la columna de agua y los sedimentos depositados en el lecho y por la materia orgánica como expresión de actividad biológica. Los mayores efectos se producen por el ingreso de caudales de los tributarios que pueden traer un amplio rango de materiales tanto orgánicos como artificiales. Pueden haber también descargas puntuales directamente en los lagos tales como efluentes de aguas servidas o desagües industriales, y descargas difusas provocadas por el drenaje de áreas cultivadas, fuentes subterráneas y precipitaciones. Los mayores efectos de los egresos de masa de agua están relacionados a la descarga en los ríos o a la toma directa para uso público, agrícola o industrial. A estos egresos se debe sumar las pérdidas por evaporación y percolación.

Los ríos y arroyos deben ser descritos por sus dimensiones y caudales. La utilización de un hidrógrafo, si está disponible, suministra información particularmente útil. Un mapa que describa la cuenca y el curso del río debe estar incluido en la información descriptiva. En ese mapa deberá estar representada información significativa como caídas, rápidos, secciones anchas o angostas; además deberá contemplar estructuras producto de la actividad humana tales como rutas, puentes, represas, diques de contención, estaciones de aforo, etc. La descripción de los caminos y vías en el área de monitoreo deberá además describir su disponibilidad de uso durante el año. Esta información es útil para su consideración en la planificación de los muestreos.

6.5 Usos del Agua

Los usos actuales del agua deberían ser conocidos en el área de monitoreo. Algunas formas de uso descargan el agua nuevamente en el cuerpo en peores condiciones en las que fue tomada, llegando, en algunos casos, a provocar contaminación orgánica, física o química. Una excepción posible podría ser los efectos provocados por la presencia y

funcionamiento de las plantas de generación hidroeléctrica, donde se puede constatar disminución de sólidos suspendidos e incremento de oxígeno disuelto.

Todo tipo de uso de agua que esté planificado, aún cuando no esté implementado, debe estar incluido en la información a recabar e incluida en el informe. Este informe puede ser complementado con una identificación de los puntos de posibles fuentes de contaminación.

El **Cuadro 1.1** presenta someramente los diferentes tipos de sitios de monitoreo a considerar y posibles objetivos de programa.

Cuadro 1.1 Sitios de Muestreo y sus Objetivos

Sitio de Monitoreo	Ubicación	Objetivos
Información de línea de base	Lagos de cabecera de cuenca o cursos superiores de río en estado natural	Establecer condiciones naturales de calidad del agua. Proporcionar una base de comparación con estaciones que tienen un impacto significativo (tal como está representado por estaciones de tendencias y de flujo global). Comprobar la influencia de transporte de contaminantes a larga distancia.
Información de tendencia	Cuencas de grandes ríos o lagos	Comprobar los cambios a largo plazo en la calidad del agua. Proveer información para identificación estadística de las posibles causas de condiciones relevadas o tendencias.
Sitio de flujo de río global	Desembocadura de los principales ríos	Determinar los flujos de contaminantes críticos desde las cuencas de los ríos hacia mares oceánicos o regionales. Algunas estaciones o ríos de tendencia también sirven como estaciones de flujo global.

Fuente: Programa de Monitoreo GEMS/WATER.

7. SELECCIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO

La selección de estaciones de muestreo requiere que estas cumplan con los objetivos del monitoreo, para lo cual es importante contar con algún conocimiento de la geografía de la cuenca, así como el uso del agua y de toda descarga que pueda haber. Las estaciones de muestreo pueden ser marcadas en un mapa o en una fotografía aérea, como referencia, pero la decisión final acerca de la ubicación precisa de las estaciones de muestreo puede hacerse sólo después de la investigación de campo.

7.1 Ríos y Arroyos

Como regla general las estaciones de muestreo en los ríos deberían ser seleccionadas en función de que el agua esté lo suficientemente mezclada como para que una muestra sea representativa. La mezcla lateral y vertical de una descarga de residuos o de un tributario en el río puede ser lenta, particularmente si el flujo en el río es laminar y el agua tiene diferentes temperaturas. La mezcla completa de tributarios y corrientes principales pueden no suceder en distancias considerables, en algunos casos hasta kilómetros aguas debajo de la confluencia.

La zona de mezcla completa puede ser estimada a partir de los valores que se presentan en el **Cuadro 1.2**. Sin embargo, en caso de duda, la extensión en que sucede la mezcla puede ser chequeada por medición de temperaturas o por otras características variables en algunos puntos a través del ancho del río. Si hay rápidos o caídas de agua en el río, la mezcla es mucho más rápida. Debe tenerse en cuenta que el oxígeno disuelto se incrementa luego de este tipo de turbulencias, por lo que la extracción de muestras con este objetivo deben tomarse aguas arriba. De esta forma se evita la posibilidad de encontrar una saturación o sobresaturación de oxígeno que no es representativa.

Cuando se considera que en el curso de agua no hay homogeneidad, se deberán tomar varias muestras en todo el ancho del río para cubrir la posibilidad de mezcla incompleta.

Cuadro 1.2 Distancia Estimada para Mezcla Completa en Ríos y Arroyos.

Ancho medio (m)	Profundidad media (m)	Distancia estimada para mezcla completa (km)
5	1	0,08 – 0,7
	2	0,05 – 0,3
	3	0,03 – 0,2
10	1	0,3 – 2,7
	2	0,2 – 1,4
	3	0,1 – 0,9
	4	0,08 – 0,7
	5	0,07 – 0,5
20	1	1,3 – 11,0
	3	0,4 – 4,0
	5	0,3 – 2,0
	7	0,2 – 1,5
50	1	8,0 – 70
	3	3,0 – 20
	5	2,0 – 14
	10	0,8 – 7,0
	20	0,4 – 3,0

Un puente es un lugar adecuado para establecer una estación de muestreo cuando se encuentra dentro de las áreas identificadas para monitoreo. Es fácilmente accesible y claramente identificable, y la estación puede ser descrita con precisión. Además los puentes son usados con frecuencia para establecer estaciones de aforo hidrológico y, si es así, uno de los pilares del puente tiene una regla marcada, lo que permite recabar datos de caudal en el momento del muestreo. Normalmente una muestra tomada desde

el puente en el medio de la corriente o canal principal, en un río completamente mezclado, representará adecuadamente toda el agua en ese río.

7.2 Lagos y Reservorios

Los lagos y reservorios en general pueden estar sujetos a diversas influencias, que causan la variación de la calidad del agua en las escalas espacial y temporal. Cuando no se dispone de información previa, es aconsejable realizar una investigación preliminar para asegurar que las estaciones de muestreo finalmente seleccionadas serán realmente representativas del cuerpo de agua. Cuando los tributarios o descargas incorporan agua al lago o reservorio, puede haber áreas locales donde el agua que ingresa está concentrada porque no ha habido todavía una mezcla con el cuerpo de agua principal. Con frecuencia, las bahías aisladas o ensenadas estrechas de los lagos están pobremente mezcladas y pueden contener aguas de diferente calidad que las del resto del lago. La acción del viento sobre la superficie de un lago puede provocar una heterogeneidad en la masa de agua (e.g. cuando el viento actúa a lo largo de un lago estrecho y largo causa una alta concentración de algas en un extremo).

Si existe una buena mezcla horizontal, una única estación de muestreo cercana al centro o a la sección más profunda del lago puede ser –normalmente- suficiente para el monitoreo de tendencias de largo plazo. Cuando el lago es grande puede haber bahías o tener varios sitios más profundos. En este caso es necesario establecer más de una estación para reflejar la situación de cada uno de los sitios diferentes incluidos en el mismo lago.

El acceso a las estaciones de muestreos de un lago o reservorio se realiza generalmente en bote y los puntos deberán ser descritos según marcas de tierra o, si está disponible, por coordenadas de GPS. Estos datos deben estar incluidos en la descripción de la estación en la planilla de campo, para facilitar posteriores regresos al mismo sitio para muestreo.

8. VARIABLES DE MONITOREO

La calidad del agua puede ser descrita por una única variable o por cualquier combinación de más de 100 variables. Para la mayoría de los propósitos puede ser adecuadamente descrita por menos de 20 características físicas, químicas y biológicas. Las variables elegidas para el programa de monitoreo dependerán de los objetivos del programa y de los usos del agua, tanto actuales como pasados. El agua potable de uso doméstico, riego aplicado a la agricultura, abrevadero de ganado, usos industriales y recreacionales pueden requerir una calidad de agua específica. La selección de las variables a incluir en el programa de monitoreo requerirá un compromiso entre "querer conocer" y "necesitar conocer". Se deben tener presentes aquellos parámetros que deben ser medidos para cumplir con los objetivos básicos del programa.

La combinación más simple de variables es la temperatura, conductividad eléctrica (CE), iones H^+ (pH), oxígeno disuelto (OD) y sólidos suspendidos totales (SST). Estas variables proporcionan el mínimo de información para realizar una primera evaluación, básica y general, de la calidad del agua a estudio. Programas más complejos pueden analizar más de 100 variables, incluyendo metales y contaminantes orgánicos. Además,

el análisis de la biota (plancton, bentos, necton y otros organismos) y la materia particulada (sedimentos y partículas suspendidas) pueden agregar información valiosa.

En el **Cuadro 1.3** se presentan las variables de calidad de agua consideradas en el Decreto 253/79. A las mismas se les asignan valores límites, o estándares, que están destinados a la prevención de la contaminación del agua. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que más, o posiblemente menos, variables sean necesarias de monitorear, de acuerdo a los tipos de fuentes y tipos de contaminación existentes en la cuenca del río.

En algunos programas de monitoreo, la sospecha de que existen condiciones de contaminación del agua se considera como una razón para decidir análisis específicos de variables de calidad del agua. Otra posible razón es determinar si el agua es adecuada para determinado uso. Algunas variables pueden ser parte del programa de monitoreo básico, mientras que otros monitoreos serán específicos para determinar los niveles de contaminación, o para usos planificados.

Cuadro 1.3 Variables de calidad de agua para un monitoreo de línea de base

Variables
Olor
Sustancias flotantes y espuma
Color
Turbiedad (UTN)
pH
Oxígeno disuelto (OD)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) (mg/l)
Demanda química de oxígeno (DQO) (mg/l)
Grasas y aceites (mg/l)
Detergentes (mg/l)
Fenoles como C ₆ H ₅ OH (mg/l)
Amonio como N (mg/l)
Nitrato como N (mg/l)
Fósforo total como P (mg/l)
Sólidos suspendidos (SS) (mg/l)
Índice de absorción de Sodio
Coliformes fecales (UCF/100 ml)
Cianuro (mg/l)
Arsénico (mg/l)
Boro (mg/l)
Cadmio (mg/l)
Cobre (mg/l)
Cromo total (mg/l)
Mercurio (mg/l)
Níquel (mg/l)
Plomo (mg/l)
Zinc (mg/l)
Pesticidas (µg/l)

En la siguiente lista se describen las variables que deben ser investigadas de acuerdo a objetivos específicos:

- Las descargas de aguas negras (efluentes domésticos) y las descargas de mataderos, industrias de alimentos y agroindustrias tienen un alto contenido de materia orgánica. Para analizar este aspecto las variables a medir son demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno orgánico disuelto, fósforo total y coliformes fecales.
- La eutroficación es una consecuencia del ingreso de nutrientes en aguas superficiales, ya sea por descarga puntual o por escurrimiento de aguas sobre suelos con actividad agrícola. Las variables a estudiar son nutrientes tales como nitratos, amonio y fósforo total.
- Las prácticas agrícolas y la irrigación pueden resultar en una excesiva concentración de ciertos elementos y componentes en los cuerpos de agua afectados (particularmente nitratos y fósforos de los fertilizantes, así como pesticidas y herbicidas). Las actividades agrícolas pueden además provocar erosión. Las variables a ser estudiadas para determinar un uso agrícola específico incluyen sólidos disueltos, sólidos suspendidos totales, boro, sodio, calcio, magnesio y coliformes fecales (dependiendo del objetivo de aplicación agrícola deseado)
- Los pesticidas y herbicidas usados en agricultura frecuentemente causan contaminación tanto en aguas superficiales como subterráneas. Los programas de monitoreo deben tener en cuenta la información disponible concerniente a tipos, cantidades y persistencia de los químicos agrícolas usados en el área de monitoreo, sus características y patrones de aplicación. Algunas de las variables que deberían ser medidas son aldrin, dieldrin, clordano, DDT, glifosato, endosulfan, endrin, lindano, heptacloro, mirex, metoxycoloro, 2,4D; 2,4,5T; 2,4,5TP; paratión y compuestos aromáticos.
- Los efluentes industriales pueden contener tóxicos de origen químico, orgánicos, inorgánicos o ambos, dependiendo de los procesos industriales. Resulta fundamental tener algún conocimiento de los procesos industriales involucrados en el área a estudio, el cual debe ser tenido en cuenta para seleccionar cuáles variables deberían ser analizados. Los ejemplos de variables de la calidad del agua que deberían ser medidas en aguas industriales son sólidos totales, DBO, DQO, fenoles, cianuro, arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, hierro, mercurio, níquel y zinc.
- Los efluentes y lixiviados provenientes de depósitos de residuos sólidos pueden afectar muy severamente las aguas superficiales y subterráneas. Las variables a ser incluidos en un programa de monitoreo, en el análisis de este efecto, son los metales, tanto sus fracciones particuladas como las disueltas.
- El proceso de acidificación de lagos, ríos y aguas subterráneas pueden resultar del transporte de largo plazo de contaminantes atmosféricos. El agua de drenaje con frecuencia provoca la acidificación de los cuerpos de agua. Las aguas que están en proceso de, o expuestas a procesos de acidificación deben ser estudiadas por la evolución de las variables tales como fracciones de metales (cadmio, cobre y zinc) así como el pH y alcalinidad.

