



Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS
AMBIENTALES
IDEAM

Contrato 214 de 2010

**AJUSTE DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA
DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN
RESPONDIENDO A LOS INDICADORES AMBIENTALES DE SEGUIMIENTO DEL RECURSO
HÍDRICO Y UN ESTUDIO DE REINGENIERÍA DE LA RED, EL CUAL DEBE DEFINIR LA RED
BÁSICA NACIONAL PARA EL MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LAS
NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA PARA LLEVAR A CABO SU IMPLEMENTACIÓN**

INFORME FINAL
**PROTOCOLOS Y PROCEDIMIENTOS
CALIDAD DEL AGUA**

Presentado por:

epam s.a. esp

Bogotá D.C., junio de 2011

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. ASPECTOS GENERALES	2
1.1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	2
1.2. MARCO CONCEPTUAL	4
1.2.1. El ciclo del agua	4
2. LA CALIDAD DEL AGUA	5
3. ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MONITOREO	12
3.1. TIPOS DE ESTACIONES	12
3.2. TIPOS DE REDES	12
3.2.1. Criterios para el diseño de la red de calidad del agua	13
3.3. FRECUENCIAS DE MUESTREO	18
4. MEDICIÓN	20
4.1. PARÁMETROS A MEDIR Y UNIDADES DE MEDIDA	20
4.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA	26
4.2.1. Instrumentos de muestreo	26
4.2.2. Equipos de laboratorio	30
4.3. INSTALACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL INSTRUMENTAL	30
4.4. POSIBLES FALLAS Y CAUSAS DE ERRORES EN LA OPERACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MUESTREO Y MEDICIONES DE CALIDAD	32
4.5. MÉTODOS DE MEDICIÓN	33
4.5.1. Muestreo	33
4.5.2. Procedimientos de determinaciones in situ	51
4.5.3. Procedimientos de conservación y filtración en campo	56
4.5.4. Procedimientos de análisis de laboratorio	63
4.5.5. Procedimientos para la operación y mantenimiento	67
4.6. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS	68
4.6.1. Registro de datos en campo	68
4.6.2. Entrada de datos al sistema	70
4.6.3. Cálculos y procesamiento de datos	71
4.6.4. Salida de datos de calidad del agua	71
4.6.5. Procesamiento secundario	72
4.7. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD	73
4.7.1. Verificación	73
4.7.2. Validación de datos	75
4.8. ALMACENAMIENTO	81
4.9. DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN	82
ANEXOS	85
ANEXO No. 1. ESTIMACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA	87
ANEXO No. 2. FORMATOS	99
Bibliografía	101



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN



PROTOCOLO DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

INTRODUCCIÓN

En el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, la calidad del agua es una de las seis variables básicas a monitorear, junto con las aguas superficiales, las aguas subterráneas, los sedimentos, la precipitación y la evaporación.

El Protocolo que se propone ha sido elaborado con base en la revisión, simplificación y, en algunos casos, ampliación de documentos previamente elaborados por el IDEAM, en especial los instructivos y protocolos de muestreo y análisis de laboratorio de Calidad Ambiental, así como de los documentos suministrados por el INVEMAR relativos a la Red de Vigilancia de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras – REDCAM -, con base en los cuales estas entidades han venido trabajando durante los últimos años. Asimismo contiene elementos tomados de las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, de manera especial los contenidos en la Guía de Prácticas Hidrológicas (versiones 1994 y 2008).

Se pretende que el Protocolo sea la base alrededor del cual las distintas entidades que ejecutan monitoreo de la calidad del agua homologuen o unifiquen sus procedimientos básicos.

El Protocolo se ha organizado en dos partes principales:

- Aspectos generales, que contienen los objetivos y el marco conceptual general.
- El método de monitoreo, o conjunto de procedimientos técnicos para la medición, el muestreo, el procesamiento, la validación, el almacenamiento y la difusión de los datos del monitoreo

El alcance del Protocolo va desde la generación hasta el procesamiento de la información básica que el IDEAM o el INVEMAR deben generar para conocer el estado del recurso hídrico nacional y para manejo del usuario general que requiere conocer los niveles de contaminación del agua, así como las concentraciones promedias, máximas y mínimas para diferentes parámetros y períodos de observación. Procedimientos específicos para monitoreos más especializados sobre calidad del agua y/o para procesamientos especializados de los datos para distintos fines, salen del alcance de este Protocolo.

El monitoreo y seguimiento del recurso hídrico es una función legal del IDEAM a nivel nacional, de las corporaciones autónomas regionales (CARs) a nivel regional, y de las autoridades ambientales urbanas y organismos de prevención y atención de desastres a nivel local. Estas funciones derivan de las siguientes normas, entre otras: Decreto-Ley 2811 de 1974, Ley 99 de 1993, Ley 373 de 1997 (ahorro y uso eficiente del agua), Ley 715 de 2001 (vigilancia de municipios), decretos 1541 de 1978, 1594 de 1984, 1276 de 1994 (INVEMAR), 1277 de 1994 (IDEAM), 1600 de 1994 (SINA), 1603 de 1994 (Institutos HUMBOLDT, SINCHI Y NEUMANN), 155 de 2004, 3100 de 2003, 1200 de 2004, 3440 de 2004, 1323 de 2007 (SIRH), 1324 de 2007, 1575 de 2007, 2370 de 2009, 3930 de 2010, y resoluciones 0643 de 2004, 1433 de 2004, 941 de 2009 (SIUR y RUA) del MAVDT.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

Objetivo general

De acuerdo con las estrategias para el logro de los objetivos de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico establecidos por el Gobierno Nacional¹, el objetivo general para el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) puede establecerse así:

“Formular y ejecutar un plan integrado de monitoreo del recurso hídrico que permita conocer la cantidad y calidad del mismo a nivel nacional, regional y local, con la participación y responsabilidad de las autoridades ambientales de estos niveles, con protocolos compartidos y bajo la vigilancia de la autoridad nacional, con el fin de garantizar la calidad de la información generada”.

Objetivos específicos

De acuerdo con los componentes de este objetivo general y de las líneas estratégicas definidas por el Gobierno Nacional, los objetivos específicos del PNMRH en materia de calidad del agua pueden desglosarse así:

Objetivos técnicos a nivel nacional (tabla 1):

1. Actualizar, complementar, operar y mantener la red de monitoreo de calidad de aguas superficiales, marino-costeras y subterráneas, a nivel nacional, tomando como referencia las 41 zonas hidrográficas definidas por el IDEAM y las provincias hidrogeológicas.

Objetivos técnicos a nivel regional y local (tabla 1):

2. Incrementar y/o mejorar los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y su variación espacio-temporal a nivel de subzona, cuenca hidrográfica y/o acuífero, de acuerdo con prioridades fijadas en el Plan Hídrico Nacional, y con la finalidad de apoyar la planeación de proyectos de aprovechamiento y control del recurso hídrico.

Líneas propedéuticas:

3. Integrar en un sistema jerarquizado las redes y programas de monitoreo regional y local de calidad de las aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras, y establecer protocolos comunes de instalación, operación, procesamiento y control de calidad.

¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Viceministerio de Ambiente. Política Nacional para la gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.

Tabla 1. Objetivos de la red nacional y las redes regionales

Red nacional	Red regional
<p>PROPÓSITO: El propósito general de la Red Básica Nacional de monitoreo es evaluar el estado y la dinámica de la calidad de las aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras, con miras a establecer la oferta y planificar el aprovechamiento integrado del recurso hídrico a nivel de zona hidrográfica, así como determinar la dimensión y causas de sus variaciones espacio-temporales.</p>	<p>PROPÓSITO: Proveer información de calidad de las aguas superficiales y subterráneas necesaria y suficiente para:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Responder a las numerosas necesidades de una región en materia de aprovechamiento y gestión de recursos hídricos 2. Formular planes de manejo y protección integrada de aguas superficiales y subterráneas y planes de desarrollo regional.
Objetivos específicos	Objetivos específicos
<p>Colectar, procesar y analizar información sobre calidad de aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras, como línea base para evaluar el estado y dinámica actual y anticipar los cambios y tendencias de los sistemas hidrológicos.</p> <p>Proveer información representativa para el planeamiento, manejo y toma de decisiones acerca del recurso hídrico, su desarrollo, protección y conservación y para la implementación de medidas de control y regulación.</p> <p>Soportar estrategias y desarrollo de políticas de uso y protección de aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras a nivel nacional, regional y local con el objeto de preservar sus propiedades naturales, especialmente para propósitos de abastecimiento.</p> <p>Disponer de datos correctos y precisos para identificar fuentes existentes y potenciales de contaminación difusa y puntual.</p> <p>Producir datos para estudiar los cambios en el tiempo y el espacio de los niveles de contaminación en los sistemas hidrológicos.</p> <p>Identificar los efectos e impactos de procesos humanos y naturales sobre la calidad de las aguas superficiales, subterráneas y marino-costeras.</p> <p>Crear una plataforma de información básica para el escalamiento de instrumentos económicos relacionados con uso de recursos hídricos y defensa contra eventos extremos de sequía e inundaciones</p>	<p>Determinar los niveles de contaminación en los cursos y cuerpos de agua superficial y subterránea a nivel de subzonas hidrográficas y/o acuíferos.</p> <p>Evaluar los recursos hídricos disponibles a nivel de subzona y/o acuífero.</p> <p>Determinar la variación espacial de la calidad del agua</p> <p>Determinar disponibilidad del recurso hídrico desde el punto de vista de la calidad del agua</p> <p>Evaluar proyectos de aprovechamiento propuestos, en especial de riego y drenaje y suministro humano.</p> <p>Supervisar el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas</p> <p>Evaluar los impactos ambientales de los proyectos de utilización de las aguas superficiales y subterráneas</p> <p>Determinar prioridades y conflictos entre los usuarios de Recursos hídricos y otros recursos naturales.</p> <p>Evaluar problemas de contaminación y dilución de contaminantes hídricos y atmosféricos.</p> <p>Soportar indicadores para escalamiento de instrumentos técnicos y económicos como la Tasa por Uso del Agua y las Concesiones.</p> <p>Evaluar el impacto del régimen de caudales sobre amenazas de sequía e inundaciones, y planificar acciones de defensa contra dichas amenazas.</p>

Fuente: Adaptado de IDEAM-Vargas, 2010

Justificación de las mediciones

Las mediciones de calidad del agua se justifican por su uso para los siguientes fines, entre otros:

- Protección de la fauna y la flora acuática
- Protección de la salud pública
- Diseño y operación de sistemas de acueducto urbano y rural
- Planificación y control de riego y drenaje en actividades como la agricultura, ganadería y silvicultura.
- Prevención y atención de desastres naturales y estudios de riesgo.
- Planeación y control de los aprovechamientos de aguas para diversos fines, incluido el vertimiento de aguas residuales.

- Planeación municipal, departamental y nacional.
- Sector académico, investigación, programas internacionales de intercambio de datos, programas internacionales de investigación (Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN, etc.)

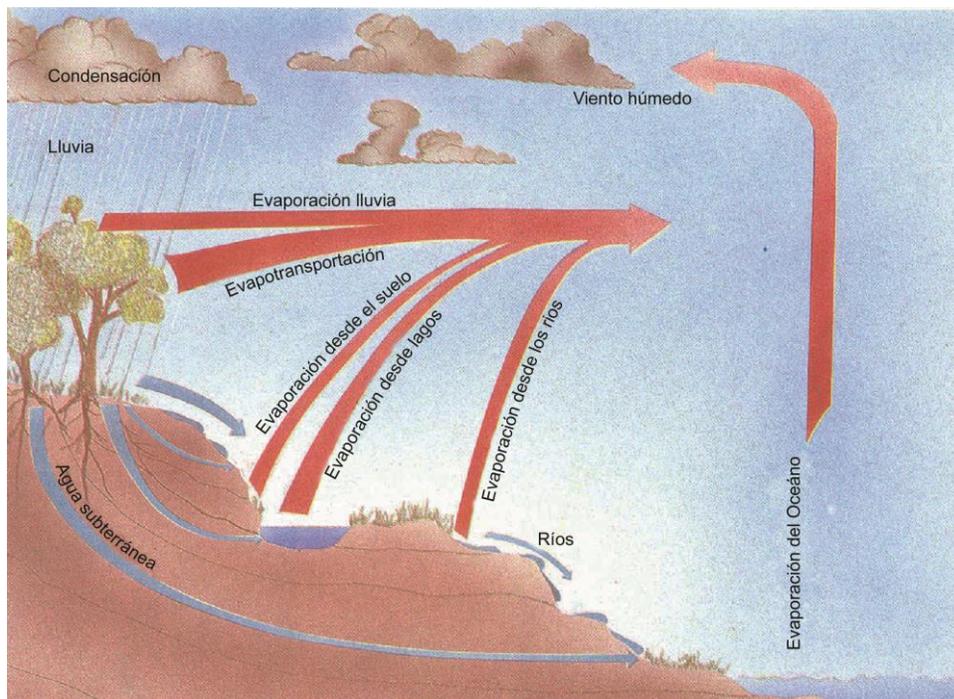
1.2. MARCO CONCEPTUAL

1.2.1. El ciclo del agua

El agua es un recurso natural renovable, es decir, en continua transformación. Una vez que el agua lluvia cae sobre el suelo, parte de ella corre sobre la superficie y llega en forma más o menos rápida a los ríos, lagos y finalmente al mar, donde se manifiesta en forma de niveles y/o caudales de agua; otra parte se infiltra en el suelo, alcanzando a veces profundidades grandes, pero finalmente resurge a través de manantiales y llega también a los ríos y al mar. En este recorrido, parte del agua es absorbida por las plantas y luego transpirada a través de sus órganos aéreos, de donde se evapora a la atmósfera, y otra parte se evapora directamente desde el suelo, los ríos, los lagos y el propio mar².

Una vez en la atmósfera, el vapor de agua es transportado por los vientos y forzado a ascender, procesos en el cual se condensa y cae nuevamente en forma de lluvia. Este proceso es conocido como el “ciclo hidrológico” (figura 1).

Figura 1. El ciclo hidrológico



Fuente: Pérez Preciado, 1989

²Pérez Preciado, A., Gran atlas y geografía de Colombia. Círculo de Lectores. Bogotá. 2004.

2. LA CALIDAD DEL AGUA

Origen de la contaminación

En su recorrido por los diversos compartimentos del ciclo hidrológico, el agua puede contaminarse, bien sea debido a procesos naturales como el volcanismo, movimientos en masa del suelo u otros, o bien por procesos de origen antrópico, como la agricultura, la ganadería, la minería, la industria, la generación de energía y las descargas de aguas residuales de asentamientos humanos, entre otros. Esta contaminación puede limitar seriamente las posibilidades de utilización del agua para distintos fines, así como la vida acuática que se desarrolla en los cursos y cuerpos de agua.

Definiciones básicas

De acuerdo con el Decreto 3930 de 2010 y 1594 de 1984, se adoptan las siguientes definiciones:

Acuífero. Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua.

Aguas continentales. Cuerpos de agua que se encuentran en tierra firme, sin influencia marina. Se localizan en las tierras emergidas, ya sea en forma de aguas superficiales o aguas subterráneas.

Aguas costeras o interiores. Son las aguas superficiales situadas entre las líneas de base recta de conformidad con el Decreto 1436 de 1984 que sirve para medir la anchura del mar territorial y la línea de la más baja marea promedio. Comprende las contenidas en las lagunas costeras, humedales costeros, estuarios, ciénagas y las zonas húmedas próximas a la costa que, verificando los criterios de tamaño y profundidad presenten una influencia marina que determine las características de las comunidades biológicas presentes en ella, debido a su carácter salino o hipersalino. Esta influencia dependerá del grado de conexión con el mar, que podrá variar desde una influencia mareal a una comunicación ocasional.

Aguas marinas. Las contenidas en la zona económica exclusiva, mar territorial y aguas interiores con su lecho y subsuelo de acuerdo con la normatividad vigente en la materia. Para los efectos de este decreto las aguas marinas se subdividen en aguas costeras y oceánicas.

Aguas meteóricas. Aguas que están en la atmósfera.

Aguas oceánicas. Las comprendidas entre las líneas de base recta y los límites de la zona económica exclusiva, de conformidad con el derecho internacional.

Aguas servidas. Residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial.

Aguas subterráneas. Agua contenida en un cuerpo o formación rocosa que puede ser extraída en cantidades suficientes para uso comercial o industrial³.

³Definición en la Norma NTC-ISO 5667-11. P. 2.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Autoridades Ambientales Competentes. Se entiende por autoridad ambiental competente, de acuerdo a sus respectivas competencias las siguientes:

- a) Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- b) Las Corporaciones Autónomas Regionales y las de Desarrollo Sostenible.
- c) Los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población dentro de su perímetro urbano sea igual o superior a un millón de habitantes.
- d) Las autoridades ambientales de que trata el artículo 13 de la Ley 768 de 2002.

Bioensayo acuático. Procedimiento por el cual las respuestas de organismos acuáticos se usan para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.

Capacidad de asimilación y dilución. Capacidad de un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias, elementos o formas de energía, a través de procesos naturales, físicos químicos o biológicos sin que se afecten los criterios de calidad e impidan los usos asignados.

Carga contaminante. Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Carga de control de un vertimiento. Es la carga determinada de acuerdo con las normas de vertimiento para un determinado elemento, sustancia o compuesto. Se estima de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$A = 0,0864Q \cdot CDC$$

$$B = 0,0864Q \cdot CV$$

Donde:

A: carga de control en kg/d

Q: caudal promedio del vertimiento en l/s

B: carga en el vertimiento en kg/d

CDC: concentración de control en mg/L (según norma de vertimiento)

CV: concentración en el vertimiento

0,0864: factor de conversión de unidades.

La *carga máxima permisible (CMP)* es el menor de los valores entre A y B.

Cauce natural. Faja de terreno que ocupan las aguas de una corriente al alcanzar sus niveles máximos por efecto de las crecientes ordinarias.

Cauces artificiales. Conductos descubiertos, construidos por el ser humano para diversos fines, en los cuales discurre agua de forma permanente o intermitente.

Caudal ambiental. Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.

Concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido. La relación existente

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

entre su masa y el volumen del líquido que lo contiene.

Cuerpo de agua. Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento⁴;

96 50 CL. Es la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, que solo o en combinación, produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.

Lodo. Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares.

Muestra puntual. Es la muestra individual representativa en un determinado momento.

Muestra compuesta. Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras.

Muestra integrada. La muestra integrada es aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible. Un ejemplo de este tipo de muestra ocurre en un río o corriente que varía en composición de acuerdo con el ancho y la profundidad.

Norma de vertimiento. Conjunto de parámetros y valores que debe cumplir el vertimiento en el momento de la descarga.

Objetivo de calidad. Conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso.

Parámetro. Variable que, en una familia de elementos, sirve para identificar cada uno de ellos mediante su valor numérico.

Punto de control del vertimiento. Lugar técnicamente definido y acondicionado para la toma de muestras de las aguas residuales de los usuarios de la autoridad ambiental o de los suscriptores y/o usuarios del prestador del servicio público domiciliario de alcantarillado, localizado entre el sistema de tratamiento y el punto de descarga.

Punto de descarga. Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Recurso hídrico. Aguas superficiales, subterráneas, meteóricas y marinas.

⁴En: Guía Técnica Colombiana GTC 25 p.3. Los cuales se clasifican en lóticos y lénticos.

Cuerpo de agua lótico. Se refiere a aguas corrientes. Medio acuático continental cuyo líquido fluye o corre como ríos, quebradas y caños.

Cuerpo de agua léntico. Se refiere a aguas tranquilas. Medios acuáticos estancados como lagos, lagunas, ciénagas, esteros y humedales



Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Reúso del agua. Utilización de los efluentes líquidos previo cumplimiento del criterio de calidad.

Soluciones individuales de saneamiento. Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen.

Toxicidad. La propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

Toxicidad aguda. La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho, o factor ambiental, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en cuatro (4) días o menos a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.

Toxicidad crónica. La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho o factor ambiental, de causar cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, movilidad o la muerte o producir mutaciones después de cuatro (4) días a los organismos utilizados por el bioensayo acuático.

Usuario de la autoridad ambiental competente. Toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que cuente con permiso de vertimientos, plan de cumplimiento o plan de saneamiento y manejo de vertimientos para la disposición de sus vertimientos a las aguas superficiales, marinas o al suelo.

Usuario y/o suscriptor de una Empresa Prestadora del Servicio Público de Alcantarillado. Toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que realice vertimientos al sistema de alcantarillado público.

Vertimiento. Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vertimiento puntual. El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Vertimiento no puntual. Aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

Zona de mezcla. Área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor; en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento.

Se adoptan además las siguientes definiciones complementarias:

Calidad del agua. Es el estado de un curso o cuerpo de agua en relación con la concentración o nivel de uno o varios elementos, sustancias, compuestos o factores ambientales juzgados dañinos para la salud humana o los seres vivos.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Carga contaminante. La carga contaminante se calcula así:

$$T = C_m * Q$$

Donde:

T: carga contaminante en mg/s, o en kg/d (multiplicando por 86.400 segundos y dividiendo por 1.000.000 mg)

C_m: concentración media del contaminante en mg/L

Q: caudal de la corriente en l/s

Concentración. La concentración se expresan en partes por millón (ppm), o en peso del elemento o compuesto por unidad de volumen líquido, es decir una parte por millón (1 ppm) es igual a 1 miligramo por litro (mg/L). También se pueden utilizar los múltiplos y submúltiplos (kg/m³, µg/L, ng/L).

Para determinar la concentración de un elemento o compuesto en una corriente y para establecer tanto el transporte como la distribución de las diferentes partículas del material que la componen, normalmente se toman muestras a lo ancho de la sección de medida. La concentración media en una vertical es el promedio de las concentraciones de todos los puntos de la vertical. El propósito de realizar una campaña de mediciones es establecer un sistema adecuado para la selección de un número limitado de muestras que garanticen la representatividad de las concentraciones obtenidas, o sea, un buen estimativo de la concentración media en la sección de medida.

La concentración media “C_m” (en mg/L o kg/m³) en una sección resulta de promedio aritmético de las concentraciones parciales obtenidas en una sección, ponderadas por el caudal que corresponde a cada muestra o concentración.

