

# Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina



Ministerio de Ambiente  
y Desarrollo Sostenible  
**Argentina**





# Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina

**Adonis Giorgi**  
**Eduardo Domínguez**  
**Nora Gómez**

Compiladores

Giorgi, Adonis

Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina / Adonis Giorgi ; Eduardo Domínguez ; Nora Gomez. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Consejo Nacional Investigaciones Científicas Técnicas - CONICET, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-692-199-6

1. Ecosistemas. 2. Aguas Fluviales. I. Domínguez, Eduardo. II. Gomez, Nora. III. Título.  
CDD 577.6

© 2022 CONICET

Godoy Cruz 2290 (C1425FQB) CABA – República Argentina – <https://www.conicet.gov.ar> ; [info@conicet.gov.ar](mailto:info@conicet.gov.ar);  
Tel (+54 11) 4899 5400

© 2022 Adonis Giorgi

© 2022 Eduardo Domínguez

© 2022 Nora Gómez

Idea y dirección general del proyecto:

Adonis Giorgi

Eduardo Domínguez

Nora Gómez

Foto de tapa:

Arroyo Noques, Tucumán, Argentina.

Eduardo Domínguez

Diseño, producción editorial y digital:

Silvina Simondet

Diagramación:

Flavio Maddalena

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446. Se permiten citar en artículos críticos o reseñas, sin fines comerciales de la siguiente manera: Adonis Giorgi, Eduardo Domínguez y Nora Gómez (Comps.) 2022. *Técnicas de monitoreo para ecosistemas fluviales de la Argentina*. REM.AQUA (Red de Evaluación y Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos), Conicet.

# Autores

## Accattatis, Victoria

Instituto Nacional de Limnología (INALI), CONICET-UNL. Ciudad Universitaria. Colectora Ruta Nacional 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe.

## Armendáriz, Laura C.

Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA). CONICET-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP.

## Assef, Yanina

Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG)- CONICET-UNRN. Grupo Limnología y bioindicadores. Av. Roca 1242 -General Roca (R8332FDZ) Provincia de Río Negro.

## Avigliano, Esteban

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires. Argentina CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA), Buenos Aires, Argentina.

## Brand, Cecilia

Centro de Investigación Esquel de Montaña y Estepa Patagónica (CIEMEP)-CONICET-UNPSJB. Roca 780. Esquel. Chubut (9200).

## Bustamante, Gustavo

UNSL-Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Ejército de los Andes 950 (1er Bloque 2do piso) San Luis Capital (5700).

## Cibils-Martina, Luciana

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA). Universidad Nacional de Río Cuarto – CONICET. Departamento de Ciencias Naturales.

## Ciocco, Néstor

Laboratorio de Entomología. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA). CCT Mendoza CONICET- UNCuyo.

## Cocho, Joaquín

Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA). CONICET-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP.

## Cortezzi, Agustina

Instituto Multidisciplinario sobre Ecosistemas y Desarrollo Sustentable Campus Universitario - Arroyo Seco S/N UNCPBA - Tandil.

## Daruich, Jorgelina

UNSL-Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Ejército de los Andes 950 (1er Bloque 2do piso) San Luis Capital (5700).

## Devercelli, Melina

Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET-UNL), Ciudad Universitaria. Colectora Ruta Nac. 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe

## Domínguez, Eduardo

Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN). CONICET – U.N.T. Facultad de Ciencias Naturales e IML.

## Fernández, Hugo R.

Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN). CONICET – U.N.T. Facultad de Ciencias Naturales e IML.

## Fernández Cirelli, Alicia

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias, Buenos Aires, Argentina CONICET - Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA), Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Buenos Aires, Argentina.

## Gil, Angélica

UNSL-Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional de San Luis. Ejército de los Andes 950 (1er Bloque 2do piso) San Luis Capital (5700).

## Giorgi, Adonis

Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES)-UNLu-CONICET. Departamento de Ciencias Básicas-UNLu.

## Gómez, Nora

Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA) CONICET - UNLP

## González, Carolina

Instituto de Ecología, Genética y Evolución (IEGEB) CONICET - Universidad de Buenos Aires; Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, Universidad de Buenos Aires

## Huber, Paula

Instituto Nacional de Limnología (INALI), CONICET - UNL. Ciudad Universitaria. Colectora Ruta Nacional 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe.

## Kutschker, Adriana

Universidad Nacional de la Patagonia SJB. Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud. Sede Esquel. Sarmiento 849. 9200. Esquel. Chubut.

## Licursi, Magdalena

Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET-UNL) - Ciudad Universitaria. Colectora Ruta Nac. 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe.

## Lucero, Julieta del R.

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA). Universidad Nacional de Río Cuarto – CONICET. Departamento de Ciencias Naturales.

## Macchi, Pablo

Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (CONICET-UNRN). Grupo Limnología y bioindicadores Av. Roca 1242 -General Roca (R8332FDZ) Provincia de Río Negro -Argentina.

**Marchese, Mercedes R.**

Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET-UNL). Ciudad Universitaria Colectora Ruta Nac. 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe.

**Márquez, Javier A.**

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA). Universidad Nacional de Río Cuarto – CONICET. Departamento de Ciencias Naturales.

**Metz, Sebastian**

Instituto Tecnológico de Chascomús (INTECH), CONICET - UNSAM. Av. Intendente Marino Km 8,200, Chascomús (7130), Buenos Aires.

**Miserendino, María Laura**

Centro de Investigación Esquel de Montaña y Estepa Patagónica (CIEMEP)-CONICET-UNPSJB. Roca 780. Esquel. Chubut (9200).

**Montilla, Victoria**

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA). Universidad Nacional de Río Cuarto – CONICET. Departamento de Ciencias Naturales.

**Moreno, Liliana E.**

UNSL-Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia; Universidad Nacional de San Luis. Ejército de los Andes 950 (1er Bloque 2do piso) San Luis Capital (5700).

**Ocon, Carolina S.**

Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA). CONICET-Facultad de Ciencias Naturales y Museo-UNLP.

**O'Farrell, Inés**

Instituto de Ecología, Genética y Evolución (IEGEBA) CONICET - Universidad de Buenos Aires; Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, Universidad de Buenos Aires.

**Papazian, Gabriela**

Universidad Nacional de la Patagonia SJB. Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud. Sede Esquel. Sarmiento 849. 9200. Esquel. Chubut.

**Pero, Edgardo**

Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN). CONICET –U.N.T. Facultad de Ciencias Naturales e IML.

**Principe, Romina E.**

Instituto de Ciencias de la Tierra, Biodiversidad y Ambiente (ICBIA). Universidad Nacional de Río Cuarto – CONICET. Departamento de Ciencias Naturales.

**Reynaga, Celina**

Instituto de Biodiversidad Neotropical (IBN). CONICET –U.N.T. Facultad de Ciencias Naturales e IML.

**Rigacci, Laura**

Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES)-UNLu-CONICET - Departamento de Ciencias Básicas-Universidad Nacional de Luján (UNLu).

**Rodrigues Capítulo, Alberto**

Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (ILPLA). CONICET - Facultad de Ciencias Naturales y Museo - UNLP.

