



Vigilancia de cuencas hidrográficas:

Introducción al muestreo de agua

Guía de referencia

Diciembre de 2004

Esta página se deja en blanco a propósito.

Vigilancia de cuencas hidrográficas: Introducción al muestreo de agua

Reconocimientos

La financiación estratégica y el apoyo para este trabajo fueron proporcionadas por el Fondo Canadá-Saskatchewan de Innovación en Agroalimentación. En particular, muchas gracias a Sharon Reedyk por sugerir la elaboración de la presente guía y dar un juicio crítico.

Salvedad

El presente documento educativo no debe considerarse una aprobación por parte de los autores, el equipo de elaboración de los módulos o los organismos representados, de ninguno de los productos o servicios en él mencionados.

Reservados todos los derechos

El Ministerio de Agricultura y Agroalimentación de Canadá es el titular de los derechos de autor de este documento, el cual sólo podrá utilizarse y reproducirse con permiso y citando debidamente su procedencia. El presente documento no podrá ser utilizado por terceros para fines de enseñanza o reventa comercial, sin obtener previamente una autorización escrita del Ministerio de Agricultura y Agroalimentación de Canadá.

Autor principal:

Nancy Scott, Ministerio de Agricultura y Agroalimentación de Canadá
(Administración del Restablecimiento Agrícola de las Praderas), Edmonton,
Alberta

Índice

Sección 1: Razones para efectuar un muestreo.....	1
Diseño de un plan de muestreo	
Muestreo para un programa de vigilancia a largo plazo	
Muestreo para determinar la calidad del agua	
Muestreo para establecer las condiciones de base	
Muestreo para identificar ciertos sitios	
Sección 2: ¿Qué aspecto tiene el sistema?	4
Sección 3: Evaluación de un muestreo.....	6
Sección 4: Realización del muestreo.....	7
Toma de muestras de agua	
Consideraciones generales sobre el muestreo de aguas corrientes	
Muestreo de un curso de agua de poca profundidad	
Muestreo de un río o un gran arroyo	
Muestreo de un lago	
Ejemplos de muestreo de lagos	
Sección 5: Para obtener la mayor información de las muestras	17
Aguas corrientes	
Aguas quietas	
Sección 6: Qué análisis químicos mandar hacer	20
Sección 7: Otras opciones de análisis.....	22
Instrumentos y equipos de campo	
Otros indicadores de la calidad del agua	
Glosario	23
Apéndice: Determinación de la batimetría de un lago	

Esta página se deja en blanco a propósito.

Sección 1

Razones para efectuar un muestreo

Diseño de un plan de muestreo

La primera pregunta que cabe plantearse es por qué se toman muestras de agua. La respuesta debe ser algo más concreto que un simple “porque está allí”. ¿Se hace el muestreo por alguna de las siguientes razones?

- Establecer un programa de vigilancia a largo plazo
- Determinar la química del agua en un solo punto o en un área amplia
- Establecer valores de referencia para una masa de agua o sistema hidrológico
- Localizar áreas que puedan estar produciendo cambios en la calidad del agua

El programa de muestreo debería adaptarse a las cuestiones que se quiera abordar. No tema comenzar de a pocos. Es más económico aumentar gradualmente el tamaño de las muestras y el costo de los análisis que tratar de recoger muestras de todo desde el principio. Muchos buenos programas comienzan con un **estudio piloto**, una versión a pequeña escala del proyecto de vigilancia. Esta breve guía le dará nociones básicas sobre muestreo y vigilancia de la calidad del agua. Asimismo, le explicará los parámetros comunes que se tienen en cuenta en una muestra de rutina y métodos apropiados para recoger muestras de agua. Sin embargo, NO le enseñará medidas de seguridad para trabajar en el agua y sus inmediaciones. Para ello, se recomienda que tome un curso certificado.

Muestreo para un programa de vigilancia a largo plazo

Al hablar de cuencas hidrográficas, “largo plazo” suele significar *por lo menos* tres años, de preferencia un tiempo mucho más largo.. Los organismos o grupos relacionados con las cuencas hidrográficas a menudo establecen programas a largo plazo para asegurar una vigilancia continua de las características de determinada cuenca. En general, esa medida se logra aplicar repitiendo muestreos en sitios designados. La frecuencia del muestreo y los parámetros empleados a menudo están limitados por la disponibilidad de fondos y el esfuerzo que exige el muestreo.

La principal finalidad de los programas a largo plazo es establecer las características usuales del sistema. Es una situación semejante a la de una persona que periódicamente se hace un examen médico, esté o no enferma.

Permite al investigador conocer muy bien el sistema. La vigilancia sistemática ayuda a determinar lo que es “normal” (en términos meteorológicos, lo **normal** generalmente es el promedio de 30 años). Si son asequibles en cuanto a tiempo y dinero, los programas a largo plazo se recomiendan en razón de los conocimientos que permiten obtener.

Muestreo para determinar la calidad del agua

A veces un grupo de usuarios simplemente desea saber cuál es la calidad del agua de un río o arroyo y si en general es buena o mala. Es posible determinarla tomando algunas muestras, pero hay que hacerlo con cuidado. Una de las características de los sistemas acuáticos es que pueden cambiar radicalmente y es fácil equivocarse al interpretar los resultados. La calidad de los datos depende no solamente del cuidado con que se ha hecho el muestreo sino también del número de muestras. En general, un número grande de muestras tomadas durante un período prolongado producirán mejor información que unas pocas muestras tomadas durante un período breve.

Si sólo se pretende tener una idea de la calidad del agua, es muy importante seleccionar **sitios representativos** para efectuar el muestreo. Esa medida se aplica a todo muestreo, pero es fundamental cuando sólo se hace una evaluación rápida y de carácter general. Los sitios de muestreo deben tener un aspecto similar a la generalidad del sistema. Si el curso de agua está bordeado de árboles en toda su extensión salvo donde hay una represa de castores, no tome muestras justo en ese embalse.

Muestreo para establecer las condiciones de base

El establecimiento de valores de base suele ser parte integrante de todo programa de vigilancia a largo plazo. Sin embargo, cabe hacer la distinción para ilustrar el hecho de que las tareas de vigilancia con el tiempo pueden variar.

Las condiciones de base de un sistema generalmente se determinan tomando muestras en los mismos sitios por lo menos durante un año y como mínimo una vez por estación. Ese muestreo permitirá conocer las características particulares de cada período. A partir de esa información, los muestreos futuros se podrán programar para los momentos en que el sistema sea más vulnerable (es decir, cuando presente una mayor reacción ante impactos). De ese modo, el investigador podrá racionalizar la labor de muestreo una vez establecidas las condiciones de base. Esa medida reviste particular importancia cuando los fondos son limitados y el tiempo para el muestreo es escaso.

Muestreo para identificar ciertos sitios

Se toman muestras de sistemas acuáticos para localizar determinadas áreas por una de dos razones:

1. se sospecha que hay una fuente de contaminación en algún lugar del sistema, o bien,
2. se busca demostrar que una medida correctiva ha sido eficaz.

A esos efectos, a menudo es necesario seleccionar varios puntos de muestreo dentro del sistema, situados radialmente a partir del sitio tomado como objetivo. También puede ser necesario tomar muestras de un **sistema apareado**, es decir, un sistema lo más parecido posible al sistema principal, pero sin el impacto que se tiene en la mira. El sistema apareado sirve de control.

Para este tipo de programa, lo más importante es planear el muestreo en forma adecuada. Se necesitarán datos estadísticos para mostrar que los sitios en cuestión son considerablemente diferentes del resto del sistema. El tipo, situación y número de muestras deberán adecuarse a los análisis estadísticos que se proyecte realizar.

Sección 2

¿Qué aspecto tiene el sistema?