Contaminación hídrica. Es la alteración de las condiciones de un ecosistema acuático, esto es, todo curso o cuerpo de agua, como ríos, lagos o el mares, a causa de los vertimientos o descargas de desechos líquidos y sólidos, bien sea directamente en las aguas, o por disposición sobre el suelo, desde donde llega por lixiviación y/o infiltración a los ecosistemas acuáticos.

Ecosistema. Sistema funcional más o menos estable en el tiempo, con una extensión suficiente para ser caracterizado, constituido por el conjunto de organismos vivos presentes y el medio físico con el cual intercambian energía y materia (biotopo). Un ecosistema acuático es aquel en el cual el agua es el medio en el cual se desarrollan los organismos vivos presentes.

Muestreo. Es el proceso por el cual se toma una muestra o cantidad de agua representativa de las condiciones de un río, lago o pozo, para ser analizada luego, bien sea en campo o en laboratorio. La calidad de los datos depende, en primer lugar, de que el muestreo se haya hecho correctamente. Los métodos de muestreo a utilizar (equipos y procedimientos) dependen de factores tales como el tipo de agua a muestrear, su calidad y el tipo de muestra.

Las muestras puntuales se toman al azar en un punto, a una profundidad y en una fecha determinadas, con el fin de caracterizar la calidad del agua en ese sitio y tiempo, o bajo diferentes volúmenes de muestra. Se utiliza de manera especial en cursos o cuerpos de agua intermitentes o de bajo caudal o profundidad.

Las muestras compuestas se conforman mediante una mezcla de varias muestras puntuales de igual volumen o de volumen ponderado, de la cual se toma luego una parte para el análisis, o resultante de un muestreo continuo durante un período de tiempo dado. Estas muestras permiten reducir número de muestras y costos, pero no informan sobre la variación de la calidad durante el tiempo de muestreo. Las muestras compuestas suministran datos promedios de la composición. Se distinguen dos tipos de muestras compuestas: secuenciales y de flujo proporcional. La secuencial se obtiene mediante la mezcla de volúmenes iguales de agua tomados a intervalos iguales de tiempo; y la proporcional resulta de la mezcla de volúmenes de agua proporcionales al caudal, recolectados a intervalos regulares de tiempo.

Por ejemplo, si el período de muestreo es una jornada, la toma de muestras se puede realizar a intervalos constantes de 30 minutos durante ocho horas de muestreo, para recoger en total 13 muestras simples por estación, almacenadas en su respectiva nevera a 4 °C para evitar su alteración; las muestras se mezclan al final de la jornada con base en un volumen proporcional al caudal medido en los diferentes instantes de muestreo, con el fin de componer una sola muestra por punto, la cual es luego llevada a los laboratorios. La fórmula utilizada para calcular el volumen necesario de cada muestra tomada se presenta a continuación:

$$V_i = \frac{V_{componer} \times Q_i}{n \times Q_{Prom}}$$

Donde:

V_i : Alícuota de la muestra i

$V_{componer}$: Volumen total a componer.

Q_i : Caudal medido en la hora de toma de la muestra i.

N : Número de muestras tomadas en la jornada de monitoreo.

Q_{Prom} : Caudal promedio de la jornada de monitoreo.

Muestras integradas: -Para ciertos propósitos, es mejor analizar mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos, o lo más cercanas posible. Un ejemplo de la necesidad de muestreo integrado ocurre en ríos o corrientes que varían en composición a lo ancho y profundo de su cauce. Para evaluar la composición promedio o la carga total, se usa una mezcla de muestras que representan varios puntos de la sección transversal, en proporción a sus flujos relativos.

Macrófitas. Están constituidas por plantas acuáticas que crecen en la zona litoral de lagos, embalses, ya sea flotantes, sumergidas o enraizadas o emergentes. Entre las flotantes, las más conocidas son el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y la *Victoria amazónica*, ésta última endémica al Amazonas. Entre las sumergidas se destacan las Elodeas e *Hydrillas*, el *Potamogeton* y las náyades (*Najas sp.*). Entre las emergentes, las más conocidas son los juncos o eneas (*Typha sp.*, *Scirpus sp.*) y cortaderas (*Cortaderia sp.*), entre otras.

Macroinvertebrados acuáticos. Están constituidos por los organismos acuáticos⁵; que pueden ser observados a simple vista (>0,5 mm de largo), conformados especialmente por poríferos, hidozoos, turbelarios, oligoquetos, hirudíneos, insectos, arácnidos, crustáceos, gastrópodos y

⁵invertebrados que viven en la columna de agua o asociados a sustratos orgánicos



Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

bivalvos (Roldán, 1992). A los que viven en el fondo se les llama bentos o fauna béntica, a los que caminan o brincan sobre el agua se les denomina *neuston*, y a los que nadan activamente en el agua se les llama *necton*.

Perifiton. Es el conjunto de comunidades biológicas⁶ adheridas a sustratos sumergidos de cualquier naturaleza⁷. Sus principales componentes son algas y, en menor grado, hongos, bacterias, protozoos, rotíferos y microcrustáceos.

Plancton. Está constituido por organismos microscópicos unicelulares y pluricelulares que flotan en el agua. Se divide en fitoplancton(=plantas) y zooplancton(animales). El fitoplancton está constituido por distintas divisiones de algas (Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y Chriptomphyta), aunque algunos autores incluyen a algunas bacterias autótrofas dentro de las cianofíceas. Existen métodos para determinar la biomasa y la productividad de los ecosistemas, los cuales no serán objeto del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico.

Sustancias de interés sanitario. Son elementos, sustancias o compuestos definidos por las normas como de interés sanitario para fines de monitoreo y control.

⁶Generalmente microscópicas

⁷En las orillas o fondos de los ríos, quebradas y ciénagas

3. ASPECTOS GENERALES DEL PROGRAMA DE MONITOREO

3.1. TIPOS DE ESTACIONES

La medición de caudal sólido se hace normalmente en las estaciones hidrométricas (ver Protocolo de sedimentos), debido a la necesidad de estimar cargas contaminantes. La definición y clasificación de las estaciones hidrométricas puede verse en el Protocolo de niveles y caudales.

Independientemente del tipo de estación, en las estaciones hidrométricas (limnigráficas y limnimétricas) se realizan aforos sistemáticos de caudales líquidos y muestreos de calidad del agua, con una frecuencia que depende del tipo de curso de agua y de las necesidades.

Paralelamente con el aforo líquido se puede realizar muestreo de calidad del agua, que, como se dijo arriba, consiste en la toma de muestras de agua en diferentes secciones y profundidades, a las que, se determina la concentración de diferentes compuestos de interés sanitario, para evaluar la aptitud para usos específicos del agua como preservación de fauna y flora, entre otros. Debido a que las estaciones de muestreo de calidad de aguas marino-costero son distintas a las estaciones de aguas dulces, por tener niveles de salinidad más altos, se deben implementar metodologías analíticas específicas.

3.2. TIPOS DE REDES

La descripción de los tipos de redes puede observarse en el Protocolo de niveles y caudales.

De los diferentes tipos de redes, sólo la hidrométrica y la marino-costera tienen interés desde el punto de vista del monitoreo de calidad del agua.

De acuerdo con el espaciamiento o densidad de las estaciones hidrométricas, se pueden distinguir los siguientes tipos de redes (adaptado de OMM, en IDEAM, 2008):

- De pequeña escala (menos de 100 km de distancia.): útiles para el estudio y seguimiento de condiciones locales de escorrentía.
- De mesoescala (100 a 1.000 km de distancia.), útiles para el seguimiento de condiciones regionales de escorrentía.
- De gran escala (1.000 a 5.000 km.), útiles para el seguimiento de condiciones generales de escorrentía.
- De escala planetaria (más de 5.000 km de distancia), útiles para el seguimiento y estudio de procesos hidrológicos de carácter continental o planetario.

No obstante, para el diseño de una red de calidad del agua se deben tener en cuenta, además:

- Los costos de instalación y operación, que, a su vez, dependen del objetivo para el cual serán utilizados los datos.
- La topografía de la región a servir por la red: una estación situada en terreno accidentado o en la costa, probablemente no sea representativa en gran escala o mesoescala. Sin embargo, incluso en estaciones no representativas, la homogeneidad de las observaciones en el tiempo puede permitir a los usuarios emplear eficazmente los datos.

- La ubicación de la estación con relación a las fuentes de contaminación.

Es así como la OMM recomienda las densidades mínimas que se muestran en la tabla 2 para redes de nivel nacional de calidad del agua. Obsérvese que en llanuras interiores y costeras, así como en zonas escarpadas, la distancia entre estaciones es de más de 200 km, mientras que en pequeñas islas y zonas montañosas varía entre 870 y 160 km.

Tabla 2. Densidades de estaciones de muestreo de calidad del agua recomendadas por la OMM para una red mínima nacional (km²/estación)

Unidad fisiográfica	Estaciones de calidad del agua (km ² /est)	Distancia entre estaciones (km)
Zonas costeras	55.000	265
Zonas montañosas	20.000	160
Llanuras interiores	37.500	219
Zonas escarpadas/ondulantes	47.500	246
Pequeñas islas	6000	87
Zonas urbanas	-----	
Zonas polares y áridas	200.000	505

Fuente: OMM, 1994, 2008

3.2.1. Criterios para el diseño de la red de calidad del agua

De lo dicho se desprende que el monitoreo de calidad del agua puede hacerse a tres niveles básicos: nacional, regional y local, y en cada uno de estos niveles, los actores institucionales y los usuarios de la información son diferentes.

El programa nacional de monitoreo de calidad del agua, como una parte integral de otros programas ambientales, es multipropósito y busca conocer la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, evaluar las variaciones espacio-temporales y determinar las tendencias a largo plazo. Constituye pues un generador de línea base para soportar las estrategias nacionales de protección, manejo y desarrollo del recurso hídrico.

- Las redes nacionales son de tipo básico, es decir, destinadas al conocimiento fundamental de los recursos hídricos del país, que pueda servir de referencia a otros tipos de redes. Esto implica que los puntos de observación de las redes nacionales "deben situarse en zonas relativamente libres de la influencia de cambios antropogénicos pasados o futuros"⁸. Este sería el caso de la red a cargo del IDEAM. No obstante, por su naturaleza y funciones, la red de aguas marinas y costeras (REDCAM) puede y debe cubrir áreas marino-costeras con problemas de contaminación.
- Las redes regionales y locales tienen como objetivo, en cambio, generar información para planificar el uso del agua, para la protección de los recursos destinados a abastecimiento de agua potable, y/o para resolver conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos y otros recursos naturales.

⁸OMM, Capítulo 20. 1994

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- La densidad de una red depende del objetivo y nivel del programa de monitoreo. No puede tener la misma densidad una red nacional de referencia, que una red destinada a planificar o controlar los aprovechamientos o al seguimiento de la contaminación, las cuales, por necesidad, tienen que ser mucho más densas.
- La densidad también depende de la topografía. En zonas montañosas, por la mayor densidad de drenaje, puede ser necesario establecer estaciones en un mayor número de cauces y/o tributarios.
- La densidad y la frecuencia de observación depende de los recursos económicos disponibles.
- Por tanto, antes de decidir si establecer o no una estación de muestreo, se debe hacer el uso más completo posible de la información obtenida a partir de estaciones existentes en el área a monitorear.
- Las estaciones existentes de otras entidades deben ser incorporadas a la red para reducir el costo de instalación y operación de estaciones adicionales. En este escenario, es necesario realizar actividades de intercalibración, para asegurar la comparabilidad entre datos generados por diferentes entidades.

El diseño de la red es la selección de los sitios para el muestreo de calidad en cursos y/o cuerpos de agua superficial, subterránea o marino-costera, la cual debe hacerse tomando como base las características de la unidad territorial que le corresponda (zona y subzona hidrográfica, cuenca hidrográfica, provincia hidrogeológica o acuífero). Es importante destacar que las variaciones naturales de la calidad del agua están íntimamente relacionadas con las variaciones espaciales y temporales de los caudales, de la precipitación y de las características físicas de las cuencas hidrográficas y/o acuíferos, según el caso.

El diseño e implementación de una red de monitoreo puede variar ampliamente dependiendo de los objetivos de la misma. En cualquier caso el diseño de una red de monitoreo debe hacer énfasis en la evaluación de unidades hidrológicas o hidrogeológicas previa y claramente identificadas, teniendo en cuenta la variabilidad de los caudales o niveles en el tiempo y en el espacio.

Desde el punto de vista hidrológico, es importante conocer el tipo de curso o cuerpo de agua a monitorear teniendo en cuenta:

- La localización geográfica (latitud, longitud y altitud)
- La localización fisiográfica y/o tipo geomorfológico de curso o cuerpo de agua
- El ecosistema al cual pertenece
- Las variaciones espaciales de los caudales
- Las variaciones temporales de los caudales

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Todo lo anterior permite definir no solo los sitios de monitoreo sino la frecuencia.

En la actualidad, existe una red de monitoreo que maneja el IDEAM. Por su parte, la red de INVEMAR (REDCAM) cuenta con estaciones en la costa Caribe y en la costa Pacífica. Las CARS involucradas en la REDCAM son:

- En el Caribe: Corpoguajira, Corpamag, CRA, Cardique, Carsucre, CVS, Corpourabá y Coralina.
- En el Pacífico: Codehocó, CVC, CRC y Corponariño.

La localización actual de las estaciones del IDEAM y de REDCAM se muestra en los mapas de las figuras 2 y 3.

No obstante, estas redes deben ser susceptible de reevaluar, con el fin de incorporar prioridades y necesidades por parte de cada uno de los componentes institucionales o nodos del sistema (principalmente las CAR).

Programa nacional

El programa nacional comprende la recolección de datos sobre calidad del agua a nivel de las zonas hidrográficas. Esta información soporta la política nacional de protección y conservación de recursos hídricos y, a la vez, permite incorporar información a los modelos hidrológicos nacionales para fines de gestión de los recursos hídricos.

La línea base y las tendencias juegan un rol importante en el monitoreo de calidad del agua a nivel nacional. Normalmente representan las condiciones naturales y están por fuera de la influencia de fuentes de alteración y/o contaminación locales.

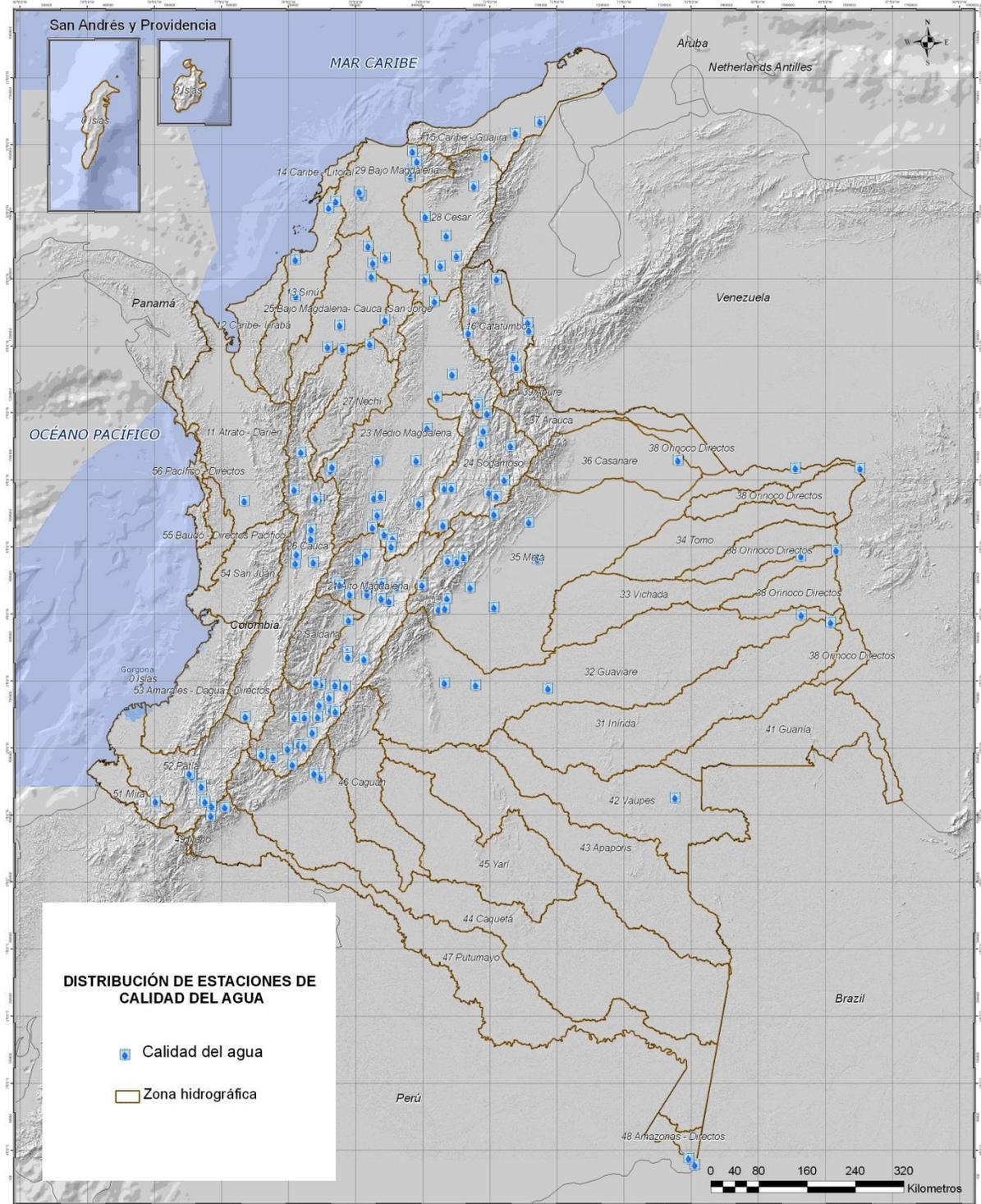
La red nacional tiene un alcance multipropósito y se implementa únicamente en los sistemas hidrológicos prioritarios. Sus métodos y procedimientos están estandarizados pero se ajustan a las condiciones regionales.

La variabilidad espacio-temporal de la calidad del agua, su importancia para fines de abastecimiento y para el desarrollo de la vida acuática, junto con la vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas, controlan el diseño de la red nacional de calidad del agua.

El monitoreo de calidad del agua a escala nacional deberá programarse y continuarse dentro del marco de referencia de las zonas hidrográficas identificadas y delimitadas por el IGAC y adoptadas por el IDEAM. Para ello deberán seleccionarse las zonas hidrográficas que de acuerdo con su importancia (técnica, y socio económica), se consideren prioritarias en su evaluación y monitoreo. De igual manera, el monitoreo de calidad de las aguas marinas y costeras deberá programarse y continuarse en la red previamente definida y seleccionada entre INVEMAR y las CARs costeras, en forma que cubran los ecosistemas marino-costeros más relevantes y/o vulnerables. La tabla 2 muestra los criterios de la OMM para la red mínima nacional.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Figura 2. Red básica actual de calidad del agua del IDEAM



Fuente: IDEAM, Catálogo nov. 2010.

Figura 3. Localización de estaciones de REDCAM en las costas Caribe y Pacífico



Fuente. INVEMAR, 2010

Programas regionales

A nivel regional, el monitoreo de calidad del agua debe permitir establecer:

- Niveles de contaminación físico-química y bacteriológica a nivel de cada estación.
- Mapas de distribución espacial de la contaminación hídrica por parámetro
- Índices de calidad del agua (ICA, ICOMI, ICOMO, ICOTRO, ICOSUS) por estación
- Mapas de Índices de calidad del agua a nivel de subzona hidrográfica
- Zonas o tramos críticos de contaminación, para fines de control
- Relaciones de contaminación con niveles y caudales de cursos y cuerpos de agua

Dada la conformación territorial de las autoridades ambientales regionales, los programas regionales de monitoreo de calidad del agua a cargo de tales autoridades deben estar interrelacionados con otras redes regionales de calidad y programas ambientales. Un programa regional de monitoreo debe ser flexible y capaz de servir a diferentes propósitos. Su principal objetivo es adquirir datos estadísticamente representativos y significativos sobre calidad del agua que sirvan de base al diseño de planes de manejo regional del recurso hídrico, políticas regionales y estrategias de seguimiento y protección en las áreas de jurisdicción de las autoridades ambientales del país.

Los programas regionales de monitoreo complementan el programa nacional de monitoreo pero sus propósitos se orientan al seguimiento de actividades de aprovechamiento de recursos hídricos, susceptibles de causar deterioro del recurso tanto en cantidad como en calidad, a la protección de áreas de captación de abastecimiento de agua potable y, en términos generales, soportan el Plan Regional de Protección y Manejo de las Aguas Superficiales y/o Subterráneas, según sea el caso. Las empresas abastecedoras de agua potable están obligadas por su parte a implementar programas de monitoreo como parte de la política de protección de sistemas de abastecimiento de agua potable. La densidad de puntos de observación depende, por tanto, de las especificidades regionales y de las disponibilidades presupuestales.

Programas locales de monitoreo

Los programas locales de monitoreo de niveles y caudales persiguen fines específicos ligados a proyectos de aprovechamiento de recursos hídricos, por lo cual las estaciones de monitoreo de calidad del agua obedecen a las necesidades de cada proyecto en particular.

Estos programas operan independientemente de los programas nacionales y regionales. Se circunscriben a áreas específicas y pueden requerir una densidad mayor de estaciones, según las necesidades. Las redes locales tienen altos costos que son cubiertos por los propietarios de los proyectos y, por lo general, se implementan por tiempo limitado.

3.3. FRECUENCIAS DE MUESTREO

Frecuencia de muestreo de aguas superficiales

Para los parámetros básicos (ver sección 4.1) se propone la misma frecuencia de aforo de caudal líquido, a saber, 4 veces al año, teniendo en cuenta que por lo menos 1 muestreo

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

corresponda a aguas altas y 1 muestreo a aguas bajas; los otros dos se espaciarían en aguas medias.

Para otros parámetros (ver sección 4.1), como plaguicidas y metales pesados, se propone 2 muestreos al año, en las estaciones que se seleccionen para tal fin, que, como se propone en la sección 4.1, no deben superar el 10% del total de estaciones de la red nacional.

Frecuencia de muestreo de aguas subterráneas

Para aguas subterráneas se propone una frecuencia de 1 muestreo de calidad del agua al año, excepto en acuíferos cercanos a zonas industriales y/o densamente urbanizadas (caso Sabana de Bogotá), donde podrá ser igual que la frecuencia de medición de niveles (2 veces al año).