**Rodríguez Castro, Carolina**

Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES)-UNLu-CONICET. Departamento de Ciencias Básicas-Universidad Nacional de Luján (UNLu).

**Scheibler, Erica**

Laboratorio de Entomología. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA). CCT Mendoza CONICET- UNCuyo.

**Taboada, María Ángeles**

Instituto de Ecosistemas de Aguas Continentales-Área Biología Integrativa-Fundación Miguel Lillo. Miguel Lillo 221 (4000) Tucumán.

**Thompson, Gustavo A.**

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires. Argentina. CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA), Buenos Aires, Argentina.

**Volpedo, Alejandra V.**

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires. Argentina. CONICET-Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA), Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Buenos Aires, Argentina.

**Yema, Lilen**

Instituto de Ecología, Genética y Evolución (IEGEBA) CONICET - Universidad de Buenos Aires; Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, Universidad de Buenos Aires.

**Zilli, Florencia L.**

Instituto Nacional de Limnología (INALI-CONICET-UNL). Ciudad Universitaria Colectora Ruta Nac. 168, Paraje El Pozo, (3000), Santa Fe

# Parámetros físico-químicos en muestras de agua medidos *in situ* y en el laboratorio

Alejandra Vanina Volpedo; Gustavo Ariel Thompson,  
Esteban Avigliano y Alicia Fernández Cirelli

**Consideraciones generales:** En términos generales, en ambientes lóticos como ríos y arroyos se recomienda coleccionar las muestras en áreas donde el agua circule y evitar las zonas estancadas. Según el tipo de estudio que queramos realizar, se deberán definir las pautas de los lugares de extracción de las muestras. Para el caso de determinaciones de calidad de agua en general, sin suponer fuentes de contaminación puntuales, se puede realizar la toma de muestra de agua en el centro del cauce y a una profundidad no menor de 20 cm.

Para obtener una mejor representación del sitio de estudio se recomienda coleccionar las muestras por triplicado. Esto permite hacer análisis más robustos y facilita la posibilidad de comparación a futuro con otros datos.

Los sitios de colecta de muestras pueden estar distribuidos espacial y temporalmente, según los objetivos del muestreo. A modo de ejemplo, en un cauce de un río pueden tomarse tres puntos de colecta de agua (margen izquierda, centro y margen derecha) que se integran en una sola muestra. También se puede generar una muestra con volúmenes separados por lapsos (por ejemplo, diariamente, estacionalmente, etc.).

## Muestreo, análisis, interpretación y confiabilidad de los datos químicos

La colecta de muestras debe ser estadísticamente representativa del conjunto total de datos que se quiere medir, para que los resultados que se obtengan de su análisis permitan conclusiones objetivas, defendibles y sólidamente fundamentadas.

Para desarrollar un plan de muestreo debe decidirse cuándo, dónde y qué cantidad de muestras deben ser coleccionadas. El diseño del muestreo de-

penderá de los objetivos del estudio y del alcance que quiera tenerse con los mismos.

En muestreos bidimensionales (horizontales), se debe determinar la posición georeferenciada y se puede desarrollar de varias maneras:

a. Muestreo al azar: la zona se divide en áreas mínimas representativas (por ej. parcelas de 1 m<sup>2</sup>) y se eligen una cantidad de posiciones al azar asociadas a la cantidad de muestras que se quieren coleccionar.

b. Muestreo en transecta o en pierna: se elige la posición de partida y la longitud de la transecta, así como la distancia mínima entre los puntos de muestreo, y luego se coleccionan las muestras sobre la transecta.

c. Muestreo en etapas: se divide la zona en subunidades regulares y se considera alguna característica física o hidrológica del cuerpo de agua, por ejemplo, antes o después de un tributario o de un efluente, o de una obra ingenieril etc. y luego se coleccionan las muestras en cada subunidad.

d. Muestreo en grilla: se toman muestras a intervalos regulares de espaciado fijo (Fernández Cirelli y Volpedo, 2020).

En el caso de muestreos tridimensionales (ej.: grandes ríos), debe además tenerse en cuenta la dimensión vertical, como es el caso para muestras en profundidad.

La distribución temporal también ofrece variantes. Muchos fenómenos tienen características cíclicas; las muestras afectadas por actividad biológica pueden exhibir grandes cambios en el tiempo asociados a las estaciones del año, al momento del día (mañana, tarde o noche), a un periodo interanual (sequías, inundaciones) o asociados al fenómeno hidroclimático del Niño (ENSO).

Los datos obtenidos en el laboratorio analítico deben ser técnicamente válidos, legalmente defendibles y de reconocible calidad a fin de obtener un resultado confiable. Todas las medidas tienen errores que pueden ser sistemáticos, que definen la calidad analítica del método y son indicadores usados para evaluar el método empleado. Los procedimientos deben tener un control de calidad que identifique y controle la fuente de error (Blesa et al., 2012).

La precisión es un indicador de la reproducibilidad de la medida y será alta si se usa un método de alta precisión. La exactitud de una medida es su cercanía al valor verdadero; una medida es exacta cuando el error del azar como el error sistemático es bajo. La precisión puede ser calculada repitiendo los análisis de una misma muestra; la exactitud sólo puede ser comprobada analizando muestras de patrones de referencia o por comparación de los resultados de distintos laboratorios.

Por otro lado, hay que considerar los límites de detección (la concentración más baja de un parámetro analítico en una muestra que se puede detectar, aunque no necesariamente cuantificar) y de cuantificación (que es la concentración más baja que se puede determinar con exactitud y precisión aceptables). En la práctica, se considera que el límite de cuantificación es cinco veces el límite de detección (APHA 2017).

Se acepta internacionalmente que la calidad de las mediciones químicas y la comparabilidad de los resultados están basados en los siguientes aspectos: uso de métodos analíticos validados, equipos debidamente mantenidos y calibrados, uso de materiales de referencia para las calibraciones, control de calidad interno efectivo, participación en esquemas de ensayos interlaboratorios, auditorías independientes de los procedimientos y personal debidamente entrenado. Estos aspectos son fundamentales, pues, para determinar la calidad del agua, debemos saber qué contiene y en qué cantidad para considerarla apta para cada uso específico (no debe exceder un límite determinado). Por lo tanto, debemos asegurar la representatividad del muestreo y la calidad de las mediciones químicas para que los resultados obtenidos nos permitan alcanzar conclusiones válidas.

### Diseños de muestreo

Se pueden realizar dos tipos diferentes de muestreos en cuerpos de agua (ríos, lagos y aguas superficiales).

**Muestreo puntual:** donde se colecta la muestra en una ubicación, profundidad y hora seleccionada. Normalmente, la cantidad de agua tomada es suficiente para todos los análisis físicos y químicos que se realizarán. A veces, si el dispositivo de muestreo es pequeño y se deben realizar muchos análisis, se tomarán dos muestras en una estación en un pequeño intervalo de tiempo (15 minutos) y se mezclarán en el mismo envase o contenedor de transporte.