Las aguas de superficie se clasifican en dos categorías principales de sistemas: los sistemas de aguas lénticas (quietas) y de aguas lólicas (corrientes). Al diseñar un plan de muestreo es necesario tomar en cuenta el tipo de sistema. Con frecuencia, los sistemas naturales son una combinación de las dos categorías de aguas superficiales. ¿De qué modo se tienen en cuenta esas variaciones? He aquí tres ejemplos:

Ejemplo 1

Un usuario de agua, situado cerca de las nacientes de un arroyo, quisiera tomar muestras de éste. En ese punto, el agua que entra al curso de agua proviene de las siguientes fuentes primarias:

- escorrentía de las tierras circundantes
- aportes de aguas subterráneas
- lluvia

El usuario no estaría errado si tomara muestras en un solo punto de la corriente. En este caso, es aceptable suponer que el agua que corre por el punto de muestreo tiene las mismas características que aguas arriba, ya que el muestreo se hace en el lugar de la fuente o muy próximo a ella.

Ejemplo 2

Un usuario de agua desea tomar muestras de un arroyo que nace a gran distancia del punto de muestreo propuesto. El sistema no contiene lagos, pero sí corrientes tributarias del curso de agua principal. Por lo tanto, el sistema recibe agua de las siguientes fuentes:

- escorrentía de las tierras circundantes
- aportes de aguas subterráneas
- lluvia
- afluentes

El usuario debe estudiar cuidadosamente cómo va a efectuar el muestreo de estas aguas. Más allá de la desembocadura de una corriente tributaria, el agua del curso principal puede tener características diferentes de las que tenía en la cabecera. Recuerde que los afluentes también reciben aportes de la escorrentía, aguas subterráneas y lluvia. El régimen de muestreo más riguroso

debería incluir puntos de muestreo en las nacientes del curso de agua principal y cada curso tributario, en puntos situados después de cada desembocadura (confluencia) y en un punto aguas abajo de todas las confluencias. Una tarea enorme.

Ejemplo 3

Un usuario de agua desea tomar muestras de un arroyo que forma parte de una compleja red de afluentes y lagos de tamaño y volumen variable. Cada arroyo y lago de la red recibe aportes de la escorrentía, aguas subterráneas y lluvia. Este ejemplo ilustra lo que suele ocurrir en las praderas. Si se aplicara el régimen de muestreo riguroso del ejemplo 2, posiblemente habría que tomar muestras en cientos de puntos. Sería meticuloso, pero no realista ni eficaz en función del costo. La pregunta planteada al principio (“¿De qué modo se tienen en cuenta esas variaciones?”) se ha transformado en “¿Cómo se puede elaborar un programa de muestreo a fin de tener en cuenta LA MAYORÍA de esas variaciones?”

Sección 3

Evaluación del muestreo

Muchas personas no se dan cuenta de que una única muestra de agua no puede responder a todas las preguntas. Los resultados de una sola muestra son semejantes a la fotografía de un bebé. Permite ver el aspecto que tiene el bebé *en ese momento*. En una foto que se tome dos semanas después, el bebé tendrá un aspecto parecido, pero no igual. Y la foto que se saque dos meses después mostrará a un bebé bastante diferente del primero, aunque sea la misma persona. Algo parecido ocurre cuando se toma una única muestra de agua. Da buena información sobre el agua y su química *en ese momento*.

Los ejemplos de la complejidad de los cursos de agua que figuran en la sección anterior y el ejemplo de la fotografía revelan dos importantes aspectos de las cuencas hidrográficas:

Las cuencas varían en función del tiempo y del espacio.

El agua de una corriente puede cambiar a medida que se aleja de la fuente y a lo largo de su curso (espacio). Puede cambiar con el paso de las estaciones y según envejece el sistema en su conjunto (tiempo).

El programa de muestreo debería basarse en la razón principal que lo motiva, pero teniendo en cuenta el mayor número posible de variaciones que ocurren en la cuenca. Difícil, pero no imposible. Para tener en cuenta las variaciones en el espacio, las muestras de agua se deben tomar en más de un punto a lo largo del curso. Para tener en cuenta las variaciones en el tiempo, las muestras de agua se deben tomar en distintos períodos del año y durante más de un año. Sin embargo, es casi imposible prescribir un programa que se pueda aplicar a todas las cuencas. Los programas de muestreo deberían ser idóneos para el problema entre manos.

Sección 4

Realización del muestreo

Toma de muestras de agua

En cada muestra que se tome, lo único que puede tocar el interior de la botella es el agua de la muestra. Eso significa no introducir dedos en el cuello del frasco para sujetarlo mejor ni meter el pulgar en la tapa. Hay que imaginar que el interior del frasco de muestreo, así como el interior de la tapa, son radiactivos. No los toque, ni siquiera con guantes. A menudo las personas usan guantes pensando que éstos son una excelente barrera de protección para sus manos. Los guantes no se mantienen limpios si usted se rasca la cabeza o se frota la nariz con ellos. Los productos químicos del champú, la crema de manos y el jabón contaminan la muestra de agua y falsean los resultados.

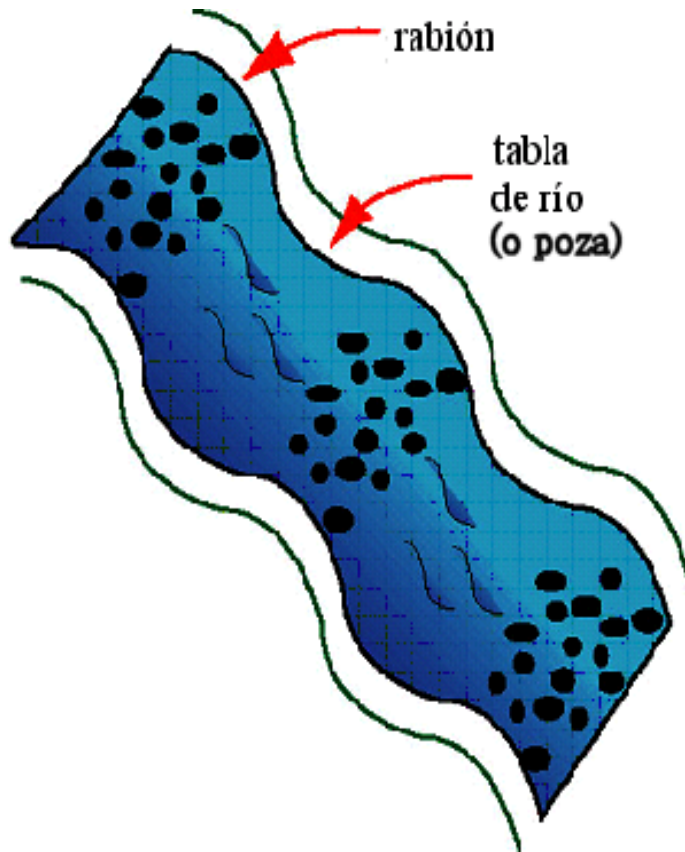
En la mayoría de los muestreos, es necesario enjuagar el frasco antes de llenarlo. Enjuagar el frasco significa llenarlo parcialmente, taparlo, agitarlo vigorosamente unos segundos y vaciarlo en la corriente aguas abajo. Repita este procedimiento por lo menos tres veces. Después de enjuagarlo, recoja la muestra sumergiendo completamente el frasco en el agua hasta que se llene. Cierre bien la tapa y guarde debidamente el frasco. Las muestras de agua se deben almacenar y transportar a la temperatura más baja que sea posible *sin congelarlas*. La congelación puede inutilizar las muestras para ciertos análisis. Lo mejor es siempre revisar los protocolos de muestreo con el laboratorio.