Frecuencia de muestreo de aguas marino-costeras

Para las estaciones de la red de aguas marino-costeras (REDCAM) se propone una frecuencia de 2 muestreos de calidad del agua al año, preferiblemente 1 durante la época de lluvias y una durante la época seca.

Frecuencia de inspecciones a las estaciones

No existen propiamente hablando estaciones de muestreo de calidad del agua constituidas por instalaciones o infraestructuras especiales. El muestreo se lleva a cabo en los mismos sitios de las estaciones hidrométricas y/o en los pozos de la red de aguas subterráneas, y aprovecha la infraestructura de éstas. Por tanto, las visitas de inspección a los sitios de muestreo corresponden a las visitas de inspección de las estaciones hidrométricas y/o pozos.

Frecuencia de transmisión de los datos de muestreo de campo a oficina

En un programa regular de muestreo de calidad de agua sólo son transmisibles:

- Los datos de muestreo y análisis de los parámetros que deben ser objeto de análisis in situ, en especial: pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y conductividad.
- Las muestras tomadas, rotuladas, empacadas y debidamente preservadas, deben ser enviadas al laboratorio en el menor tiempo posible.

Por tanto, la frecuencia de transmisión de los datos de campo y de las muestras tomadas para análisis de laboratorio es la misma frecuencia del muestreo. Para los parámetros y estaciones que se muestrén 4 veces al año, esa misma es la frecuencia de envío y/o transmisión. Para los parámetros y sitios con 2 muestreos por año, la frecuencia de envío también es de 2 veces/año.

Previo el envío de los datos y/o muestras al laboratorio de la entidad, los mismos deben ser objeto de un control de calidad por parte del laboratorio de la entidad involucrada, tal como se describe más adelante, en la sección 4.7.

4. MEDICIÓN

4.1. PARÁMETROS A MEDIR Y UNIDADES DE MEDIDA

Las variables para monitoreo de la calidad del agua pueden agruparse de formas muy variadas: según sus propiedades físicas, químicas, orgánicas, biológicas, etc.; según el tipo de agua observada, el uso previsto del agua y/o los objetivos del programa de monitoreo; o según la estabilidad de los componentes (OMM, 2008). De acuerdo con las recomendaciones de la OMM, la tabla 3 presenta un listado de 7 grupos de variables y 60 parámetros básicas de monitoreo, dentro de la cual se han representado por una R aquellas básicas para monitoreo de ríos, por L para lagos y embalses, por GW para aguas subterráneas, por R, L para ríos y lagos o embalses y por GRF para estaciones de caudal.

No obstante, las variables y parámetros a seleccionar para un programa de monitoreo dependen fundamentalmente de los objetivos adoptados para el programa y de las características del cuerpo o corriente de agua a monitorear.

- El objetivo puede estar definido por la necesidad de contar con un conocimiento básico de la calidad del agua, o para apoyar un proyecto especial de aprovechamiento del recurso hídrico, en especial para riego, consumo humano, conservación de la fauna, recreación pasiva o activa, u otro. En cada caso las variables y parámetros podrán ser distintos.
- Las características del cuerpo o curso de agua a monitorear condicionan no sólo los parámetros sino las técnicas mismas de muestreo, pues es muy diferente muestrear un pequeño río, quebrada o arroyo de poca profundidad y apenas algunos metros de ancho, que un gran río como el Amazonas, o un lago o embalse, o un acuífero. Las características de la cuenca hidrográfica (para aguas superficiales) o hidrogeológica (para aguas subterráneas) también determinan la selección de los parámetros a monitorear. Éstos podrán ser diferentes en el caso de un curso de agua que drena una cuenca densamente poblada, que un curso que drena un área boscosa relativamente virgen.

Parámetros propuestos

En el caso del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, el monitoreo puede realizarse a diferentes niveles espaciales y temporales y con diferentes objetivos (ver tabla 1 y sección 3.2).

En el nivel nacional, el objetivo es contar con una información básica general sobre la calidad de agua a nivel de zona hidrográfica, de acuerdo con lo establecido en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida por el Gobierno Nacional en el año 2010.

A este nivel (nacional) no se trata de hacer seguimiento de vertimientos contaminantes, sino de tener una imagen global del estado de los recursos hídricos del país. Para cumplir este objetivo se propone como mínimo seleccionar los parámetros que permitan la estimación de cinco índices básicos, a saber: Índice de calidad de agua para aguas superficiales ICAfg (o alternativamente el ICA (NFS-WQI), Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e Índice de contaminación trófico (ICOTRO). En aguas marinas se

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

utiliza el Índice de calidad de las aguas marinas y estuarinas – ICAM (Marín *et al*, 2003.), que permite cuantificar el estado de conservación o deterioro del agua marino-costera, de acuerdo a sus características en función de su destinación en un lugar y tiempo específico (ver Anexo 1 numeral 7).

Tabla 3. Variables básicas de monitoreo (según OMM, 2008)

Clases de variables de calidad de agua	Parámetros	
Variables físico-químicas	Descarga/nivel de agua Sólidos suspendidos totales (R, M) Temperatura pH (GRF, M)	Conductividad eléctrica Oxígeno disuelto (M) Turbidez (L, M)
Sales disueltas	Calcio Magnesio Sodio Potasio	Cloruro Fluoruro (GW) Sulfato Alcalinidad
Nutrientes	Nitrato+Nitrito (M) Amoníaco (M) Nitrógeno orgánico disuelto Nitrógeno orgánico en suspensión	Fósforo total disuelto (R, L, M) Fósforo total en suspensión Fósforo total no filtrado (R, L) Sílice reactivo (R, L)
Materia orgánica	Carbón orgánico disuelto Carbón orgánico en suspensión Demanda bioquímica de oxígeno DBO	Demanda química de oxígeno DQO Materia Orgánica oxidable (similar a la DQO para aguas marinas) Clorofila α (R, L)
Microbiología	Coliformes fecales (M) Coliformes totales (M) Enterococos (M)	Giardia Cryptosporidium
Metales y contaminantes inorgánicos	Aluminio Arsénico Boro Cadmio (M) Cromo (M) Cobre Hierro	Plomo (M) Manganeso Mercurio Níquel Selenio Zinc
Contaminantes orgánicos	Aldicarbo Aldrín Altrazina Benceno 2-4D DDT Dieldrín Lindano	Hidrocarburos totales (M) Hidrocarburos totales clorinados Hidrocarburos totales poliaromáticos PCBs PBDEs (éteres difenilos polibrominados) Fenoles Toxafenos

R: Variables básicas sólo para estaciones fluviales.
 L: Variables básicas sólo para lagos/embalses
 GW: Variables básicas sólo para aguas subterráneas

R, L: Variables básicas para ríos, lagos y embalses
 GRF: Esencial para estaciones fluviales de caudal
 M: Variables básicas solo para estaciones marino-costeras

Fuente: WMO, 2008.

Las definiciones de estos índices aparecen más adelante, en la sección de procesamiento. La tabla 4 muestra los 17 parámetros específicos para estos índices resaltados en gris claro. No obstante, la tabla 4 muestra también otros parámetros que el IDEAM determina normalmente en el laboratorio, aunque con una menor frecuencia. Así por ejemplo, de las 154 estaciones de calidad de agua superficial que operan desde 2005, al 100% de las estaciones se les determina pH, conductividad, oxígeno disuelto, NKT, P total, sólidos suspendidos totales y turbiedad; en

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

un 66% de las estaciones se determina nitrógeno y fósforo solubles, en 63% sulfatos, en 40% se determina metales pesados en agua y sedimentos, en un 10% mercurio, en 7% plaguicidas y en 3% bentos. Para un nivel espacial de mayor resolución, podrán ser necesarios otros parámetros, pero en tal caso, su monitoreo pasa a la responsabilidad de las entidades regionales y locales, o de los proyectos específicos de aprovechamiento. En estudios de impacto ambiental, por ejemplo, la Autoridad Ambiental podrá exigir parámetros adicionales específicos al tipo de proyecto y a la composición proyectada de sus efluentes. La red básica para monitoreo de la calidad de agua se trata en el informe de diseño de la red.

Tabla 4. Parámetros mínimos propuestos para monitoreo de la red nacional

Parámetro	Aguas superficiales							Aguas subterráneas*
	Unidad	ICA	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO	IDEAM*	
Parámetros para índices de calidad básicos								
% de saturación de oxígeno disuelto	%	X**		X			X	X**
Oxígeno disuelto	mg/L						X	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	X		X				X
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	X**					X	X**
Coliformes fecales	NMP/100mL	X						X
Coliformes totales	NMP/100mL			X				
pH	Unidad	X**					X	X**
Temperatura	°C	X					X	X
Nitratos	mg/L	X					X	X
Fosfatos totales	mg/L	X					X	X
Turbiedad	NTU	X					X	X
Sólidos totales	mg/L	X						X
Sólidos disueltos	mg/L	X						X
Sólidos suspendidos totales	mg/L	X**			X		X	X**
Conductividad eléctrica	µS/cm	X**	X				X	X**
Dureza	mg/L		X					X
Alcalinidad	mg/L		X					X
Fósforo total	mg/L					X	X	
Otros muestreados o propuestos por Laboratorio IDEAM								
Nitrógeno amoniacal	mg/L						X	
Nitrógeno total NKT	mg/L						X	
Nitrógeno soluble	mg/L						X	
Fósforo soluble	mg/L						X	
Calcio	mg/L							X
Magnesio	mg/L							X
Sodio	mg/L							X
Potasio	mg/L							X
Cloruros	mg/L							X
Sulfatos	mg/L						X	X
Nitritos	mg/L						X	
Carbonatos	mg/L							X
Potencial de oxidación-reducción								X
Metales pesados (agua y sedimentos)								
Cadmio	µg/L						X	
Cobre	µg/L						X	
Níquel	µg/L						X	
Plomo	µg/L						X	
Zinc	µg/L						X	
Cromo	µg/L						X	
Manganeso	µg/L						X	
Aluminio	µg/L						X	
Hierro	µg/L						X	
Mercurio (sedimentos)	µg/L						X	
Plaguicidas organoclorados								
Clorotalonil	ng/L						X	

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Parámetro	Aguas superficiales							Aguas subterráneas*			
	Unidad	ICA	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO	IDEAM*				
Propanil	ng/L						X				
Clorpirifos	ng/L						X				
Endosulfán alfa	ng/L						X				
Endosulfán beta	ng/L						X				
Plaguicidas organofosforados											
Monocrotofos	ng/L						X				
Dimetoato	ng/L						X				
Metilparaaxon	ng/L						X				
Metilparation	ng/L						X				
Malation	ng/L						X				
Triazinas											
Atrazina	ng/L						X				
Ametrina	ng/L						X				
Dezetilatrizina	ng/L						X				
Hidrobiológicos											
Macroinvertebrados acuáticos (bentos)	Ind/m ²						X				
Perifiton	Ind/mL										
Macrófitas	Ind/m ²										
Cubrimiento de estaciones según parámetro analizado por IDEAM:											
En todas	X	En 66%	X	En 40%	X	10%	X	En 7%	X	En 3%	X

*Análisis que realiza el IDEAM, según: IDEAM, Red básica de calidad del agua. Bogotá. 2010.

** Parámetros para el ICAf del IDEAM (ver más adelante, Procesamiento).

Fuente: IDEAM, 2010. EPAM-CPT, 2008. Ramírez G. A. y Viña V. G., 1998.

Para la red de aguas subterráneas se proponen como mínimo los parámetros para ICA e ICOMI, además de los indicados en el protocolo de aguas subterráneas.

Por problemas de costos y por corresponder más al resorte de las CARs, se propone que éstas (y sólo excepcionalmente el IDEAM) realicen análisis de metales pesados sólo en ríos o puntos donde se sospeche de contaminación por estos parámetros que pudiera tener influencia nacional (por ejemplo, inmediatamente aguas abajo de la desembocadura del río Bogotá en el Magdalena; aguas abajo de zonas mineras de níquel, hierro, carbón u oro, etc). De igual manera, el análisis de plaguicidas sólo debiera limitarse a zonas con influencia de fumigación aérea o de uso intensivo de plaguicidas (triángulo del Tolima, por ejemplo, zona cañicultora del Valle, etc). En resumen, los análisis especializados en metales pesados y plaguicidas no debieran cubrir más del 10% del total de estaciones de la red de calidad del agua.

Los anteriores son los parámetros propuestos para la red nacional de responsabilidad de la red nacional a cargo del IDEAM. Para la red de vigilancia de las aguas marinas y costeras REDCAM, bajo la responsabilidad de INVEMAR, los parámetros propuestos son los utilizados hasta el momento en este programa, los cuales aparecen indicados en la tabla 5.

No obstante, como se dijo arriba, las autoridades ambientales podrán solicitar análisis sobre otros parámetros, en función del proyecto, uso proyectado del recurso, o en caso de conflictos surgidos de impactos generados por vertimientos. La tabla 6 muestra, a manera de ilustración, una relación de parámetros adicionales a exigir por autoridades ambientales según el uso o proyecto.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Tabla 5. Parámetros para la Red de Vigilancia de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras (REDCAM), bajo la responsabilidad de INVEMAR

VARIABLES	Parámetro	Método	Unidades de medida	ICAM (1)
Físico-químicas	Salinidad	Electrométrico		X
	Conductividad	Electrométrico	mS/cm	
	pH	Potenciométrico	Unidad	X
	Oxígeno disuelto	Membrana permeable	mg/L	X
	% saturación oxígeno	Membrana permeable	%	
	Temperatura	Electrométrico	°C	
	Turbidez	Nefelométrico	NTU	
	Sólidos suspendidos totales	Gravimetría	mg/L	X
	Amonio	Colorimetría	µg/L	
	Nitritos		µg/L	X
	Nitratos		µg/L	X
Ortofosfatos	µg/L		X	
Silicio	µg/L			
Plaguicidas	Hexaclorociclohexano total	Cromatografía de gases	ng/L	
	Aldrin		ng/L	
	Heptacloro		ng/L	
	Organoclorados totales		ng/L	X
	Sumatoria de los DDT y sus metabolitos		ng/L	
	Plaguicidas fosforados			
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos	Fluorometría	µg/L	X
Metales traza	Cadmio	Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito EAA	µg/L	X
	Cromo		µg/L	X
	Plomo		µg/L	X
Microbiológicos	Coliformes fecales	Número más probable (NMP)	NMP/100 mL	X
	Coliformes totales		NMP/100 mL	X
		Enterococos fecales	Filtración por membrana	UFC/100 mL

(1) Parámetros utilizados para el Índice de Calidad de Aguas Marinas y Costeras ICAM.
 Fuente: INVEMAR, 2010

Tabla 6. Parámetros a exigir por autoridades ambientales según uso del recurso (listado no exhaustivo)

Parámetro	CH ¹	R	P	RA	RP	E	FF	I ⁴	ALL ⁵	AS ⁵
Parámetros físico-químicos										
Alcalinidad	X	X								X
Aluminio		X	X							
Amoniaco	X						X			
Arsénico	X	X	X				X			
Bario	X						X			
Berilio		X					X			
Boro		X	X							
Cadmio	X	X	X				X			
Carbonato de sodio residual		X								
Cianuro	X						X			
Cinc	X	X	X				X			
Cloro total residual							X			
Clorofenoles							X			
Cloruros	X									
Cobalto		X								
Cobre	X	X	X				X			
Coliformes totales	X	X		X	X			X		
Coliformes fecales	X	X		X						X

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Parámetro	CH ¹	R	P	RA	RP	E	FF	I ⁴	ALL ⁵	AS ⁵
Color	X									
Compuestos fenólicos	X			X						
Conductividad eléctrica		X							X	X
Cromo hexavalente	X	X	X				X			
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	X			X	X		X	X		X
Demanda química de oxígeno DQO	X			X	X		X	X		X
Difenilpoliclorados	X									
Dureza										X
Fenoles monohidricos							X			
Flúor		X								
Fosfatos totales	X			X	X			X		X
Fósforo total				X	X			X		
Grasas y aceites	X			X	X	X	X	X		
Hierro		X					X			
Litio										
Manganeso		X					X			
Material flotante y espumas	X			X	X	X		X		
Mercurio	X		X				X			
Molibdeno		X								
Níquel		X					X			
Nitratos	X		X						X	X
Nitritos	X		X							
Nitrógeno				X	X			X		
Olor y sabor						X	X			
Oxígeno disuelto	X			X	X		X	X		X
pH	X	X		X	X		X	X	X	X
Plaguicidas organoclorados ²							X			
Plaguicidas organofosforados ³							X			
Plata	X						X			
Plomo	X	X	X				X			
Radionucleidos	X	X								
Relación de absorción de sodio RAS		X								
Salinidad efectiva y potencial		X	X							
Selenio	X	X					X			
Sodio (PSP)		X								
Sólidos totales	X						X			X
Sólidos totales en suspensión	X						X			X
Sólidos disueltos	X						X			X
Sulfatos	X								X	
Sulfuro de hidrógeno ionizado							X			
Sustancias tóxicas	X			X	X			X		
Temperatura							X	X		X
Tensoactivos	X			X	X		X	X		
Turbiedad	X						X			X
Vanadio		X								
Parámetros biológicos										
Macroinvertebrados bentónicos								X		
Macrófitos								X		
Perifiton								X		
Fitoplancton								X		
Zooplancton								X		

1. Para aguas superficiales o subterráneas, no aplican para agua potable (criterios de salud).
2. Plaguicidas organoclorados: PCBs, DDT y otros de amplio uso y/o peligrosos como alaclor, aldicarb, benomil, carbofurano, clorpirifos, clordano, 2,4-D, triazinas, hidrocarburos del petróleo, pentaclorofenol u otros que puedan analizarse mediante pruebas rápidas y específicas de inmunoensayo internacionalmente reconocidas.
3. Plaguicidas organofosforados y/o carbamatos inhibidores de la acetilcolinesterasa
4. Se podrá exigir otros parámetros, a criterio de la Autoridad Ambiental y de acuerdo con el tipo de industria y/o vertimiento
5. Se incluyen aguas lluvias y aguas subterráneas, que, aunque no son usos del agua sino tipos de agua, son susceptibles de cualquiera de los usos de las demás columnas. Por tanto, estos son parámetros mínimos de caracterización, pero, en función del uso previsto, deben ser objeto de análisis de los parámetros que corresponda.
CH: Consumo humano. R: Riego. P: Uso pecuario. RA: Recreación activa. RP: Recreación pasiva. E: Uso estético
FF: Preservación de fauna y flora. I: Uso industrial. ALL: Aguas lluvias. AS: Aguas subterráneas.
Fuente: Criterios según Decreto 1594 de 1984, propuesta del Consultor e IDEAM.

Unidades de medida

En términos generales, la calidad del agua se mide en concentración de los diferentes polutantes en un determinado volumen de agua. La mayor parte de concentraciones se miden en miligramos por litro (mg/L) o sus submúltiplos microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$) y nanogramos por litro (ng/L). No obstante, algunos parámetros se miden en unidades especiales, tales como la turbidez (en unidades nefelométricas), el pH en unidades adimensionales, la temperatura en grados centígrados, del bentos, el plancton y el perifiton en número de individuos por litro de muestra, entre otros casos.

4.2. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

4.2.1. Instrumentos de muestreo

Existen muestreadores discretos y muestreadores integradores. Los discretos permiten la toma de una muestra a una profundidad determinada: se bajan hasta la profundidad deseada, se abren para la toma de muestra y luego se suben. La figura 4 muestra dos de los tipos de muestreadores discretos más conocidos para constituyentes no volátiles: la botella de Van Dorn, para profundidades de más de 2 m y volúmenes de 2 a 16 litros, fabricados en polivinilo y en plástico acrílico, por lo cual sirven para muestreo general y de trazas de metales; y el muestreador de Kemmerer, para profundidades de más de 1 m y volúmenes de 0,5 a 8 L, el cual se fabrica en bronce (para muestreos generales) y en polivinilo o plástico acrílico o clorhídrico con sellos de goma y silicona para muestreos de trazas de metal.

También se utilizan bombas para muestreo a profundidades predeterminadas, entre las cuales se citan la de diafragma, manuales, la peristáltica y la rotativa o giratoria, las cuales exigen fuente de energía. Las peristálticas no se recomiendan para muestreo de clorofila, por los daños que las algas pueden generar. Las bombas de muestreo deben tener una construcción interna que no contamine la muestra de agua, al igual que la entrada y salida de las mangueras.

Para la toma de muestras integradas en profundidad, el método más simple es bajar un muestreador abierto hasta el fondo de la corriente y elevarlo luego a velocidad constante hasta la superficie, buscando que la botella quede llena al llegar a la superficie. El muestreador está compuesto por un portamuestras generalmente de metal, en cuyo interior se colocan las botellas de toma de recolección de muestras, aseguradas por la garganta al portamuestras. Para favorecer un descenso vertical, sobre todo en corrientes torrentosas, se acostumbra colocar pesos adicionales al equipo.

El muestreo integrado no es posible realizarlo en corrientes de muy poca profundidad, caso en el cual se debe evitar perturbar el material del lecho al tomar una muestra. En tales casos se recomienda excavar un hueco en el lecho y, una vez que la corriente se estabilice, tomar la muestra en el borde del hueco.

Para muestreo discreto e integrado en profundidad se pueden utilizar también muestreadores múltiples, dotados de varias botellas, a emplear o llenar según las necesidades. En la figura 5 se muestra un modelo tomado de la OMM, pero en el mercado se pueden conseguir prototipos diferentes.