**Muestreo compuesto:** es decir, muestras compuestas de varias ubicaciones, profundidades o tiempos diferentes para cumplir algunos objetivos específicos de monitoreo. Las muestras compuestas pueden ser de los siguientes tipos:

- **Profundidad integrada:** más comúnmente compuesta por dos o más partes iguales recogidas a intervalos de profundidad predeterminados entre la superficie y el fondo. Existen distintos equipos o métodos que permiten recoger e integrar una muestra de agua desde la superficie a la profundidad requerida en un cuerpo de agua (por ejemplo, bombas sumergibles).
- **Área integrada:** se realiza combinando una serie de muestras tomadas en varios puntos de muestreo distribuidos espacialmente en el cuerpo del agua (pero generalmente todos a una profundidad o a intervalos de profundidad predeterminados).
- **Muestreo integrado en el tiempo:** se realiza mezclando volúmenes iguales de agua recogida en una estación de muestreo a intervalos de tiempo cortos y regulares.
- **Integrado de descarga:** se recogen muestras y se mide la tasa de descarga a intervalos regulares durante el período de interés. Un arreglo común es tomar muestras cada 2 horas durante un período de 24 horas. A continuación, se realiza la muestra compuesta mezclando porciones de la muestra individual que sean proporcionales a la tasa de descarga en el momento en que se tomó la muestra

### Elaboración de “blancos” para el muestreo

Un tema importante para considerar es la elaboración de “blancos” que son muestras de agua destilada o ultrapura que se usa en el muestreo. Esto permite que en el caso de que se hayan producido errores humanos en la colecta de muestras,

por ejemplo, problemas con los envases, con el equipamiento o con la preservación de las muestras, se tenga un control y se pueda detectar el punto donde ocurrió el error. Los blancos son muy importantes y deben ser considerados particularmente, ya que permitirán un análisis más detallado y certero de los datos colectados en el muestreo.

Los “blancos de campo” (BC) permiten verificar que no haya contaminación durante los procedimientos que se realizan en el terreno. Para ello, debemos llevar al sitio de muestreo un envase con agua destilada o ultrapura para poder generar el blanco de campo. Durante el procedimiento de colecta de muestras, se debe abrir y cerrar un envase con agua destilada siguiendo los mismos pasos que hicimos cuando se manipularon y acondicionaron las muestras. De esta forma, cualquier elemento que midamos en este blanco nos informará sobre los niveles de contaminación producto del manejo y acondicionamiento.

El “blanco de envases” (BE) se genera en el laboratorio y sirve para analizar si existe algún tipo de contaminación causado por el envase que estamos utilizando; como por ejemplo, por las paredes internas del envase en su proceso de producción o por el enjuagado para su limpieza. Para este paso, se procede a llenar con agua destilada o ultra pura (la misma utilizada para los blancos anteriores) y se deja en el laboratorio hasta regresar de la campaña de muestreos. Este blanco no se lleva al campo, permanece en el laboratorio.

El “blanco de equipamiento” (BEq) es uno de los más importantes ya que define la contaminación de las muestras por el uso de equipamiento. Este blanco se toma cuando terminamos de tomar una muestra en un punto y ya hemos enjuagado de forma estandarizada a los equipos para proceder al próximo punto de muestreo. En ese momento, se enjuagará una vez más el equipo con agua destilada o ultra pura y se guardará esa muestra de agua en un envase, como una muestra más.

### Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos son fundamentales en monitoreos de calidad de agua ya que permiten generar información cuyo análisis contribuirá al desarrollo de políticas públicas como, por ejemplo, la conservación de un ecosistema acuático o la implementación de medidas que permitan preservar la calidad de agua para un de-

terminado fin, como el riego de cultivos o el uso en las actividades pecuarias, entre otros usos.

Los indicadores físicos y químicos que se registran comúnmente son: temperatura, turbidez, sólidos disueltos, conductividad, pH, dureza y oxígeno disuelto. Por otro lado, también se pueden complementar estos parámetros con determinaciones de materia orgánica, nutrientes (fósforo y nitrógeno), elementos mayoritarios, metales y compuestos orgánicos como, por ejemplo, plaguicidas. La cantidad de parámetros dependerá de los objetivos del muestreo o del monitoreo.

Algunos de los parámetros físico-químicos, como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, deben registrarse *in situ*, en el cuerpo de agua. Para ello, es muy útil el uso de sondas multiparamétricas o electrodos individuales. Para otros tipos de parámetros hay que coleccionar muestras de agua, preservarlas adecuadamente y transportarlas al laboratorio para ser analizadas, ya que no se pueden determinar *in situ* (Tabla 1).

### Parámetros físico-químicos determinados *in situ*

Las sondas multiparamétricas permiten registrar diferentes parámetros en simultáneo y su uso disminuye los tiempos de operación de equipos y de toma de muestras. Para la utilización del equipo, se recomienda tener un balde de plástico de 5 litros solo para este fin, sujeto con una soga en su manija para facilitar la colecta de agua del ambiente acuático en estudio. El balde debe ser enjuagado tres veces con agua del lugar a analizar antes de coleccionar la muestra correspondiente.

Una vez obtenida la muestra, se sumerge la sonda del equipo que posee los electrodos de medición de los distintos parámetros a analizar en el agua del balde; dicha sonda deberá estar calibrada previamente. Cuando se estabilizan las lecturas del equipo se procede a ingresar los datos en el soporte digital interno del equipo, o bien registrarlos en una libreta de campo. Finalizada la medición, se retira la sonda de la muestra de agua y se la enjuaga cuidadosamente con agua destilada o ultra pura, de forma de que no queden restos de la muestra en los electrodos y, aquellos que así lo requieran (por ejemplo, pH-metro), deben ser guardados con una solución de almacenamiento para evitar el secado del mismo. Al concluir este paso, se procede a guardar el equipo para poder utilizarlo en la siguiente estación de muestreo.



Los parámetros físico-químicos que se deben registrar *in situ* son:

### Temperatura (T)

Es un indicador físico esencial ya que su valor en un cuerpo de agua condiciona la solubilidad de los gases, como por ejemplo el oxígeno disuelto. La temperatura se puede medir usando un termómetro con un rango de 0-50 °C, o un termómetro electrónico. Las sondas multiparamétricas tienen incluida la posibilidad de medir este parámetro *in situ*. Hay que colocar el electrodo de la sonda (o un termómetro, en caso de no contar con una sonda) en el cuerpo de agua aproximadamente a 10 cm de profundidad y agitarlo suavemente, y registrar la medición cuando la lectura del visor de la sonda se haya estabilizado (Método 2550: APHA, 2017).