Ciertos muestreos requieren que el frasco se llene sin enjuagarlo previamente. En tal caso, el frasco se sumerge completamente en el agua, se llena, se tapa y se guarda de inmediato. Para ciertas muestras, es necesario llenar el frasco hasta el borde; es decir, sin dejar un espacio de aire entre la muestra de agua y la tapa. El frasco se debe enjuagar en la forma usual y llenar hasta que desborde antes de taparlo. Es posible que se formen pequeñas burbujas de aire en el interior del frasco, lo cual no tiene importancia siempre que en un principio no haya quedado un gran espacio de aire en la parte superior del frasco.

En algunos casos, los frascos para muestras contienen un reactivo. Nunca los enjuague. A menudo es necesario llenarlos hasta cierto punto, ya sea hasta el borde o hasta una marca. Está permitido llenar esos frascos con el agua que se ha recogido en otro frasco previamente bien enjuagado. De ese modo es más fácil llenar el frasco marcado hasta el nivel correcto.

Consideraciones generales sobre el muestreo de aguas corrientes

Un arroyo o río sano presenta una alternancia regular de rabiones y tablas de río o pozas.



Los rabiones son zonas donde el agua en general es menos profunda y más rápida y turbulenta. En un rabión, el agua corre a menudo sobre un lecho de grava, a lo largo de rocas o entre peñas.

Las tablas o pozas son tramos en que el agua es más profunda y lenta, y mucho menos turbulenta que en los rabiones. Corre a distintas velocidades según forme tablas o pozas — a mayor velocidad en las tablas y a menor velocidad en las pozas. El agua que casi no corre se dice que está estancada; es lo que ocurre en los embalses producidos por castores o acumulaciones de troncos.

Los rabiones a menudo son excelentes sitios para recoger muestras de agua en pequeños arroyos. La turbulencia del rabión hace que el agua se mezcle bien. En las tablas, pozas y estanques, las partículas en suspensión sedimentan porque la corriente es más lenta. El agua de esas zonas no se considera representativa de todo el arroyo o río.

El mejor lugar para tomar muestras en un rabión es aquel en que se puede sumergir completamente el frasco más grande de muestreo. Es mejor elegir un lugar que tenga las características más comunes de ese rabión. Por ejemplo, no tome la muestra directamente detrás de la única roca grande que haya en todo el rabión.

En las corrientes de agua grandes, es posible que los rabiones sean demasiado turbulentos para acceder a ellos en condiciones de seguridad. En los grandes cursos de agua, las muestras se toman en general en los trechos de

corriente más lenta.

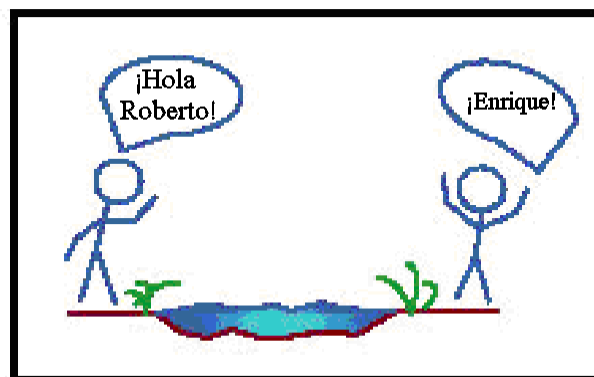
Trabajar en ríos y arroyos puede ser peligroso, especialmente en las zonas de rabiones. El agua corre con rapidez y las rocas a menudo son resbaladizas. Si las condiciones parecen seguras, desplácese en el agua con el cuerpo *paralelo a la corriente*. Eso significa que, si camina en el agua con los brazos extendidos hacia los lados, uno de ellos apuntará aguas arriba y el otro, aguas abajo. De ese modo, la corriente chocará sólo contra una de las piernas. Si vadea el arroyo con el agua hasta la mitad del muslo y el cuerpo perpendicular a la corriente, es decir, haciéndole frente, recibirá la fuerza del agua en las dos piernas. Esa postura no sólo es mucho menos estable sino también muy cansadora para las piernas.

En una corriente fuerte, la manera más segura de salir del cauce es caminar hacia atrás manteniendo el cuerpo paralelo a la corriente. Quizá le parezca incómodo, pero es más seguro caminar hacia atrás que arriesgarse a darse vuelta en una corriente rápida. Si no puede ver el fondo del agua, no se fíe de vagos recuerdos para imaginárselo. Las cosas cambian. Consígase una vara o palo largo y tantéelo.

Muestreo de un curso de agua de poca profundidad

Supongamos que un nuevo grupo de interesados en una cuenca desea hacerse una idea general de las características químicas de un curso de agua. Quieren comenzar tomando al azar una muestra instantánea. Ese tipo de muestras se toma cuando la profundidad exacta del punto de muestreo no tiene importancia. Conviene a muchos de los pequeños arroyos de las Praderas. En general, se considera que un curso de agua es pequeño cuando:

- es fácil de vadear a los niveles normales (es decir, cuando no está crecido),
- O BIEN,
- es posible oír lo que le dice otra persona situada en la ribera opuesta.

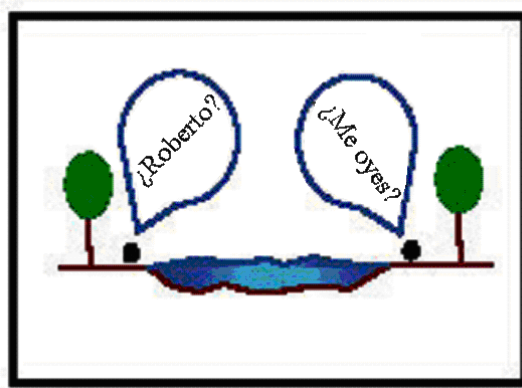


Se consiguen frascos apropiados en un laboratorio de análisis de agua. En cada sitio del curso de agua se selecciona un punto donde la corriente sea constante y regular. Allí se podrá obtener una muestra de agua bien mezclada que teóricamente represente todas las características del agua en ese punto. La profundidad del agua debe ser suficiente para poder sumergir completamente los frascos de muestreo. Tome la muestra colocando los frascos del lado de donde viene la corriente, es decir, aguas arriba con respecto a su cuerpo. De ese modo, los sedimentos que se levanten del cauce flotarán aguas abajo y no contaminarán la muestra.

Muestreo de un río o un gran arroyo

Los trabajos de muestreo que el grupo de interesados en la cuenca hizo en el pequeño curso de agua dieron buenos resultados. Ahora quieren tomar muestras del río al cual afluye ese arroyo. Se plantea entonces una situación diferente y ya no conviene tomar una única muestra instantánea. No se puede suponer que el agua de un río o un gran arroyo tenga la misma calidad a lo ancho del canal ni a cualquier profundidad. En general, se considera que un curso de agua es grande si:

- no es fácil de vadear a los niveles normales (el canal es demasiado profundo o la corriente, demasiado rápida),
- O BIEN,
- una persona situada en la ribera opuesta tiene que gritar para hacerse oír.



(Este documento no trata de ríos *sumamente* grandes. Éstos presentan una serie de problemas totalmente diferentes, ya que al comienzo tienden a comportarse como lagos. A menudo los vigilan grandes instituciones que tienen la capacidad necesaria para efectuar muestreos con eficacia.)

En un gran curso de agua, el muestreo se puede enfocar de dos maneras. Si el río o arroyo es ancho, pero no profundo, se pueden tomar dos o más

muestras instantáneas en diferentes puntos. A menudo se recoge un volumen específico de agua de cada lado del curso. Las dos muestras se mezclan para formar una **muestra compuesta**. La mezcla de agua debería contener dos partes de igual volumen (por ejemplo, 2 litros de un lado y 2 litros del otro lado). Los frascos de muestreo se enjuagan y llenan en la forma usual con la mezcla de agua. El recipiente que contiene la mezcla de agua debería ser lo bastante grande como para poder sumergir en él los frascos de muestreo.