- La Toxicidad es el potencial de una sustancia para causar efectos negativos sobre organismos vivos (microorganismos, plantas, animales, seres humanos). Las pruebas de toxicidad se utilizan para detectar y predecir los efectos nocivos de los químicos sobre la población, comunidades y ecosistemas. Es sabido que las pruebas químicas y físicas por si solas no son suficientes para evaluar los efectos potenciales de mezclas de residuos complejas sobre la biota acuática, ya que las técnicas analíticas existentes y los conocimientos actuales sobre toxicidad química y la interacción de los mismos son limitados. Además, la composición química completa de una muestra es desconocida, algunas sustancias tóxicas no están incluidas en la lista de variables controladas (por ejemplo, compuestos orgánicos clorados) o la exactitud de la medición no es satisfactoria. En la mayoría de los casos falta información sobre la fracción biológica disponible de los contaminantes que exceden los criterios de calidad genéricos. Por lo tanto, puede cuestionarse hasta que medida estos contaminantes realmente tienen efectos sobre los ecosistemas. Para adquirir más conocimiento sobre la toxicidad potencial de aguas contaminadas se utilizan pruebas biológicas: se mide el efecto tóxico de la muestra (agua natural, aguas residuales, suelo, etc.) sobre organismos vivos (peces, cladoceros, algas, bacterias, etc). Por lo tanto, la medida de toxicidad es una visión integral de la suma de todos los componentes interactivos en la muestra. Se realizan pruebas agudas y crónicas, y la utilización de una batería de pruebas de varias especies que representen diferentes niveles tróficos mejoran ampliamente la exactitud del bioensayo en las muestras ambientales.

9. CRONOGRAMA DE MUESTREO

La frecuencia de muestreo en estaciones donde la calidad del agua varía considerablemente debería ser más alta que en las estaciones donde la calidad del agua permanece relativamente constante. La determinación de la frecuencia debería estar precedida y apoyada por una investigación preliminar (ver punto 5) y comenzar con un cronograma fijo de muestreo, pudiendo ser revisada y ajustada según las necesidades.

La frecuencia de la toma de muestras debe ser suficiente como para permitir un cálculo seguro de las concentraciones medias de los parámetros incluidos en el programa de monitoreo. La frecuencia requerida para obtener un nivel esperado de confianza en los valores medios dependerá de índices estadísticos, tales como la desviación estándar y el intervalo de confianza.

La frecuencia de muestreo según sea para recopilación de información de base o tendencias, de acuerdo a recomendaciones de GEMS/WATER, se presenta en el **Cuadro 1.4:**

Cuadro 1.4 Frecuencia de Muestreo Recomendada

Cuerpo de agua		Frecuencia de muestreo	
Estaciones de línea de base	Arroyos	Mínimo	4 por año, incluyendo etapas de alto y bajo caudal
		Óptimo	24 por año (cada segunda semana); semanalmente para sólidos suspendidos
	Lagos de cabecera	Mínimo	1 por año, muestreado en la descarga del lago
		Óptimo	1 por año y 1 perfil vertical al final de la estación de estratificación
Estaciones para análisis de tendencias	Ríos	Mínimo	12 por año en áreas de drenaje grandes (aprox. 100.000 km ²)
		Máximo	24 por año para áreas de drenaje menores (aprox. 10.000 km ²)
	Lagos/reservorios (sin eutrofización)	Mínimo	1 por año
		Máximo	2 por año, una de las cuales debe ser durante la estratificación térmica
	Para eutrofización		12 por año, incluyendo muestras quincenales durante el verano.

El intervalo de tiempo entre las tomas de muestras dependerá del cuerpo de agua y sus características específicas. También es importante observar que el cronograma de muestreo debe cubrir la capacidad del laboratorio y los recursos humanos y la disponibilidad de logística. Un intervalo de un mes entre las tomas de muestras individuales en cada estación es generalmente adecuado para la caracterización de la calidad de agua en largos períodos de tiempo (por ejemplo, durante un año en un río). Sin embargo, si no es realista a intervalos regulares sostenibles debido a las razones arriba mencionadas, un muestreo bimensual puede ser aceptable. Por otro lado, para propósitos de control será más adecuado un muestreo semanal. En caso de detección o sospecha de diferencias significativas, las muestras tienen que ser tomadas en forma diaria o realizar un muestreo continuo.

Las muestras individuales de una estación dada deben ser obtenidas a aproximadamente la misma hora del día, tanto como sea posible, dado que la calidad del agua puede variar en el transcurso del día. En caso que sea de interés, para el estudio o el objetivo planteado, detectar variaciones diarias de calidad o máximos (y mínimos) de concentraciones de contaminantes en un efluente, entonces el muestreo debe realizarse a intervalos regulares durante el día (cada dos o tres horas). Las condiciones extraordinarias de caudal son también de interés dado que es en los momentos de máximo y mínimo flujo cuando son alcanzados los valores extremos de calidad del agua. Por ejemplo, cuando el caudal está en su pico máximo, usualmente el cuerpo de agua arrastra la máxima carga de material en suspensión, mientras que los contaminantes pueden estar en la máxima concentración en caso de mínimo caudal. Las violaciones a la norma de descarga de efluentes y su gravedad respecto a las afectaciones causadas en el medio ambiente serán más fácilmente detectadas durante períodos de mínimo caudal. El régimen de muestreo debe considerar estos factores.

PARTE 2

MÉTODOS DE TRABAJO DE CAMPO Y MUESTREO

ÍNDICE

1. Introducción.....	2-5
2. Frascos y Contenedores de Muestras.....	2-5
3. Tipos de Muestras.....	2-6
3.1 Aguas Superficiales	2-6
3.2 Sedimentos.....	2-7
4. Muestreadores de Agua	2-7
5. Procedimientos de Muestreo	2-8
5.1 Muestras para Análisis Físico y Químico.....	2-8
5.2 Muestras para Análisis Bacteriológico	2-9
5.3 Procedimiento de Muestreo de Canillas o Salida de Bomba.....	2-9
6. Registro de la Información Recabada en Campo	2-10
7. Preservación de Muestras	2-10
8. Transporte y Almacenamiento de las Muestras.....	2-10

1. INTRODUCCIÓN

En esta parte del Manual se tratan los métodos y prácticas que deben cumplirse al realizar el muestreo, transporte y conservación de las muestras, que se miden y analizan en el laboratorio. Asimismo, se describen los aparatos y recipientes que deben utilizarse para el muestreo. Cada laboratorio definirá específicamente las condiciones de los frascos y conservación de las muestras, por lo que lo que aquí se describe es una recomendación.

2. FRASCOS Y CONTENEDORES DE MUESTRAS

Los recipientes adecuados para el almacenamiento y transporte de la muestra deberán ser provistos por el laboratorio. Esto asegura que los recipientes son los apropiados para el volumen de cada muestra a ser analizada según los objetivos planificados, incluyendo la adición de preservantes estabilizadores cuando corresponde. Es esencial comprobar que el número de recipientes y los volúmenes de cada uno sea suficiente para obtener todas las muestras en la campaña que se planifica.

Los recipientes serán únicamente usados con el objetivo específico y no deben ser usados para almacenar químicos u otros líquidos. Los frascos de vidrio son comúnmente usados y son apropiados para muestras para varios tipos de análisis. Por otro lado, los frascos de plástico son más usados para algunos análisis químicos, para biota o para sedimentos. El plástico tiene la obvia ventaja de ser menos frágil que el vidrio y más liviano para transportar.

3. TIPOS DE MUESTRAS

3.1 Aguas Superficiales

Dependiendo de los objetivos del trabajo a ser llevado a cabo, existen dos tipos principales de metodologías para la extracción de muestras: muestras simples y muestras compuestas.

Las muestras simples son aquellas que se toman en forma puntual, ya sea con el propio frasco o con botella muestreadora, éstas identifican lo que sucede en un sitio en un momento determinado; este tipo de muestra es el más frecuente.

Las muestras compuestas o integradas se pueden dividir a su vez en dos grupos: las que integran espacios de tiempo y las que integran áreas. Las primeras permiten asociar los valores de análisis a un espacio de tiempo, las segundas permiten asociar los valores obtenidos a un área particular. Este tipo de muestra se utiliza para proyectos particulares con objetivos particulares.

A continuación se describen con más detalle ejemplos de muestras integradas, junto con varios muestreos integrados. El concepto principal de la integración de muestras es la de realizar una sola muestra a partir de una cantidad de muestras determinada previamente, que depende de la variación del parámetro a ser medido. Esto permite ver la afectación del parámetro en diferentes espacios.

Integradas por profundidad: se obtienen diferentes muestras a diferentes profundidades, y luego se unifican. Para la obtención de este tipo de muestras se pueden utilizar botellas de muestreo, o bombas de superficie o sumergibles.

Integradas por área: se extraen muestras de volúmenes similares en diferentes sitios de muestreo preestablecidos, en un área a ser relevada, estableciéndose previamente las profundidades de extracción de las muestras y parámetros como distancia a la costa, etc.

Integradas por tiempo: se toman muestras de volúmenes iguales a intervalos conocidos en un mismo sitio de muestreo.

Integradas de efluentes: se deben tomar muestras de los efluentes y medir las tasas de descarga a intervalos de tiempo definidos (comúnmente se utiliza cada 2 hrs. durante un período de 24 hrs.), para luego integrar la muestra en proporción a los diferentes caudales de efluente. El volumen de cada muestra dependerá entonces de los caudales diferenciales que son consecuencia del proceso que se está midiendo.

3.2 Sedimentos

Es necesario coleccionar las muestras de sedimentos con las mínimas perturbaciones, con el objetivo de no perder la porción más fina y superficial. También porque la composición y distribución vertical de los sedimentos resulta de importancia (por ejemplo, cuando es necesario establecer registros históricos o tasas de deposición). Siempre es necesario utilizar instrumental apropiado como dragas y/o corer; de los cuales hay varios modelos. La colecta y almacenamiento de las muestras de sedimentos requieren un manejo especial con el objeto de evitar su contaminación, más aún cuando los valores esperados de las variables a analizar son bajos. Las precauciones a tomar dependen de las variables que se vayan a analizar.

Para análisis de metales, por ejemplo, ningún material que tome contacto con la muestra deberá ser de metal, pudiendo ser de plástico o de vidrio. Para la extracción de la muestra se puede utilizar una draga galvanizada, de cualquier manera es muy importante que no se utilice la porción de muestra que haya estado en contacto con los metales. Todos los materiales deben ser lavados con ácido y enjuagados apropiadamente.

Para el análisis de micro contaminantes orgánicos no se puede utilizar ningún tipo de equipamiento ni contenedor plástico, sino que los equipos metálicos apropiadamente lavados son los recomendados. Con el objeto de obtener muestras para análisis de fósforo es necesario que los equipos y recipientes de transporte de muestras sean lavados con detergentes libres de fosfato.

4. MUESTREADORES DE AGUA

Para la obtención de las muestras de agua de profundidad es necesario contar con botellas de muestreo, de las cuales existen diferentes modelos (**Figura 1**). La botella de muestreo permite obtener porciones de agua a diferentes profundidades. Son instrumentos de campo que permiten la obtención de grandes volúmenes de agua (entre 3 y 10 litros), los que se pueden disponer en diferentes recipientes mediante un sistema

de canilla incorporado. Para cada tipo de análisis se llenará la botella correspondiente, y en caso de que no fuera suficiente este volumen, se extraerá nuevamente otra botella de muestreo con el objeto de completar los volúmenes requeridos para análisis.

La obtención de muestras de agua debe realizarse con sumo cuidado para que no se produzca contaminación de las muestras. La contaminación de las muestras puede darse por mal manejo de muestras de sedimentos y de agua a la vez, lo que puede llevar material de una a otra, o también existe una contaminación muy típica en las muestras para metales que se da por manejo de combustibles de los motores fuera de borda.

Figura 1: Botella de muestreo pronta para ser utilizada (izquierda) y durante la extracción de la muestra (derecha)



5. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

5.1 Muestras para análisis físico y químico

El tamaño mínimo de muestra varía dependiendo del rango de variables que se vayan a analizar y de los métodos de análisis a utilizar. Por lo general se utilizan entre 1 y 5 litros.

Las siguientes líneas generales pueden ser aplicadas a la colecta de muestras de agua (para análisis físicos o químicos) ya sea en ríos, arroyos o embalses:

- Antes de realizar la colecta de muestras verificar que se encuentra en el lugar correcto. Esto se determina por la descripción de la estación de muestreo, mediante posiciones de marcas de tierra, por la profundidad del sitio. Si las muestras han de tomarse embarcado, la estación puede determinarse colocando una boya en el sitio de muestreo. También puede determinarse el sitio mediante el uso de referencias de costa si se encontraran. Actualmente existe instrumental de posicionamiento satelital GPS (Geographical Position System) que permite la ubicación de los sitios de muestreo mediante el uso de coordenadas geográficas.
- No deben incluirse en las muestras grandes trozos de detritos, como hojas. Evite tocar el fondo con la botella de muestreo porque puede provocar la resuspensión de sedimento fino, lo cual contamina la muestra falseando los resultados de análisis. GEMS/AGUA (el Programa de Monitoreo Ambiental Global), programado por el PNUMA, determina que el límite de tamaño para material particulado permitido es de 0,0063 mm. A los efectos de remover dicho material, filtrar el agua y colectarla en el frasco de muestra correspondiente.

- La profundidad de muestreo es medida desde la superficie a la parte media de la botella de muestreo.
- Las muestras para describir las condiciones en la columna de agua han de tomarse desde la superficie al fondo. Al tomar la muestra del fondo asegurarse que la misma es tomada a 1m del fondo.
- La botella para transporte de la muestra ha de enjuagarse 3 veces con el agua colectada, antes de su llenado. Esta operación no se debe realizar si las botellas tienen algún químico preservante.
- Los parámetros de campo que han de medirse en la botella de muestreo deben ser medidos inmediatamente de tomada la muestra.
- Las muestras para medición de oxígeno disuelto han de ser procesadas inmediatamente, si se aplica el método de medida con electrodo se debe separar una porción de muestra en otro recipiente. Si se ha de realizar el método de Winkler, la fijación de las muestras debe ser también realizada rápidamente.
- Para la medida de pH también se debe tomar una alícuota de agua. No debe utilizarse esta porción de agua para otra medida dado que desde el electrodo de pH puede salir Cloruro de Potasio.
- Durante el tiempo en que los frascos estén destapados, las tapas deben colocarse en lugar limpio y seguro.
- Los frascos que contienen muestras de agua no deben llenarse completamente para poder ser agitadas antes del análisis. Con excepción a esto tenemos las muestras para realizar DBO, DQO, y Winkler, las cuales no pueden tener burbujas de aire y el llenado de los frascos se debe realizar de manera de no barbotar el agua de la muestra.
- Todas las medidas realizadas en campo deben ser adecuadamente anotadas en un libro de campo o en una planilla de campo, antes de dejar la estación de muestreo. A su vez deben ser recopilados datos como condición del tiempo, temperatura del aire, velocidad del viento, presencia de materiales flotantes como aceites, materiales cloacales, malos olores, así como presencia de peces u otras especies de animales muertos.
- Las muestras deben ser colectadas en los frascos de muestras y acondicionadas para transportarlas lo más rápido posible. Si los análisis han de ser realizados en campo, estos deben comenzar lo más rápidamente posible.