### Turbidez (Tb)

Es un parámetro usado habitualmente en aguas naturales como indicador de la presencia de sólidos,

especialmente coloidales, que incluye partículas de arcilla y limo, materia orgánica e inorgánica finamente particulada y organismos planctónicos. La turbidez es una medida de la claridad de un cuerpo de agua. Es una medición óptica, comúnmente registrada en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), que compara la intensidad de la luz dispersada por una muestra de agua con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión estándar de referencia. Esta medición se realiza con una sonda que emite un haz de luz en la muestra de agua y registra la intensidad (Método 2130: APHA, 2017). Si no se cuenta con una sonda de campo, es posible realizar la determinación en el laboratorio con un nefelómetro. En este caso, la determinación se debe realizar lo más pronto posible y refrigerar la muestra a 4 °C para evitar la descomposición microbiana de las partículas orgánicas, sin modificar su pH. Previamente a la determinación en el laboratorio, la muestra debe llevarse a la temperatura de colecta y agitarse vigorosamente para asegurar una medición representativa.

	Determinaciones	Unidades	Método Estandarizado
Indicadores físicos			
Temperatura	<i>In situ</i>	Centígrados	(Método 2550- APHA, 2017)
Turbidez	<i>In situ</i> o en el laboratorio	Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT)	(Método 2130- APHA, 2017)
Sólidos Totales Disueltos	<i>In situ</i> o en el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 2540 C- APHA, 2017)
Sólidos Totales Suspensión	En el laboratorio	mg/L (ppm)	Método 2540 D- APHA, 2017)
Conductividad eléctrica	<i>In situ</i> o en el laboratorio	Microsiemens (μS) miliSiemens/cm	(Método 2510: APHA, 2017)
Indicadores químicos			
pH	<i>In situ</i>		(Método 4500-H+ B: APHA, 2017).
Dureza Total	En el laboratorio	mgCaCO <sub>3</sub> / L	(Método 2340 C: APHA, 2017)
<u>Oxígeno Disuelto</u>	<i>In situ</i>	mg/L (ppm)	(Método 4500 G -APHA, 2017)
Materia Orgánica Total	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 5310 B- APHA, 2017).
Nutrientes (P y N)	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 4500-P C; E-APHA, 2017). (Método-N D 4500-APHA, 2017).
Nitratos	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 4500 D; E -APHA, 2017).
<u>Iones Mayoritarios: Calcio y Magnesio</u>	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 2340 C: APHA, 2017)
<u>Iones Mayoritarios: Sodio y Potasio</u>	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 3500 B- APHA, 2017)
<u>Cloruros</u>	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 4500 B-APHA, 2017).
<u>Sulfatos</u>	En el laboratorio	mg/L (ppm)	(Método 4500 E -APHA, 2017).
Metales	En el laboratorio	μg/L-mg/L (ppb-ppm)	(Método 3120 B: APHA, 2017).
Compuestos orgánicos de interés	En el laboratorio	μg/L-mg/L (ppb-ppm)	(Método 6020 B; C- APHA, 2017).

**Tabla 1:** Tipos de parámetros, determinaciones y métodos.

## pH

Es la concentración de iones hidrógeno ( $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ ), refleja la acidez o alcalinidad de una solución e interviene en los equilibrios de diferentes sustancias químicas que pueden encontrarse en diferentes formas de acuerdo a la acidez, por ejemplo, en la solubilidad de los metales. El pH de las aguas naturales se encuentra en un rango comprendido entre 6 y 9 (Stumm y Morgan, 1995; Conzonno 2009, Tundisi y Tundisi, 2013), aunque puede haber excepciones (Fernández Cirelli y Volpedo, 2020).

Para efectuar su medición *in situ*, se debe utilizar una combinación de electrodos (electrodos de vidrio y referencia) de una sonda. Los electrodos se conservan en una solución de KCl 3 M, pero antes de utilizarse deben dejarse en agua de canilla unos 10 minutos y calibrarse previamente usando dos soluciones buffer comerciales (Método 4500-H<sup>+</sup>B: APHA, 2017).

## Oxígeno disuelto (OD)

Es uno de los indicadores más utilizados ya que participa en un gran número de procesos que tienen lugar en el medio acuático. Se define como la cantidad de oxígeno gaseoso ( $\text{O}_2$ ) disuelto en una solución acuosa y puede ser expresado como una concentración (en mg/L), que es un valor absoluto, o como porcentaje de saturación, que es una expresión de la proporción de oxígeno disuelto en el agua en relación con la concentración máxima que puede disolverse a una temperatura, presión y salinidad particular. Esta última, es una medida más recomendable para comparar oxígeno en agua con distintas temperaturas. La determinación analítica se debe realizar *in situ*; para su medición, se pueden usar electrodos individuales o una sonda multiparamétrica. Los electrodos poseen una membrana permeable al oxígeno que se sumerge con leve agitación dentro del cuerpo de agua a analizar y permiten determinar el oxígeno disuelto (Método 4500 O: APHA, 2017). Es conveniente el registro de la hora, del día y de la temperatura cuando se determina este parámetro para facilitar la interpretación de los resultados en un monitoreo. Actualmente, también existen lectores “ópticos” que han demostrado tener mayor rapidez en las mediciones y estabilidad en las determinaciones.

## Conductividad eléctrica (CE)

Es la capacidad que presenta el agua para conducir la electricidad y se debe a las sales que lleva disueltas. No es un parámetro específico de una especie química concreta, sino que engloba al conjunto de iones. La conductividad es afectada por las características litológicas del terreno

que atraviesa el agua y por la presencia, o no, de vertidos de aguas residuales, ya que los iones que contienen no son eliminados por los procesos de depuración. Este parámetro sirve para determinar la existencia de algunos vertidos y la posibilidad de reutilización del agua para regar. La conductividad eléctrica se mide aplicando una diferencia de potencial entre dos placas o anillos metálicos (ambos de una superficie conocida y separados por una distancia también conocida) que se colocan en una muestra de agua. Los valores bajos de CE se expresan en micro-Siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y los valores altos en mili-Siemens por centímetro ( $\text{mS}/\text{cm}$ ). Para efectuar una medición, el manejo de la sonda es similar al descrito para el parámetro temperatura y debe hacerse la correspondiente calibración con una solución estándar de cloruro de potasio (Método 2510: APHA, 2017).

## Control y calibración de una sonda multiparamétrica

Todos los equipos que se utilicen en un muestreo deben estar previamente revisados y calibrados a fin de garantizar que los registros que se realicen sean fiables. La calibración de cada parámetro debe hacerse previamente al muestreo siguiendo las indicaciones del manual de cada equipo multiparamétrico y utilizando soluciones patrón estandarizadas.

Para la recolección de datos *in situ* (temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, turbidez, etc.) se recomienda utilizar equipos multiparamétricos robustos que soporten ser manipulados intensivamente en campo. Existen varias marcas en el mercado (HANNA, HACH, HORIBA, entre otras). Este tipo de equipos poseen en general una sonda robusta y sus respectivos electrodos para realizar las mediciones. También, un sistema operativo digital que permite registrar el dato de manera segura en cada estación de muestreo y, una vez concluido el muestreo, se puede acceder de manera práctica a los registros guardados en el equipo. Igualmente, siempre se aconseja el apoyo de una libreta de campo, a fin de garantizar tener una copia en papel por cualquier imprevisto.