Si el curso de agua también es profundo, se pueden tomar varias muestras a *diferentes profundidades*. Por ejemplo, en un gran arroyo de 1,0 m de profundidad, se podría tomar una muestra inmediatamente debajo de la superficie del agua y otra, próxima al fondo. Las muestras tomadas a distintas profundidades se llaman **muestras discretas**. Son representativas de la calidad del agua en un punto en particular. En la etiqueta de las muestras discretas siempre se indica la profundidad en que se tomaron. Asimismo, es útil registrar la profundidad total del curso de agua en el punto de muestreo. Asegúrese de distinguir bien cada muestra etiquetándola debidamente.

En un gran curso de agua, puede ser difícil tomar muestras discretas, sobre todo si la corriente es fuerte. Los frascos se deben sumergir de modo que sólo se llenen a la profundidad deseada. Ese procedimiento debe hacerse en condiciones de seguridad para evitar que el muestreador sea arrastrado por la corriente. Es mucho más costoso reemplazar un muestreador que una muestra. Para no tener que usar equipos muy caros y por razones de seguridad, no se debe tomar muestras de agua corriente a profundidades discretas si una persona de tamaño medio no puede caminar sin peligro hasta el punto donde la corriente es más fuerte *y luego volver a la orilla*. Si ese procedimiento no se puede realizar con facilidad, tome sólo la muestra instantánea.

Si el muestreo se puede efectuar con toda seguridad, las muestras discretas se pueden tomar enjuagando y llenando frascos a la profundidad deseada. El muestreador debe sumergir el frasco hasta la profundidad prevista y destaparlo. Enjuague con una pequeña cantidad de agua como anteriormente, pero cada vez tape el frasco mientras está sumergido. Llène definitivamente el frasco a la misma profundidad y tápelo bajo agua. De esa manera, el frasco sólo se llenará con agua de la profundidad deseada.

Muestreo de un lago

El grupo de la cuenca desea tomar muestras del lago que da origen al curso de agua. Gracias al proyecto anterior, ya saben cómo efectuar el muestreo de aguas corrientes. El muestreo del lago es algo nuevo.

Los lagos requieren equipos más especializados que los arroyos y ríos. Explicar la mecánica del equipo es fácil; explicar el comportamiento del agua de

un lago y cómo utilizar ese equipo es mucho más difícil. La razón es que, en los lagos, el agua tiende a **estratificarse** y **desestratificarse** (o sea, **mezclarse**). Para muestrear minuciosamente un lago, a menudo es necesario tomar tanto muestras discretas como compuestas. El lugar de muestreo y el número de muestras pueden variar mucho según la época del año y las condiciones del lago un año dado.

El agua de los lagos se divide en zonas, que se muestrean individualmente. La división en zonas depende de **la luz, la temperatura** y, en casos especiales, del **oxígeno disuelto**. En general, se determinan en el punto más profundo del lago, que es donde se recoge la mayoría de las muestras. Eso significa que es necesario conocer la **batimetría** o forma del fondo del lago, y saber dónde se encuentra el **punto de mayor profundidad del agua**. Ese sitio suele marcarse con un flotador y un lastre para poder localizarlo rápidamente en viajes subsiguientes.

Las zonas fóticas se definen en función de la luz. La zona fótica de mayor interés para el muestreo de un lago es generalmente la **zona eufótica**. Allí es donde tiene lugar la **producción primaria** (es decir, el crecimiento de algas y otras plantas). La zona eufótica comienza en la superficie del lago y termina donde la cantidad de luz que penetra en el agua es 1% de la que llega a la superficie. El límite inferior de la zona eufótica se denomina oficialmente el nivel de compensación de 1% de luz. Si el fondo del lago se puede ver con claridad, la zona eufótica tiene la misma profundidad que el agua. Si el fondo del lago no se ve, la zona eufótica se puede calcular mediante un **fotómetro**, o duplicando la medida dada por el **disco de Secchi**. En la zona eufótica, se suele tomar una muestra compuesta, formada por muestras extraídas en el sitio de agua profunda y otros dos o más sitios del lago. El número total de puntos de muestreo destinados a formar la muestra compuesta depende del tamaño del lago. El agua se recoge mediante un **tubo para muestras compuestas** y se junta en un **culo para muestras compuestas** hasta completar el muestreo. Los frascos de muestreo se enjuagan y llenan de la forma usual, pero deben incluir la profundidad de la zona eufótica.

Las zonas limnéticas se definen en función de la temperatura. Las principales son tres: **el epilimnion**, la **termoclina** (a veces llamada el **metalimnion**) y el **hipolimnion**. Las zonas limnéticas aparecen cuando un lago se estratifica, es decir, cuando se forma una capa de agua superficial más cálida sobre una capa inferior de agua más fría y densa. A principios de la primavera, el agua de los lagos se mezcla y su temperatura se vuelve aproximadamente uniforme en toda su profundidad. El agua de la superficie se calienta a medida que sube la temperatura de la atmósfera. Como la densidad del agua disminuye con el aumento de temperatura, la capa más cálida permanece en la superficie formando el epilimnion, mientras que el agua más fría baja al fondo del lago y forma el hipolimnion. Ambas capas quedan separadas por la termoclina, una zona estrecha donde el gradiente de temperatura del agua es máximo. A

efectos prácticos, en general es donde la temperatura baja más de un grado por metro de profundidad, midiendo a partir de la superficie.

En los lagos medianamente profundos, la estratificación se produce en verano, y la mezcla o inversión en primavera y otoño (lagos **dimícticos**). Los lagos de poca profundidad pueden permanecer mezclados todo el año o estratificarse levemente en los meses más cálidos (lagos **polimícticos**). Los lagos muy profundos pueden tener un hipolimnion que nunca se mezcla completamente (lagos **meromícticos**).

En circunstancias especiales, el hipolimnion se define en función del oxígeno disuelto (**OD**). Un ejemplo ocurre al principio de la primavera, justo después del deshielo. En ese momento es frecuente que los lagos todavía estén mezclados en cuanto a la temperatura. Sin embargo, es posible que la concentración del OD del agua próxima al fondo sea muy baja debido a la falta de aportes de oxígeno durante el invierno. A esa falta se la llama **anoxia**. Del lago que presenta una zona marcadamente anóxica en el fondo se dice que tiene un hipolimnion **definido químicamente**.

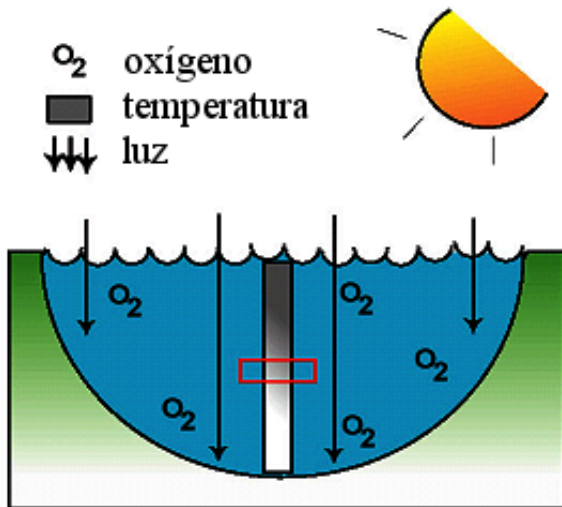
Para efectuar el muestreo de las zonas limnéticas, lo primero es determinar dónde se encuentran. A esos efectos, se establecen los **perfiles** de oxígeno y temperatura con medidores electrónicos. Para cada parámetro, se sumergen sondas en el agua a profundidades determinadas y a intervalos regulares, desde apenas debajo de la superficie hasta casi el fondo del lago. Una vez calculadas las profundidades, se pueden tomar muestras discretas aproximadamente en el punto medio de cada zona. El muestreo se puede hacer con instrumentos especializados que extraen porciones individuales de agua; por ejemplo, botellas Van Dorn y Kemmerer.