5.2 Muestras para Análisis Bacteriológico

Las mayoría de las guías dadas para obtener las muestras físico químicas también se aplican para las muestras bacteriológicas. Sin embargo, a continuación figuran algunas consideraciones adicionales:

- Las muestras para análisis bacteriológicos deben tomarse con frascos estériles.
- La muestra para análisis bacteriológico debe tomarse en primer lugar; antes de las muestras para otros análisis.
- Se deben aumentar los cuidados para no producir contaminación en los frascos estériles, ya sea con los dedos u otro elemento no estéril.

- Los recipientes que se utilizaran para la extracción de muestras bacteriológicas no deben utilizarse con otro propósito.

5.3 Procedimientos de Muestreo de Canillas o Salida de Bombas

A continuación se enumeran algunas observaciones especiales sobre muestreo de canillas o salida de bombas:

- Limpie la canilla y remueva cualquier tipo de aditamento que se encuentre en ella. Estos aditamentos son comúnmente una fuente importante de contaminación, que dañan la calidad de la muestra a tomar. Utilice un trapo limpio para limpiar la canilla y remover cualquier otra suciedad.
- Abra la canilla al máximo y deje que el agua corra por 1-2 minutos. Cierre la canilla.
- Esterilice la canilla por un minuto con una llama (con un mechero de gas, un encendedor de cigarrillos, o un hisopo de algodón rehogado en alcohol).
- Abra la canilla antes de obtener la muestra. Cierre lentamente la canilla para permitir que el agua salga a medio caudal, durante 1-2 minutos. No vuelva a ajustar el caudal luego de haberlo fijado.
- Llene la botella. Retire el capuchón de protección de la tapa y la tapa con mucho cuidado; teniendo en cuenta que no entre polvo en el frasco, lo que provocaría contaminación. Coloque el frasco bajo el chorro de agua hasta llenarlo, teniendo en cuenta que quede un espacio de aire para agitar la muestra antes del análisis. Coloque nuevamente la tapa.

6. REGISTRO DE LA INFORMACIÓN RECABADA EN CAMPO

El personal de campo deberá contar con una libreta o planilla de campo, donde se registre toda la información relevante del sitio de muestreo. Registros detallados deben ser incluidos, como aquellos anotados en la botella, incluyendo los rótulos idénticos de los frascos de muestreo, que muestras fueron tomadas, que medidas fueron tomadas en campo, como fueron tomadas y los resultados obtenidos (incluyendo los blancos utilizados, los estándares, etc. y las unidades empleadas).

Cualquier información inusual tales como efectos locales en el sitio y hora del muestreo también deben ser anotados. También es importante que si no se concuerda con el sitio planificado de muestreo, se toma nota detallada de las razones por las cuales debería modificarse. Si se considerara que hay que modificar el sitio de muestreo, los datos registrados deben ser llevados al coordinador del programa, para dar efecto lo antes posible y eliminarlo del inventario de puntos de muestreo, si resultara necesario. Si se utilizan planillas prediseñadas para hacer las anotaciones de campo es importante dejar espacio suficiente para las observaciones.

7. PRESERVACIÓN DE MUESTRAS

En general los frascos de muestreo se guardan en un ambiente limpio, frío, oscuro, y protegidos de contaminación. Otras metodologías incluyen congelamiento en freezer, extracción con solventes y preservantes químicos.

Los métodos de conservación de muestras dependen de los diferentes análisis a ser realizados. Por otro lado son particulares de cada laboratorio pues para los mismos análisis los diferentes laboratorios pueden tener metodologías específicas. Existen métodos desarrollados en el “Standard Methods for Fresh Water Analysis”; los cuales no son necesariamente los utilizados.

8. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS

La recolección de las muestras debe coordinarse con el laboratorio. Los analistas deben saber el número de muestras que llegarán, el tiempo aproximado de arribo y los análisis que han de ser realizados, de modo de tener preparados los materiales necesarios para realizar los análisis. Si los laboratorios han provisto los frascos para el muestreo, esto asegura que tengan los preservantes necesarios.

Cada muestra debe estar provista de su respectivo rótulo, donde debe aparecer la siguiente información mínima:

- Nombre del proyecto / estudio.
- Identificación de la estación de muestreo.
- Profundidad de muestreo.
- Fecha y hora del muestreo.
- Nombre del técnico responsable de la muestra.
- Breve descripción del clima y anotaciones particulares sobre el sitio al momento del muestreo.
- Nota sobre el preservante.
- Resultados de análisis realizados in situ.

Las botellas con las muestras deben ser colocadas en una caja para ser transportadas al laboratorio. Para esto pueden utilizarse conservadoras de tergopol, plástico o madera, con suficiente provisión de hielo. De esta forma las muestras no quedarán expuestas a los rayos solares, no se romperán, y se mantendrán a una temperatura de 4°C hasta su análisis. Para un enfriamiento más rápido se debe combinar agua con hielo en la caja de transporte. El uso de “ice pack” o cualquier enfriador sólido, resulta inadecuado, dado que el intercambio de calor con estos es más lento. En caso de utilizar agua en combinación con el hielo los frascos de microbiología deberán colocarse en bolsas plásticas limpias para prevenir su contaminación.

Si el tiempo para el análisis de las muestras microbiológicas es menor a 2 horas, las muestras pueden simplemente ser colocadas en una caja fría sin luz. Si el tiempo de muestreo excede las 6 horas, debe enfriarse rápidamente la muestra como se indicó anteriormente, debiendo reportar las condiciones y la duración del transporte.

Es difícil asegurar el transporte de muestras microbiológicas bajo condiciones que no alteren su calidad, de manera que existen metodologías para análisis microbiológico en campo. También existe la posibilidad de realizar el filtrado de la muestra y colocar los filtros en medios bacteriostáticos, hasta un posterior procesamiento en el laboratorio.

PARTE 3

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE CAMPO

ÍNDICE

1. Introducción.....	3-5
2. Temperatura.....	3-5
3. pH	3-5
3.1 Calibración del pHmetro	3-5
3.2 Determinar el pH de la Muestra	3-6
4. Conductividad.....	3-7
5. Oxígeno Disuelto	3-8
6. Coliformes Fecales	3-9
7. Control de Calidad en el Campo	3-9

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de variables físicas, químicas y biológicas puede ser realizado en el campo usando equipamiento construido específicamente para ese uso. La ventaja más importante de estos análisis es que pueden ser realizados sobre muestras recientes sin que hayan sido contaminadas y por lo tanto sus variables no pueden cambiar como resultado del almacenamiento y transporte. Sin embargo hay que tener en cuenta una desventaja o limitación en los análisis de campo ya que algunos de los métodos pueden producir resultados menos precisos que aquellos realizados en un laboratorio equipado.

2. TEMPERATURA

La temperatura debe ser medida *in situ* ya que el agua alcanzará gradualmente la misma temperatura que el aire que la rodea.

La temperatura se mide con termómetros de vidrio (alcohol/tolueno o mercurio) con 0,1°C de graduación, o con termómetros electrónicos del tipo que usualmente forman parte de equipos como oxímetros o conductímetros.

El procedimiento dependerá del tipo de termómetro a ser usado y si es impracticable o no el acceso directo al punto de la muestra, como por ejemplo cuando la muestra de agua debe ser tomada desde la parte superior de un puente.

- Cuando se usa un termómetro de vidrio, y la estación de muestreo es directamente accesible, sumergir el termómetro en el agua durante el tiempo necesario para que se establezca la columna líquida y se detenga. En caso que se emplee un equipo electrónico de muestreo, que incluye un termómetro, sumergir el sensor y moverlo lentamente hasta que las lecturas en la pantalla se estabilicen. Registrar la temperatura de acuerdo a la graduación del termómetro (0,1°C si es posible).
- Cuando la estación es inaccesible de forma directa, obtener una muestra de aproximadamente 10 litros en un recipiente adecuado (balde limpio). En ese volumen de agua proceder de igual forma que lo descrito para sitios de acceso directo.

3. PH

Hay tres métodos diferentes de medir pH: por colorimetría en papel, por colorimetría líquida y por medidores electrónicos. El presente manual describe el procedimiento para medir el pH usando un pHmetro. La siguiente descripción es la estándar para estos equipos, no obstante se recomienda leer el manual del fabricante.

3.1 Calibración del pHmetro

La calibración del pHmetro debe realizarse de la siguiente forma:

- Remover la cápsula de protección y mover la banda de goma, dejando expuesto el agujero en el lado del electrodo de referencia.

- Enjuagar ambos electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente suave.
- Colocar solución buffer en volumen suficiente como para asegurar que los punteros de los electrodos pueden ser totalmente sumergidos unos 2 cm. Los electrodos deben estar por lo menos a 1 cm de distancia de las paredes y fondo del recipiente.
- Medir la temperatura de la solución buffer con un termómetro. Esta temperatura debe ser ajustada en el dial correspondiente del pHmetro (si está equipado). Algunos pHmetros tienen ajuste automático de la temperatura.
- Encienda el pHmetro.
- Ajuste la aguja en el dial hasta el valor conocido de pH de la solución buffer. Si la aguja mantiene un movimiento oscilante, asegurarse que los electrodos están correctamente conectados al pH. Cuando la aguja detiene el movimiento, hacer el ajuste final.
- Poner el pHmetro en modo de espera (stand-by) (si está equipado para eso)
- Retirar los electrodos de la solución buffer y enjuagarlos con agua destilada.
- Proceder a determinar el pH de la muestra. Si la muestra no está pronta, coloque los electrodos en agua destilada.

3.2 Determinar el pH de la muestra

La determinación del pH debe realizarse siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

- Los electrodos pueden estar sumergidos en agua destilada o haber sido enjuagados con la misma. Retirarlos y secarlos con papel suave absorbente.
- Enjuagar los electrodos y un pequeño recipiente con una parte de la muestra.
- Colocar la suficiente muestra en un pequeño recipiente que asegure que los electrodos puedan estar sumergidos unos 2 cm. Los electrodos deben estar a por lo menos 1 cm de las paredes y fondo del recipiente.
- Medir la temperatura de la muestra de agua y ajustar adecuadamente el dial correspondiente (en caso que el pHmetro no tenga compensación automática de temperatura).
- Encender el pHmetro.
- Leer el pH del agua de la muestra en el dial. Asegurarse que la aguja ha dejado de moverse antes de registrar el valor obtenido.
- Colocar el pHmetro en modo de espera (stand-by) y retirar los electrodos de la muestra. Retirar y descartar la muestra. Enjuagar los electrodos y el recipiente con agua destilada. Secar los electrodos con papel suave absorbente.
- Repetir los pasos para las siguientes muestras. En caso de no tener más muestras para estudiar, mover la banda para cubrir el agujero del electro de referencia y colocar la cápsula protectora en el puntero de los electrodos.
- Apagar el pHmetro y guardarlo en su caja de transporte.

4. CONDUCTIVIDAD

La conductividad eléctrica depende la concentración de iones en solución y es medida en milisiemens por metro ($1 \text{ mSm} = 10 \text{ } \mu\text{Scm} = \mu\text{mhos cm}$). La medición debe ser realizada *in situ*, o en el campo inmediatamente a ser tomada la muestra, ya que la conductividad puede variar con el tiempo de almacenamiento. También es dependiente de la temperatura por lo que si el conductivímetro no está equipado con corrección automática, la temperatura de la muestra debe ser medida y registrada.

La calibración de un conductivímetro debe ser realizada por el Laboratorio.

La conductividad de la muestra será determinada de la siguiente forma:

- Enjuagar el sensor de conductividad con agua de la muestra por lo menos tres veces.
- Ajustar la temperatura de una porción de la muestra a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (o tan aproximado como sea posible).
- Sumergir el sensor en suficiente volumen de agua de la muestra como para que el nivel supere el orificio de circulación. Evitar la presencia de burbujas. El sensor de conductividad no podrá estar a menos de 2 cm de las paredes y fondo del recipiente.
- Registrar la temperatura de la muestra al $0,1^\circ\text{C}$ más cercano. Algunos conductivímetros están equipados con termómetros o con compensación automática de temperatura.
- Encender el conductivímetro. Seguir las instrucciones de operación del fabricante y registrar el valor obtenido.
- Apagar el conductivímetro y guardarlo correctamente en su caja para transporte.

La conductividad eléctrica se incrementa con la temperatura a razón de 1,9% por $^\circ\text{C}$. La medición de la conductividad será mas precisa si se realiza a la misma temperatura a la que fue determinada la constante. Si el factor de corrección de la temperatura está incluida en el cálculo, el coeficiente de la temperatura, 0,019, es para una solución estándar de cloruro de potasio ($0,0100 \text{ mol l}^{-1} \text{ KCl}$). El coeficiente de temperatura para el agua será diferente. Si la temperatura es mucho más alta o más baja que 20°C se introducirá un error en el cálculo.