Figura 4. Muestreadores discretos o de gancho

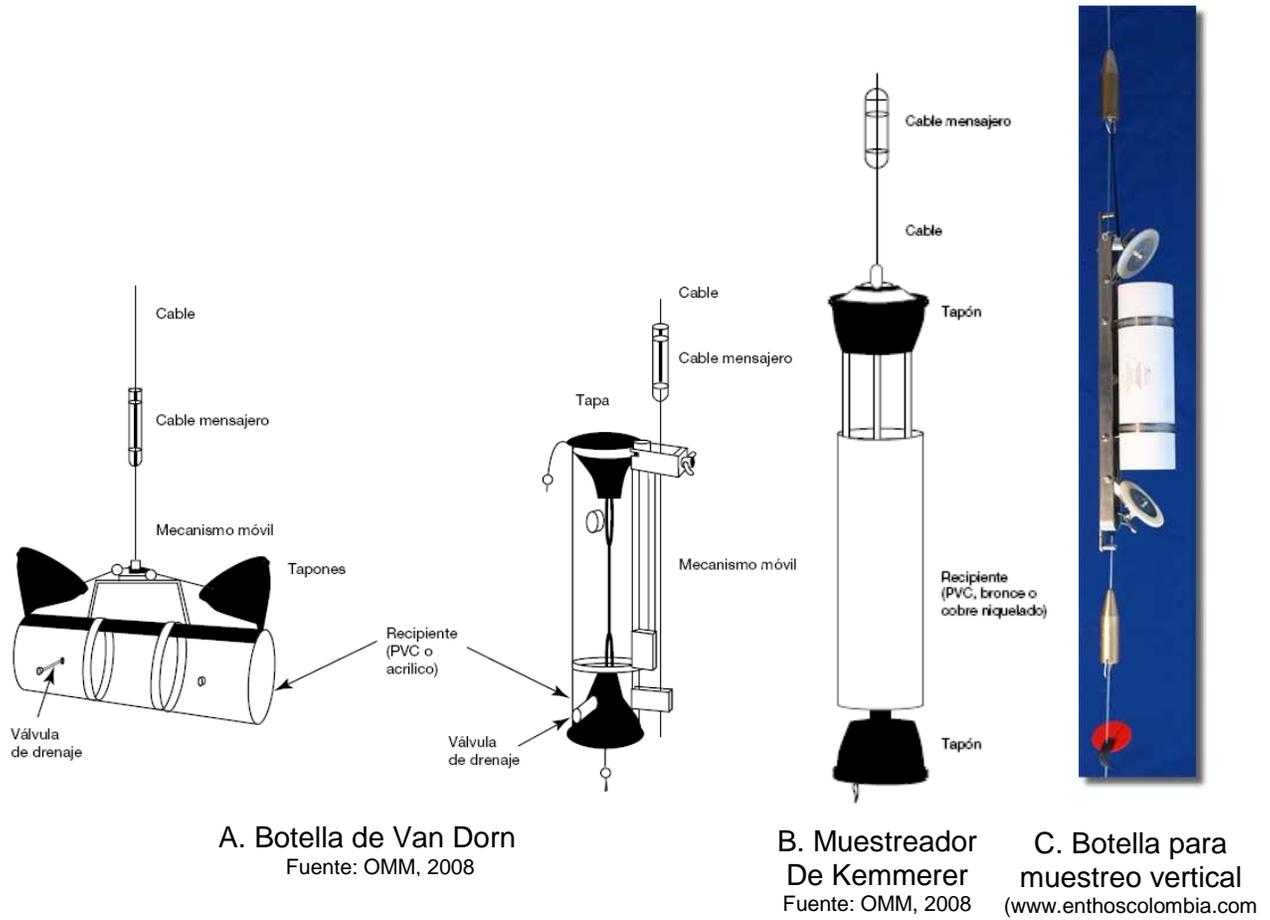
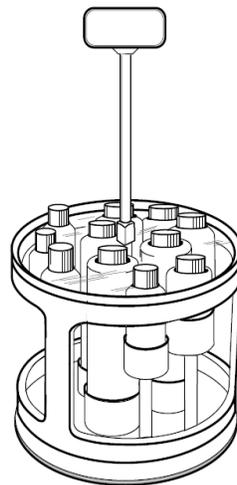


Figura 5. Esquema de muestreadores múltiples



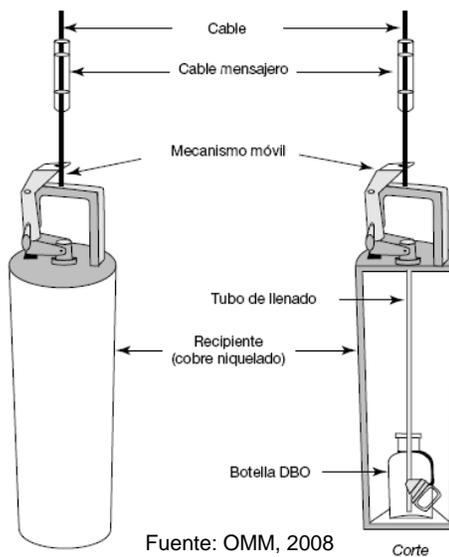
Fuente: OMM, 2008

El instructivo TI0207 del IDEAM a que se hace referencia más adelante muestra las prácticas de la entidad para la toma de muestras de agua superficial y para la determinación in situ de oxígeno disuelto.

Muestreador de oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Para la toma de las muestras se puede utilizar un muestreador como el de la figura 6, el cual se sube abierto para permitir la mezcla con las capas superiores. También se puede utilizar un muestreador de gancho, ajustándolo con los tubos de drenaje inferiores, para que la muestra penetre al interior del envase. Las muestras se toman en botellas de DBO de boca estrecha, con tapones de cristal biselado, para evitar que el aire ingrese a la muestra. Este muestreador no es utilizable en corrientes de poca profundidad, caso en el cual se aconseja minimizar la agitación (hacer espuma) de la muestra, inclinando suavemente la botella de DBO aguas abajo (OMM, 2008).

Figura 6. Muestreador de oxígeno disuelto y DBO



Fuente: OMM, 2008

Muestreadores automáticos

En el mercado existen variados tipos instrumentos de muestreo automático, desde equipos portátiles que funcionan con batería, con una botella sumergida que puede llenarse a una rata predeterminada, o dotados de compartimentos sumergidos con botellas de diferentes tamaños que pueden llenarse igualmente a ratas predeterminadas, hasta equipos que requieren energía externa instalados en garitas permanentes, con programas flexibles de muestreo. Se dispone de equipos para muestras compuestas o individuales y que pueden programarse para períodos de muestreo de hasta 24 horas. Tienen la ventaja de reducir costos de personal y transporte. Si en el sitio existe una estación automática de medición de caudal, algunos muestreadores automáticos pueden proveer muestras proporcionales al caudal.



Muestreadores para pozos de agua subterránea

Para extraer muestras de agua de la capa superior de un pozo se puede utilizar muestreadores de cubo o vertedor, compuestos de un tramo de tubo con una válvula de retención en el fondo, que se suspende de un cable y se baja al pozo

Para el muestreo a cualquier profundidad dentro del pozo, se utilizan muestreadores de válvula operada con resorte. Un tipo muy conocido es el muestreador Bailer, constituido por un tubo en PVC, polietileno u otros materiales, dotado de una especie de válvula de cheque que se abre y cierra a la profundidad deseada.

Muestreadores de sedimentos en suspensión

Para muestreo de sedimentos en suspensión objeto del programa de calidad del agua deben utilizarse muestreadores de aguas superficiales (canastillas y botellas) como los descritos en el Protocolo de sedimentos y en el Protocolo para el seguimiento y monitoreo del agua del IDEAM (2007) que se puede consultar en la página web de la entidad. Estos muestreos se toman en los 30 cm superficiales y se diferencian de los muestreos de sedimentos en suspensión que se realiza durante un aforo sólido y descritos en el Protocolo de sedimentos, para los cuales se utilizan muestreadores puntuales o integradores en profundidad, que implican el ajuste de la velocidad de entrada del agua a la boquilla de la botella de muestreo con la velocidad de la corriente, toda vez que una diferencia significativa en estas velocidades puede resultar en submuestreo o sobremuestreo de sedimentos. Estos muestreadores son básicamente:

- Muestreadores integradores puntuales. (U.S.P - 61)
- Muestreadores integradores en profundidad. (USDH - 48, USD - 49, USDH - 59, bolsa plegable)
- Medidores de acción continua (Bombeo)
- Muestreadores con bolsa plegable
- Muestreadores instantáneos, (tipo Van Dorn).

Muestreadores para material biológico

Perifiton. Para perifiton se recomienda el muestreo sobre sustratos naturales (vegetación sumergida, sustratos rocosos y sedimentos), mediante lavado o raspado de sustratos colonizados por perifiton, a los que se debe calcular el área (Schwoerbel, 1980). No se recomienda el uso de sustratos artificiales tipo placa, por cuanto este método implica dejar las placas por 8 semanas para que sean colonizadas.

Macrofitas. No hay equipos especiales para su colección, toda vez que ellas se determinan mediante identificación taxonómica visual (hojas, flores y frutos) y de herbario. Para su colección y transporte sólo se requieren bolsas plásticas y papel periódico para envolver y prensar los ejemplares. En laboratorio, el material también puede ser secado y pesado para determinaciones de biomasa.

Macroinvertebrados acuáticos. El equipo a emplear depende del tipo de sustrato a muestrear:

- Para sustratos pedregosos se utilizan por lo general “redes de pantalla”, conformada por

una malla metálica o plástica tipo mosquitero, de cerca de 1 m² de superficie y sujeta a dos palos laterales de 1,5 m de longitud. El método es útil para determinar la diversidad de especies, pero no permite calcular la abundancia.

- Para hacer determinaciones cuantitativas en sustratos pedregosos, se utiliza la “red surber”, consistente en una red cónica de tamaño muy fino (<0,5 mm) ajustada por su parte anterior a un marco metálico de 900 cm².
- Para sustratos fangosos se utilizan dragas especiales, de las cuales la Eckman es la más conocida, la cual tiene un área de captura de 625 cm².
- Para muestreo cualitativo en orillas con vegetación se utiliza la “red triangular o D-net”. Se puede lograr una muestra semicuantitativa si el área de limpiado se conoce.
- También existen métodos pasivos de muestreo, como las canastas de alambre o plástico, dentro de las cuales se colocan piedras, a las que posteriormente se determina el material que las ha colonizado; o el de placas de madera de área conocida colocadas una sobre otra a distancias de 1 cm. No obstante, estos métodos pasivos tienen la desventaja de que se deben dejar por un tiempo aproximado de un mes para que sean colonizados por las larvas.

La figura 7 muestra algunos ejemplos de estos equipos.

Envases

Dependiendo del parámetro y de las necesidades de preservación de la muestra, los envases de estas últimas pueden ser de variados tamaños, materiales y condiciones de cierre. Las tablas 8, 9 y 10 en la sección de procedimientos de laboratorio, muestra los tipos de envase utilizados según el parámetro.

4.2.2. Equipos de laboratorio

Los equipos de laboratorio son muy variados y dependen de los métodos normalizados adoptados por organismos internacionales, como los Standard Methods de la American Public Health Association (APHA), American Work Association (AWWA) y Water Environmental Federation (WEF), así como por los métodos aceptados por la EPA (U. S. Environmental Protection Agency). En la sección 4.5 se presenta la relación de métodos y equipos.

4.3. INSTALACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL INSTRUMENTAL

Para el muestreo de calidad del agua no es necesario instalar estaciones específicas. Como estrategia, el muestreo se realizará en las mismas secciones de las estaciones hidrométricas y/o en los mismos pozos de la red nacional de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas. No obstante, dado que los requisitos de densidad de estaciones para calidad del agua son menores que para niveles y caudales de aguas superficiales, no siempre que exista una estación hidrométrica se realizará muestreo de calidad de agua.

De igual manera, no siempre que se realice medición de niveles y aforo de caudales en pozos será necesario muestrear para análisis de calidad del agua, a no ser que, por el aprovechamiento del acuífero, este control sea necesario.

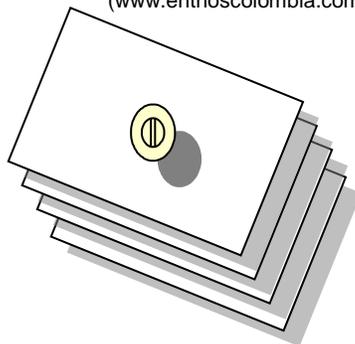
Figura 7. Algunos equipos para muestreo hidrobiológico



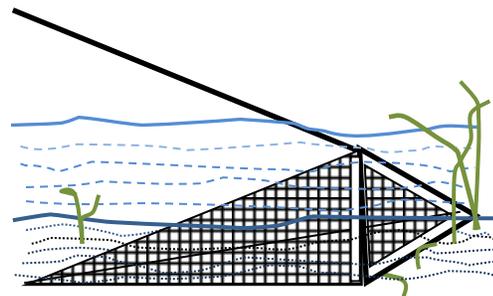
Red Surber
(www.enthoscolombia.com)



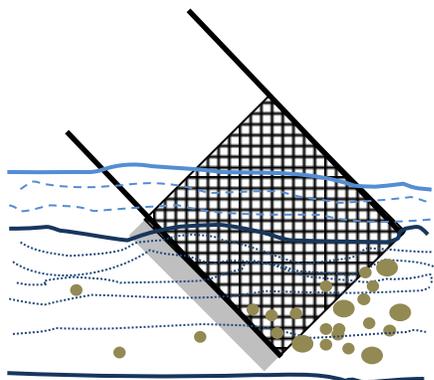
Draga Eckman
(www.santafe.conicet.gov.ar)



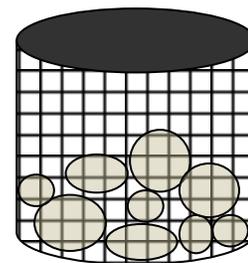
Placas de



Red triangular



Red de pantalla



Canasta con piedras

No obstante, por razones de conveniencia, podrá ser necesario establecer sitios de muestreo en sitios diferentes a los de las estaciones hidrométricas. En estos casos se recomienda que las secciones de muestreo respondan a los mismos requerimientos de las secciones de una estación hidrométrica, a saber:

- La sección debe estar situada a un tramo recto de la corriente. En lo posible, la longitud del tramo tendrá un mínimo equivalente a cinco (5) veces el ancho de la sección.
- La corriente debe mostrar líneas de flujo uniformes y normales a la sección transversal de aforo. Cualquier desviación en las líneas de flujo no corresponderá a la magnitud vectorial total de la velocidad.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en niveles máximos.
- La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme, evitando tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad del flujo.
- La sección debe evitar áreas muertas, contracorrientes o remolinos.
- El lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.)
- Se debe evitar los lechos fangosos.
- La geología del terreno deberá facilitar la construcción de obras para medición como tarabitas, puentes, etc. (para facilitar los aforos de caudal)

En el caso de redes de monitoreo de la calidad de nivel regional o local, se consideran otros criterios técnicos mínimos para la selección de los sitios de muestreo:

- Cuando el objetivo del monitoreo es de control y vigilancia, las estaciones están ubicadas donde se localizan los proyectos que hacen uso del recurso, por ejemplo sitios donde se hacen vertimientos, donde están localizadas las captaciones, o donde se presentan afectaciones por fenómenos naturales (ejemplo sitios sometidos a inundaciones, sequías).
- Para el monitoreo de los vertimientos, adicionalmente de monitorear la calidad y caudal de la descarga, se deben involucrar dos puntos más, ubicados sobre la fuente a la que se le está haciendo el vertimiento: uno ubicado aguas arriba, antes de que el vertimiento sea incorporado al cuerpo de agua, y otro aguas abajo de la zona de mezcla.
- En la temática de fenómenos naturales es indispensable instalar puntos de observación aguas arriba de las áreas afectadas para poder dar los niveles de alarmas necesarios con la mayor anticipación posible y tomar medidas de acción.

4.4. POSIBLES FALLAS Y CAUSAS DE ERRORES EN LA OPERACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MUESTREO Y MEDICIONES DE CALIDAD

La tabla 7 muestra una relación de las fallas y/o errores más frecuentes en la medición de calidad de agua.

Tabla 7. Errores más frecuentes en la operación de instrumentos de muestreo de calidad del agua

Error	Descripción
Errores selección estación muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil acceso. • La estación no es representativa de la corriente. • Falta georreferenciación
Errores del muestreo superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Empleo inadecuado de botellas: botellas sucias, llenado incompleto, verter y agregar agua a la botella para completar el volumen óptimo de muestreo (en caso de requerirse), no agitar la botella antes de verter su contenido a la probeta (para sedimentos en suspensión). • Error de paralaje al leer la probeta • Empleo inadecuado de filtros: colocar mal el filtro en el embudo o verter muy rápido el contenido de la probeta en el embudo Buchner (en caso de sedimentos en suspensión), haciendo que el filtro se levante y se pierda parte del filtrado; retirar el filtro con las manos húmedas; poner el filtro con la cara del filtrado hacia abajo, lo que hace que parte del filtrado se caiga (en caso de sedimentos en suspensión); marcar en forma ilegible el filtro (en caso de sedimentos en suspensión). • Anotaciones ilegibles o dudosas en el formato de muestras • Falta de papelería.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Error	Descripción
Errores de muestreo integrado	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tiempos de llenado inadecuados.</i> La pérdida de representatividad de la muestra se da por rebosamiento y recirculación del contenido de la botella. Se recomienda que el llenado de la botella se realice de acuerdo a las instrucciones de muestreo en cuanto a tiempos de llenado con relación a la velocidad del flujo, de tal forma que se garantice un volumen no superior al 75% de la capacidad de la botella (ver protocolo de sedimentos).
Fallas de mediciones en campo y proceso en laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Error de paralaje al leer probetas o pipetas • Fallas en empleo de filtros: colocar mal el filtro en el embudo, o verter muy rápido el contenido de la probeta en embudos tipo Buchner, haciendo que el filtro se levante y se pierda parte del filtrado (importante para materiales en suspensión); dejar material suspendido en el fondo de la probeta o del filtro Buchner; retirar el filtro con las manos húmedas; poner el filtro con la cara del filtrado hacia abajo, lo que hace que parte del filtrado se caiga (en casos de materiales en suspensión): marcar en forma ilegible el filtro • Equipos descalibrados (muflas, balanzas, cromatógrafos, espectrofotómetros, tamizadores, termómetros, turbidímetros, peachímetros, conductímetro y otros empleados en laboratorio). • Reactivos pasados de vigencia • Anotación incorrecta de los datos. • Marcado incorrecto o confusión de los filtros entre sí y/o de los crisoles y otros dispositivos o contenedores. • Tamices sucios • Falta de blancos, duplicados y contramuestras
Fuentes de error de muestreo de calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación: Puede ser causada por materiales y equipos de muestreo que no cumplen con la limpieza o lavado adecuados a por prácticas inapropiadas de almacenamiento y transporte; en caso de rotura de las tapas o envases, empleo de envases inadecuados, errores en la preservación o por rotulación inapropiada de envases. • Diligenciamiento inadecuado, incompleto o ilegible de formatos: incluye el deterioro por contacto con agua o hielo debido a falta de protección impermeable. • Equipos: No verificación de calibración de los equipos de campo. Reactivos alterados o caducados. Mediciones o análisis de campo mal realizados por falta de capacitación. Posición inadecuada de equipos para muestreo hidrobiológico, reduciendo la captura de algunos organismos que son arrastrados bajo el borde inferior de los dispositivos de muestreo, en el caso de la Red de Surber.

4.5. MÉTODOS DE MEDICIÓN

4.5.1. Muestreo

4.5.1.1. Muestreo de aguas superficiales

Muestra representativa. Para la recolección de una muestra representativa, se pueden considerar las siguientes situaciones:

- En tramos uniformes de la corriente, puede ser suficiente la toma de una muestra integrada
- De igual manera, en corrientes pequeñas, puede ser suficiente la toma de una muestra al azar en el centro de la corriente, o en la parte de mayor flujo.
- En ríos anchos, se recomienda la toma de muestras integradas en un número de verticales convenientemente distribuidas a través de la sección transversal, teniendo en cuenta la profundidad, la cantidad de sedimentos en suspensión, la vida acuática existente y, sobre todo, la distribución del caudal en la sección transversal. La OMM considera suficientes entre 3 a 5 verticales. Las verticales pueden espaciarse asimismo a distancias iguales.

El procedimientos de muestreo dependen en últimas de las condiciones del sitio, tales como profundidad, velocidad y caudal del agua y ancho del cauce. Los técnicos encargados del monitoreo deben estar entrenados y convenientemente dotados para resolver cada situación.

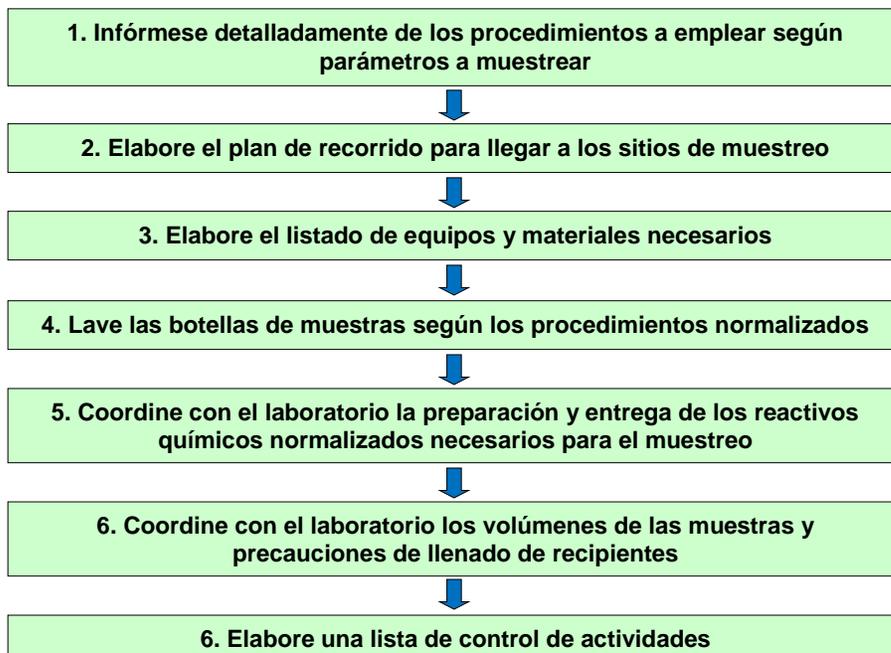
Selección de sitios y tiempo de muestreo. En cuanto a los sitios de muestreo existen varias posibilidades:

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- Se recomienda el muestreo desde puentes, por la facilidad de acceso y la seguridad, adaptándose desde luego a las condiciones de tráfico, para evitar accidentes.
- El muestreo desde botes es preferible en grandes ríos o en lagos y permite reducir tiempos de desplazamiento, aunque se deben considerar en la programación el efecto de la navegación y las tormentas. El punto de muestreo debe georreferenciarse mediante un GPS.
- El muestreo desde helicópteros es caro y sólo se justifica por la necesidad o importancia del muestreo. Tiene la ventaja de su rapidez y flexibilidad.
- El muestreo en las orillas, desde muelles o embarcaderos no es recomendable, salvo que no exista otra posibilidad. En tal caso se acostumbra utilizar muestreadores metálicos. Se deben buscar puntos de buena velocidad y profundidad de agua.
- Por razones de seguridad, el muestreo se debe realizar bajo condiciones de buen tiempo atmosférico, salvo que se busque caracterizar una condición específica bajo mal tiempo.