El muestreo de un lago siempre se hace de arriba abajo para no mezclar aguas profundas con aguas superficiales, o bien aguas de distintas zonas. No hay ninguna regla establecida que indique qué muestras se deben tomar primero. Eso depende de la distribución de las zonas en la columna de agua. Sólo recuerde tomar primero las muestras más próximas a la superficie y proseguir hacia abajo tomando muestras cada vez más profundas. En general, se recogen muestras hasta llegar a menos de un metro del fondo del lago. Si se recoge agua más cerca del fondo, se corre el riesgo de perturbar los sedimentos, lo cual falsearía los resultados de la muestra.

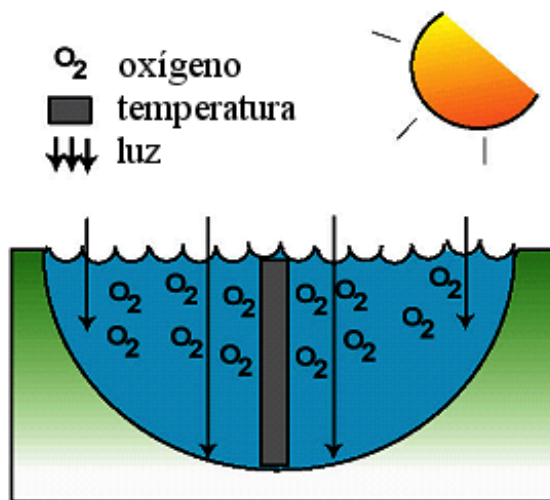
No se toman muestras de todas las zonas en todos los momentos del año. Cuando están presentes tanto el epilimnion como el hipolimnion, en general se toman muestras de esas zonas en el lugar más profundo del lago, pero no en los otros lugares donde se recoge la muestra compuesta eufótica. Cuando no existe un hipolimnion o es muy pequeño, no se toma ninguna muestra de esa zona. El epilimnion y la zona eufótica a menudo tienen una profundidad similar. En general, si los límites inferiores de esas dos zonas se encuentran a menos de un metro de distancia, sólo se toma la muestra compuesta de la zona eufótica.

Esa medida ahorra dinero, ya que evita duplicar el muestreo de aguas de las mismas características.

Ejemplos de muestreo de lagos

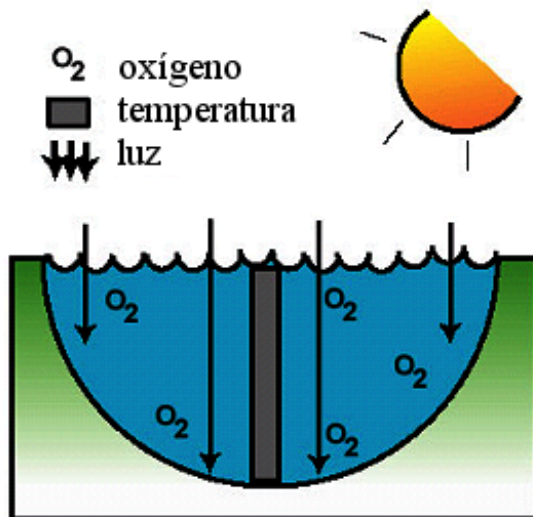


Este lago tiene un buen mezclado de oxígeno y una buena penetración de la luz. Sin embargo, su temperatura es más alta en la superficie que en el fondo, y tiene una estrecha franja (recuadro rojo) en que el descenso de temperatura es muy pronunciado. Por lo tanto, tiene zonas epilimnética, hipolimnética y eufótica definidas. En este caso, se toman tres muestras. Las zonas eufótica y epilimnética son bastante diferentes, de modo que se debe recoger agua de cada una de ellas.



Este lago no tiene una zona verdaderamente hipolimnética porque la temperatura no cambia drásticamente entre la parte superior y el fondo. Como la luz llega hasta el fondo, generalmente se necesita recoger una sola muestra compuesta. Sin embargo, cerca del fondo hay una zona donde la concentración de oxígeno es muy reducida, signo de un hipolimnion definido químicamente. Se tomará una muestra compuesta llegando a

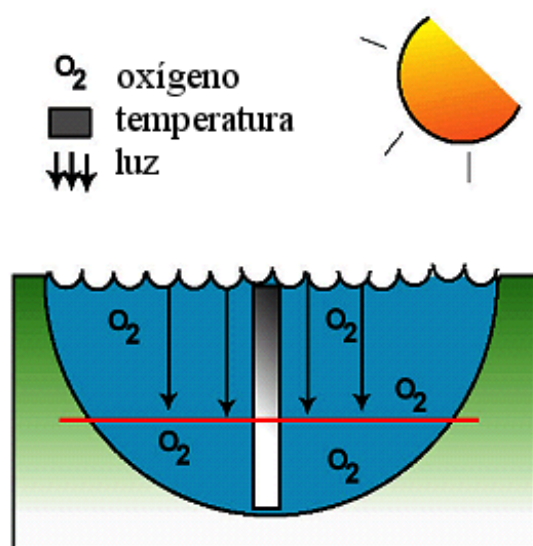
menos de un metro del límite superior de esa zona, y una muestra discreta del interior de la misma.



Este lago no está estratificado sino completamente mezclado. La temperatura y la concentración de oxígeno disuelto son similares desde la superficie hasta el fondo. La luz llega hasta el fondo en porcentaje superior al 1% de la intensidad que tiene en la superficie.

En este ejemplo, no existe hipolimnion. Las zonas epilimnética y eufótica abarcan la misma masa de agua, ya que la luz penetra tan bien. Se tomará

sólo una muestra compuesta llegando a menos de un metro del fondo.



La concentración de oxígeno de este lago no baja drásticamente, ni siquiera en las mayores profundidades. Sin embargo, el agua de la superficie se ha calentado y la del fondo del lago tiene una temperatura notablemente inferior. Existen verdaderos epilimnion e hipolimnion por encima y por debajo de la línea roja respectivamente.

La luz sólo penetra aproximadamente hasta donde se produce el cambio de

temperatura, lo cual significa que la zona eufótica tiene una profundidad semejante a la de la zona epilimnética. Como las zonas coinciden, lo único que se necesita para ambas es una sola muestra compuesta. Sin embargo, también

es necesario recoger una muestra discreta de la zona hipolimnética.

Sección 5

Para obtener la mayor información de las muestras

Aguas corrientes

El grupo de la cuenca tomó muestras del curso de agua cuatro veces a lo largo de la primavera. Ya han llegado algunos resultados del laboratorio. Al examinarlos, observan que ciertos valores permanecen constantes. Se preguntan cómo es posible que eso ocurra, ya que el arroyo estaba crecido en una de las excursiones de muestreo. ¿Cómo es que los valores son tan similares si esa vez había mucha más agua en el arroyo?

El grupo se está dando cuenta de que a veces las muestras individuales de un curso de agua no son tan significativas como podrían ser. Por ejemplo, una muestra tomada durante una crecida puede indicar que cierto nutriente se encontraba en una concentración de 100 mg/L. El análisis de una muestra tomada cuando el caudal es normal quizá indique la misma concentración del mismo nutriente (100 mg/L). Sin embargo, eso no significa que en ese momento el arroyo lleve la misma cantidad de nutrientes, ya que sabemos que la cantidad de agua era mayor durante la crecida. Para saber cuánto mayor, se podría haber calculado el **caudal** del curso de agua en cada sesión de muestreo. El caudal es la cantidad de agua que pasa por un punto fijo de una corriente por unidad de tiempo. A menudo se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s). El caudal se puede determinar directamente mediante un **caudalímetro** (ya sea manual o automático) o indirectamente por medio de una **curva de gasto** (representación gráfica de la relación entre la profundidad de un curso de agua y registros anteriores de su caudal).