El cálculo para determinar la conductividad de una muestra es:

$$\text{Conductividad} = (C_m \times K_c) / [0,019(t - 20) + 1] \text{ } \mu\text{mhos cm}$$

El cálculo para determinar la resistencia de una muestra es:

$$\text{Conductividad} = (10^6 \times K_c) / R_m [0,019(t - 20) + 1] \text{ } \mu\text{mhos cm}$$

En donde:

$$K_c = \text{constante eléctrica del sensor (cm-1)}$$

C_m = conductividad medida en una muestra a t °C ($\mu\text{mhos cm}$)

R_m = resistencia medida en una muestra a t °C (ohms)

t = temperatura de la muestra (°C)

5. OXÍGENO DISUELTO

La concentración de oxígeno disuelto depende de la actividad física, química y bioquímica en el cuerpo de agua. Hay dos métodos para la determinación de la concentración de oxígeno en el agua: el método Wrinkler y el método electrométrico usando electrodos de membrana.

El método Wrinkler requiere agregar dos reactivos químicos a la muestra lo más rápido posible y luego agitarla vigorosamente. La concentración de oxígeno disuelto se determina por titulación con una solución de tiosulfato de sodio, lo que puede ser realizado en el campo o hasta 6 horas después en el laboratorio.

El método electrométrico está disponible para determinación en campo del oxígeno disuelto y es más simple de realizar. Este método ha sustituido plenamente al método Wrinkler, por lo que actualmente no se utiliza.

El oxímetro es un medidor de campo alimentado por baterías, diseñado para la medición de concentración de oxígeno. Debe seguirse el procedimiento de calibración y determinación que figura a continuación.

- Calibrar el oxímetro siguiendo las instrucciones de operación del fabricante. Generalmente, los electrodos están diseñados para ser calibrados por lectura del oxígeno de la atmósfera o por una muestra de concentración conocida de oxígeno disuelto. Esta muestra conocida puede ser una cuya concentración de oxígeno disuelto fue determinada por el método Wrinkler o una que puede haber sido saturada por burbujeo de aire. El cero de la curva de calibración puede ser determinada por lectura de una muestra conocida sin oxígeno disuelto, preparada al agregar en exceso sulfito de sodio, Na_2SO_3 , y una traza de cloruro de cobalto CoCl_2 a la muestra.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada.
- Enjuagar el electrodo con una parte de la muestra a ser analizada.
- Sumergir el electrodo asegurando un flujo continuo de agua pasando por la membrana o agitando suavemente el electrodo en la muestra hasta obtener una lectura fija en el display.
- Registre la lectura obtenida y la temperatura del agua de la muestra, así como el tipo y modelo y del equipo.
- Apagar el oxímetro y guardarlo en su caja de transporte, teniendo especial cuidado con el electrodo. Tomar en cuenta las especificaciones del fabricante para el mantenimiento del electrodo.

6. COLIFORMES FECALES

El método utilizado para la determinación de coliformes fecales es por membrana filtrante.

Existen equipamientos y métodos para realizar determinaciones de coliformes fecales *in situ* pero tienen un costo operativo alto. El trabajo de campo para la medición de coliformes fecales consiste en tomar la muestra, refrigerarla y transportarla a un laboratorio apto en un período menor a las 6 horas de tomada la primera muestra.

7. CONTROL DE CALIDAD EN EL CAMPO

El control de la calidad de los procedimientos de análisis de campo es tan importante como los de un análisis de laboratorio tradicional. Sin embargo algunos problemas son exclusivos de los trabajos de campo.

Algunos de los problemas pueden derivar de uno o los dos aspectos siguientes:

- Las condiciones de muestreo y análisis pueden variar considerablemente de un punto a otro en los sitios de muestreos.
- Los métodos de análisis pueden estar limitados en seguridad y precisión como consecuencia de la necesidad de contar con un equipamiento portátil y fácil de usar en sitio.

Todos los análisis de campo deben ser realizados siguiendo estándares específicos. El entrenamiento en el uso apropiado del equipo, así como un adecuado mantenimiento y calibración, son esenciales. La calibración deberá constar en un programa específico de control de calidad para cada equipo de campo. Esta calibración se hará en coordinación con el laboratorio central o de referencia.

PARTE 4
PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN
DE
DATOS DE CALIDAD DE AGUA

ÍNDICE

1. Introducción	4-3
2. Gestión de Datos	4-4
3. Procesamiento de Datos	4-4
3.1 Estadísticas Básicas.....	4-4
3.2 Métodos Gráficos.....	4-7
4. Interpretación de Datos de Calidad de Agua.....	4-11
5. Realización de Informes.....	4-12
6. Referencias	4-18
ANEXO 1: Estándares Referenciales de Calidad de Agua y de Sedimentos.....	4-19
ANEXO 2: Descripción de las Variables de Calidad de Agua y de Sedimentos	4-27

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Ejemplo de Cálculo de Media Aritmética, Desviación Estándar y Coeficiente de Desviación	4-11
----------	---	------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama de Flujo del Proceso de Monitoreo de Calidad de Agua Ambiental	4-7
Figura 2	Media Aritmética Anual de DBO en los últimos 24 años.....	4-12
Figura 3	Rangos de la Media Aritmética Mensual de Sólidos Suspendidos en los Últimos 5 Años.....	4-13
Figura 4	Perfil Vertical de la Media Aritmética de OD para Muestreos en Lagos .	4-13
Figura 5	Perfil Longitudinal de la Media Aritmética de DBO y Nitrógeno-T	4-14
Figura 6	Curva de Regresión de DQO_{cr} y DBO	4-15

1. INTRODUCCIÓN

Esta guía presenta herramientas y metodologías básicas para el procesamiento y la interpretación de datos recogidos por medio de monitoreos periódicos de calidad de agua ambiental en agua superficial. Se enumeran en la misma las metodologías fundamentales en materia de análisis de datos, evaluación de datos analizados y realización de informes, como consejos de referencia para trabajos prácticos de monitoreo de calidad de agua.

La expresión “monitoreo de calidad de agua ambiental” implica una serie de trabajos constituyentes: diseño de redes de monitoreo, muestreo y transporte (incluyendo medición *in situ*), conservación y medición en laboratorio, gestión de datos y procesamiento e interpretación de datos, tal como se muestra en la **Figura 1**. Los datos interpretados a través del “procesamiento y la interpretación de datos” en el monitoreo de calidad de agua pasan a una etapa de toma de decisiones o son divulgados como información de calidad de agua.

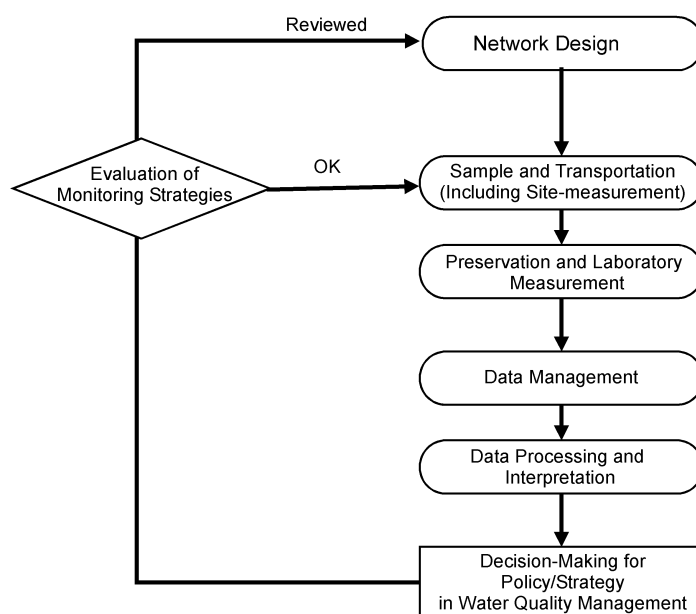


Figura 1 Diagrama de flujo del proceso de Monitoreo de Calidad de Agua Ambiental

La mayor parte de los datos recogidos en el trabajo de monitoreo están en forma numérica y la cantidad de datos es enorme. En general, es difícil para las personas responsables de tomar decisiones y para el público comprender el estado de la calidad de agua al observar la forma original de los datos recogidos, ya que usualmente no son especialistas en calidad de agua. El objetivo del “procesamiento y la interpretación de datos” es transformar “datos recogidos” en “información”, es decir, en datos interpretados, para que el estado de la calidad de agua sea claro para las autoridades decisorias y el público en general.

2. GESTIÓN DE DATOS

En una base de datos, los datos obtenidos en materia de calidad de agua deben estar almacenados y administrados para facilitar la interpretación sistemática y desde varios ángulos, utilizando un código unificado. Los datos obtenidos que deben almacenarse incluyen, por lo menos:

- Ubicación del muestreo:
Coordenadas geográficas, nombre de los ríos, nombre de la cuenca y subcuenca, intendencia, municipio, nombre particular de los lugares de muestreo,
- Información de la muestra:
Ubicación de la muestra, fecha y hora del muestreo, método y equipo de muestreo, profundidad de la muestra, nombre de la persona a cargo, método de conservación y transporte, tratamiento previo en campo,
- Resultados de la medición:
Variable medida, ubicación en donde se realizó la medición (*in situ* o en el laboratorio), método analítico aplicado y resultado real de la medición (incluyendo la unidad).

3. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1 Estadísticas Básicas

Todos los datos de calidad de agua deben resumirse en formas más simples y comprensibles por medio de estadísticas básicas. Los valores obtenidos a través del procesamiento estadístico pueden ser analizados y comparados de manera eficaz utilizando varios criterios de calidad de agua.

(1) Mediana

La mediana, M , es el valor que tiene un número igual de valores de los datos dispuestos en orden numérico ascendente desde cualquiera de los extremos. Para obtener la M de n datos,

- Si n es impar, $M = \{(n + 1)/2\}^{n^{\text{to}}}$ componentes de la serie

Por ejemplo: si hay nueve datos dispuestos en orden numérico ascendente, el valor del 5^{to} dato de calidad de agua es la mediana.

- Si n es par, $M = \{(0,5 n + (0,5 n + 1))/2\}^{n^{\text{to}}}$ componentes de la serie

Por ejemplo: si hay 10 datos dispuestos en orden numérico ascendente, el promedio de los valores del 5^{to} y 6^{to} dato de calidad de agua es la mediana.

(2) Rango

El rango, R, es la diferencia entre los valores máximos y mínimos y es una medida rudimentaria del espectro de datos de calidad de agua, pero es la mejor estadística disponible si el conjunto de datos es muy limitado.

Para obtener R, si X_{\max} y X_{\min} son los valores máximos y mínimos en el conjunto de datos, entonces:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

(3) Percentil

El percentil, P, es un valor bajo el cual existe un porcentaje dado de observaciones en el conjunto de datos de calidad de agua, cuyos valores están dispuestos en orden numérico ascendente. Por ejemplo un percentil 75, P_{75} , es el valor debajo del cual existe el 75 % de las observaciones y por encima del cual existe el 25 % de las mismas.

Para obtener P para una componente de la serie cuyo número es “a” y por “N” datos,

$$P = 100 a / (N + 1)$$

Por ejemplo: si hay 9 datos, el P para la 7^{ma} componente de la serie es

$$P = 7 \times 100 / (9 + 1) = \text{percentil } 70$$

Si “P” es percentil 25 y hay 23 datos,

$$a_{25} = 25 (23 + 1) / 100 = 6$$

Por lo tanto, la 6^{ta} componente de la serie es el percentil 25.

(4) Media Aritmética, Desviación Estándar, Varianza y Coeficiente de Variación

La Media Aritmética, \bar{X} , es la medida de la tendencia central y se ubica cerca del centro del conjunto de datos y se expresa en las mismas unidades que los datos de calidad de agua.

Para obtener, \bar{X} , por n datos en donde X_i son valores del conjunto de datos,

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Por ejemplo: si hay nueve valores en el conjunto de datos,

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \cdot \cdot \cdot + X_9) / 9$$

La desviación estándar, S , es la estadística descriptiva más frecuentemente utilizada. La media aritmética es una medida de tendencia central y se ubica cerca del centro del conjunto de datos, expresada en las mismas unidades que los datos de medición. La varianza S^2 , es la desviación cuadrada promedio de los valores de los datos de la media. La desviación estándar, S , es la raíz cuadrada de la varianza y es una medida de la gama de datos alrededor de la media, expresado en las mismas unidades que la media.

La varianza, S^2 , se calcula de la siguiente manera:

$$s^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$
$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}$$

El cálculo de la varianza, S^2 , se realiza de forma más eficaz de la siguiente forma:

$$s^2 = \left\{ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum x)^2 / n \right\} / (n-1)$$

La desviación estándar, S , se calcula tal como se indica a continuación:

$$s = \sqrt{s^2}$$

El coeficiente de variación, CV , es la proporción de la desviación estándar a la media y es una medida de la variabilidad relativa del conjunto de datos, independientemente de sus magnitudes absolutas.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

La media y la desviación estándar se usan mejor con conjuntos de datos distribuidos normalmente. Dado que la media es sensible a los valores extremos que se presentan a menudo en los conjuntos de datos de calidad de agua, cuando se presenten unos pocos valores extremos altos o bajos, tenderá a dar una imagen distorsionada de los datos. Por esta razón, cuando es utilizada, la media debe estar siempre acompañada de la varianza, S^2 , o de la desviación estándar S .

El Cuadro 1 indica los cálculos para datos de calidad de agua con una población de 10 unidades.

Cuadro 1 Ejemplo de Cálculo de Media Aritmética, Desviación Estándar y Coeficiente de Desviación

No. de Muestra	DBO (mg/l)	Nitrógeno - T (mg/l)	OD (mg/l)	Sólidos Suspendidos (mg/l)
1	0.9	0.3	5.0	12
2	1.0	0.0	5.4	12
3	1.1	0.3	5.4	16
4	1.3	0.6	5.6	17
5	1.5	1.0	6.0	18
6	2.0	1.1	6.7	22
7	2.9	1.2	6.7	23
8	3.2	1.2	6.8	23
9	6.2	1.6	7.0	32
10	6.3	1.6	7.1	34
Media Aritmética	2.64	0.89	6.17	20.9
Desviación Estándar	1.95	0.53	0.74	7.15
Coeficiente de Desviación	0.74	0.60	0.12	0.34

3.2 Métodos Gráficos

Los datos estadísticos en materia de calidad de agua pueden estar gráficamente representados, utilizando gráficas para lograr una interpretación más sencilla y para mostrar el comportamiento general del conjunto de datos. A continuación figura la explicación del gráfico de serie temporal, el gráfico estacional, el gráfico de corte longitudinal y espacial y el análisis de regresión.