Recordar que, una vez finalizado el muestreo, se deben limpiar, revisar y controlar todos los equipos y elementos utilizados. Las sondas multiparamétricas deben ser enjuagadas intensamente con agua ultra pura y secados a temperatura ambiente. Se deben chequear todos los componentes del equipo antes de guardarlo; cada equipo tiene sus recomendaciones en sus manuales de uso, por lo cual se debe seguir las mismas para garantizar el adecuado mantenimiento de la sonda.

## Parámetros físico-químicos que se determinan en el laboratorio

Para determinar los parámetros que se miden en el laboratorio (Tabla 1), las muestras de agua deben colectarse sin dejar cámara de aire y preservarse de manera adecuada<sup>1</sup>, además deben estandarizarse los procedimientos de rotulado para un correcto envío a los laboratorios de análisis, a fin de garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos en terreno.

### Colecta preservación y transporte de muestras

Los envases utilizados para las muestras pueden ser botellas de 500 mL de plástico, de polietileno (PE) o politetrafluoroetileno (PTFE, más conocido como teflón). Estas son preferibles a los envases de vidrio ya que tienen la ventaja de que es menos probable que se rompan. Los envases deben utilizarse únicamente para muestras de agua y nunca para el almacenamiento de productos químicos u otros líquidos. Los envases para muestras deben limpiarse escurpulosamente para que no contaminen las muestras colocadas en ellos. Cada envase debe ser enjuagado tres veces con agua de red, una vez con ácido nítrico 1:1 y luego tres enjuagues con agua destilada o ultrapura<sup>2</sup>.

Las muestras de agua deben ser rotuladas previamente a la salida al terreno o en el campo. Tendrán un número exclusivo y único en referencia a un código consensuado que tenga información de la campaña de monitoreo, del lugar de colecta de la muestra, de la fecha, de la hora, del código de numeración de la muestra y de la identificación de la persona que tomó la muestra. En el caso de que el estudio tenga una relevancia socio-ambiental, es común utilizar códigos alfanuméricos para no divulgar información relevante al sitio de muestreo y potenciales resultados.

Las muestras deben ser conservadas a baja temperatura, para lo cual deben ser transportadas en conservadoras térmicas, limpias y descontaminadas. Para garantizar que la temperatura de las muestras se mantenga baja, se puede usar, por ejemplo, hielo en bloque, conservadores térmicos, hielo picado, hielo seco u otra sustancia similar. Las muestras que requieren refrigeración son, generalmente, acondicionadas con hielo triturado para facilitar la distribución del frío de manera homogénea. Una combinación entre hielo triturado

y bloques de hielo, usualmente, es lo más conveniente. El hielo seco (en *pellets* o en bloques) se utiliza para muestras que deben ser congeladas inmediatamente de su colecta. Para minimizar inconvenientes con el uso de hielo es recomendable resguardar las botellas dentro de bolsas plásticas (que pueden ser reutilizables) a fin de garantizar que no se borren los rótulos por el efecto del roce con el hielo. Es importante realizar un control visual del estado del hielo para poder realizar recambios acordes a su descongelamiento. En este punto es aconsejable utilizar conservadoras con válvula de drenaje de agua para evitar aperturas innecesarias y tener un mejor manejo del líquido (Schenone *et al.*, 2014).

Las muestras deben ser transportadas directamente al laboratorio de referencia y entregadas al responsable del laboratorio que medirá los parámetros junto con una copia de la planilla que indique el número de rótulo y los datos de la muestra<sup>3</sup>.

## Parámetros físico-químicos de laboratorio

Los parámetros físico-químicos (Tabla 1) que pueden determinarse en las muestras de agua en el laboratorio son:

### Sólidos totales en suspensión (STS)

Los STS se definen como la porción de sólidos totales de una muestra de agua que es retenida por un filtro de tamaño de poro de 0,45 µm. Son partículas de tamaño variable que se mantienen en suspensión en el agua. Para su determinación, se filtra un volumen de agua y se pesan los sólidos en suspensión retenidos en el filtro. La muestra se toma en botellas plásticas prelavadas 3 veces con el agua a muestrear antes de la colección final. Debe asegurarse de no incrementar la turbidez del agua muestreada cuando se colecta la muestra al generar disturbios en el fondo del cuerpo de agua. Una vez que el filtro ha sido secado a 103-105 °C y pesado, la cantidad de sólidos totales en suspensión se registra en unidades de mg/L (Método 2540 D: APHA, 2017).

### Sólidos totales disueltos (STD)

Constituyen la porción de sólidos en una muestra de agua que pasa a través de un filtro de tamaño de poro de 0,45 µm. Los sólidos totales disueltos son el material residual resultante en un recipiente luego de la evaporación (180 °C) de una

<sup>1</sup> Por ejemplo, en las muestras de agua donde se quieran determinar metales pesados es necesaria la adición de ácido nítrico concentrado.

<sup>2</sup> Algunos autores también recomiendan, además, hacer un lavado previo con ácido cromático (una mezcla de ácido sulfúrico concentrado H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y dicromato de potasio Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

<sup>3</sup> Recomendación: no entregue su planilla original en el laboratorio, guárdela para usted.



muestra y su subsecuente secamiento en un horno a temperatura definida y constante (Método 2540C: APHA, 2017).

### Dureza

Es la suma de todos los cationes multivalentes presentes en el agua. Los cationes más importantes son calcio y magnesio y suele calcularse su valor como la suma de ellos. Químicamente, la dureza, también llamada dureza total, se define como:  $\text{dureza} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ . La dureza se expresa como la masa, en miligramos (por litro) de carbonato de calcio que contiene el mismo número de iones positivos (+2). Según la dureza, las aguas se clasifican como: blandas: 0-60 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , moderadamente blandas: 60-120 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , duras: > 120 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . La dureza total se determina mediante una valoración con EDTA. En el caso de que sea necesario determinar calcio y magnesio individualmente se recomienda realizar las determinaciones por absorción atómica (Método 2340 C: APHA, 2017), aunque también pueden determinarse colorimétricamente.

### Materia orgánica

Es un conjunto de compuestos de composición y estructura química bastante diferente, pero que presentan una característica común: su capacidad para reaccionar con el oxígeno en un proceso de oxidación (Fernández Cirelli y Volpedo, 2020).

Las determinaciones de materia orgánica se realizan por:

a) oxidación por parte de microorganismos, que se denomina **demanda bioquímica de oxígeno** (DBO).

b) oxidación por medio de un oxidante químico estandarizado, que puede ser dicromato de potasio: en cuyo caso se denomina **demanda química de oxígeno** (DQO).

c) oxidación total de la materia orgánica: **carbono orgánico total** (COT).

La **demanda bioquímica de oxígeno** (DBO) es el más aproximado a los procesos que tienen lugar en el medio acuático. Se asume que en la muestra hay microorganismos que pueden facilitar la oxidación de la materia orgánica por parte del oxígeno disuelto en el agua. La cantidad de oxígeno consumido, que es lo que se mide (mg de oxígeno/L) depende del tiempo. Por eso, la determinación se realiza a los 5 días ( $\text{DBO}_5$ ) a una temperatura de referencia de 20 °C. Como se mide diferencia de oxígeno, la reacción se lleva a cabo en la oscuridad. El valor de saturación de oxígeno a 20 °C es 9 mg/L. Esto hace necesario que se realicen dilu-

ciones, lo que constituye una fuente de error en la determinación que se debe considerar. Este método presenta una variabilidad intrínseca ya que es una reacción entre compuestos desconocidos de modo que diferentes concentraciones de compuestos puede dar una DBO similar.