Si se conoce el caudal, se pueden efectuar **comparaciones ponderadas** entre valores de nutrientes. Supongamos que por el punto de muestreo pasa un caudal de $1,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ de agua durante una crecida, pero sólo $0,3 \text{ m}^3/\text{sec}$ cuando el nivel del agua es normal. Por lo tanto:

con caudal de crecida:

$$\frac{100 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{1.3 \text{ m}^3}{\text{sec}} = \mathbf{130 \text{ kg/sec}} \text{ de nutriente (1 m}^3 = 1000 \text{ L)}$$

con caudal normal:

$$\frac{100 \text{ mg}}{\text{L}} \times \frac{0.3 \text{ m}^3}{\text{sec}} = \mathbf{30 \text{ kg/sec}} \text{ de nutriente}$$

Ese cálculo da peso a cada valor del nutriente, incorporando la cantidad total

de agua que corre por el punto de muestreo. Aunque en todas las sesiones de muestreo se hayan obtenido los mismos valores de la concentración del nutriente, éstos no tienen el mismo significado si se toma en cuenta el caudal.

Los grandes caudales son difíciles de medir si no se cuenta con el equipo apropiado. El ejemplo del párrafo anterior ilustra su importancia. Es conveniente que personas debidamente capacitadas elaboren una curva de gasto del curso de agua que se muestrea. El nivel máximo o la **altura de la escala** sólo se necesita para estimar un caudal, lo cual se puede hacer desde la costa, en condiciones de seguridad, instalando una **escala limnimétrica** en el punto más profundo del curso de agua. Una escala limnimétrica es fundamentalmente una regla gigantesca que se puede leer con facilidad desde cierta distancia. Es perfectamente aceptable instalar una escala limnimétrica y empezar a registrar niveles antes de crear la curva de gasto. Las cifras serán útiles de todos modos.

Aguas quietas

La escala limnimétrica también tiene utilidad cuando se toman muestras de un lago, ya que el nivel del agua varía a lo largo del tiempo. En cada visita de muestreo se debería registrar el nivel del agua. La determinación del volumen de agua de un lago exige un mayor insumo inicial de tiempo y sólo se recomienda si el lago tiene un tamaño razonablemente pequeño. Para medir el volumen de un lago, primero se debe obtener su contorno exacto en un mapa u otra fuente y luego se deben trazar **transectos**.

Para calcular el volumen del lago, los transectos deben atravesar el lago de manera aproximadamente perpendicular a la costa, lo cual supone dirigir una embarcación en línea recta desde el punto A en una orilla hasta el punto B de la orilla opuesta. La profundidad del lago se mide a lo largo del transecto, a menudo a intervalos de 2 m, por medio de una **sonda**. Se deben efectuar las mediciones como mínimo en tres transectos del lago. Cuantos más transectos y más pequeños los intervalos, más detallada será la información que se obtenga al final. Sin embargo, habrá que sopesar esa ventaja y el tiempo que insume tomar todas las mediciones iniciales del lago. Si se hacen mediciones a intervalos de 2 m a lo largo de cinco o seis transectos, en general se podrá obtener un buen grado de detalle (en el Apéndice 1 se muestra cómo hacer un mapa batimétrico).

Una vez terminadas las mediciones, los datos sobre la profundidad se marcan en el mapa del lago como puntos a lo largo de los transectos. Los puntos de igual profundidad se unen para formar **curvas de nivel**. La superficie del lago limitada por cada curva de nivel se calcula con un **planímetro**. Se puede calcular entonces el volumen de cada capa de agua o **estrato** a distintas profundidades mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de cada estrato} = 1/3 h [(a_1 + a_2) + \sqrt{a_1 a_2}]$$

en que h = altura del estrato entre sucesivas curvas de nivel

a_1 = área de la superficie superior del estrato

a_2 = área de la superficie inferior del estrato

La suma de los volúmenes de cada estrato será el volumen total del lago. Para calcular la **profundidad media** o promedio de un lago, se divide el volumen total del lago por el área de la superficie del lago. La profundidad media es un número que se puede usar como indicador de algunas características de la calidad del agua. Por ejemplo, una profundidad media baja (< 5 m) indica que el lago es amplio y somero, y es posible que no pueda albergar peces o que las especies que aloja corran riesgo de sufrir **gran mortandad en verano o invierno**.

Sección 6

Qué análisis químicos mandar hacer

Analizar muestras de agua es costoso. El tipo de análisis que se debe realizar depende de la finalidad del plan de muestreo. Si bien es tentador mandar hacer todos los análisis posibles al enviar una muestra, tenga presente lo siguiente: los costos varían entre \$6 por una medición del pH y alrededor de \$400 por muestra por la determinación de ciertos plaguicidas. Los demás precios están dentro de esa gama. El costo del análisis de las muestras es lo que generalmente determina el número de muestras que se toman.

Las características o efectos de la calidad del agua entran en una de tres grandes categorías: **físicas, químicas o biológicas**.

Las propiedades físicas incluyen parámetros como los siguientes:

- sólidos disueltos o en suspensión
- turbidez/claridad
- profundidad
- sabor/olor*
- temperatura
- color
- tipo de sedimento y tamaño de las partículas
- caudal (sistemas lóticos)

*No es recomendable probar aguas superficiales sin tratar.

Las propiedades químicas incluyen parámetros como los siguientes:

- pH
- dureza
- alcalinidad
- carbonatos
- metales disueltos
- iones dominantes
- conductividad
- fósforo
- nitrógeno
- carbono
- oxígeno disuelto
- demanda de oxígeno
- plaguicidas
- sílice

(El cuadro 1 presenta una lista de parámetros comunes y sus abreviaturas.)

No es necesario muestrear todos los parámetros químicos con la misma frecuencia. Algunos de ellos, como los iones dominantes, no cambian muy rápidamente en comparación con nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Asimismo, se debe tener presente que la mayor parte de las sustancias químicas se encuentran en el agua en más de una forma (por ejemplo, disueltas o particuladas, o unidas a otra sustancia). Por lo tanto, es posible que haya que pedir diversos análisis para determinar una sola sustancia química. Por ejemplo, posiblemente sea más económico y fácil pedir el análisis de nitrógeno *total* en

vez de una o dos de las muchas formas en que aparece dicho elemento.

Entre los parámetros biológicos, suelen caracterizarse los siguientes:

- algas
- bacterias (coliformes fecales, coliformes totales, *E. coli*, etc)
- invertebrados
- peces
- vegetación

La mayoría de los parámetros biológicos se miden combinando muestreos **cuantitativos** y **cuantitativos**. Una muestra cuantitativa sirve para indicar lo que existe en el sistema (por ejemplo, en un cuadrícula de muestreo pueden aparecer insectos como efímeras y perlas). Una muestra cuantitativa permitirá conocer la cantidad de un componente del sistema (por ejemplo, 50 efímeras por cuadrícula de muestreo *en comparación* con 10 perlas).