(1) Gráfico de Series Temporal

El gráfico de serie temporal es la gráfica más básica en materia de datos de calidad de agua. Consiste en establecer los valores de una o más variables de calidad de agua en el eje y y las fechas de muestreo en el eje x , para mostrar los cambios en las variables de calidad de agua durante un período de tiempo determinado. Al mismo tiempo también puede mostrar la distribución general de los datos, las posibles tendencias y outliers.

Los criterios de calidad de agua para un cuerpo de agua tal cual se ha especificado deben indicarse en la gráfica, como base para la comparación. En la **Figura 2** se presenta un ejemplo de gráfico de serie temporal, en donde se indica la media aritmética anual de DBO en una estación de muestreo de río, para un período de 23 años. Los criterios para la DBO también se muestran como una línea recta horizontal.

En esta muestra, se asume que el sistema de saneamiento urbano para aguas residuales domésticas fue completado en el año 2000. Esto demuestra que la calidad de agua ha mejorado drásticamente por debajo del estándar de calidad de agua para DBO luego de que el sistema de saneamiento urbano fue completado.

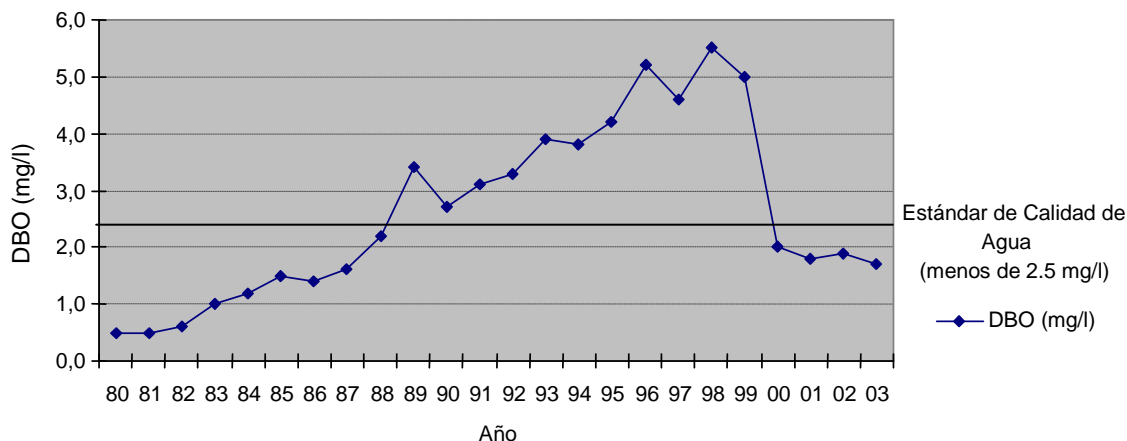


Figura 2 Media Aritmética Anual de DBO en los últimos 24 años

(2) Diagramas Estacionales

La variación estacional de los datos de calidad de agua es un fenómeno natural habitual, especialmente en ríos y lagos. El factor más importante que regula la estacionalidad de la calidad de agua es la llegada anual de las estaciones de lluvia. Esto puede resultar obvio solamente en el monitoreo de calidad de cursos durante dos o más años.

La **Figura 3** es un ejemplo que indica los rangos de la media aritmética mensual de las concentraciones de sólidos disueltos totales de una estación de monitoreo de río, durante un período de cinco años.

En esta muestra se asume que aguas arriba está ubicada una fábrica de procesamiento de vegetales, que funciona estacionalmente desde agosto a noviembre. La gráfica muestra que los efluentes de la fábrica son vertidos estacionalmente durante el funcionamiento de la misma, lo que causa un aumento de los sólidos suspendidos en el agua del río.

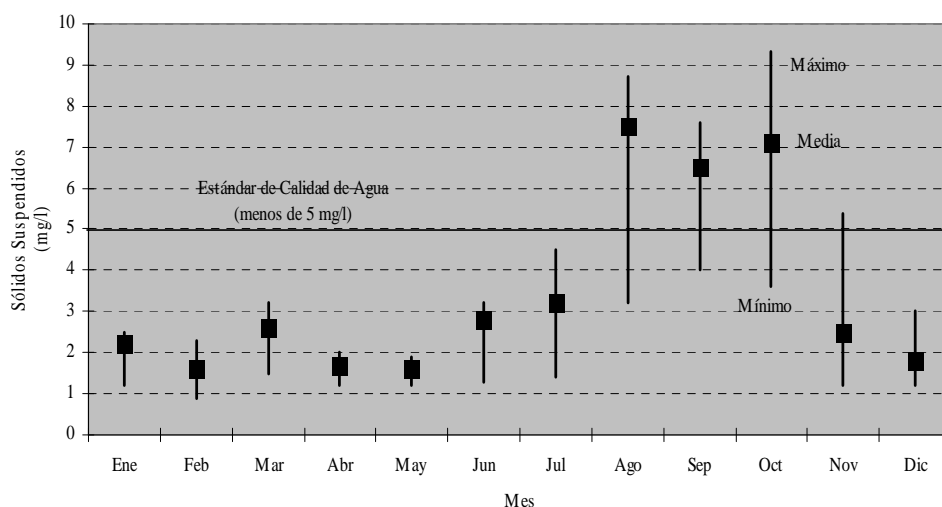


Figura 3 Rangos de la Media Aritmética Mensual de Sólidos Suspendidos en los Últimos 5 Años

(3) Gráficos Espaciales

El gráfico espacial presenta las posiciones relativas de las estaciones de muestreo y los respectivos datos de calidad de agua. Puede indicar el perfil vertical o longitudinal de los datos de calidad de agua en una estación en particular y un período particular de monitoreo de calidad de agua.

En la **Figura 4** se muestra un ejemplo, en donde el perfil vertical de la media aritmética de concentraciones de OD está representado en el eje x, y la profundidad del lago está indicada en el eje y, en una estación de muestreo durante un año.

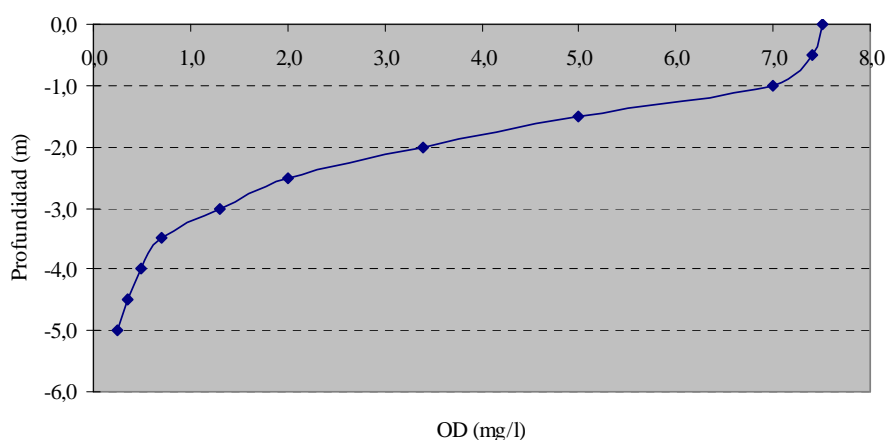


Figura 4 Perfil Vertical de la Media Aritmética de OD para Muestreo en Lagos

En el ejemplo indicado en la **Figura 5**, el perfil longitudinal de la media aritmética de DBO está representado en el eje y, en la dirección de la corriente durante un año.

En esta muestra, se asume que la estación 3 y la estación 9 están ubicadas en la ciudad A y ciudad B respectivamente y que las tierras desde la estación 3 a la estación 9 son utilizadas intensamente para la agricultura.

Luego de la estación 3, la DBO aumenta, afectada por la contaminación de la ciudad A y disminuye gradualmente debido a la purificación natural del río. En la estación 9, la DBO aumenta nuevamente, al recibir la entrada de aguas residuales domésticas e industriales desde la ciudad B.

Luego de la estación 3, el nitrógeno total continúa aumentando gradualmente, debido a la entrada de nitrógeno generada por las tierras para la agricultura.

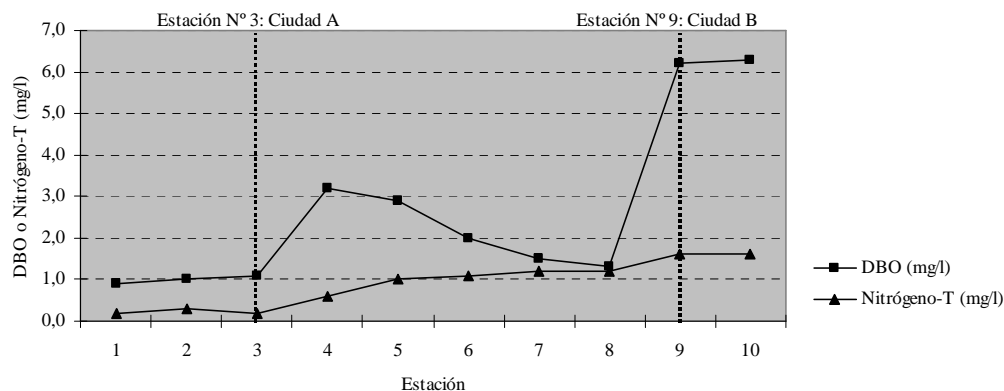


Figura 5 Perfil Longitudinal de la Media Aritmética de DBO y Nitrógeno-T

(4) Análisis de Regresión

A menudo, se utiliza el análisis de regresión para buscar la relación entre una y otra variable, dado que algunas variables como la DBO insumen mucho tiempo y trabajo para determinar valores.

En la **Figura 6** se muestra un ejemplo de análisis de regresión entre DQO_{cr} y DBO. En el ejemplo, se puede obtener la siguiente fórmula de regresión utilizando un total de 30 conjuntos de DBO y DQO_{cr} .

$$DQO_{cr} = 2,67 \times DBO$$

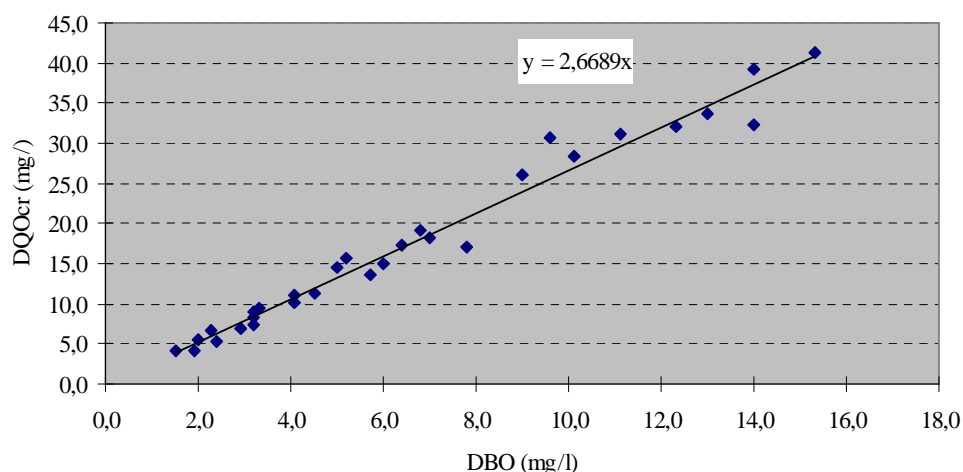


Figura 6 Curva de Regresión de DQO_{cr} y DBO

4. INTERPRETACIÓN DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA

A continuación figuran los objetivos en materia de interpretación de datos de calidad de agua en el monitoreo periódico de calidad de agua ambiental:

- Determinar si el estado actual del ambiente acuático es normal e identificar las causas de los problemas si se detectan situaciones anormales,
- Pronosticar el estado futuro del ambiente acuático, y
- Plantear medidas preventivas para la disminución de la contaminación, si el ambiente acuático no es normal o si se prevé que no será normal.

La interpretación de datos de calidad de agua debe realizarse anualmente. A continuación se describen los pasos y métodos existentes para dicha interpretación.

(1) Aclaración del Estado Actual de la Calidad de Agua

Los datos de calidad de agua recogidos y procesados anualmente deben presentarse en cuadros y/o gráficas por cuenca o subcuenca. Se examina cada variable para determinar si su valor cumple con los estándares de calidad de agua, clasificados por usos de agua.

Al aclarar el estado de la calidad de agua, deben tomarse en cuenta los siguientes elementos para identificar fácil y claramente los posibles problemas:

- Considerar el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica estudiada. Si un área significativa de terreno de la cuenca se utiliza para agricultura, el escurrimiento de nutrientes puede causar fenómenos de eutrofización, lo que debe investigarse cuidadosamente analizando las variables relacionadas, tales como nitrógeno, fósforo y sus compuestos. En tal caso, también existe la posibilidad del escurrimiento de pesticidas de las tierras para agricultura. Por lo tanto, debe realizarse un estudio cuidadoso, analizando los datos obtenidos, no solo de la calidad de agua sino también de los sedimentos.
- Considerar la ubicación de industrias y sitios de vertido de residuos sólidos que puedan volcar contaminantes perjudiciales. Si existen industrias o vertederos de residuos sólidos en el área contemplada por un punto de muestreo en particular, deben examinarse cuidadosamente las sustancias perjudiciales (tales como cianuro, metales pesados, etc.). Esto se debe a que puede suceder que cierto tipo de industrias y vertederos desechen tales sustancias perjudiciales, si bien eso depende de su gestión de aguas residuales.

Es natural que se estudie el estado de calidad de agua en base a los estándares de calidad de agua de Uruguay. Como referencia, en el **ANEXO 1** figuran estándares de calidad de agua y sedimentos.

Cuando los datos recogidos anualmente se comparan con los estándares de calidad de agua, se utiliza el P_{75} (el 75 % de las observaciones son menores y el 25 % mayores que el mismo).