Preparación del trabajo de campo. De acuerdo con la OMM (2008), se recomiendan las medidas de carácter general que se presentan en la figura 8.

Figura 8. Medidas de carácter general para preparar trabajo de campo



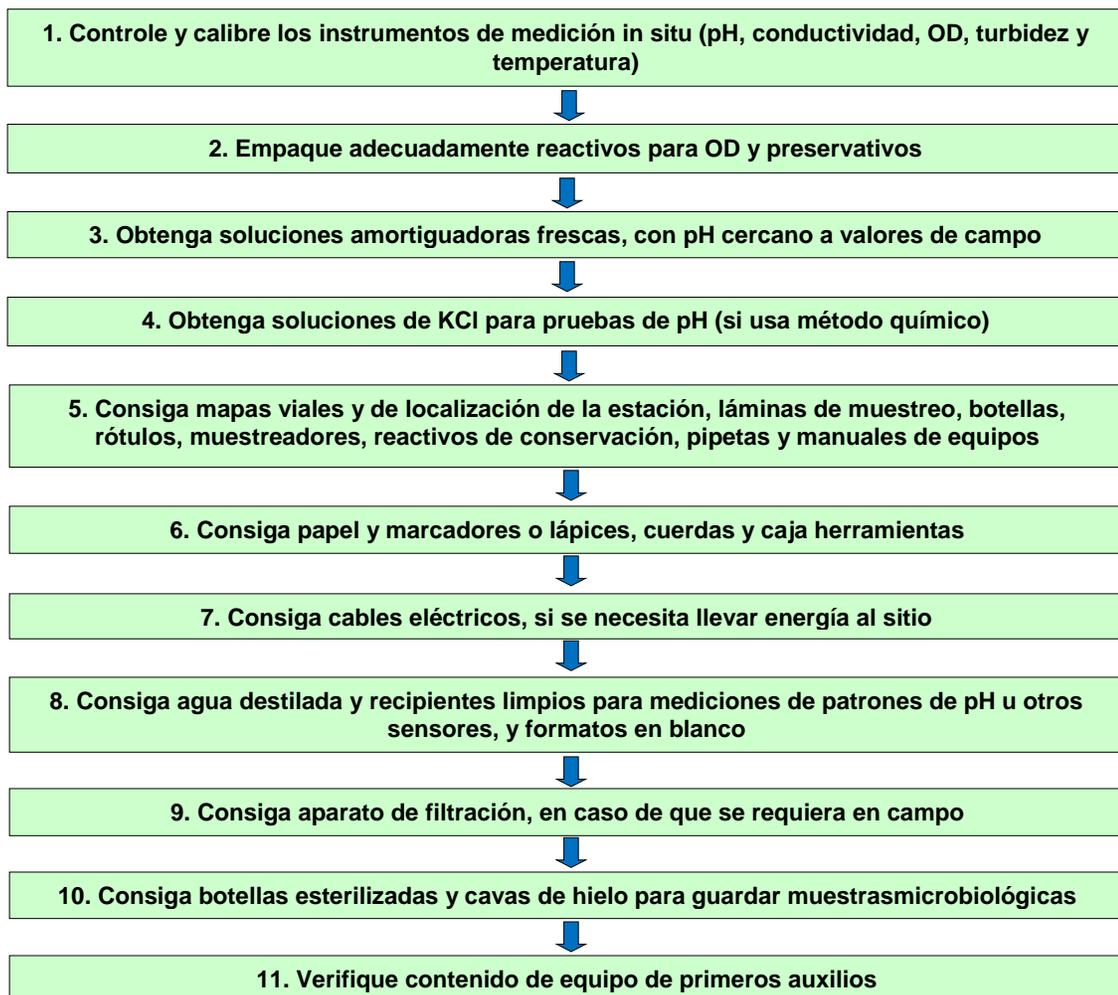
Determinación de volúmenes de las muestras y precauciones del llenado de recipientes. El responsable del muestreo debe determinar, en coordinación con el laboratorio, los volúmenes y/o tipos de muestras a tomar en campo, teniendo en cuenta todos los parámetros que vayan a ser conservados en la misma forma, totalizando el volumen necesario para la preparación y el análisis de laboratorio y multiplicando luego por dos para duplicar y por tres para triplicar los análisis.

Se deben tener en cuenta, además, los siguientes puntos:

- a. Cuando se deba evitar el contacto con el aire, se debe llenar completamente el recipiente.
- b. Cuando sea necesario agitarlas muestras antes del análisis, no se debe llenar completamente el recipiente.
- c. Cuando se exijan las dos condiciones, se debe llenar completamente la botella, agregando unas piezas de un sólido inerte, limpio y esterilizado, como anillo o reborde.
- d. Cuando la muestra contenga materiales no disueltos, bacterias o algas, el volumen de la muestra debe ser mayor al usual para disminuir errores.

Lista de control previa al trabajo de muestreo. La figura 9 muestra lista de control.

Figura 9. Lista de control previa al muestreo



Protocolo de muestreo. Para la toma de muestras de aguas superficiales son aplicables los procedimientos de muestreo nacionales y/o internacionales disponibles en las entidades de referencia; como una guía, el IDEAM ha adoptado el Protocolo titulado: Código TI0207 “Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM”, versión 05 del 06/04/2010, que se puede bajar de la página web. Este protocolo incluye un listado de equipos

y materiales, el procedimiento para determinar pH, conductividad y oxígeno disuelto in situ, la toma de muestras para laboratorio y controles de muestreo, la toma de muestras de sedimentos para análisis de metales pesados y mercurio y la toma de muestras de agua para análisis de plaguicidas, incluidas las instrucciones sobre tapado de muestras, empaque y preservación. Los datos del muestreo se deben anotar en un formato estandarizado como el TF0010 del IDEAM, que forma parte del Protocolo TIO207.

4.5.1.2. Muestreo de aguas subterráneas

Para extraer muestras de agua de la capa superior de un pozo se puede utilizar un cubo o vertedor, compuesto de un tramo de tubo con una válvula de retención en el fondo, que se suspende de un cable y se baja al pozo. La válvula deja entrar el agua al tubo y, cuando éste se levanta, impide el escape de su contenido. El agua de cualquier punto profundo de la columna de agua del pozo entrará al cubo, pero se mezclará con la de la capa superior al levantarlo.

Para el muestreo a cualquier profundidad dentro del pozo, se puede utilizar un muestreador de válvula operada con resorte. El tubo de muestreo se baja suspendido de un cable hasta la profundidad deseada, con ambos extremos abiertos, para permitir el flujo libre de agua a través del mismo, tomando las lecturas de profundidades con un contador. Una vez a la profundidad deseada, se desliza un peso sobre el cable de suspensión, el cual golpea un gatillo que cierra la cámara de muestreo. Luego se sube a la superficie y se abre la cámara oprimiendo la válvula del gatillo.

Un tipo de estos últimos es el muestreador Bailer, constituido por un tubo en PVC, polietileno u otros materiales, dotado de una especie de válvula de cheque que se introduce dentro del pozo y se abre y cierra a la profundidad deseada.

4.5.1.3. Muestreo de aguas marino-costeras

Las técnicas de muestreo varían de acuerdo con la situación específica y según los objetivos previstos; algunos estudios requieren solamente muestras instantáneas o simples, mientras que en otros se necesita disponer de muestras compuestas o aún más elaboradas en tiempo y espacio. Muchas de las generalidades referentes a las técnicas de muestreo y conservación, se encuentran plasmadas en las Normas Técnicas NTC-ISO 5667-2 y 5667-3.

Los sitios de muestreos pueden estar localizados en zonas cercanas a la costa o en aguas más profundas. En general, las muestras tomadas en cercanía de la costa detectan cambios rápidos, en una escala de horas o días, y mayormente asociados a procesos en tierra mientras que muestras tomadas en sitios más alejados y profundos, representan una situación resultante de una escala de tiempo mucho más amplia (semanas o meses). Debido a esto, es importante que la posición predeterminada de los sitios de muestreos sean mantenidos sin cambios excepto que existan condiciones que representen un peligro para el personal encargado de tomar la muestra.

Uso de equipos de muestreo

Cuando las muestras son superficiales únicamente es necesario extremar la limpieza del material y procurar procedimientos que eviten la contaminación. En muestras superficiales la recolección se puede hacer manualmente introduciendo la botella colectora bajo la superficie,

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

procurando siempre hacerlo a la misma profundidad (c.a. 25 cm).

Cuando el objetivo es obtener muestras de agua a profundidades determinadas, se emplean botellas colectoras dotadas de mecanismos de cierre para confinar la masa de agua que se encuentra a la profundidad de interés. En estudios oceanográficos, se emplean normalmente botellas Nansen para el análisis de los parámetros fisicoquímicos, pH, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes inorgánicos. Las botellas Van Dorn y Niskin, por tener capacidad de mayor volumen, son ideales para la obtención de muestras en el análisis de pigmentos fotosintéticos y contaminantes (pesticidas, metales pesados, etc).

Hay que tener bastante precaución cuando se usan estas botellas en el muestreo de aguas con alto contenido de sólidos sedimentables; su forma alargada y un flujo muy lento para extraer la muestra por las llaves, facilitan la sedimentación de los sólidos provocando diferencia en este parámetro entre las primeras y las últimas botellas receptoras que se llenan.

La botella Van Dorn horizontal es adecuada para coleccionar muestras de fondo en cuerpos de agua muy someros, siendo muy apropiada para estudios de estratificación vertical, termoclinas y termohalinas en lagunas costeras, mientras que las de funcionamiento vertical permiten coleccionar muestras a mayores profundidades. En la siguiente tabla se detallan las botellas de muestreo más utilizadas en los estudios de calidad de agua, conjuntamente con sus especificaciones y aplicaciones más generales (Tabla 1)

Tabla 8. Equipos utilizados para el muestreo de aguas⁹

Equipo	Aplicación	Material de construcción y de contacto con la muestra	Ventajas	Desventajas
Botella Nansen	Colecta de fitoplancton	Metal/ recubierto con capa de teflón	Se puede usar en serie	Colecta poco volumen de muestra
Botella Kemmerer	Compuestos químicos (*)	PVC	No genera contaminación metálica	Capacidad fija, existen de 0,4 a 15 litros
	Bacteriología	Latón / bronce		Toxicidad debido al metal
	Zooplancton	Acrílico / plástico	No contamina con metales	
Botellas Van Dorn	Compuestos químicos (*) Bacteriología Fitoplancton Zooplancton	PVC	No generan contaminación metálica	Capacidad fija, existen de 2 a 30 litros
Botellas comunes	Compuestos químicos (*) y bacteriología	Vidrio	Bajo costo	No puede controlarse la profundidad del muestreo
Bombas extractoras	Compuestos químicos (*) Fitoplancton Zooplancton	Acero inoxidable	Puede coleccionar grandes volúmenes en forma continua, muestrea la columna en sentido vertical	Existe la posibilidad de contaminación metálica y puede generar daño a los microorganismos

(*) Los compuestos contaminantes tipo plaguicidas, tóxicos metálicos y orgánicos prioritarios deben ser coleccionados con muestreadores que posean materiales de contacto tales como teflón, vidrio u otros que no contaminen la muestra.

⁹ Tomado de US. EPA. 1982. Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water and Wastewater

En la figura 10 se ilustran las botellas tipo Ninski y Nansen, que son las más utilizadas para recolectar aguas superficiales continentales y marinas, destinadas a análisis químico, biológico y bacteriológico.

Figura 10. Botellas oceanográficas usadas para la extracción de muestras de agua, operadas desde una embarcación del Invemar. A.) Botella Niskin y B.) Botella Nansen.



El volumen de muestra de agua a coleccionar depende de los requerimientos del laboratorio con base en la cantidad de parámetros a analizar. Para el análisis de compuestos orgánicos se deben utilizar filtros de fibra de vidrio (p.ej. Whatman GF/C), aceptándose por convención que el material retenido en el filtro es la fracción particulada o suspendida, mientras que el filtrado constituye la fracción disuelta.

Contaminantes orgánicos

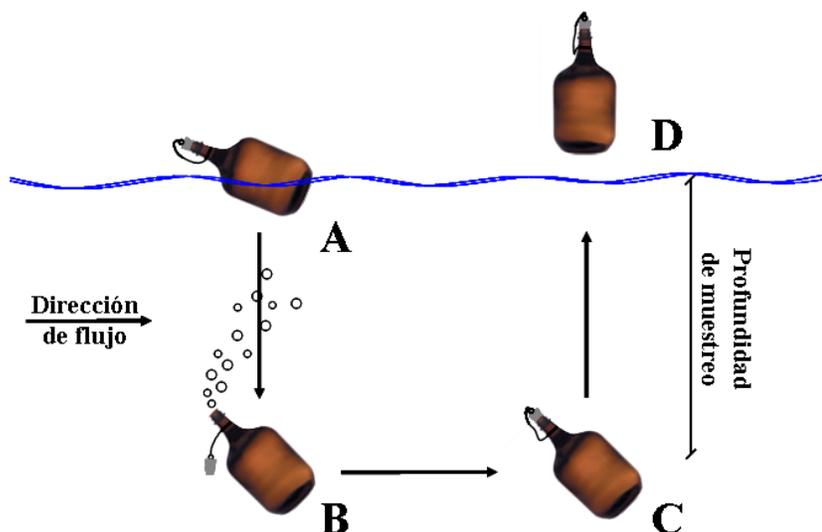
La recolección de muestras para el análisis de contaminantes orgánicos (hidrocarburos y plaguicidas) requiere un equipo de muestreo especial; la muestra se debe recolectar en la misma botella de almacenamiento (que debe ser de vidrio) y a una profundidad de un metro, por lo cual no es posible utilizar ninguna de las mencionadas anteriormente. Los siguientes procedimientos deberán ser seguidos para obtener las muestras de agua subsuperficiales según sea el caso. Es preferible recoger la muestra directamente en el recipiente en el cual se almacenará y trasladará al laboratorio.

Muestra en aguas poco profundas:

Tome la botella por debajo de su cuello, suméjala cerrada a través de la interfase agua-aire (película superficial) hasta una profundidad intermedia entre superficie y fondo (A en figura 11). Una vez en posición, retire, con la mano libre, el tapón desde atrás de la botella para evitar contaminación y oriente bien la boca hacia la corriente (B). Mantenga su mano alejada del flujo.

Una vez que la botella está llena, tápela inmediatamente desde atrás y sin quitar la botella de su posición de muestreo (C) y retírela llevándola hacia arriba contra la corriente (D). Asegúrese de cerrar bien la botella, coloque el envase en una bolsa plástica para retener el líquido en caso de rotura o derrame accidental y acomode en una hielera evitando que las botellas se toquen entre sí.

Figura 11. Toma de muestras de aguas en lugares pocos profundos



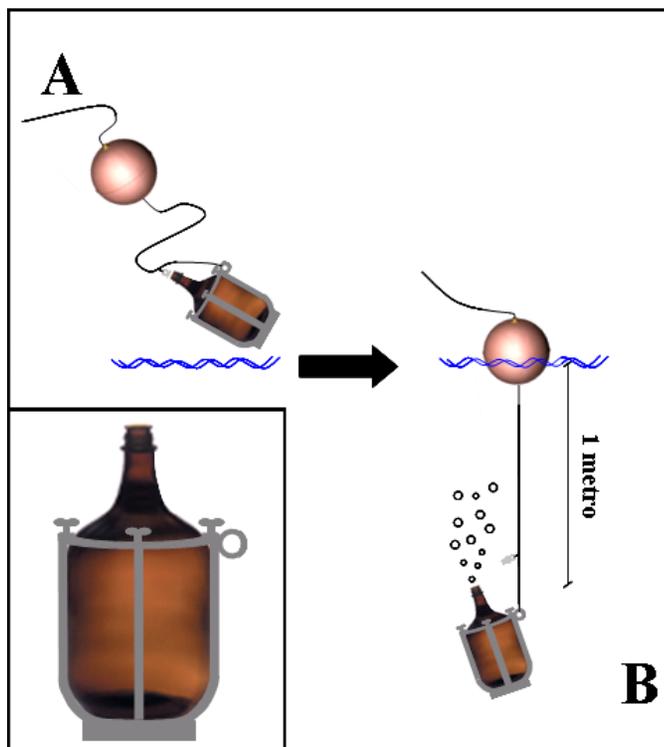
Sitios profundos

En lugares algo más profundos, donde se requiere una lancha para la toma de muestra, la embarcación debe anclarse y esperar a que se posicione con la corriente. Si no es posible anclar, la misma deberá mantenerse en posición contra corriente mediante el accionar del motor o remos. En ambos casos, el operador de la toma de muestra se ubicará en la proa de la embarcación, ligeramente inclinado hacia delante, y procederá a realizar el muestreo a unos 50 cm de profundidad siguiendo las indicaciones anteriores. Si se está muestreando desde una embarcación evite hacerlo directamente en la zona de turbulencia generada por el movimiento de la misma ya que puede remover sedimentos del fondo.

Recoja agua a un metro de profundidad, cuidando de que la botella pase la película superficial en posición cerrada. Utilice una botella de 1 litro como se indicó anteriormente y utilizando un dispositivo simple, similar al que se muestra en figura 12, el que puede ser fabricado y arrojado desde la embarcación para este propósito. Una botella de disolvente vacía y lastrada (ver detalle incluido) es tapada suavemente, con tapón de teflón, y lanzada atada a una boya por medio de una cuerda o soga de manera tal que, una vez en el agua, la boca de la botella quede a una profundidad de 1 metro. Al extenderse la cuerda o soga, la botella se abrirá para permitir la toma de muestra. La muestra deberá ser recogida de manera tal que se evite la posible contaminación de la lancha o embarcación. Para esto se deberá lanzar el muestreador corriente arriba y a una distancia que permita su llenado antes de que llegue a la altura de la lancha o embarcación.

Tape inmediatamente y reemplace la botella del muestreador. Es conveniente que en el muestreador se utilice la misma botella donde se almacenará la muestra ya que el transvase de una a otra botella conlleva el peligro de contaminación además de tener que lavar cuidadosamente con disolventes la botella del muestreador entre estaciones.

Figura 12. Dispositivo simple para la toma de muestras de agua a un metro de profundidad



4.5.1.4. Muestreo de aguas lluvias

Aunque la química de la precipitación no es objeto del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico superficial, y su alcance no está dado por la aptitud de esta para algún uso, sino está más relacionada con calidad del aire, el muestreo de agua lluvia se ha incluido en el Protocolo del IDEAM titulado: Código TI0137 “Instructivo de muestreo de agua lluvia”, versión 02, del 30/03/2009, que se puede bajar de la página web de la entidad, el cual incluye el mantenimiento del pluviómetro y el procedimiento para la toma de muestra.

4.5.1.5. Aguas residuales

Aunque el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico a cargo del IDEAM no contempla el muestreo de aguas residuales, por ser ésta una función de las Autoridades Ambientales regionales y urbanas, se hace referencia al Protocolo del IDEAM titulado: Código TI0187 “Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales”, versión 03, del 10/09/2007 (que se puede bajar de la página web), el cual incluye: propósito, aplicabilidad, requerimientos, procedimiento y un anexo sobre aforo de caudales.

4.5.1.6. Muestreo para análisis de isótopos estables

El análisis de isótopos estables en la molécula de agua (en particular oxígeno-18 y deuterio)

puede ser útil para resolver problemas como la identificación del origen de la salinidad en zonas costeras, la localización de acuíferos, la relación entre aguas superficiales y subterráneas o la determinación del impacto de procesos naturales como la mezcla o la evaporación sobre la calidad del agua. De acuerdo con la OMM (2008), el muestreo para este fin es relativamente sencillo, pero para la determinación de los isótopos requiere de laboratorios especializados. Los procedimientos de muestreo recomendados por este ente son los siguientes:

- Se debe usar botellas de vidrio o envases de plástico de alta densidad (10 a 60 ml, generalmente de 50 ml), con tapas dotadas de sellos herméticos (reforzados por un tapón interior de plástico).
- Lavar las botellas o envases tres veces con la misma agua a ser muestreada.
- Llenar la botella o envase hasta el tope con el fin de evitar evaporación que puede enriquecer el agua residual y la presión de vapor. Si son transportadas por aire, las botellas no deben ir llenas y la tapa debe ser aislada con una película de parafina.
- Las muestras de nieve deben ser colectadas en bolsas plásticas, usando guantes descontaminados y luego mezclarse gradualmente antes de colocarse en los envases.
- Las muestras de hielo deben preservarse en su estado congelado hasta llegar al laboratorio.
- Las muestras no deben filtrarse, excepto cuando hayan estado en contacto con aceite (usado para protección contra la evaporación de muestras de precipitación).
- Las muestras pueden preservarse por largo tiempo (más de un año) en un ambiente frío y oscuro.