Cuadro 1. Análisis de algunos parámetros químicos de la calidad del agua y sus abreviaturas*:

Elemento químico	Análisis (abreviatura)
Fósforo	Fósforo total (FT)
	Fósforo disuelto total (FDT, FD)
	Fósforo soluble reactivo (FSR)
Nitrógeno	Nitratos (NO_3^-) + Nitritos (NO_2^-)
	Amonio (NH_4^+)
	Nitrógeno Kjeldahl total (NKT)
	Nitrógeno total (NT)
	Nitrógeno particulado (NPart)
Carbono	Carbono inorgánico disuelto (CID)
	Carbono orgánico disuelto (COD)
	Carbono particulado (CPart)
Iones dominantes	Cationes (Ca^+ , K^{2+} , Mg^+ , Na^{2+})
	Aniones (SO_4^{2-} , Cl^-)
Bacterias	Coliformes totales
	Coliformes fecales
	<i>E. coli</i>

*Algunas abreviaturas pueden variar según los laboratorios

Sección 7

Otras opciones de análisis

Instrumentos y equipos de campo

Enviar muestras de agua a un laboratorio no es la única manera de vigilar la salud del curso de agua. Muchos de los parámetros que se miden en el laboratorio se pueden medir sobre el terreno con instrumentos asequibles. Un grupo de interesados en una cuenca podría fácilmente costearse algunos de los instrumentos o equipos simples disponibles actualmente para medir parámetros tales como el pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, turbidez, e incluso algunos nutrientes disueltos.

Otros indicadores de la calidad del agua

La salud de un río o arroyo también se refleja en el crecimiento de plantas en sus orillas y los organismos que viven en el agua. Por esa razón, el programa de vigilancia también podría incluir evaluaciones de la vegetación ribereña, y estimaciones visuales e inspecciones periódicas de organismos que viven en el agua. El conjunto de esas observaciones permitirá hacerse una buena idea de la salud relativa del curso de agua. Por ejemplo, algunos invertebrados no sobreviven en aguas poco oxigenadas. Una disminución del número de invertebrados puesta de manifiesto por las inspecciones podría ser indicativa de un problema. Los sitios para esos tipos de exámenes se pueden seleccionar por el mismo método que se emplea para el muestreo del agua. Pueden utilizarse si es demasiado costoso realizar análisis de agua periódicos.

La EPA (Organismo de Protección del Medio Ambiente) de Estados Unidos ha elaborado una guía excelente para el análisis de hábitats fluviales, titulada 'Rapid Bioassessment Protocols' (Protocolos de bioevaluaciones rápidas). Contiene esquemas, planillas de campo y ejemplos fotográficos de cómo comparar la salud relativa de los cursos de agua. Es un documento PDF de 369 páginas disponible en el sitio web de la EPA; también se puede comprar en su biblioteca. Los interesados en efectuar una evaluación de la calidad del agua de un río o arroyo sin tener que depender estrictamente de un muestreo del agua deberían examinar este documento.

Glosario

altura de la escala – Medida del nivel del agua con relación a un punto fijo.

anoxia – En sistemas acuáticos, ausencia total de oxígeno disuelto en la columna de agua.

batimetría – Proceso de caracterizar la forma del fondo de un lago, cuyo producto es un mapa de curvas que representan puntos de igual profundidad.

caudal – Cantidad de agua de un sistema lótico que corre a través de un plano estático, medida en metros cúbicos por segundo.

caudalímetro – Dispositivo utilizado para medir la velocidad de una corriente (rapidez con que se desplaza el agua en el río o arroyo). Las medidas de la velocidad del agua en transectos de los canales se pueden convertir matemáticamente para calcular el caudal.

comparación ponderada – Medida que se ha puesto en relación con otra unidad de medida (por ejemplo, peso, distancia, tiempo, volumen) para darle más sentido.

cualitativo – Medida que tiene en cuenta las cualidades, es decir, las clases y tipos de elementos que se están considerando (por ejemplo, plantas altas, plantas bajas, coleópteros terrestres, coleópteros acuáticos).

cuantitativo – Medida de la cantidad o, específicamente, cuántos elementos individuales o qué cantidad de un elemento individual se está considerando (por ejemplo, 12 plantas altas, 5 plantas bajas, 6 coleópteros terrestres, 8 coleópteros acuáticos).

cubo para muestras compuestas – Recipiente para agua potable y limpia que se usa para mezclar las porciones de agua que formarán una muestra compuesta.

curva de gasto – Gráfica que establece la relación entre la altura de la escala y el caudal, de modo que la medida de una de esas variables se puede usar para estimar la otra.

dimíctico – Lago cuya columna de agua se mezcla por completo dos veces al año, generalmente una vez en primavera y otra en otoño.

disco de Secchi – Disco chato, dividido en cuadrantes pintados

alternativamente de blanco y negro. La profundidad de penetración del disco de Secchi se determina haciéndolo descender en una columna de aguas quietas hasta que deje de verse, y luego subiéndolo hasta que apenas se perciba. El punto medio entre esas dos profundidades es la profundidad Secchi. El duplo de la profundidad Secchi corresponde aproximadamente a la profundidad de la zona eufótica.

epilimnion – Capa superior y más cálida del agua de un lago, cuyo límite inferior está marcado por la termoclina.

escala limnimétrica – Cualquier dispositivo vertical de medición de fácil lectura que se puede instalar en una corriente de agua o un lago en posición fija para mostrar cambios en el nivel del agua.

estratificado – Sistema acuático, generalmente un lago, que ha formado zonas reconocibles de distintas temperaturas (por ejemplo, una capa de agua superficial que se ha calentado mucho con respecto a las capas más profundas – véase *zonas limnéticas*).

estudio piloto – Estudio no científico que se hace para determinar los procedimientos y muestreos más eficaces para lograr un diseño exacto y científico. A menudo utilizado para ensayar equipos, métodos de muestreo, selección de sitios y análisis.

fotómetro – Dispositivo utilizado para medir la penetración de la luz de longitudes de onda del ultravioleta en la columna de agua. El flujo luminoso se mide en lúmenes o microsiemens.

hipolimnion – Capa inferior y más fría del agua de un lago, cuyo límite superior está marcado por la termoclina.

hipolimnion, definido químicamente – Capa inferior de agua que se caracteriza por tener concentraciones nulas o casi nulas de oxígeno disuelto, que existe generalmente en primavera. Puede o no ser considerablemente más fría que el agua de capas superiores.

luz – En sistemas acuáticos, generalmente se trata de las longitudes de onda del ultravioleta (uv) necesarias para la fotosíntesis.

meromíctico – Sistema de lagos con un hipolimnion que nunca se mezcla completamente con las capas de agua superiores más cálidas. Generalmente se trata de una masa de agua muy profunda.

mezclado (no estratificado) – Columna de agua que no experimenta un descenso drástico de temperatura entre la superficie y el fondo. No tiene termoclina.

muestra compuesta – Muestra formada por dos o más porciones de agua de igual tamaño, bien mezcladas.

muestra discreta – Muestra que representa un punto o profundidad particular de la columna de agua, recogida sin mezclarla con el agua que está debajo o encima del punto de muestreo.

nivel de compensación de 1% de luz – Nivel más bajo de la columna de agua en que se detecta luz utilizable para la fotosíntesis. Define el límite inferior de la zona eufótica.

normal – Promedio a largo plazo utilizado para establecer valores de referencia para un sistema; en general, la media de 30 años.

oxígeno disuelto (OD) – Oxígeno atmosférico que se disuelve en la columna de agua, medido en mg/L o en % de saturación. Se correlaciona directamente con variaciones de temperatura y presión atmosférica.

perfiles – Medidas tomadas a intervalos regulares en la columna de agua, desde la superficie hasta el fondo. La profundidad es un perfil, como también lo pueden ser la temperatura, el oxígeno disuelto, la presión, etc.

planímetro – Dispositivo de mano (manual o electrónico) que se emplea para medir áreas. Consiste en una rueda que registra los movimientos del aparato cuando éste recorre el contorno del área que se desea medir.

polimíctico – Lago cuyas aguas permanecen mezcladas todo el año o sólo se estratifica levemente en condiciones meteorológicas de temperatura elevada; a menudo es muy poco profundo.