(2) Deducción de Posibles Causas

A través del análisis de la tendencia espacial y temporal, incluyendo datos pasados, se deducen las causas de la contaminación de variables de importancia (por ejemplo, variables por encima del estándar de calidad de agua). Al mismo tiempo, si es necesario, se prevé la futura tendencia de las variables importantes.

Al deducir las causas de la contaminación del agua y plantear posibles contramedidas no sólo son necesarios los datos de calidad de agua sino también datos e información sobre las fuentes de contaminación en las cuencas a estudiar. Estos datos e información incluyen la población en áreas urbanas, la distribución de industrias, actividades agrícolas, etc. Por lo tanto, es fundamental que la interpretación de los datos de calidad de agua se realice con la participación de la unidad a cargo de la gestión de fuentes de contaminación.

(3) Contramedidas

Es necesario evaluar los posibles efectos que puedan causar los problemas de calidad de agua que se encuentren en el análisis. Además, como recomendación, debe realizarse la vigilancia meticulosa de la calidad de agua (si es necesario) y plantear las posibles medidas a adoptar contra dichos problemas.

5. REALIZACIÓN DE INFORMES

Los datos y la información obtenidos a partir del monitoreo de la calidad de agua deben presentarse en la forma de un informe anual.

El informe anual se utiliza para notificar a los especialistas de calidad de agua y a las personas responsables de tomar decisiones de todo lo concerniente al estado del ambiente acuático, incluyendo por lo menos:

- Información sobre las condiciones de muestreo (lugares de muestreo, métodos de muestreo, etc.),
- El estado actual de la calidad de agua (incluyendo la calidad de sedimentos),
- Causas deducidas y posibles impactos de los problemas de calidad de agua, y
- Recomendaciones sobre posibles contramedidas.

La versión resumida del informe anual puede ser utilizada por las autoridades decisorias y los especialistas en gestión de calidad de agua para comprender rápidamente el perfil del estado de calidad de agua. Asimismo, puede utilizarse para difundir información de calidad de agua al público, luego de transformarla en un documento más fácil de asimilar y de comprender.

ANEXO 1

ESTÁNDARES REFERENCIALES DE CALIDAD DE AGUA Y DE SEDIMENTOS

Estándar Ambiental de Calidad de Agua en Uruguay

Parámetros	Clase 1	Clase 2a	Clase 2b	Clase 3	Clase 4
Olor	No perceptible	No detectado	No detectado	No detectado	No objetable
Materiales Flotantes y Espuma	Ausente	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Color	Ausente	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Turbiedad (UNT)	Máx. 50	Máx. 50	Máx. 50	Máx. 50	Máx. 100
PH	6.5 - 8.5	6.5 - 9.0	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 9.0
OD (mg/l)	Mín. 5	Mín. 5	Mín. 5	Mín. 5	Mín. 2.5
DBO ₅ (mg/l)	Máx. 5	Máx. 10	Máx. 10	Máx. 10	Máx. 15
Grasas y Aceites (mg/l)	Ausentes	No detectado	No detectado	No detectado	Máx. 10
Detergentes (mg/l)	Máx. 0.5	Máx. 1	Máx. 1	Máx. 1	Máx. 2
Fenol (mg/l) como C ₆ H ₅ OH	Máx. 0.001	Máx. 0.2	Máx. 0.2	Máx. 0.2	
Amoníaco (mg/l) como N	Máx. 0.02	Máx. 0.02	Máx. 0.02	Máx. 0.02	
Nitrato (mg/l) como N	Máx. 10	Máx. 10	Máx. 10	Máx. 10	
Fósforo total (mg/l) como P	Máx. 0.025	Máx. 0.025	Máx. 0.025	Máx. 0.025	
SS (mg/l)		Máx. 700			
Tasa de Absorción de Sodio		Máx. 10			
Bacterias Coliformes (NMP/100ml)	Máx. 2,000 (Máx. 1,000)*	Máx. 2,000 (Máx. 1,000)*	Máx. 1,000 (Máx. 500)*	Máx. 2,000 (Máx. 1,000)*	Máx. 5,000 80% de la muestra
Cianuro (mg/l)	Máx. 0.005	Máx. 0.005	Máx. 0.005	Máx. 0.005	Máx. 0.05
Arsénico (mg/l)	Máx. 0.005	Máx. 0.05	Máx. 0.005	Máx. 0.005	Máx. 0.1
Boro (mg/l)	-	Máx. 0.5	-	-	-
Cadmio (mg/l)	Máx. 0.001	Máx. 0.001	Máx. 0.001	Máx. 0.001	Máx. 0.01
Cobre	Máx. 0.2	Máx. 0.2	Máx. 0.2	Máx. 0.2	Máx. 1
Cromo Total (mg/l)	Máx. 0.05	Máx. 0.05	Máx. 0.05	Máx. 0.05	Máx. 0.5
Mercurio (mg/l)	Máx. 0.0002	Máx. 0.0002	Máx. 0.0002	Máx. 0.0002	Máx. 0.002
Níquel (mg/l)	Máx. 0.02	Máx. 0.002	Máx. 0.02	Máx. 0.02	Máx. 0.2
Plomo (mg/l)	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.05
Cinc (mg/l)	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.03	Máx. 0.3
Pesticidas (valor máximo)	Aldehído + dialdehído: 0.004 mg/l, clordan: 0.01 mg/l, DDT: 0.001 mg/l, endosulfuro: 0.02 mg/l, endrina: 0.004 µg/l, heptacloro + heptacloro Epoxy: 0.01 µg/l, lindano: 0.01 µg/l, metoxyclo: 0.03 µg/l, mirex: 0.001 µg/l, 2,4 D: 4 µg/l, 2,4,5 T: 10 µg/l, 2,4,5 TP: 2 µg/l, paratión: 0.04 µg/l, compuestos poliaromáticos: 0.001 µg/l.				Diez veces al valor presentado en la columna de la izquierda.

Observación:

- 1) (*) significa medición geométrica a partir de 5 muestras.
- 2) Los pesticidas estipulados en el estándar ambiental de calidad de agua se especifican también en el estándar además de los parámetros mencionados anteriormente.

Fuente: Decreto 253/979.

ANEXO 2:

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE CALIDAD DE AGUA Y DE SEDIMENTOS

Description of Water and Sediment Quality Variables (16/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
PARTE I: CALIDAD DE AGUA				
1. Parámetros Generales				
1.1	Temperatura	Esta es una medida de la intensidad (no la cantidad) del calor almacenado en un volumen de agua. Las temperaturas del agua superficial oscilan entre 0° C, bajo cubierta de hielo, a generalmente 40° C. Entre las fuentes naturales de calor se incluyen: radiación solar, transferencia del aire, condensación de vapor de agua en la superficie del agua, sedimentos, precipitaciones, escorrentía de superficie y agua subterránea. La temperatura es el principal factor que influye en la densidad del agua.	La temperatura afecta la solubilidad de varios compuestos químicos y puede, por lo tanto, influir en los efectos de los contaminantes en la vida acuática. Las temperaturas elevadas aumentan la demanda metabólica de oxígeno, lo que junto con la solubilidad reducida de oxígeno, tiene efectos sobre varias especies. Los patrones de estratificación vertical que se presentan naturalmente en los lagos afectan la distribución de compuestos disueltos y suspendidos.	Efluentes industriales, escorrentía agrícola, plantación de bosques (para su explotación), actividades de desarrollo urbano, actividades de minería.
1.2	pH	Esta es una medida que indica la concentración de iones de hidrógeno en el agua. El pH que se encuentra por debajo de 7 es ácido (cuanto más bajo el número, más ácida es el agua, considerando que la disminución de una unidad completa representa un aumento de diez veces en la acidez), y un pH por encima de 7 (hasta un máximo de 14) es básico (cuanto mayor el número, más básica el agua). En el agua dulce natural el pH oscila entre 4 y 10, aunque la mayoría de los lagos tienen un pH de 7.0 o más. Generalmente, las aguas costeras tienen valores de pH de 5.5 a 6.5.	Los valores altos de pH tienden a facilitar la solubilización de amoníaco, metales pesados y sales. Cuando los niveles de pH son altos, se fomenta la precipitación de sales carbonadas. Los niveles bajos de pH tienden a aumentar las concentraciones de dióxido de carbono y ácido carbónico. Por debajo de pH 4.5 y por encima de pH 9.5, el pH tiene efectos letales en la vida acuática.	Actividades de minería, escorrentía agrícola, efluentes industriales, lluvia ácida (que deriva de las emisiones a la atmósfera de automóviles, industrias, etc.).
1.3	Conductividad Específica	Esta es una medida que indica la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica; cuanto mayor es el contenido de iones en el agua, mayor corriente puede transportar el agua. Los iones son metales disueltos y otros materiales disueltos. La conductividad se indica en términos de microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Generalmente, las aguas naturales oscilan entre 50 y	La Conductividad Específica puede ser usada para calcular la concentración de iones totales en el agua y se utiliza habitualmente como una medida alternativa de sólidos disueltos. Generalmente es posible establecer una correlación entre la conductividad y los sólidos disueltos en un cuerpo de agua específico. En términos generales, puede	Actividades de minería, calles (sales descongelantes), efluentes industriales y municipales.

Description of Water and Sediment Quality Variables (17/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las aguas costeras tienen valores de conductividad específica de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que las aguas interiores alcanzan los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.	expresarse: [sólidos disueltos = conductividad x 0.55 para 0.9, el más usado habitualmente es 0.7].	
1.4	Turbiedad	Esta es una medida que indica el material particulado suspendido en el agua que interfiere con el pasaje de los rayos de luz a través del agua. Los materiales que contribuyen a que exista turbiedad son limo, arcilla, material orgánico o microorganismos. Los valores de turbiedad se expresan generalmente en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT). En el agua destilada pura no se detectaría turbiedad (0 UNT). La profundidad de extinción (para lagos), medida con un disco Secchi, es un medio alternativo para expresar turbiedad.	Los altos niveles de turbiedad aumentan el área de superficie total disponible de sólidos en materia en suspensión sobre la cual pueden crecer bacterias. La turbiedad alta reduce la penetración de la luz, por lo tanto dificulta la fotosíntesis de la vegetación y las algas sumergidas. A su vez, el crecimiento reducido de plantas puede suprimir la productividad de peces. La turbiedad afecta la desinfección del agua potable y estéticamente produce una apariencia desagradable.	Plantación de bosques, construcción de calles, actividades agrícolas, desarrollo y actividades urbanas, efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, actividades de minería, efluentes industriales.
1.6	Color	Esta es una medida que indica los compuestos colorantes disueltos en el agua. El color del agua se atribuye a la presencia de materiales orgánicos e inorgánicos; los diferentes materiales absorben diferentes frecuencias de luz. El color se expresa como unidades de Pt-Co, según la escala de platino-cobalto. En forma natural, el color del agua oscila entre 0 a 300 Pt-Cp. Valores más altos se asocian con pantanos y ciénagas.	Desde el punto de vista estético, el color se considera un problema de contaminación, pero generalmente no es considerado perjudicial para la vida acuática. Un color intenso puede interferir con el pasaje de luz, impidiendo de esa forma la fotosíntesis.	Actividades agrícolas, efluentes industriales (en particular textiles, pulpa de tintura y fábricas de papel).
1.9	Alcalinidad	Esta es una medida que indica la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Habitualmente indica la presencia de carbonatos, bicarbonatos o hidróxidos. Los resultados de la alcalinidad se expresan en términos de una cantidad equivalente de carbonato de calcio, aunque cabe acotar que esto no significa que se haya encontrado carbonato de calcio en la muestra. Las aguas naturales casi nunca presentan valores por encima de los 500 mg/l.	Las aguas que tienen altos valores de alcalinidad no son aconsejables por que tienen un exceso de dureza y alta concentración de sales de sodio. El agua con baja alcalinidad tiene poca capacidad para amortiguar aportes ácidos y es susceptible a la acidificación (pH bajo).	Actividades de minería, efluentes industriales, lluvia ácida.
1.10	Dureza Total	La dureza en el agua se debe generalmente a la presencia de calcio y magnesio en la misma. Otros iones metálicos también pueden contribuir a la dureza. Se expresa en	El agua más dura tiene el efecto de reducir la toxicidad de algunos metales (por ejemplo cobre, plomo, cinc, etc.). El agua blanda puede tener efectos	Actividades de minería, efluentes industriales.