4.5.1.7. Mediciones de radioactividad

Para mediciones de radioisótopos asociados a la calidad del agua, envases recomendados y métodos de preservación, se deben seguir los procedimientos establecidos por las autoridades del ramo (USGS, 1984; IAEA, 2004). Según la OMM (2008), las fuentes de radioactividad en el agua pueden ser naturales, como la meteorización de las rocas con minerales radioactivos y la lluvia de núclidos de rayos cósmicos, o antrópicas como la minería del uranio y las aplicaciones pacíficas de materiales y aparatos radioactivos (en el caso de Colombia). Los principales radionucleidos de origen natural que pueden estar presentes en el agua son: uranio, radio-226, radio-228, radón, potasio-40, tritio and carbono-14, todos los cuales, excepto los dos últimos, provienen de minerales radioactivos. El tritio y el carbono-14 son producidos por la interacción de los neutrones de los rayos cósmicos con el nitrógeno de la alta atmósfera, aunque el tritio (^3H) isótopo puede caer eventualmente con la precipitación, y el carbono radioactivo es incorporado al CO_2 atmosférico. Además, tanto el tritio como el carbono radioactivo son producidos en las pruebas termonucleares y son usados en la datación del agua subterránea (tiempo entre la recarga del acuífero y el muestreo). Los principales radioisótopos de origen antrópico que pueden estar en el agua son el estroncio-90 y el cesio-137. Las máximas concentraciones permisibles de estos elementos en el agua son fijados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

Según las recomendaciones de la OMM (2008), para el muestreo se pueden utilizar botellas de 4 litros de polipropileno, polietileno o teflón, pretratadas en laboratorio llenándolas con ácido nítrico concentrado durante un día, lavando luego con detergente y luego varias veces con agua purificada. Para el tritio, se puede utilizar botellas de plástico de alta densidad de 0,5 a 1 litro de capacidad. Para carbono-14 se puede utilizar botellas de 1 litro de alta precisión, o disolver 2,5 g de precipitado en más de 100 litros de agua en caso de bajos contenidos de carbono. La preservación de las muestras debe considerar el problema de la adsorción sobre las paredes

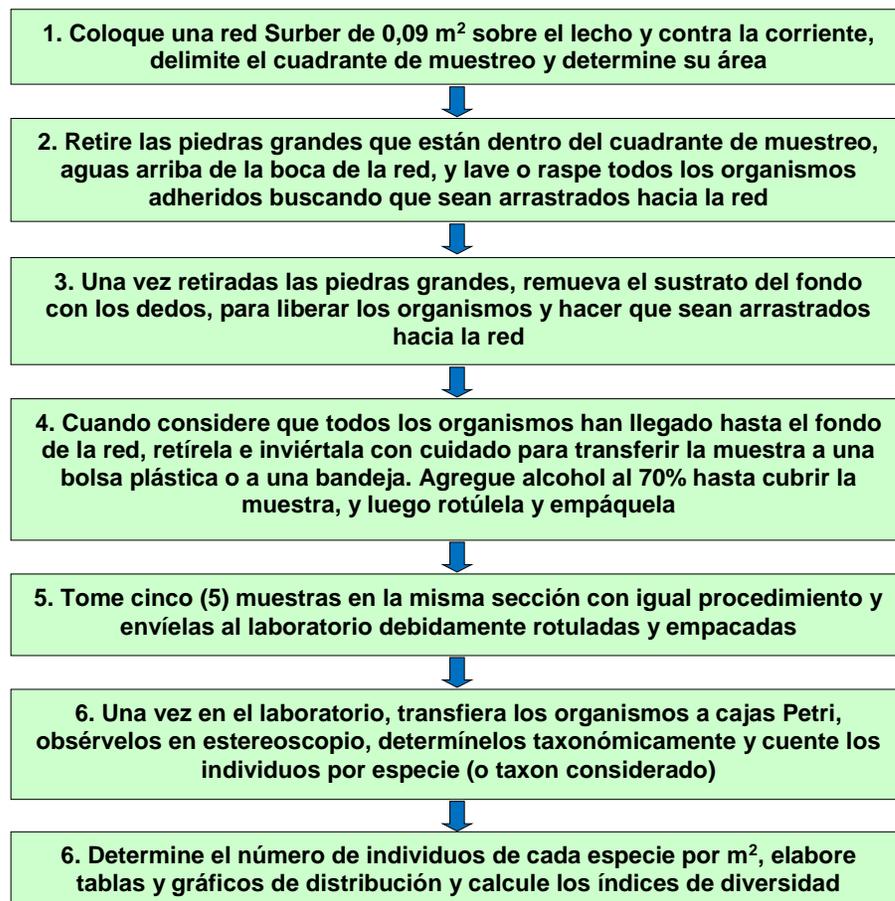
del envase o sobre los sólidos suspendidos. Para minimizar este problema se utiliza 2 ml de HCl concentrado por litro de muestra, o se añade ácido nítrico al 1%. Para reducir costos se recomienda analizar una muestra compuesta anual con alícuotas mensuales, aunque se deben conservar las muestras mensuales para analizarlas en caso de encontrar niveles de radioactividad altos en la muestra compuesta.

4.5.1.8. Procedimientos para muestreo y determinaciones hidrobiológicas

Procedimiento para la realización del muestreo de macroinvertebrados acuáticos

Las figuras 13, 14 y 15 muestran un procedimiento específico para la realización de muestreo de bentos en lechos pedregosos de sistemas lóticos, y en lechos arcillosos de sistemas lóticos o lénticos respectivamente.

Figura 13. Procedimiento para el muestreo y determinación de bentos en lechos pedregosos de sistemas lóticos con red Surber (Roldán, 1992)



:

Figura 14. Procedimiento para el muestreo y determinación de bentos en lechos arcillosos de sistemas lóticos o lénticos (Roldán, 1992)

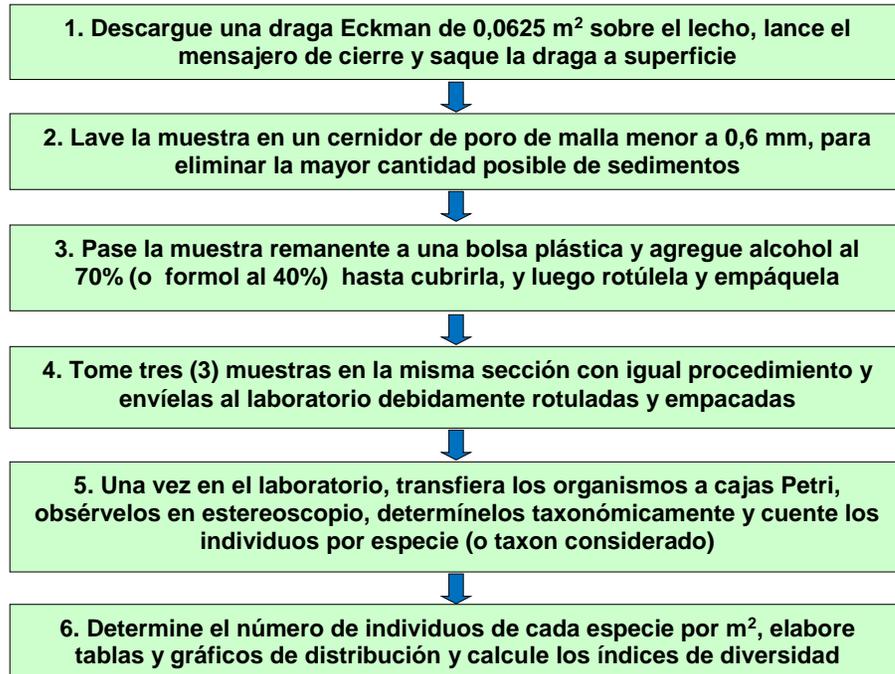
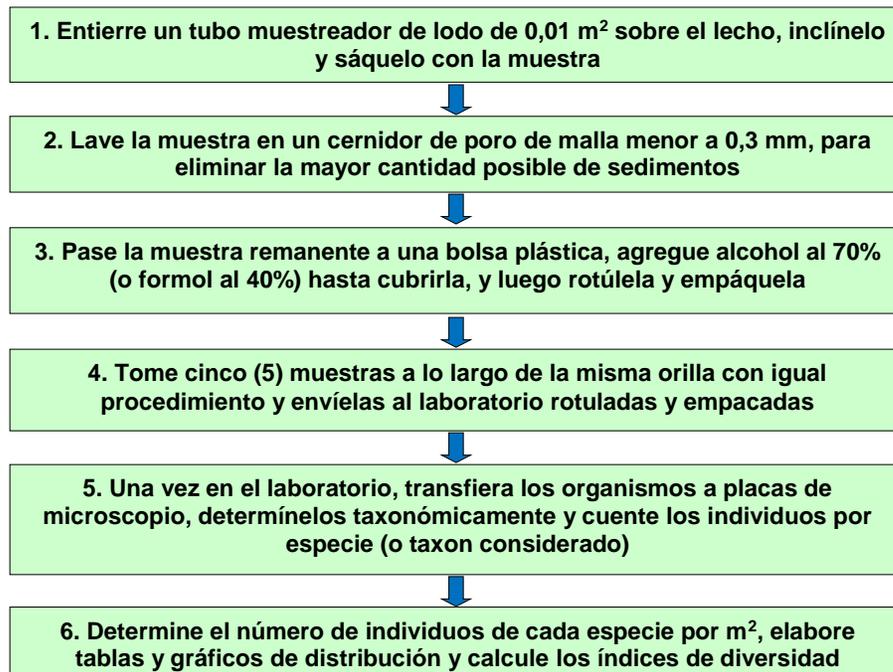


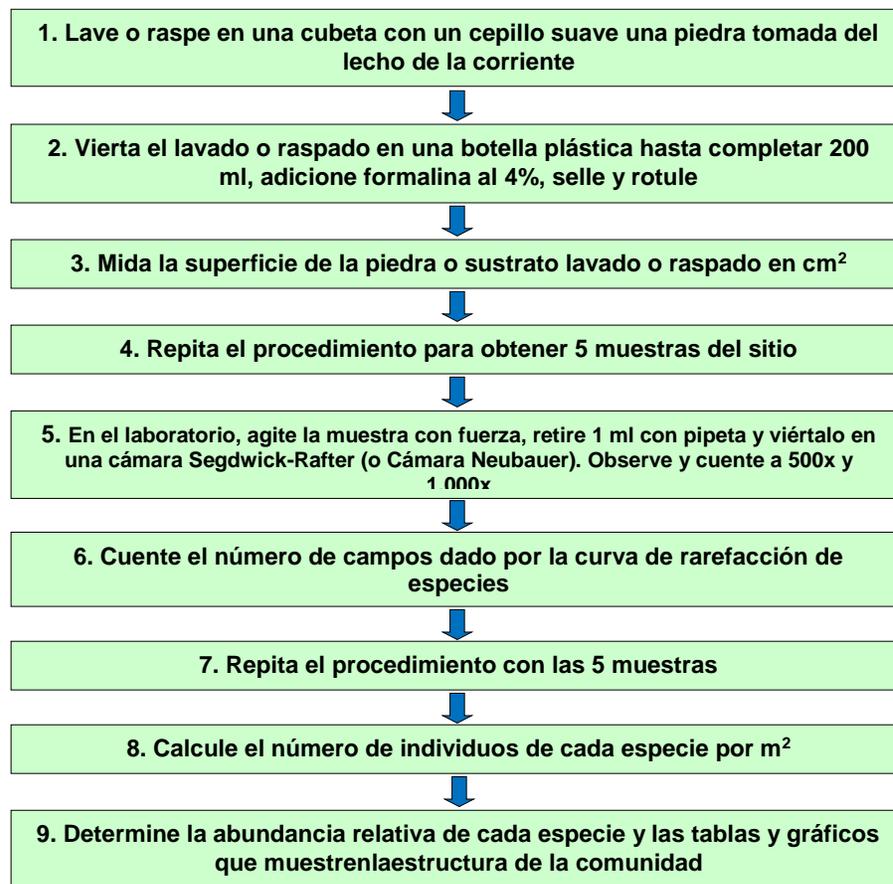
Figura 15. Procedimiento para el muestreo y determinación de bentos en lechos arcillosos litorales de sistemas lóticos o lénticos (Roldán, 1992)



Perifiton

En general, los ríos de zonas montañosas y/o de colinas medias y bajas son de aguas claras y presentan lechos pedregosos. Si la corriente es de lecho pedregoso se puede muestrear el perifiton epilítico, es decir, el que se desarrolla sobre las piedras, mediante raspado o lavado de los sustratos. También se puede muestrear y analizar el perifiton epifítico, es decir, el que se desarrolla sobre los vegetales. En los tramos deposicionales de los ríos, donde predominan las llanuras inundables, los lechos son de materiales arcillosos, limosos y orgánicos y las aguas son de color oscuro, por lo cual el muestreo debe hacerse mediante sustratos artificiales (placas). El procedimiento para determinación del perifiton en muestras de lechos pedregosos es el mostrado en la figura 16, y para lechos cenagosos en la figura 17.

Figura 16. Determinación del perifiton en lechos pedregosos (Schwoerbel, 1980)



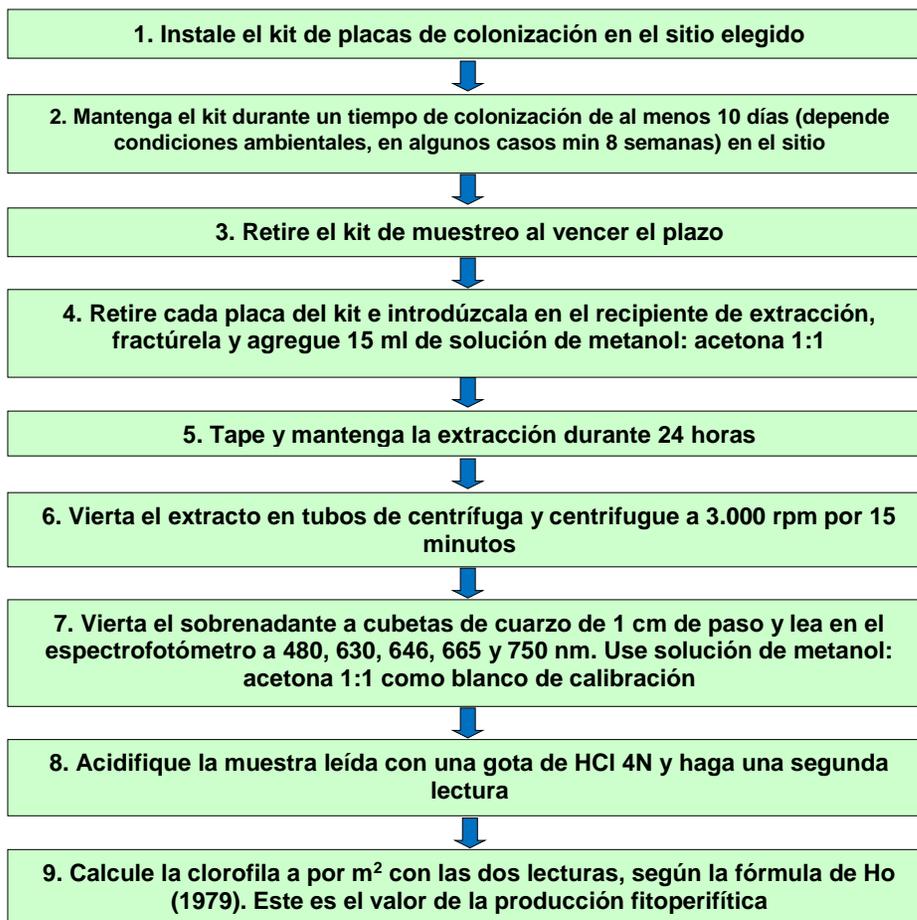
La abundancia relativa está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{No ind. esp./m}^2 = Vm * N / C * Vc * As$$

Donde:

V_m: volumen de la muestra (200 ml)
 V_c: volumen del campo ocular = $\pi r^2 \cdot 1 \text{ mm}$
 A_s: área del sustrato lavado o raspado
 C: número de campos contados
 N: número de individuos totales de la especie i

Figura 17. Determinación del perifiton en sustratos artificiales (Lucey et al, 1987)



La fórmula para el cálculo de la producción fitoperifítica es la siguiente:

$$Chl_a \text{ (mg/m}^2\text{)} = 3((665-750)-(665a-750a)) \cdot 12,5 / V \cdot A \cdot Z$$

Donde:

V: volumen del extracto en ml
 A: área de la placa en mm²
 Z: 1 (paso de la celda)

Procedimiento para la realización del muestreo de macrofitas

La figura 18 muestra el procedimiento específico para la realización de muestreo de macrofitas acuáticas en un sistema lótico.

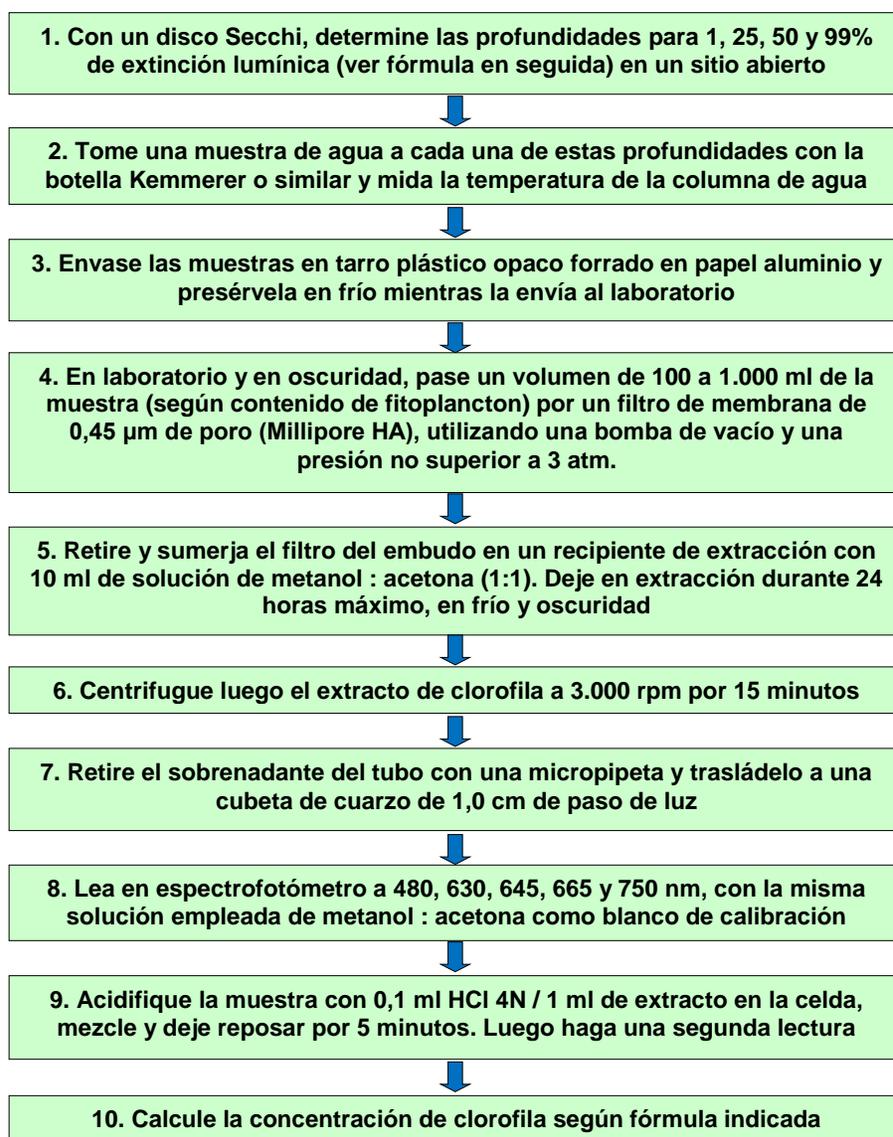
Figura 18. Procedimiento para el muestreo y determinación de macrofitas en un sistema lótico (Wetzel y Likens, 1991)



Procedimiento para la realización del muestreo de fitoplancton y zooplancton

La figura 19 muestra el procedimiento específico para la realización de muestreo de fitoplancton en un sistema léntico y la determinación de la biomasa mediante el cálculo de la clorofila a, según la fórmula de Talling y Driver (1963, en Ramírez, 1987).

Figura 19. Procedimiento para el muestreo y determinación de biomasa de fitoplancton en un sistema léntico (Ramírez, 1987)



Las fórmulas para calcular las profundidades de extinción lumínica son las siguientes:

$$H_{99\%} \text{ de extinción lumínica} = 4,6 / (1,7/Z_{SD})$$

$$H_{75\%} \text{ de extinción lumínica} = 1,4 / (1,7/Z_{SD})$$

H50% de extinción lumínica = $0,69 / (1,7/Z_{SD})$

H1% de extinción lumínica = Superficie

Z_{SD}: transparencia Secchi

La fórmula para calcular la biomasa es la siguiente:

Chl a en mg/m² = $11,9((L665-L750)-(L665^a-L750^a))v/VZ$

Donde:

L665 y L750: lecturas del espectrofotómetro a 665 y 750 nm

L665^a y L750^a: lecturas del espectrofotómetro a 665 y 750 nm después de acidificación

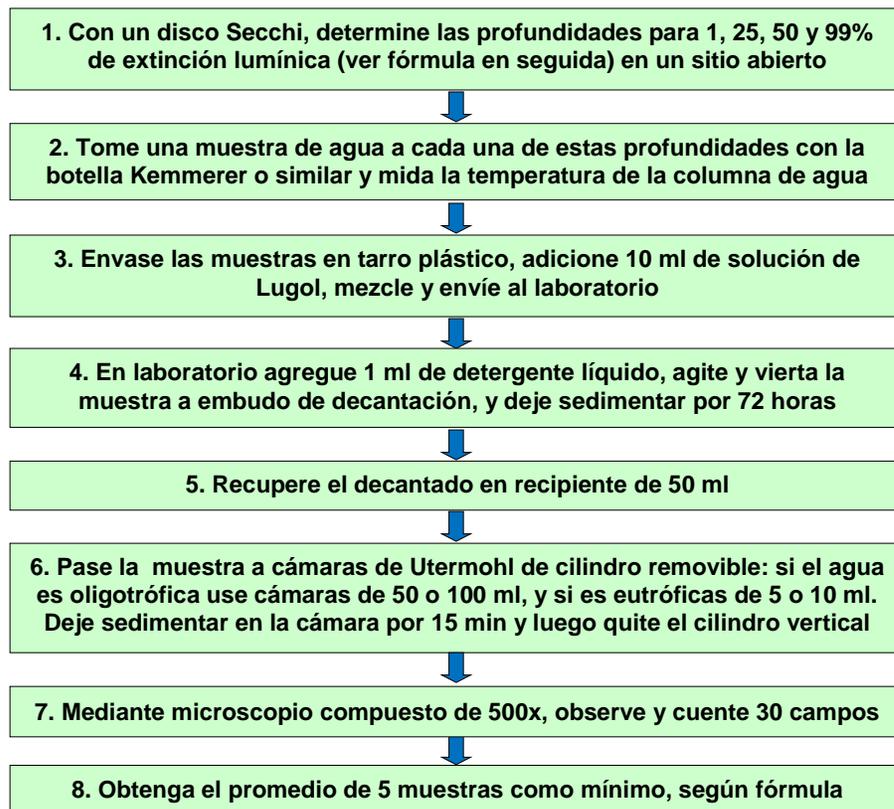
v: volumen (ml) del extracto centrifugado

V: volumen (L) de muestra filtrada

Z: paso d la celda (1 cm)

La figura 20 muestra el procedimiento específico para la realización de muestreo de fitoplancton en un sistema léntico y la determinación de la estructura y composición de la comunidad empleando la fórmula de Ros (1979, en Ramírez, 1987).