Los métodos de **oxidación química** (DQO) incluyen la oxidación con exceso de dicromato de potasio y este exceso se valora con un reductor, el  $\text{Fe}^{+2}$ , hasta el punto final. Una alternativa a la titulación es medir la intensidad de color con un espectrofotómetro. El oxidante químico reacciona con sustancias difíciles de biodegradar, por lo que los valores de DQO son en general mayores, y la relación entre DBO y DQO no es lineal. La DQO es de más fácil estandarización y reproducibilidad y se realiza en un tiempo menor (2 h).

El **carbono orgánico total** (COT): se oxida en forma total la muestra y se determina el carbono como dióxido de carbono, se utiliza para la materia orgánica disuelta y suspendida en el agua. La cuantificación del dióxido de carbono generado se puede realizar volumétricamente, por conductividad térmica o una sonda específica. Este método es de más fácil automatización y aunque los equipos disponibles son costosos, se requiere menor tiempo y permite el análisis simultáneo de muchas muestras.

El **carbono orgánico disuelto** (COD) se utiliza para caracterizar el material orgánico que está disuelto. Para aguas superficiales, el COD es de unos 5 ppm en promedio, aunque en humedales con mucha materia orgánica como pantanos y turberas puede alcanzar valores diez veces superiores. Para aguas residuales no tratadas, los valores típicos de COD son de cientos de ppm (Stumm y Morgan, 1995).

### Nutrientes

- **Fósforo total:** se encuentra en aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos. Estos se encuentran en formas iónicas o ligados a la materia orgánica. Para su determinación se requiere un volumen de 200 mL de muestra colectada en botella plástica, refrigerada (1 a 4 °C) y mantenida en oscuridad. La determinación analítica incluye una digestión con persulfato (Método 4500-P B 5: APHA, 2017) y una colorimetría basada en una reducción con ácido ascórbico (Método 4500-P F: APHA, 2017).
- **Fósforo soluble:** se determina mediante pruebas colorimétricas sin previa hidrólisis o digestión oxidativa de la muestra. Se requieren

al menos 125 mL de muestra que puede ser colectada en botella plástica, transportada refrigerada, para luego ser filtrada en el laboratorio por una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ . La determinación analítica se efectúa mediante una reducción con ácido ascórbico y se mide espectrofotométricamente (Método 4500-P F: APHA, 2017).

- **Nitrógeno en forma de amoníaco/amonio:** se determina utilizando la misma metodología analítica. Para su determinación se requiere un volumen de 125 mL de muestra, colectada en botella plástica, refrigerada (1 a 4 °C), que es filtrada por una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  y definida por una colorimetría de fenato (Método 4500-NH<sub>3</sub> G: APHA, 2017).
- **Nitrógeno en forma de nitrato/nitrito:** para la determinación se requiere de un volumen de muestra de 125 mL, colectado en botella plástica, refrigerada (1 a 4 °C) y remitido al laboratorio en menos de 24 horas. El nitrato puede determinarse espectrofotométricamente en aguas superficiales y subterráneas. Existen kits comerciales para la determinación de las diferentes especies de nitrógeno. La cromatografía iónica es un método adecuado y preciso para la determinación simultánea de las diferentes formas iónicas. Suele aplicarse el método de la columna reductora para estimar la concentración de nitrógeno en forma de nitratos o nitritos.
- **Nitrógeno Total (NT):** su determinación se puede realizar por el método de Kjeldahl. El volumen de muestra a coleccionar es de 500 o 1000 mL. Las muestras deben ser analizadas inmediatamente, caso contrario pueden preservar acidificando a pH < 2,0 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y almacenándolas a 4 °C. El análisis debe efectuarse dentro de los 28 días siguientes a la colecta de la muestra. El método de Kjeldahl convierte el nitrógeno en amoníaco mediante digestión con ácido sulfúrico durante 2-3 horas en presencia de un catalizador de sulfato de potasio y sulfato de cobre. La determinación final se efectúa mediante una volumetría del amoníaco formado.

### Iones mayoritarios

Los iones mayoritarios permiten caracterizar el tipo de agua, los mismos son aniones (bicarbonato HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; carbonato CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; cloruro Cl<sup>-</sup>; sulfatos SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y los cationes: calcio (Ca<sup>2+</sup>), magnesio (Mg<sup>2+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>). Existen diferentes métodos

analíticos que pueden emplearse para determinar la presencia de los distintos iones en las muestras de agua (Tabla 2).

Con los valores de las concentraciones de los iones mayoritarios se puede determinar el tipo de agua utilizando el diagrama triangular de Piper Hill Langelier (Fig. 1) que permite conocer el carácter del agua en sus fases químicas y expresa muy bien las relaciones entre los diferentes aniones y cationes presentes en el agua y expresados en miliequivalentes por litro (mEq/L). El diagrama está compuesto por tres partes principales: dos triángulos y un rombo central (Fig. 1). En el triángulo de la derecha se representan los aniones, mientras que en el triángulo de la izquierda se encuentran los cationes. Sobre estos triángulos se grafican los datos del contenido iónico de los análisis y se obtiene un único punto; la proyección de ambos en el diagrama rómbico dará un tercero que indica la composición porcentual relativa en términos de pares de aniones y pares de cationes.

### Elementos traza

Las muestras para determinación de elementos traza disueltos en el agua como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el cromo (Cr), el mercurio (Hg), el níquel (Ni), el plomo (Pb), el zinc (Zn) o como el metaloide arsénico (As) se deben coleccionar en recipientes plásticos o de vidrio previamente lavados con agua de red, ácido nítrico diluido y tres enjuagues con agua destilada y ultra pura. El volumen de muestra requerido ronda entre 250 a 500 mL, según la técnica analítica que se use. Las muestras de agua coleccionadas deben ser filtradas utilizando una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  (o diámetro de poro menor en función de los objetivos<sup>4</sup>), acidificadas con ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) (concentrado para una proporción final de 0.pH< 2) y preservadas a 4 °C en envases plásticos, de teflón, polipropileno o polietileno.

Para su cuantificación se utilizan métodos de espectrofotometría como Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) o Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES).