Description of Water and Sediment Quality Variables (18/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		términos de carbonato de calcio y en unidades de miligramos por litro (mg/l). Las aguas con valores que exceden los 120 mg/l son consideradas duras, mientras que las de valores por debajo de los 60 mg/l son consideradas blandas.	corrosivos en las cañerías de metal, mientras que el agua dura puede causar depósitos de sarro en las tuberías. Si el agua presenta una dureza mayor a 500 mg/l, generalmente no es aceptable para la mayoría de los usos domésticos y debe tratarse.	
1.11	Grasas y Aceites	La extracción de hexano y de tetracloruro de carbono son los métodos de medición para aceites minerales y grasas y aceites animales y vegetales. Las grasas y aceites son compuestos (ésteres) de alcohol o glicerina con ácidos grasos. Los glicéridos de los ácidos grasos que se presentan en forma líquida a temperaturas normales son denominados aceites y aquellos que aparecen en forma sólida son llamados grasas. Químicamente son similares, están compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno en proporciones variadas.	El contenido graso de las aguas residuales puede provocar varios problemas en los organismos que viven en el agua, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. Si la grasa no se quita antes de la descarga de los residuos, puede interferir con la vida biológica en las aguas superficiales y crear materias y capas flotantes desagradables.	Industrias de procesamiento de alimentos, petroquímicas, de fabricación de hierro y acero, acabado de metal y procesamiento de lana.
1.12	Surfactantes	Los surfactantes, o agentes de superficie, son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua. Los surfactantes también se denominan sustancia activa al azul metileno (MBAS). Antiguamente, el tipo de surfactante que se presentaba en los detergentes sintéticos, denominado Alquil-benceno-sulfonato (ABS), era particularmente problemático ya que resistía la descomposición por medios biológicos. Actualmente, el ABS ha sido remplazado en varios países por detergentes de alquil-sulfonato lineal (LAS), que es biodegradable.	Los surfactantes provocan la creación de espuma en plantas de tratamiento de aguas residuales y en las aguas superficiales a las cuales se descargan efluentes.	Saneamiento municipal, industria textil, fábricas lavaderos.
1.13	Oxígeno Disuelto (OD)	Esta es una medida que indica la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Generalmente, la concentración de oxígeno disuelto en agua superficial es menor de 10 mg/l. La concentración de OD está sujeta a fluctuaciones diarias y estacionales, debido en parte a variaciones en la temperatura, la actividad fotosintética y las descargas de ríos. La solubilidad máxima del oxígeno (totalmente saturado) oscila entre aproximadamente 15 mg/l a 0 °C, a	El oxígeno disuelto es fundamental para el metabolismo respiratorio de la mayor parte de los organismos acuáticos. Afecta la solubilidad y disponibilidad de nutrientes y, por lo tanto, la productividad de los ecosistemas acuáticos. Los bajos niveles de oxígeno disuelto facilitan la liberación de nutrientes de los sedimentos. Los lagos oligotróficos (bajos en nutrientes) tienden a tener concentraciones	Plantación de bosques, fábricas de pulpa de papel, actividades agrícolas, efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales, efluentes industriales, tratamiento de lodos

Description of Water and Sediment Quality Variables (19/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		8 mg/l a 25 °C (al nivel del mar). Las fuentes naturales del oxígeno disuelto se derivan de la atmósfera o a través de la producción fotosintética de plantas acuáticas. La reaeración natural del agua puede tener lugar en áreas de cataratas y rápidos.	elevadas de oxígeno disuelto en el hipolimnion (las aguas más profundas) con relación al epilimnion (se definen como perfiles de oxígeno ortogrado). Los lagos eutróficos (altos en nutrientes) tienden a tener bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el hipolimnion con relación al epilimnion (se definen como perfiles de oxígeno clinogrado).	(represas).
1.14	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	<p>La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba empírica, en la cual se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos de oxígeno relativo de aguas residuales, efluentes y aguas contaminadas. Los microorganismos utilizan el oxígeno atmosférico disuelto en el agua para la oxidación bioquímica de la materia orgánica, que constituye su fuente de carbono. La DBO es utilizada como una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica químicamente biodegradable presente en una muestra. Un período de incubación de cinco días ha sido aceptado como estándar para esta prueba.</p> <p>La DBO determinada por el método de dilución presentado en este documento ha sido utilizada como una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica degradable en una muestra. Con este propósito, el test de dilución, aplicado adecuadamente a muestras en donde no ocurre nitrificación, probablemente sigue siendo la prueba única más adecuada, aunque los métodos manométricos pueden garantizar la consideración en algunos casos. El analista también debe considerar si la información que se requiere no puede obtenerse de otra forma. Por ejemplo, el test de demanda química de oxígeno (DQO) tendrá como resultado la oxidación prácticamente completa de la mayoría de las sustancias orgánicas, indicando de esa forma la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación completa de la muestra.</p>	El carbono es un nutriente necesario para los procesos biológicos. Los altos niveles de carbono orgánico coinciden con un descenso en las concentraciones de oxígeno disuelto.	Industrias de procesamiento de alimentos (mercaderías enlatadas, carne y productos lácteos, productos marinos, procesamiento de almidón), cervecerías, producción de azúcar, procesamiento de lana, industrias de pulpa y papel, industrias de cuero, saneamiento municipal, plantas de tratamiento de excrementos humanos.

Description of Water and Sediment Quality Variables (20/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
1.15	Demanda Química de Oxígeno (DQO _{cr})	<p>La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por la materia orgánica al hervir una solución de dicromato ácido de potasio. Brinda una medida de oxígeno equivalente a la porción de materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible a oxidación bajo las condiciones de la prueba. Es una variable importante, medida rápidamente para caracterizar cuerpos de agua, aguas servidas, aguas residuales industriales y efluentes de plantas de tratamiento.</p> <p>A falta de catalizador, sin embargo, el método no incluye algunos compuestos orgánicos, tales como el ácido acético, que están disponibles biológicamente para los organismos acuáticos, pero si incluye algunos compuestos biológicos, tales como la celulosa, que no forman parte de la demanda bioquímica inmediata en el oxígeno disponible del agua receptora. Puede determinarse la porción carbonosa de los compuestos de nitrógeno, pero el dicromato no se reduce por ningún amoníaco en el residuo o por ningún amoníaco liberado de la materia proteínica. Para algunos residuos que contienen sustancias tóxicas, la DQO o la determinación de carbono orgánico total pueden ser los únicos métodos para determinar la carga orgánica. Debe observarse que aunque ocurran las mismas reacciones químicas, la DQO no es una medida de carbono orgánico.</p>	El carbono es un nutriente necesario para los procesos biológicos. Los altos niveles de carbono orgánico coinciden con un descenso en las concentraciones de oxígeno disuelto.	Industrias de procesamiento de alimentos (mercaderías enlatadas, carne y productos lácteos, productos marinos, procesamiento de almidón), cervecerías, producción de azúcar, procesamiento de lana, industrias de pulpa y papel, industrias de cuero, saneamiento municipal, plantas de tratamiento de excrementos humanos.
1.16	Carbono Orgánico Total (COT)	Esta es una medida que indica el carbono orgánico disuelto y particulado en el agua. La mayor parte del carbono orgánico en el agua está compuesto por sustancias húmicas y materiales de plantas y animales degradados parcialmente. El carbono orgánico es resistente a la degradación microbiana. Se representa en mg/l y en aguas naturales puede oscilar entre 1 y 30	El carbono es un nutriente necesario para los procesos biológicos. Los altos niveles de carbono orgánico coinciden con un descenso en las concentraciones de oxígeno disuelto.	Actividades agrícolas, descargas de residuos municipales e industriales (especialmente fábricas de pulpa y papel).

Description of Water and Sediment Quality Variables (21/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		mg/l.		
1.17	Carbono Inorgánico Total (CIT)	Esta es una medida que indica la suma de carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico. La cantidad relativa de cada uno de estos tres componentes depende del pH del agua. A un pH de 7 a 8, que es lo que se presenta generalmente en la mayoría de los sistemas de agua dulce, predomina el ión de bicarbonato (60-90% del carbono inorgánico total). Las concentraciones de bicarbonato en aguas superficiales son generalmente menores a 500 mg/l y frecuentemente mayores a 25 mg/l.	El carbono es un nutriente necesario para los procesos biológicos. Las formas inorgánicas del carbono son parte del ciclo de carbono de la biosfera. Los iones de bicarbonato se comportan como el amortiguador principal en los sistemas de agua dulce y brindan dióxido de carbono para la fotosíntesis.	Fuentes antropogénicas: muchas industrias utilizan sales de bicarbonato debido a su alta solubilidad.
2. Sustancias Perjudiciales				
2.1	Cianuro (CN ⁻)	En las muestras de agua el cianuro se mide en varias formas. Puede combinarse con metales para formar una variedad de compuestos. La forma que asuma depende ampliamente del pH, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y la presencia de otros iones.	El cianuro es una sustancia tóxica que causa que los tejidos no puedan realizar intercambio de oxígeno. A un pH menor que 8, el cianuro existe como cianuro de hidrógeno sin disociar (CHI), que es más tóxico para la vida acuática que el ión de cianuro libre. A concentraciones mayores de 200 µg/l el cianuro es sumamente tóxico para la mayoría de las especies de peces.	Enchapado de metales, galvanización, actividades de minería (especialmente yacimientos de oro), plantas de gas y coque.
2.2	Fenoles	Los fenoles son el nombre general de los compuestos de series aromáticas compuestas con hidróxido reemplazando el hidrógeno. Los compuestos que pueden aparecer en los problemas medioambientales son fenol, cresol y clorofenol.	Los fenoles son altamente tóxicos para los animales, ya que causan corrosión en la piel. También resultan crónicamente tóxicos para los sistemas nerviosos.	Plantas de gas y coque, industrias de resina sintética, industrias químicas orgánicas.
2.3	Fluoruro (F)	El fluoruro puede estar presente como resultado de la descomposición natural de rocas o en suministros de agua potable tratados, como resultado de un programa local de fluorización de agua.	El fluoruro evita el deterioro de los dientes. Una cantidad excesiva de fluoruro puede manchar el esmalte dental. En Canadá, la concentración máxima aceptable en el agua potable es de 1.5	Fluorización de suministros de agua potable, actividades de minería, fundiciones.

Description of Water and Sediment Quality Variables (22/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
			mg/l.	
3. Nutrientes				
3.1	Amoníaco Total (T-NH ₃)	Esta es una medida que indica la forma inorgánica más reducida del nitrógeno en el agua e incluye amoníaco disuelto (NH ₃) y el ión de amonio (NH ₄ ⁺). El nitrógeno es un nutriente fundamental de las plantas y aunque el amoníaco es solo un pequeño componente del ciclo de nitrógeno, contribuye al estado trófico de los cuerpos de agua. El amoníaco se representa generalmente en µg/l o mg/l. Generalmente, las aguas naturales tienen concentraciones de amoníaco menores de 0.1 mg/l.	El exceso de amoníaco contribuye a la eutrofización de los cuerpos de agua. Esto tiene como resultado el crecimiento prolífico de algas, causando efectos perjudiciales en otro tipo de vida acuática, suministros de agua potable y recreación. Las altas concentraciones de amoníaco son tóxicas para la vida acuática.	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, efluentes industriales, actividades de minería (residuos de voladuras).
3.2	Nitrito (NO ₂ ⁻)	Esta es una medida que indica una forma de nitrógeno que se presenta como intermediaria en el ciclo de nitrógeno. Es una forma inestable que se oxida rápidamente a nitrato (NO ₃ ⁻ , nitrificación) o se reduce a gas de nitrógeno (desnitrificación). Esta forma de nitrógeno también puede utilizarse como una fuente de nutrientes para plantas. El nitrito se representa generalmente en µg/l o mg/l. Habitualmente, en aguas superficiales solo está presente en cantidades diminutas (menos de 0.001 mg/l).	Dado que el nitrito también es una fuente de nutrientes para plantas, su presencia fomenta la proliferación de plantas. El nitrito es tóxico para la vida acuática en concentraciones relativamente bajas.	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, efluentes industriales, minería (residuos de voladuras).
3.3	Nitrato (NO ₃ ⁻)	Esta es la medida que indica la forma más oxidada y estable del nitrógeno en los cuerpos de agua. El nitrato es la forma principal del nitrógeno combinado que se encuentra en el agua natural. Resulta de la completa oxidación de los compuestos de nitrógeno. Generalmente se representa en µg/l o mg/l. Sin entradas antropogénicas, la mayoría de las aguas superficiales presentan menos de 0.3 mg/l de nitrato.	El nitrato es la forma primaria de nitrógeno utilizada por las plantas como nutriente para estimular el crecimiento. Una cantidad excesiva de nitrógeno puede resultar en la proliferación de fitoplancton o macrofitas. A niveles altos, es tóxico para los niños.	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, efluentes industriales, minería (residuos de voladuras).
3.4	Nitrógeno Orgánico Total	Es una medida que indica la porción de nitrógeno que está ligado orgánicamente. El nitrógeno orgánico incluye todos los compuestos orgánicos, tales como proteínas,	El nitrógeno orgánico no está disponible inmediatamente para la actividad biológica. Por lo tanto, no contribuye a aumentar la proliferación	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades

Description of Water and Sediment Quality Variables (23/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		polipéptidos, aminoácidos y urea. Se representa en mg/l. El nitrógeno orgánico disuelto puede constituir habitualmente más del 50% del nitrógeno soluble total en el agua dulce.	de plantas hasta que no se descompone a las formas inorgánicas del nitrógeno.	agrícolas, desarrollos urbanos, fábricas de papel, efluentes industriales.
3.5	Nitrógeno Kjeldahl (Kj-N)	Esta es una medida que indica tanto el amoníaco como las formas orgánicas del nitrógeno.	El exceso de amoníaco contribuye a la eutrofización de los cuerpos de agua. Esto tiene como resultado el crecimiento prolífico de algas que tienen efectos perjudiciales en otro tipo de vida acuática, suministros de agua potable y recreación. Las altas concentraciones de amoníaco resultan tóxicas para la vida acuática. El nitrógeno orgánico no está disponible inmediatamente para la actividad biológica. Por lo tanto, no contribuye a aumentar la proliferación de plantas hasta que no se descompone a las formas inorgánicas del nitrógeno.	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, fábricas de papel, efluentes industriales, minería (residuos de voladuras).
3.6	Nitrógeno Total (T-N)	Esta es una medida que indica todas las formas de nitrógeno (orgánicas e inorgánicas). El nitrógeno es un elemento esencial de las plantas y habitualmente es el nutriente restrictivo en aguas marinas.	La importancia del nitrógeno en el ambiente acuático varía según las cantidades relativas de las formas de nitrógeno presentes. El nitrógeno puede estar presente en amoníaco, nitrito, nitrato o nitrógeno orgánico (cada uno de los cuales fueron detallados anteriormente).	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, fábricas de papel, efluentes industriales, minería (residuos de voladuras).
3.7	Fósforo Total (T-P)	Esta es una medida que indica tanto la forma inorgánica como orgánica del fósforo. El fósforo puede estar presente en la materia disuelta o particulada. Es un nutriente esencial de las plantas y habitualmente es el nutriente más restrictivo para el crecimiento de plantas en agua dulce. Rara vez se presenta en concentraciones importantes en el agua superficial. Generalmente se representa en µg/l o mg/l. Por lo general, la	Dado que el fósforo es por lo general el nutriente más restrictivo, su ingreso a los sistemas de agua dulce puede causar una proliferación del crecimiento de algas. Por lo tanto, los aportes de fósforo son el factor principal que contribuye a la eutrofización en la mayoría de los sistemas de agua dulce. Una pauta general relativa al fósforo y a la productividad en lagos es que cuando se	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos (particularmente de detergentes), efluentes industriales.