Figura 20. Procedimiento para el muestreo y determinación de estructura y composición del fitoplancton en un sistema léntico (Ramírez, 1987)



Las fórmulas para calcular las profundidades de extinción lumínica son las mismas indicadas en

el literal anterior.

Para calcular el número de individuos por ml, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{No ind/ml} = (N / (\text{AHC})) * 10^3 \text{ mm}^3$$

Donde:

N: número promedio de individuos contados

A: área del campo ocular

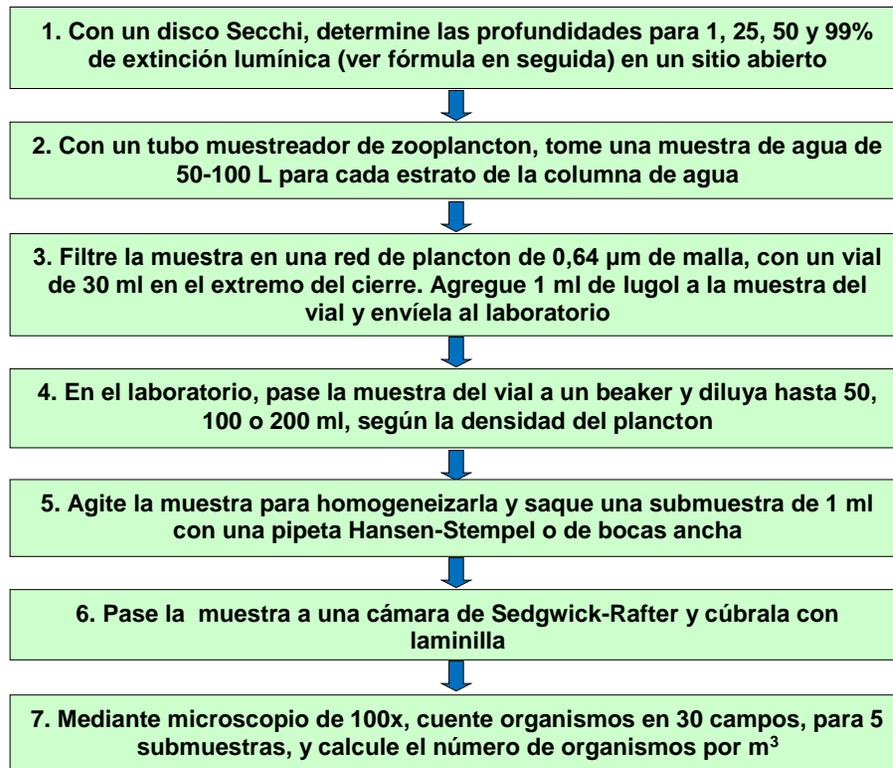
H: profundidad de la cámara (1 mm)

C: número de campos contados

Con los datos obtenidos se debe proceder a estimar abundancias relativas de cada taxón y a elaborar las tablas y gráficos de estructura y composición de la comunidad fitoplanctónica.

La figura 21 muestra el procedimiento específico para la realización de muestreo de zooplancton en un sistema léntico y la determinación de la estructura, composición y biomasa de la comunidad, según Ramírez (1990).

Figura 21. Procedimiento para el muestreo y determinación de estructura y composición del zooplancton en un sistema léntico (Ramírez, 1990)



Las fórmulas para calcular las profundidades de extinción lumínica son las mismas indicadas en el literal anterior.

Para calcular el número de organismos por m³, se usa la siguiente fórmula:

$$\text{No org/m}^3 = (\text{Nv} / \text{V}) * 10^3$$

Donde:

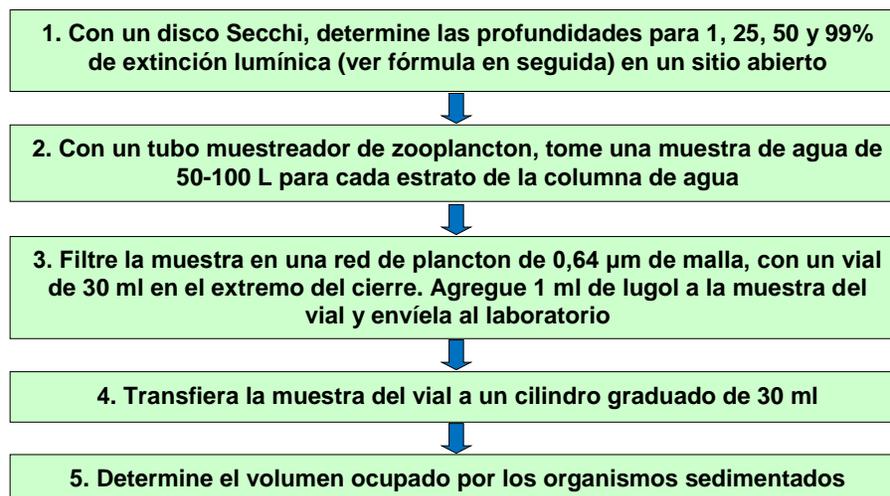
N: número promedio de individuos por cámara

v: volumen de la submuestra en ml

V: volumen del agua filtrada en la red

Para la determinación de la biomasa, se realiza el procedimiento indicado en la figura 22.

Figura 22. Procedimiento para el muestreo y determinación de biomasa del zooplancton en un sistema léntico (Ramírez, 1990)



Las fórmulas para calcular las profundidades de extinción lumínica son las mismas indicadas en el literal anterior.

La fórmula para calcular el biovolumen es la siguiente:

$$\text{Zooplanton en mm}^3/\text{m}^3 = v/V$$

Donde:

v: volumen ocupado por los organismos sedimentados, en mm³

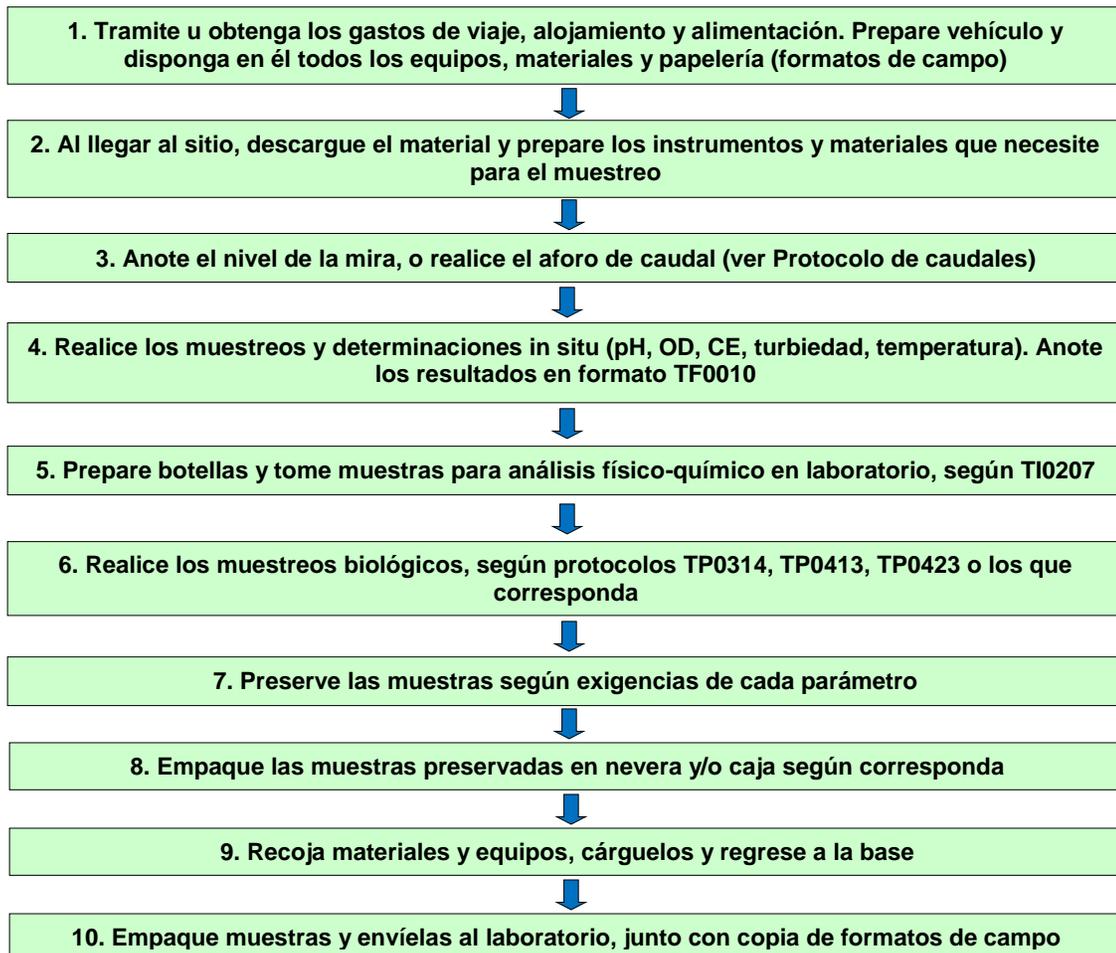
V: volumen de agua filtrada en la red en L (1 m³ = 1.000 litros)

Con los datos obtenidos se debe proceder a estimar abundancias relativas de cada taxón y a elaborar las tablas y gráficos de estructura, composición y biomasa de la comunidad zooplanctónica.

4.5.1.9. Procedimiento general para la realización del muestreo

Una vez seleccionados los parámetros a medir y preparados todos los materiales y equipos para la toma de las muestras y las mediciones de campo, se puede proceder a realizar el muestreo, tal como se indica en la figura 23.

Figura 23. Realización del muestreo



4.5.2. Procedimientos de determinaciones in situ

4.5.2.1. Medición automática

En la actualidad, existen instrumentos en el mercado que pueden medir directamente los siguientes parámetros: pH, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, turbidez, concentración y % de saturación de oxígeno disuelto, cloro, nitratos, nitrógeno amoniacal, potencial redox, nivel, intensidad de la luz solar, absorbencia ultravioleta, clorofila y algas verde-azules.

Este tipo de control exige que el agua sea bombeada y que las mediciones se realicen en la orilla, aunque también disponen de sondas sumergibles con sensores para los diferentes parámetros, y con pantallas de lectura digitales. Existen instrumentos a batería con sondas que pueden sumergirse hasta 300 metros en el agua.

4.5.2.2. Parámetros medidos sobre el terreno

Si el sitio de muestreo corresponde a una estación hidrométrica, debe anotar la lectura del nivel del limnómetro o limnógrafo, para posteriormente, con base en la curva de calibración de la corriente calcular el caudal. Si la sección no corresponde a una estación, es importante realizar un aforo de caudal, para poder correlacionarlo con los parámetros de calidad (ver procedimiento de aforo en Protocolo de niveles y caudales).

En cuanto a calidad del agua, parámetros como la conductividad, el pH, el oxígeno disuelto, la temperatura, la turbidez, el color y la transparencia pueden cambiar rápidamente con el almacenamiento de la muestra y por tanto deben ser medidos en campo en lo posible.

El técnico de campo debe observar e identificar rasgos extraños en la corriente o cuerpo de agua a muestrear, en especial cambios con respecto a muestreos previos, como olores o colores inusuales, capas o películas superficiales, objetos flotantes, así como lluvia, viento fuerte o tormentas en el momento de la medición.

Medición del pH

El pH es un criterio importante de la calidad del agua, porque limita la vida acuática y gran parte de usos del agua. Depende en especial del balance entre el dióxido de carbono, carbonatos y iones de bicarbonato, y, por tanto, su valor puede ser alterado por cambios en el dióxido de carbono en el interfase aire-agua, por la fotosíntesis acuática, la materia orgánica en descomposición en el agua y el drenaje de las rocas del área afluente. Asimismo, puede variar drásticamente con el vertimiento de sustancias contaminantes procedentes de la urbanización, la minería y la agricultura, entre otras, así como por la lluvia ácida debida a emisiones atmosféricas de origen antrópico o natural.

Para la determinación *in situ* del pH, el método más común es el electrométrico, por su facilidad y exactitud, basado en el potencial eléctrico entre un electrodo de membrana de vidrio sensible al hidrógeno, sumergido en la muestra, y un electrodo de referencia. En el mercado existen muchos medidores de pH portátiles de batería, que deben ser seleccionados por el investigador en función de su precisión y costos. Se prefieren los medidores digitales porque los medidores análogos (con lecturas en una escala) resultan con frecuencia difíciles de leer cuando hay movimiento fuerte (por ejemplo en campañas con bote bajo fuerte temporal). También pueden usarse medidores clásicos basados en colorimetría. Pero, sea cualquiera el método a emplear, se deben seguir las instrucciones del fabricante en cuanto a calibración, estabilización, protección del medidor contra temperaturas extremas, protección y acondicionamiento de electrodos y/o sondas antes de la medición.

El instructivo TI0363 del IDEAM describe en detalle la forma como se calibra y opera el pHmetro de campo disponible actualmente en la entidad, y el instructivo TP0080 “Determinación de pH en agua por electrometría”, describe el procedimiento para medición de pH en laboratorio. Los

datos de campo deben consignarse en el formato de captura similar al adoptado por el IDEAM (TF0010). Estos instructivos y formatos pueden consultarse en la página web de la entidad.

Conductividad eléctrica

La conductividad es un indicador de la concentración de iones de las sales, bases y ácidos inorgánicos disueltos en el agua. Existe por tanto una relación lineal entre la conductividad y los sólidos disueltos en la mayoría de aguas naturales. Es preferible medir la conductividad in situ, si bien, dado que ésta depende de la temperatura, es necesario que el conductímetro de un valor a la temperatura de referencia (generalmente 20°C o 25°C), o en caso contrario, registrar la temperatura de la muestra. Antes de la medición, se recomienda enjuagar varias veces el recipiente y la sonda con la muestra de agua. En particular, no conviene utilizar la misma muestra de agua en la que se midió el pH, dado que el KCl se difunde desde el electrodo del pH. Además, el instrumento debe ser recalibrado en campo antes de cada lectura. Para ello se puede usar una solución estándar de KCl, con una conductividad muy próxima a la de los valores a encontrar en campo. Todo el equipo de medición debe recibir el mismo cuidado y mantenimiento dado a los sensores, por lo cual es necesario proteger el equipo contra el barro, los golpes y el frío para garantizar medidas exactas. Si se lleva a cabo una buena calibración y cuidado del equipo es de esperar una incertidumbre del orden 5% en el rango de temperaturas entre 0 y 40°C, con compensación automática de temperatura.

El instructivo TI0362 del IDEAM describe en detalle la forma como se calibra y mide la conductividad eléctrica in situ en la entidad, y el protocolo TP0082 “Conductividad eléctrica en agua por el método electrométrico” describe los procedimientos para determinar la conductividad eléctrica en el laboratorio. Los datos de campo deben consignarse en el formato de captura similar al adoptado por el IDEAM (TF0010). Los instructivos y formatos pueden consultarse en la página web.

Oxígeno disuelto (OD)

Para las mediciones in situ puede utilizarse un medidor de OD o un método químico, como el de Winkler o el de Hach. El instructivo TI0207 del IDEAM describe en detalle la forma como en la entidad se determina el oxígeno disuelto mediante el método de Winkler. Asimismo, los protocolos TP0083 “Oxígeno disuelto por electrometría”, y TP0084 “Oxígeno disuelto por el método de Winkler”, describen los procedimientos para medir el oxígeno disuelto. Los datos de campo correspondientes deben consignarse en un formato de captura similar al TF0010 del IDEAM. En el mercado se cuenta con kits como el Hach, que permite hacer determinaciones para 2 rangos de contenido de oxígeno: alto (1-20 mg/L) y bajo (0,2-4 mg/L), utilizando una solución patrón estabilizada de tiosulfato de sodio a 0,0109 N, la cual se vierte gota a gota en una porción de muestra previamente preparada en un matraz al cual se agregan cápsulas de reactivo para oxígeno disuelto 1 (almohadas de lámina de sulfato manganoso), reactivo para oxígeno disuelto 2 (almohadas de lámina de azida de sodio – hidróxido de litio), y reactivo para oxígeno disuelto 3 (bolsas de polvo de ácido sulfámico). El número de gotas necesarias para volver la solución incolora es proporcional al contenido de oxígeno disuelto del agua. Instrucciones más detalladas del método se dan en el kit correspondiente de Hach, el cual viene con todos los elementos y reactivos necesarios para el análisis.

Además, en el mercado se pueden conseguir actualmente diferentes modelos de medidores portátiles digitales, dotados de sondas con sensores para medir directamente in situ el oxígeno disuelto y el % de saturación de oxígeno.

Temperatura

Hay una gran variedad de termómetros en el mercado, tales como los de alcohol-tolueno, mercurio, bimetálicos de listón o eléctricos, entre éstos últimos, termocuplas y variedades menos portátiles como termistores, de cuarzo, y de resistencia. Algunos medidores de temperatura se incluyen dentro o con los medidores de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y otros.

Se recomienda enjuagar el termómetro con una porción de agua de la muestra antes de su uso. Para la medición, el termómetro debe ser sumergido dentro de la muestra por aproximadamente un minuto hasta que la lectura se estabilice. Durante el transporte, el termómetro no se debe colocar dentro de alguna de las botellas de muestreo.

La lectura debe anotarse en grados Celsius en la hoja de campo. Por lo general, la precisión de las medidas de temperatura no debe exceder $0,1^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, en muchos casos se puede tolerar una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y en muchos casos las estadísticas de temperatura se redondean a 1°C . Sin embargo, todo depende de los requerimientos de precisión. El protocolo TP0081 del IDEAM "Temperatura del agua", describe el procedimiento adoptado para medir la temperatura del agua. Los datos de campo deben consignarse en el formato de captura TF0010 del IDEAM o similar.

Turbiedad

La turbiedad es un indicador óptico de los sedimentos suspendidos en el agua, como arcilla, limo, materia orgánica, plancton y organismos microscópicos. Una turbiedad alta afecta el uso del agua e su tratamiento implica costos adicionales.

Se acostumbra medir la turbiedad por métodos visuales (en unidades de turbiedad Jackson o UTJ), o mediante nefelometría (en unidades de turbidez nefelométricas o UTN). El turbidímetro de bujía Jackson se basa en la distancia a través de la suspensión en la cual la salida de una bujía normal llega a ser indistinta comparada con suspensiones normalizadas. Los métodos nefelométricos son preferibles, debido a su gran precisión, sensibilidad y aplicación en una amplia gama de valores de la turbiedad. Ellos se basan en la dispersión de la luz debida a las partículas suspendidas. Instrumentos diferente tipo pueden dar distintos resultados para la misma muestra. El color en la muestra puede causar errores, así como también las variaciones en la fuente de luz. Para reducir estos problemas se recomienda usar un instrumento que mida la luz transmitida y la luz dispersada en forma simultánea, mediante destellos de luz transmitidos y dispersados transversalmente en la misma longitud del tramo.

La medición de la turbidez debe basarse en curvas de calibración preparadas para cada escala del aparato, usando soluciones patrones apropiadas. Para ello se debe contar con una prueba de al menos una muestra patrón en cada escala, lo cual garantiza que el turbidímetro de lecturas estables en todas las gamas de sensibilidad.

Antes del análisis, la muestra debe agitarse vigorosamente, y las lecturas deben realizarse siempre después de un período de homogenización similar para todas las muestra (10 segundos por ejemplo), para asegurar uniformidad en los datos. Es conveniente verter la muestra rápidamente y medir su turbiedad por triplicado.

La eficiencia de un turbidímetro depende de la manera en que se utilice el aparato y de frecuencia de la calibración con soluciones normalizadas de formazina. El error de los nefelómetros usados en laboratorio debe ser inferior a ± 1 unidad de turbiedad de formazina (UTF) en la gama de 0 a 10 UTF, y hasta ± 5 UTF en la de 0 a 100 UTF, con un intervalo de confianza de 95 por ciento. La incertidumbre de los medidores de absorción varía considerablemente, pero debe alcanzar al menos ± 10 por ciento en toda la escala para cualquier intervalo de turbiedad.

El rendimiento de los turbidímetros depende principalmente de su configuración óptica y, en el caso de instrumentos automáticos de lectura continua, de su capacidad para impedir obstrucciones de las superficies ópticas por crecimiento de algas y/o acumulación de sedimentos, que le hacen perder sensibilidad y obligarían a una variación en la calibración.

El protocolo del IDEAM TP0443 "Turbiedad por nefelometría. Método B", describe el procedimiento acogido para determinar la turbiedad. Los datos de campo deben consignarse en el formato de captura TF0010 del IDEAM o similar.

Color

El color del agua se debe a la presencia de iones metálicos, humus y materiales de turba, plancton y desechos industriales. Es un parámetro de importancia para el consumo de agua potable, para lavados de proceso, o para recreación.

El color real se debe observar luego de la filtración o centrifugación. Los matices de aguas naturales se pueden comparar con mezclas de ácido cloroplátnico y hexahidrato de cloro cobaltoso. Pero dado que este método no es adecuado para uso en campo, el color puede obtenerse por comparación visual entre discos de vidrio de colores patrones y tubos llenos con el agua que se ha de analizar.

El matiz de las aguas mezcladas con desechos industriales puede ser tan diferente de las mezclas de platino/cobalto que la comparación se vuelve imposible. En tal caso puede ser suficiente un filtro fotométrico, aunque sería preferible un espectrómetro de doble rayo si la muestra es llevada al laboratorio.

Los datos de campo deben consignarse en un formato de captura similar al del IDEAM (TF0010).

Transparencia

La transparencia del agua depende de su turbidez y color. Se puede medir la transparencia mediante un disco Secchi de 20 a 30 cm de diámetro y usualmente pintado en cuadrantes blancos y negros, determinando la profundidad (en m) a la cual el disco desaparece dentro del agua, al bajarlo lenta y verticalmente. También se puede usar, en lugar del disco, una figura

patrón sobre papel blanco. La medición se realiza preferiblemente en lagos u otras masas de agua profunda y sirve para evaluar condiciones biológicas.

Los datos de campo deben consignarse en formato de captura similar al TF0010 del IDEAM.