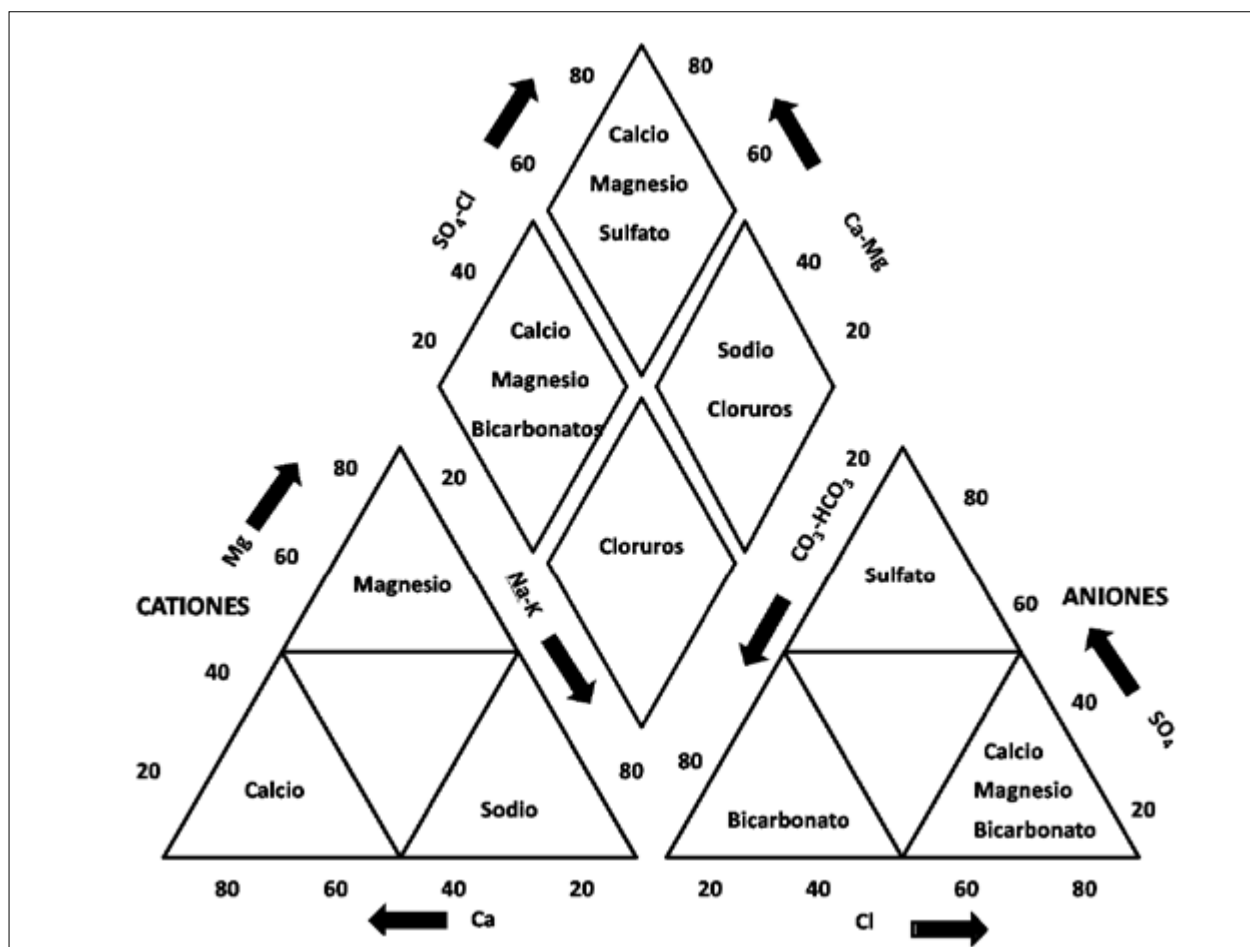
### Compuestos orgánicos

Se requiere un volumen de muestra de al menos 1 L en botellas de vidrio opaco o color ámbar con tapa con cubierta de teflón. Las muestras deben ser almacenadas en oscuridad y en recipientes a 4 °C (es posible el congelado en función de los objetivos y compuestos a determinar).

<sup>4</sup> Si se desea determinar elementos traza totales, no deben filtrarse.

Componente	Métodos de determinación
Carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) – Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ )	Titulación ácido-base
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	Argentometría Cromatografía de intercambio iónico
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	Turbidimetría Cromatografía de intercambio iónico
Calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ )	Complejometría Fotometría de llama Espectrometría de absorción atómica Cromatografía de intercambio iónico Volumétrico EDTA
Magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ )	Complejometría Fotometría de llama Cromatografía de intercambio iónico Espectrometría de absorción atómica Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente
Potasio ( $\text{K}^+$ )- Sodio ( $\text{Na}^+$ )	Fotometría de llama Espectrometría de absorción atómica Cromatografía de intercambio iónico

**Tabla 2:** Métodos de determinación de iones mayoritarios.



**Figura 1:** Diagrama de Piper Hill Langelier para calcular la composición porcentual relativa de aniones y de cationes del agua.



La determinación de compuestos orgánicos tiene dos fases principales, la extracción y la cuantificación. Los métodos de extracción son muy variados y generalmente se llevan a cabo mediante el uso de mezclas de solventes orgánicos. La determinación se realiza mediante técnicas de separación como la cromatografía de gases (CG), la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) y la electroforesis capilar (EC) que tienen diferentes variantes y combinaciones con otras metodologías (ejemplo LC-MS/MS). Según el tipo de compuesto, se hace la determinación analítica: organoclorados (Método 6410: APHA, 2017) y organofosforados (Método 8270 C: USEPA, 1996 y método 8141 B: USEPA, 1998).

Se recomienda a los gestores que luego de tener claros los objetivos del monitoreo realicen una lista de los sitios de muestreo seleccionados y en base a ello determinen qué parámetros les son de interés para poder calcular la cantidad de muestras e insumos necesarios para llevar a cabo el monitoreo a fin de tener cubiertos todos los requerimientos. Por otro lado, también deberían organizar la logística del traslado de las muestras e identificar los laboratorios que harán las respectivas mediciones, previo al monitoreo, para garantizar que las muestras sean medidas en tiempo y forma, y preservadas adecuadamente.

### Consideraciones finales

A modo de resumen se presenta la Tabla 3 que permite tener una visión general de los requerimientos para la colecta, preservación, transporte, conservación y almacenamiento de muestras de agua para la posterior determinación de diferentes parámetros. Estos lineamientos se describen de acuerdo a APHA (2017), USEPA (2007) y la norma ISO 5667-3:2003. Los volúmenes enumerados en la Tabla 3 son para una sola determinación y solo se deben utilizar como guía (valores mínimos). Para determinar concentraciones muy bajas de cualquier componente (analito) pueden ser necesarios volúmenes más grandes. Por otra parte, los volúmenes de muestra van a depender del método analítico que se utilice *a posteriori*, por lo que el laboratorio/institución que realice los análisis debe ser consultado previamente sobre sus requisitos antes del muestreo. A menos que se indique lo contrario, los requisitos enumerados son los de las determinaciones cuantitativas habituales. Estas recomendaciones deben emplearse sólo como una guía. La selección de los volúmenes de muestras, el protocolo de preservación, los procedimientos, tiempos de conservación y condiciones de almacenamiento deben basarse en la naturaleza de la muestra, el uso final previsto de los datos y los objetivos de calidad de los datos. En una muestra dada, el analito que requiera el tratamiento para una mayor preservación, así como el tiempo de conservación más corto, debe dictar el tratamiento de preservación de la muestra general. El procedimiento de preservación se refiere al tratamiento de la muestra después de la recolección, ya sea en tránsito o a su llegada al laboratorio. El tiempo de conservación es el período máximo recomendado desde la recolección de muestras hasta su análisis, en caso de discrepancia entre los distintos lineamientos se ha informado el menor periodo de tiempo.