Description of Water and Sediment Quality Variables (24/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		concentración de fósforo total en la mayoría de los lagos que no se ven afectados por aportes antropogénicas es menor de 0.01 mg/L (10 µg/l).	presenta un valor de fósforo menor a 10 µg/l se considera oligotrófico, de 10-25 µg/l los lagos son considerados mesotróficos y por encima de 25 µg/l serían eutróficos.	
3.8	Ortofosfato (PO ₄ ⁻)	Esta es una medida de la forma inorgánica oxidada del fósforo soluble. Generalmente se representa en µg/l o mg/l.	Esta forma de fósforo es la que está disponible más rápidamente para absorción durante la fotosíntesis. Las altas concentraciones de ortofosfato se presentan generalmente junto con la floración de algas.	Efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, actividades agrícolas, desarrollos urbanos, efluentes industriales.
4. Metales				
4.1	Arsénico (As)	El arsénico tiene una naturaleza intermedia entre metales y no metales.	El arsénico es cancerígeno y mutágeno para los organismos en el agua y el cuerpo humano. A largo plazo, causa fatiga, pérdida de energía y dermatitis.	Producción química inorgánica, fabricación de pesticidas, fabricación de vidrio y fabricación de semiconductores.
4.2	Cadmio (Cd)	El cadmio se mide tanto en estado total como disuelto en una muestra de agua. Generalmente se encuentra en concentraciones traza de menos de 0.1 µg/l. A un pH alto, el cadmio se precipita de la solución. En el ambiente natural se relaciona estrechamente con el cinc y el plomo.	El cadmio tiene efectos acumulativos altamente tóxicos en todas las formas químicas. Se acumula en las células vegetales. El cadmio se caracteriza por tener efectos extremadamente tóxicos en la trucha y el zooplancton. Es sabido que otros metales pesados, tales como el cinc y el cobre, aumentan la toxicidad del cadmio.	Varios efluentes industriales (también liberados a la atmósfera, por lo que causan un aporte aéreo), actividades de minería
4.3	Cobre (Cu)	El cobre se mide tanto en estado total como disuelto en la muestra de agua. Generalmente se encuentra en concentraciones traza y oscila entre 1-10 µg/l.	El cobre es esencial para la nutrición vegetal y animal. Las cantidades elevadas de cobre hacen que el agua tenga un gusto desagradable para beber. Las dosis elevadas prolongadas pueden causar daño hepático. El cobre es altamente tóxico para la mayoría de las formas de vida acuática a concentraciones relativamente bajas. En presencia de cantidades excesivas de	Varios efluentes industriales (también liberados a la atmósfera, por lo que causan un aporte aéreo), actividades de minería, desarrollos urbanos

Description of Water and Sediment Quality Variables (25/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
			molibdeno en cultivos de forraje, el cobre puede mejorar la toxicidad del molibdeno y evitar la aparición de molibdenosis en el ganado y otros rumiantes.	(alcantarillado).
4.4	Cromo (Cr)	El cromo se mide tanto en estado total como disuelto en una muestra de agua. Comprende el compuesto trivalente así como el hexavalente.	Los compuestos de cromo hexavalente son cancerígenos y corrosivos para los tejidos. A largo plazo, causa sensibilización de la piel y daño renal.	Elementos de aleación y enchapado en metales y sustratos plásticos para resistencia de corrosión, que contengan cromo y acero inoxidable, curtiembre de cuero, etc.
4.5	Plomo (Pb)	El plomo se mide tanto en forma total como disuelta en las muestras de agua. Por lo general, se encuentran bajas concentraciones de plomo en el agua debido a su baja solubilidad. El plomo es más soluble en aguas blandas que en aguas duras.	El plomo es un elemento tóxico que se acumula en las estructuras óseas. Los efectos tóxicos del plomo en los peces disminuyen al aumentar la dureza y el oxígeno disuelto en el agua.	Desarrollos urbanos, efluentes industriales, actividades de minería.
4.6	Mercurio (Hg)	El mercurio se representa como el mercurio total en muestras de agua o tejidos. Es un metal traza en la corteza terrestre y se presenta solo en cantidades diminutas en las aguas naturales (generalmente 1-2 ng/l). Las muestras de agua con valores de 5-10 ng/l (utilizando técnicas ultra limpias) se consideran contaminadas. Debido a estas bajas concentraciones, la contaminación durante la recolección y el análisis de muestras representa un problema considerable, dificultando la medición precisa de mercurio en muestras de agua ambiente. En consecuencia, es medido con más frecuencia en muestras de tejido, en donde las concentraciones son mucho más altas y es menos probable que ocurra contaminación.	Los compuestos de mercurio son sumamente tóxicos y tienen un largo tiempo de retención en las células animales. El mercurio se bioacumula en el riñón y en el hígado y puede causar daño cerebral permanente.	Los compuestos de mercurio son utilizados en varios procesos comerciales e industriales (por ejemplo, en minería y fundiciones, producción de fertilizantes). Antiguamente se utilizaba como afinador en fábricas de pulpa y papel. Puede ser vertido desde instalaciones médicas.

Description of Water and Sediment Quality Variables (26/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
4.7	Cinc (Zn)	El cinc se mide tanto en estado total como disuelto en una muestra de agua. Habitualmente se encuentra en concentraciones de menos de 0.05 mg/l. En áreas de aguas ácidas naturales puede alcanzar un máximo de 50 mg/l.	El cinc es un elemento esencial para las plantas y los animales, ya que es necesario para el funcionamiento de ciertas enzimas. Es relativamente no tóxico para los organismos terrestres, aunque resulta sumamente y crónicamente tóxico para los organismos acuáticos, particularmente los peces. La toxicidad del cinc disminuye al aumentar la dureza y se incrementa al aumentar la temperatura y al disminuir el oxígeno disuelto.	Actividades de minería, industrias (de pintura, goma, textiles, imprenta), agricultura (fertilizantes, pesticidas), escorrentía urbana.
5. Variables Biológicas y de Fitoplancton				
5.1	Bacteria Coliforme	Esta variable ofrece una estimación del grado de contaminación fecal de residuos humanos y animales. El grupo de coliformes totales (de microorganismos) incluye: coliformes fecales, comunes en el tracto intestinal de humanos y de animales de sangre caliente, y coliformes no fecales, que se presentan naturalmente en suelos y en vegetación. Los resultados de los coliformes se indican en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias Coliformes Totales contadas en 100 mililitros de agua o en Número Más Probable (NMP) por 100 ml de agua. Se realizan pruebas tanto para Coliformes Totales como Fecales, aunque los coliformes fecales brindan un medio directo para medir el aporte de residuo humano y animal.	La presencia de bacteria coliforme en el agua puede indicar la existencia de contaminación por residuos humanos o animales. La filosofía general relativa a utilizar un organismo indicador, es que si se encuentra contaminación fecal en el agua, también existen organismos patógenos.	Plantas de tratamiento de aguas servidas, áreas de recreación, fábricas de pulpa y papel, ganado, escorrentía urbana.
5.2	Clorofila	Es una medida de la biomasa de fitoplancton o perifiton en un cuerpo de agua. Se representa en µg/l para especies de plancton y mg/m ² para especies adjuntas. Esta variable se relaciona directamente con la productividad y el estado trófico del cuerpo de agua.	Las altas concentraciones de clorofila son el resultado directo de altos aportes de nutrientes y/o de luz en el agua. Se considera que los valores por debajo de 3 µg/l (plancton) indican baja productividad (aguas oligotróficas). Los valores mayores de 15 µg/l indican generalmente alta productividad (aguas eutróficas). Las altas temperaturas y/o el aporte de sedimentos así	Actividades agrícolas, efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas (la gravedad depende del tipo de tratamiento), plantación de bosques,

Description of Water and Sediment Quality Variables (27/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
			como de herbicidas, por lo general resultan en la disminución de concentraciones de clorofila.	desarrollo urbano.

Description of Water and Sediment Quality Variables (28/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
PARTE II: CALIDAD DE SEDIMENTOS				
1. Metales				
1.1	Arsénico (As)	Es una medida que indica el arsénico total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g. El arseniato (AsO_4^{3-}) es la forma estable en aguas bien oxigenadas y tiende a ser absorbido a partículas de arcilla en sedimentos.	El arsénico puede ser sumamente o crónicamente tóxico para los mamíferos.	Efluentes industriales, aplicación de pesticidas con arsénico, operaciones de fundición.
1.2	Cadmio (Cd)	Es una medida que indica el cadmio total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g. Las sales de cadmio (cloruros, nitratos o sulfatos) tienden a ser absorbidas a partículas de arcilla en los sedimentos. El cinc y el plomo están estrechamente relacionados con el cadmio.	El cadmio puede ser tóxico particularmente en presencia de cinc y cianuro. La toxicidad resulta particularmente grave en mamíferos, así como en algunas especies de peces (por ejemplo, la trucha, por medio de la reproducción inhibida). El cadmio reduce el crecimiento de plantas.	Efluentes industriales (operaciones de enchapado electrónico, producción de cobre y níquel), combustión de combustible fósil.
1.3	Cromo (Cr)	Es una medida que indica el cromo total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g.	El cromo, así como los iones crómicos y de cromato, es tóxico para las plantas.	Efluentes industriales (fabricación de pinturas, tinturas, explosivos, acero inoxidable, cerámica y papel), fertilizantes, pesticidas.
1.4	Cobre (Cu)	Esta es una medida que indica el cobre total en una muestra de sedimento. Se indica en µg/g. Los carbonatos, hidróxidos, óxidos y sulfuros de cobre son relativamente insolubles, por lo tanto, cuando las condiciones son alcalinas, estas formas son absorbidas en los sedimentos.	El cobre es esencial para la nutrición de vegetales y animales. No es altamente tóxico pero tiene efectos crónicos por exposición prolongada a altas concentraciones. La toxicidad del cobre depende de la temperatura, la dureza y la turbiedad del agua.	Efluentes industriales (textiles, productos eléctricos, pinturas anti-incrustantes), fundiciones, tuberías y equipos de cobre.
1.5	Plomo (Pb)	Es una medida que indica el plomo total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g. El plomo es insoluble y es fuertemente absorbido por los sedimentos.	El plomo es tóxico para todos los animales. Se acumula en las estructuras óseas. Los efectos tóxicos disminuyen al aumentar el oxígeno	Efluentes industriales (imprentas, teñidos, fotografía, explosivos),

Description of Water and Sediment Quality Variables (29/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
			disuelto y la dureza en el agua.	combustibles con plomo, aceite de motores, fundiciones y refinerías, baterías (producción y depósito).
1.6	Mercurio (Hg)	Es una medida que indica el mercurio total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g. Las concentraciones de mercurio en soluciones acuosas son extremadamente pequeñas, por lo cual es más adecuado medir el mercurio en sedimentos y tejidos. Los compuestos de mercurio son absorbidos rápidamente por el material particulado que se deposita en los sedimentos.	El mercurio es altamente tóxico para los animales. Los compuestos de mercurio se mantienen en los tejidos por extensos períodos. Es una sustancia que se biomagnifica rápidamente en la cadena alimenticia acuática.	Efluentes industriales (pinturas, equipos eléctricos, baterías, amalgamas dentales).
1.7	Cinc (Zn)	Es una medida que indica el cinc total en una muestra de sedimento. Se representa en µg/g. El cinc es sumamente abundante en la naturaleza. Los iones de cinc son absorbidos rápidamente por las partículas de sedimentos.	El cinc es un nutriente esencial para las plantas. Puede ser tanto crónica como sumamente tóxico para los organismos acuáticos, especialmente los peces. La toxicidad depende de varios factores: disminuye al aumentar la dureza y se incrementa al aumentar la temperatura, el oxígeno disuelto y las concentraciones de cobre y cadmio.	Efluentes industriales (pintura, goma, textiles, imprenta), fertilizantes, pesticidas, fundiciones, combustibles fósiles en combustión, actividades de minería.
2. Sustancias Tóxicas y Perjudiciales				
2.1	Compuestos Organoclorados (Pesticidas)	Esta es una medida que indica la concentración de un organoclorado en el sedimento. Son compuestos utilizados generalmente como pesticidas (principalmente insecticidas).	Los organoclorados pueden ser altamente tóxicos y persistentes en los sedimentos. Su toxicidad está relacionada al trastorno de la absorción de oxígeno, lo que resulta en sofocación y muerte. También tienden a acumularse en los tejidos adiposos de los animales.	Regeneración de bosques, aplicación de pesticidas.
2.2	Bifenilos Policlorados (PCBs)	Esta es una medida para un grupo de químicos industriales que se utilizaban como plastificantes y aislantes térmicos en transformadores y cables eléctricos. Actualmente está prohibido su uso en varios países. Los PCBs son altamente resistentes a la degradación	Los PCBs presentan varios grados de toxicidad, dependiendo del porcentaje de sustitución de cloruros. Bioacumulan y tienden a presentarse en concentraciones elevadas en el tejido adiposo. Los PCBs interfieren con las capacidades	Descargas de efluentes municipales e industriales.

Description of Water and Sediment Quality Variables (30/15)

Nº	Nombres	Definiciones	Posibles Efectos	Fuentes de Generación
		biológica, química y térmica. Son químicos inertes, relativamente insolubles en agua y tienden a acumularse en los sedimentos.	reproductivas (esto ha sido ampliamente demostrado en animales que ocupan una posición elevada en la cadena alimenticia, tales como aves predatoras).	
2.3	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	Los HAPs son compuestos formados por dos o más anillos de benceno fusionados y son omnipresentes en el medio ambiente. Los HAPs que tienen importancia medioambiental contienen de dos a siete anillos de benceno. Se utilizan como intermediarios en industrias farmacéuticas, fotográficas y químicas. Algunos son utilizados en la producción de funguicidas, insecticidas y surfactantes. Se representan en µg/g (peso en seco) en sedimentos.	Los HAPs de menor peso molecular (de dos a tres anillos de benceno) son altamente tóxicos para la vida acuática. Los HAPs con cuatro a siete anillos no resultan tan tóxicos, pero varios de los mismos son considerados cancerígenos.	Fuentes antropogénicas: combustibles fósiles, quemados agrícolas, procesos industriales, tratamiento de plagas, escorrentía urbana.

Description of Water and Sediment Quality Variables (31/15)