producción primaria – En su sentido más estricto, medida de la tasa metabólica de los organismos autótrofos; en sentido ecológico, se traduce generalmente en las tasas de crecimiento de las plantas superiores, las algas y las cianobacterias (organismos fotosintetizadores).

profundidad media – Volumen del lago dividido por su superficie. Como se dividen unidades cúbicas por unidades cuadradas, el resultado se obtiene en unidades lineales. En general se expresa en metros.

propiedades biológicas – Medidas de la calidad del agua relacionadas con los tipos, números, tamaños y distribución de diversos organismos que existen en el sistema.

propiedades físicas – En términos generales, propiedades que se pueden evaluar o medir por observación o con un instrumento, sin análisis químicos (por

ejemplo, tipos de vegetación, temperatura, profundidad, tipo de sedimento). Las propiedades físicas y químicas siempre tienen ciertos elementos en común.

propiedades químicas – Medidas de la calidad del agua relacionadas con la respuesta del agua a reacciones químicas específicas; se realizan a menudo en un laboratorio o con un equipo de campo que requiere reactivos apropiados.

punto de mayor profundidad del agua – Punto que se supone es el lugar más profundo del lago, determinado por batimetría.

sistema apareado – Sistema que posee el mayor número posible de similitudes con un sistema original. A menudo se lo utiliza para comparar o contrastar la reacción a un impacto sufrido sólo por el sistema original.

sitio representativo – Sitio elegido para el muestreo que es característico de un área mucho más grande.

sonda – Cualquier dispositivo que se utilice para medir la profundidad del fondo, en general en aguas quietas. Puede comportar la lectura de ondas electromagnéticas o de radio reflejadas, o ser algo tan simple como una cuerda y un lastre.

temperatura – Medida de la energía térmica perceptible, que generalmente se expresa en grados Celsius o Fahrenheit.

termoclina (metalimnion) – Estrecha zona, generalmente lacustre, en que el gradiente de temperatura es más pronunciado que a cualquier otra profundidad de la columna de agua. A efectos prácticos, se suele considerar que se produce cuando la temperatura desciende un grado Celsius (1°C) o más en un metro de profundidad de la columna de agua.

transecto – Línea de puntos continuos y equidistantes que generalmente es paralela a un sistema o lo biseca en ángulo recto.

tubo compuesto – Dispositivo utilizado para recoger muestras integradas de la columna de agua en un lago; a menudo construido con algún tipo de tubería para agua potable (por ejemplo, Tygon®), equipado con una válvula de pie.

zona afótica – Zona no siempre presente, situada debajo del nivel de compensación del 1% de luz, en la que no penetra la luz en forma detectable.

zona eufótica – Zona de la columna de agua de un lago determinada por la penetración de la luz, cuyo límite inferior se denomina nivel de compensación de 1% de luz. Prácticamente toda la producción primaria tiene lugar en la zona eufótica.

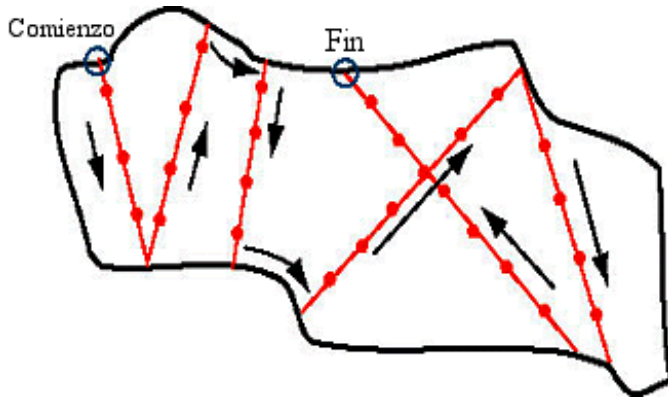
zona fótica – Zona definida por la presencia o ausencia de luz detectable, especialmente en la gama del ultravioleta (por ejemplo, zona eufótica, zona afótica).

zonas limnéticas - zonas de profundidades mensurables de la columna de agua, que se distinguen por la temperatura del agua (por ejemplo, epilimnion, metalimnion, hipolimnion).

Apéndice: Determinación de la batimetría de un lago

Batimetría es un término erudito para referirse al estudio del fondo de un lago. Requiere un poco de tiempo, una cuerda marcada y una pesa o lastre, un mapa aéreo del lago, un amigo con una embarcación, y habilidad para conducir en línea recta. Para esto último, un aparato de GPS (sistema mundial de determinación de la posición) puede ser una gran ayuda. Dada la habilidad que tiene la mayoría de las personas para conducir una embarcación en línea recta, un aparato de GPS podría servir para evitar una gran pelea e incluso impedir que alguien tenga que nadar hasta la costa. Podría ser una buena inversión conseguirse uno.

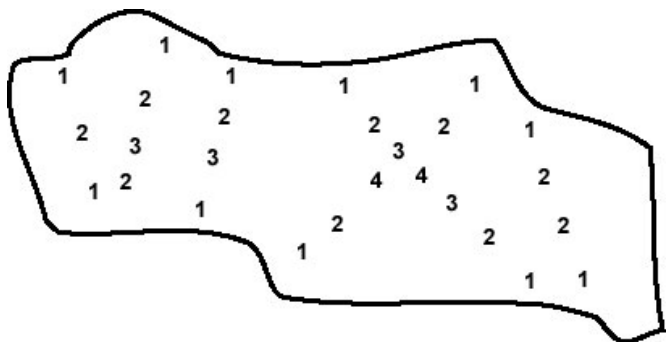
Para comenzar el trazado de un mapa batimétrico, se deben registrar puntos de profundidad a lo largo de varios transectos a través del lago. Los puntos deben repartirse uniformemente a lo largo de cada transecto.

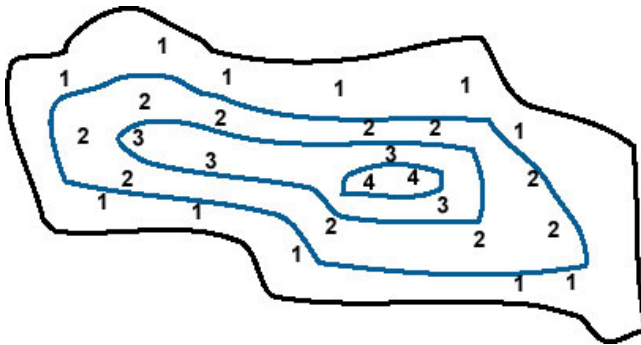


En cada punto, haga descender la cuerda marcada y la pesa hasta que ésta toque el fondo, y anote la profundidad. Continúe de ese modo hasta obtener varios transectos que crucen el lago de orilla a orilla. Cuanto más puntos mida, mejor, aunque habrá que llegar a una transacción entre la cantidad de

datos que quiere obtener y el tiempo que está dispuesto a pasar atravesando repetidamente el lago. Busque un equilibrio entre las dos necesidades.

Debe saber ubicar en el lago cada punto en que mida la profundidad. Una vez recogidos todos los datos, vuelva a trazar el contorno del lago e indique las profundidades en los puntos en que las midió. El resultado será un mapa del lago con una serie de números marcados en él. La próxima etapa es interpretar la relación que existe entre los números. Para eso hay que jugar un poco.





Hay que trazar curvas de nivel dentro del contorno del lago. Cada curva de nivel debe contener todos los puntos donde se ha medido una misma profundidad: la curva de 1 m debe pasar por todos los puntos de 1 m de profundidad; la de 2 m, por todos los puntos que indican una profundidad de 2 m, y así

sucesivamente. Los puntos se deben trazar a escala y se debe indicar la distancia real recorrida entre cada una de las medidas de profundidad. Y de ese modo tendremos el mapa batimétrico del lago.