Parámetro	Tipo de medición						
<ul style="list-style-type: none"><li>• Temperatura</li><li>• Turbidez</li><li>• pH</li><li>• Oxígeno disuelto</li><li>• Conductividad eléctrica</li></ul>	Medición <i>in situ</i> con sonda multiparamétrica o electrodos						
	Medición en el laboratorio						
Parámetro	Envase	Volumen mínimo (ml)	Muestreo y transporte	Preservación	Máximo tiempo de conservación	Almacenamiento	Observaciones
<b>Sólidos</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Totales</li><li>• Disueltos</li><li>• Suspendidos</li></ul>	Polietileno (PE), teflón (PTFE) o vidrio	1000	Llenar el envase hasta excluir el aire. Transportar con hielo		2 días.	Refrigerar (≤ 6° C) NO congelar	Sólidos disueltos también es conocidos como “residuos filtrables” o “sólidos disueltos totales” (TDS). Sólidos suspendidos también es conocido como “residuos no filtrables” (NFR).
<b>Dureza</b>	Polietileno (PE), teflón (PTFE) o vidrio	200	Llenar el envase hasta excluir el aire.		2 o 3 días	Refrigerar (≤ 6° C) NO congelar	
<b>Materia orgánica</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</a></li><li>• Demanda química de oxígeno (DQO)</li><li>• Carbón orgánico total (COT)</li></ul>	Polietileno (PE), teflón (PTFE) o vidrio de color opaco o ámbar con tapa de teflón.	200	Transporte con el hielo y sin luz.	En caso del carbono orgánico: Acidificar (ácido sulfúrico, clorhídrico o fosfórico) a pH <2	Recomendado DBO 1 día; DQO y COT, 7 días.	Refrigerar (≤ 6° C) en oscuridad. NO congelar	Analizar tan pronto como sea posible. Mantener alejado de la luz.

Parámetro	Tipo de medición					
	Polietileno (PE)	200	Llenar el envase hasta excluir el aire. Transportar con hielo y mantener en oscuridad en el caso del Pt.	Acidificar a pH < 2,0 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	24 hs especialmente para nitratos y nitritos.	Refrigerar (≤ 6° C) NO congelar
<b>Nutrientes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fósforo total (PT):</li> <li>Fósforo soluble</li> <li>Nitrógeno en forma de amoniaco/ amonio</li> <li>Nitrógeno en forma de nitrato/nitrato</li> <li>Nitrógeno Total (NT)</li> </ul>		200				Analizar tan pronto como sea posible.
<b>Aniones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</li> <li>Carbonato (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>)</li> <li>Cloruro (Cl<sup>-</sup>)</li> <li>Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)</li> </ul>	Polietileno (PE), teflón (PTFE) o vidrio de borosilicato	200	Llenar el envase hasta excluir el aire. Transportar con hielo		Dentro de los 28 días siguientes a la colecta de la muestra.	Refrigerar (≤ 4° C) NO congelar
<b>Cationes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcio (Ca)</li> <li>Magnesio (Mg)</li> <li>Potasio (K)</li> <li>Sodio (Na)</li> </ul>	Polietileno (PE) o teflón (PTFE)	500	Llenar el envase hasta excluir el aire. Transportar con hielo	Acidificar con ácido nítrico a pH < 2	< 1 mes; 7 días sin acidificar la muestra.	Refrigerar (≤ 6° C) NO congelar
<b>Elementos traza</b> (As, Ba, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Sr, Zn, entre otros)	Polietileno (PE) teflón (PTFE), polipropileno (PP)	250 a 500 mL	Llenar el envase hasta excluir el aire.	Acidificar con ácido nítrico a pH < 2	1 mes	Refrigerar (≤ 4° C)
<b>Compuestos orgánicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Organoclorados</li> <li>Organofosforados</li> <li>Otros</li> </ul>	Vidrio de color opaco o ámbar con tapa de teflón.	1000	Llenar el envase hasta excluir el aire. Transportar en oscuridad y refrigeradas a 4 °C		1 mes	Refrigerar (≤ 4° C)

**Tabla 3:** Resumen de los parámetros más relevantes y volúmenes de muestra requeridos, así como preservación y tiempo de almacenamiento de vida útil de las mismas.



## Bibliografía

Baird, R. B., A. D. Eaton & E. W. Rice (Eds.). 2017. *Standard methods for the examination of water & wastewater*. 23.<sup>rd</sup> ed. Washington, DC: American Public Health Association (APHA).

Blesa, M. A., M. Do Santos Alfonso y M. C. Apella. 2012. *Agua y ambiente. Un enfoque desde la química*. Buenos Aires: Eudeba. 353 pp.

Conzonno, V. 2009. *Limnología química*. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Fernández Cirelli A. y A. Volpedo. 2020. Indicadores físico-químicos: ¿qué, cómo y cuánto reflejan la calidad del agua?. En: Domínguez, A. Giorgi y N. Gómez (Comp.). *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: bases para el análisis de la integridad ecológica* (1.<sup>a</sup> ed.). Buenos Aires: Eudeba, pp. 9-21. ISBN digital 978-950-23-3006-8/ ISBN formato impreso: 978-950-23-3005-1.

ISO 5667-3:2003. *Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la conservación y manipulación de las muestras de agua*. International Standards Organization.

Schäfer, R. B., A. Paschke, B. Vrana, R. Mueller & M. Liess. 2008. Performance of the Chemcatcher® passive sampler when used to monitor 10 polar and semi-polar pesticides in 16 Central European streams, and comparison with two other sampling methods. *Water Res*, 42(10–11): 2707–2717.

Schenone, N., H. Moscuzza, E. Avigliano, J. Ross y E. Mabrugaña. 2014. *Plan Estandarizado de Muestras de Calidad de Agua Superficial*. Buenos Aires.

Stumm, W., J.J. Morgan. 1995. *Aquatic Chemistry*. 3.<sup>rd</sup> ed. USA: John Wiley & Sons, Inc. 1022 pp.

USEPA. 2007. Title 40 of the Code of Federal Regulations (CFR), Chapter 1. *Environmental Protection Agency*, Subchapter D. Water Programs, Part 136. *Guidelines establishing test procedures for the analysis of pollutants*, Subpart 136.3. *Identification of test procedures*. United States Environmental Protection Agency on-line, <https://www.ecfr.gov/current/title-40>.

La mayor parte de las técnicas químicas que se describen a continuación están basadas en APHA, 2005. Se trata de una selección y se sugieren algunas recomendaciones emanadas de la práctica analítica. En la actualidad, muchas de estas técnicas pueden reemplazarse por determinaciones a través de sondas o la utilización de kit de reactivos. Las primeras suelen basarse en aumentar la fuerza iónica del ión que se intenta medir; las segundas, en las descripciones que se acompañan a continuación.