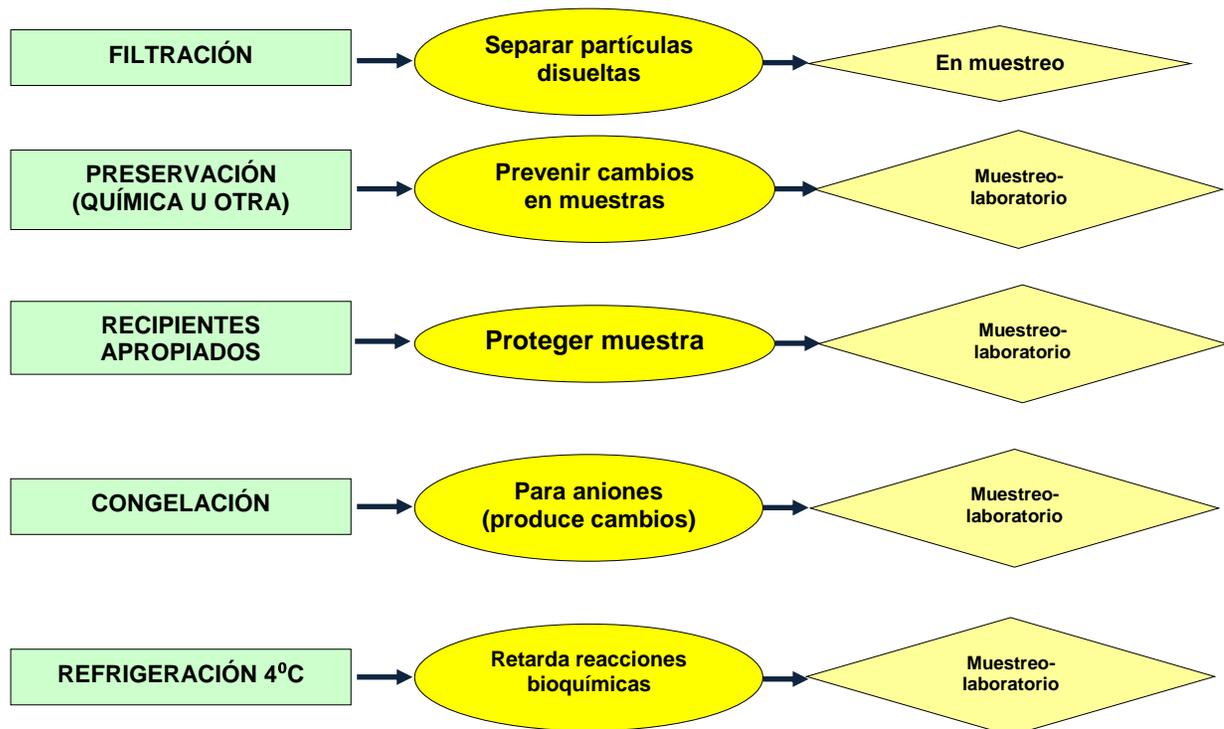
El instructivo TI0207 del IDEAM describe la forma como se deben tomar las muestras para los análisis de laboratorio, incluyendo muestras para metales pesados, mercurio, y plaguicidas.

De igual manera, el INVEMAR ha adoptado protocolos para determinación de parámetros in situ, aplicables para aguas marinas y costeras. Tanto los protocolos o instructivos del IDEAM y de INVEMAR pueden ser consultados en la página web de estas entidades.

4.5.3. Procedimientos de conservación y filtración en campo

A continuación se resumen los procedimientos recomendados por la OMM (2008) (figura 24).

Figura 24. Procedimientos de conservación y filtración



4.5.3.1. Filtración

La filtración¹⁰ se debe hacer en los siguientes casos y con los siguientes procedimientos:

¹⁰La OMM recomienda filtración y no centrifugación o decantación debido a que la centrifugación requiere de más equipo, y la decantación o sedimentación requiere de más tiempo, y ambos métodos no pueden ser fácilmente calibrados y pueden aumentar los riesgos de contaminación.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- La filtración tiene por objeto separar las partículas disueltas y debe llevarse a cabo durante o inmediatamente después de la recolección de la muestra, conservando luego la muestra mediante un procedimiento aceptado.
- En caso de metales pesados no se debe hacer filtración de la muestra. Ésta se someterá a una digestión completa en el laboratorio para convertir los metales compuestos en solubles en agua.
- En caso de análisis de constituyentes orgánicos, las muestras se deben filtrar inmediatamente después de su recolección mediante un filtro de fibra de vidrio o una membrana de metal. La muestra filtrada se destina al análisis de los constituyentes orgánicos disueltos, y la fracción de partículas atrapadas en el filtro se destina al análisis de partículas orgánicas.
- Para reducir la adsorción de sustancias disueltas en el material del filtro se puede usar filtros orgánicos (policarbonato, acetato de celulosa) para sustancias minerales, y filtros de fibra de vidrio para compuestos orgánicos.
- Los filtros y los aparatos de filtración deben someterse a un tratamiento previo en laboratorio y lavarse o curarse antes de la filtración con los primeros 150 a 200 ml filtrados, que deben desecharse. Para crear el vacío en el equipo de filtración debe usarse una bomba manual o eléctrica. El vacío genera pérdida de dióxido de carbono, lo cual puede causar reducción en el pH de la muestra y la precipitación de algunos metales. Por esta razón y para reducir las pérdidas debido a la adsorción en las paredes del recipiente, es útil acidificar las muestras para metales.

4.5.3.2. Métodos de preservación

Para prevenir los efectos de los cambios físicos, químicos y biológicos que pueden ocurrir en la muestra desde el momento de la toma hasta su análisis en el laboratorio, es necesario aplicar medidas tales como las siguientes:

- Reducir lo más posible el tiempo entre la toma y el laboratorio.
- Realizar las mediciones directamente in situ, hasta donde el tipo de parámetro y la tecnología disponible lo permitan.
- Aplicar procedimientos de conservación a la muestra, tales como: mantenerlas en la oscuridad, adicionar conservantes químicos, bajar la temperatura para retardar las reacciones, congelar las muestras, extraerlas con diferentes solventes, usar una columna de cromatografía en campo, o mediante la combinación de estos métodos.

Uso de recipientes apropiados

El uso de recipientes apropiados es el primer paso para preservar la integridad de la muestra, en especial para bajas concentraciones del constituyente que se quiere analizar. Para este efecto se deben atender las especificaciones del laboratorio. La mayor parte de recipientes son de plástico o de vidrio. El vidrio de silicato de boro es inerte a la mayor parte de constituyentes y es especialmente recomendado para compuestos orgánicos. El polietileno, además de ser barato, es recomendado para compuestos inorgánicos y adsorbe pocos iones metálicos, pero

no debe ser usado para análisis de trazas de compuestos orgánicos tales como pesticidas y sustancias volátiles que pueden difundirse a través de las paredes plásticas. Las muestras sensibles a la luz requieren recipientes de vidrio opaco o no actínico. Para gases disueltos son recomendables botellas de vidrio de boca estrecha con tapones puntiagudos. Para muestras de material biológico se recomienda la esterilización previa.

Para elementos trazadores se recomienda usar sólo polietileno de baja o alta densidad (LPDE y HPDE), disponibles hoy en día. Antes de ser usados, estos recipientes deben descontaminarse guardándolos por lo menos por 24 horas en una solución ultrapura de 10% de HNO₃ y luego enjuagados en agua ultrapura (18,2 MΩ) y preservados en bolsas de polietileno hasta su uso en campo (Pearce, 1991 en OMM, 2008).

Problemas especiales resultan de las tapas de las botellas. Por ejemplo, las muestras alcalinas pueden adherirse a los tapones de vidrio, y las tapas forradas, excepto con teflón, pueden contaminar o adsorber trazas de muestras. Mientras menor sea la concentración de la especie a determinar mayor debe ser la precaución con respecto a recipientes y tapas.

Preservantes químicos

La preservación química es necesaria para la mayor parte de los metales disueltos y herbicidas de ácido fenólico, así como para algunas muestras biológicas. Se recomienda usar volúmenes pequeños de soluciones relativamente concentradas de estos agentes, pues así las correcciones por dilución de los mismos serán pequeñas o despreciables. Se requiere vigilar las posibles interferencias del preservante en el análisis, ya que, por ejemplo, un ácido puede alterar la distribución de los sólidos suspendidos y causar disolución de coloides y partículas metálicas. Por ello, es importante hacer primero la filtración y luego la acidificación.

Congelación

Cuando no es posible el análisis en un tiempo razonable, se recomienda la congelación de la muestra, en particular para aniones como cloruros, sulfatos y nitratos. Sin embargo, ésta no es una regla general de preservación debido a que puede causar cambios físico-químicos, como formación de precipitados y pérdida de gases disueltos. Asimismo, los cambios en los compuestos sólidos debidos a la congelación y descongelación pueden exigir una homogeneización de alta velocidad después del retorno al equilibrio, antes de la realización del análisis. Las muestras de agua no deben jamás ser congeladas en botellas de vidrio.

Refrigeración

Es más común la refrigeración a 4°C, aunque, en algunos casos, ella también puede afectar la solubilidad de algunos constituyentes y hacerlos precipitar. En general, la refrigeración es usada conjuntamente con la adición de preservativos químicos.

Aspectos prácticos de la preservación

- Adoptar una rutina que asegure que todas las muestras que requieran preservación tengan el tratamiento inmediato, en especial en los casos de aditivos químicos que no produzcan un cambio fácilmente detectable en la apariencia de la muestra. En estos casos se recomienda marcar las muestras preservadas para asegurarse de que ninguna sea olvidada o doblemente tratada.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- Adoptar un procedimiento fácil de aplicación de los preservativos químicos, para reducir las posibilidades de error, contaminación o riesgos para la salud, aunque a veces resulte un poco más costoso. Por ejemplo: usar pipetas precalibradas y automáticas que faciliten el trabajo en campo; adicionar los preservativos directamente en el laboratorio antes de que los recipientes sean llevados a campo; usar frascos identificables con diferentes colores o etiquetas y debidamente sellados, que indiquen los preservativos que contienen, previamente medidos en el laboratorio.
- Las tablas 9, 10 y 11 muestran las técnicas de preservación recomendadas para muestras físico-químicas y biológicas.

Tabla 9. Recomendaciones para el volumen de muestra y preservación de muestras según variables.

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado	Almacenamiento máximo regulatorio ⁵
Acidez	P, V(B)	100	s	Refrigerar	24 h	14 d
Alcalinidad	P, V	200	s	Refrigerar	24 h	14 d
DBO	P, V	1000	s,c	Refrigerar	6 h	48 h
Boro	P(PTFE) o cuarzo	1000	s, c	HNO ₃ hasta pH<2, 4°C	28 d	6 meses
Bromuro	P, V	100	s, c	No requiere	28 d	28 d
Carbono orgánico total	V(B)	100	s, c	Analizar inmediatamente; o refrigerar y adicionar HCl, H ₃ PO ₄ o H ₂ SO ₄ hasta pH<2	7 d	28 d
Cianuro: Total	P, V	1000	s, c	Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar en la oscuridad ⁶	24 h	14 d; 24h si presenta sulfuros.
Disponibles a cloración	P, V	1000	s, c	Agregar 0.6 g de ácido ascórbico si tiene cloro y refrigere	No almacenar; analizar inmediatamente.	14 d; 24 h si presenta sulfuros
Cloro residual total	P, V	500	s	Analizar inmediatamente	0.25 h	0.25 h
Clorofila	P, V	500	s	Sin filtrar, guardar en la oscuridad a 4°C Filtrada, guardar en la oscuridad a -20°C (No almacenar en congelamiento)	24-48 h 28 d	
Cloruro	P, V	50	s, c	No requiere	N.E.	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h	48 h
Compuestos orgánicos:						
Tensoactivos: Sustancias activas al azul de metileno	P, V	250	s, c	Refrigerar	48 h	N.E.
Plaguicidas ¹	V(S), tapón de PTFE	1000	s, c	Refrigerar; adicionar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual	7 d	7 d hasta extraer; 40 d después de extraer
Fenoles	P, V, PTFE	500	s, c	Refrigerar; adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	1	28 d hasta extraer
Purgables ¹	V, tapón de	2 x 40	s	Refrigerar; adicionar HCl	7 d	14 d

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado	Almacenamiento máximo regulatorio ⁵
por purga y trampa	PTFE			hasta pH<2; adicionar 1000 mg ácido ascórbico/L si hay cloro residual		
Conductividad específica	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d	28 d
Dióxido de carbono	P, V	100	s	Analizar inmediatamente	0.25 h	N.E.
Dióxido de cloro	P, V	500	s	Analizar inmediatamente	0.25 h	N.E.
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	7 d	28 d
Dureza	P, V	100	s, c	Adicionar HNO ₃ o H ₂ SO ₄ hasta pH<2	6 meses	6 meses
Fluoruro	P	100	s, c	No requiere	28 d	28 d
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h	N.E.
Fósforo total	P, V	100	s, c	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 y refrigerar	28 d	
Gas digestor de lodos	V, botella de gases	—		—	N.E.	
Grasas y aceites	V	1000	s	Adicionar HCl o H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	28 d	28 d
Metales en general	P (A), V(A)	1000	S, c	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar HNO ₃ hasta pH<2	6 meses	6 meses
Cromo VI	P (A), V(A)	1000	s	Refrigerar	24 h	24 h
Cobre por colorimetría ¹			s, c			
Mercurio	P (A), V(A)	1000	s, c	Adicionar HNO ₃ hasta pH<2, refrigerar a 4°C	28 d	28 d
Nitrógeno: Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	7 d	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	1- 2 d	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	ninguna	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	Refrigerar; adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	7 d	28 d
Olor	V	500	s	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	6 h	N.E.
Oxígeno, disuelto: Electrodo Winkler	V, botella DBO	300	s	Analizar inmediatamente La titulación podría tardarse después de la acidificación	0.25 h 8 h	0.25 h 8 h
Ozono	V	1000	s	Análisis inmediato	0.25 h	N.E.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado	Almacenamiento máximo regulatorio ⁵
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	0.25 h	0.25 h
Salinidad	V, sello de cera	240	s	Análisis inmediato o usar sello de cera	6 meses	N.E.
Sílica	P(PTFE) o cuarzo	200	s, c	Refrigerar, no congelar	28 d	28 d
Sólidos ⁷	P, V	200	s, c	Refrigerar	7 d	2-7 d, ver referencia citada
Sulfato	P, V	100	s, c	Refrigerar	28 d	28 d
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; adicionar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; adicionar NaOH hasta pH>9	28 d	7 d
Temperatura	P, V	—	s	Análisis inmediato	0.25 h	0.25 h
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	24 h	48 h
Yoduro	P, V	500	s, c	Análisis inmediato	0.25 h	N.E.

¹ Para detalles adicionales ver el texto y los protocolos respectivos. Para las determinaciones no enumeradas, usar recipientes de vidrio o plástico; preferiblemente refrigerar durante el almacenamiento y analizar lo más pronto posible.

² P = plástico (polietileno o equivalente); V = vidrio; V(A) o P(A) = enjuagado con HNO₃ 1:1; V(B) = vidrio borosilicatado; V(S) = enjuagado con solventes orgánicos o secado en estufa.

³ s = simple o puntual; c = compuesta.

⁴ Refrigerar = almacenar a 4°C ± 2°C, en ausencia de luz. Analizar inmediatamente = analizar usualmente dentro de los 15 minutos de recogida la muestra.

⁵ Ver referencia ⁸ para posibles diferencias contempladas en el envase y requerimientos de preservación. N.E. = No establecido en referencias citadas.

⁶ Si la muestra está clorada, consultar su pretratamiento en el protocolo o en *Standard Methods*.

⁷ U.S. Environmental Protection Agency. 1996. 40 CFR Part 136, Table II

⁸ U.S. Environmental Protection Agency. 1992. Rules and Regulations. 40 CFR Parts 100-149. Fuente: Standard Methods 21th EDITION, 2005.

- En el caso de aguas marinas, la tabla 10 presenta algunas recomendaciones para el volumen de muestra y preservación.

Tabla 10. Recomendaciones para el volumen de muestra y preservación de muestras aguas marinas.

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo de muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado	Almacenamiento máximo regulatorio ⁵
Compuestos orgánicos:						
Plaguicidas Clorados	V(S) tapón de PTFE o sello de aluminio.	1000	s, c	Refrigerar; (en caso de no poder realizar la extracción el mismo día adicionar 50 mL de Diclorometano y agitar)	7 d	7 d hasta extraer; 40 d después de extraer
Plaguicidas	V(S) tapón	1000	s, c	Realizar la extracción el	1 d	40 d después de

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Determinación	Recipiente ²	Volumen mínimo muestra, mL	Tipo de muestra ³	Preservación ⁴	Almacenamiento máximo recomendado	Almacenamiento máximo regulatorio ⁵
Fosforados	de PTFE o sello de aluminio.			mismo día con diclorometano		<i>extraer</i>
Plaguicidas	V(S) tapón	1000	s, c	Adicionar 2 mL de solución	7 d	7 d hasta extraer;
Carbamatos	de PTFE o sello de aluminio.			Buffer de Chlorac ® Pickering		<i>40 d después de extraer</i>
Hidrocarburos	V(S) tapón de PTFE o sello de aluminio.	1000	S, c	Realizar la extracción el mismo día con Hexano y/o diclorometano	1 d	<i>40 d después de extraer</i>
DQO	P, V	100	s, c	No es aplicable para aguas marinas o salobres.		
Materia orgánica oxidable (ensayo sustituto de la DQO para agua de mar)	P, V	500	s, c	Congelar a -20°C sin filtrar	14d	N.E
Fosfato	V(A)	100	s	Para fosfato disuelto filtrar inmediatamente; refrigerar	48 h	N.E.
Fósforo total y Nitrógeno Total	P, V	500	s,c	Colectar suficiente muestra para los dos ensayos, congelar a -20°C sin filtrar	28 d	
Nitrógeno:						
Amoniaco	P, V	500	s, c	Analizar lo más pronto posible, o adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	7 d	28 d
Nitrato	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible o refrigerar	48 h	48 h (28 d para muestras cloradas)
Nitrato + nitrito	P, V	200	s, c	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta pH<2, refrigerar	1- 2 d	28 d
Nitrito	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible; refrigerar	ninguna	48 h
Orgánico, Kjeldahl	P, V	500	s, c	El método Kjeldahl presenta serias dificultades para ser desarrollado en agua de mar, se aconseja el uso de la digestión con persulfato		

Tabla 11. Preservación de muestras biológicas

Parámetro	Material	Técnica	Sitio	Tiempo	Observaciones
Conteo e identificación Macroinvertebrados bentónicos	Vid/Plástico	Adición de etanol	Laboratorio	1 año	
Peces	Vid/Plástico	Adición de formaldeido al 10% (m/m) , 3 g de borato de sodio y 50 ml de glicerol por litro	Laboratorio	1 año	Este análisis debe llevarse a cabo tan pronto como sea posible
Macrófitos	Vid/Plástico	Adición de formaldeido al	Laboratorio		

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Parámetro	Material	Técnica	Sitio	Tiempo	Observaciones
Perifiton	Vidrio	5% (m/m) Adición de formaldeido	Laboratorio	1 año	
Fitoplancton	opaco /Plástico Vidrio opaco /Plástico	neutro al 5% (m/m) y almacenamiento en la oscuridad Adición de formaldeido neutro o mentolado al 5% (m/m) y almacenamiento en la oscuridad	Laboratorio	6 meses	
Zooplancton	Vid/Plástico	Adición de formaldeido al 5% (m/m) o lugol	Laboratorio		
<i>Masa fresca y seca</i> Macroinvertebrados bentónicos					No congelar a -20°C
Macrófitos	Vid/Plástico	Refrigeración entre 2 y 5°C	En el sitio o en el laboratorio	24 horas	El análisis debe realizarse tan pronto como sea posible y antes de 24 horas
Perifiton Fitoplancton Zooplancton Peces			En el sitio		
<i>Masa de ceniza</i> Macroinvertebrados bentónicos		Filtración y refrigeración entre 2 y 5°C	Laboratorio	6 meses	
Macrófitos	Vid/Plástico	Refrigeración a -20°C	Laboratorio	6 meses	
Perifiton		Refrigeración a -20°C	Laboratorio	6 meses	
Fitoplancton		Filtración y refrigeración a - 20°C	Laboratorio	6 meses	
<i>Calosimetría</i>					
Macroinvertebrados bentónicos	Vid/Plástico	Refrigeración entre 2 y 5°C y luego filtración y almacenamiento en un dsecador	Laboratorio	24 h	El análisis debe realizarse tan pronto como sea posible y en todo caso dentro de 24 horas
Fitoplancton Zooplancton					
<i>Pruebas de toxicidad</i>	Vid/Plástico	Refrigeración entre 2 y 5°C Congelación -20°C	Laboratorio	36 h 36 h	El período de pre- servación variará de acuerdo al método de análisis

Fuente: OMM, 1994, 2008.

4.5.4. Procedimientos de análisis de laboratorio

4.5.4.1. Parámetros físicoquímicos

Las variables que necesitan un pretratamiento y determinación en laboratorio, no se pueden medir en tiempo real, sino que se requiere de la recolección de una muestra in situ para su posterior análisis y resultado que en algunos casos puede tomar varios días.

La captura de datos en campo debe estar a cargo de personal profesional y técnico debidamente entrenado, que deben seguir procedimientos de calibración, medición, diligenciamiento de formatos, muestreo, control, envase, embalaje, transporte, preservación y envío de muestras, según los protocolos vigentes.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

En sitios donde son instaladas estaciones automáticas para medir la calidad de las aguas, deben ser realizados frecuentemente calibraciones a los sensores para garantizar la calidad de la información en todo momento, de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

En relación con el monitoreo de vertimientos de establecimientos industriales, la Autoridad Ambiental regional y/o urbana recopila información que se basa en los monitoreos realizados por personal entrenado, propio o contratado, para tomar contramuestras de control y vigilancia de vertimientos cuyos resultados se contrastan con los reportados por el establecimiento. Además cuentan con los formularios de autodeclaración de establecimientos con concesiones de agua, establecimientos identificados por la cámara de comercio regional, por la empresa de acueducto u otras entidades.

Para la toma de muestras y para las determinaciones analíticas in situ y en laboratorios, el IDEAM ha adoptado y tiene a su cargo la difusión de protocolos. De igual manera, INVEMAR ha elaborado y adoptado protocolos para la determinación de parámetros físico-químicos, y contaminantes marinos en aguas, sedimentos y organismos, específicamente para las aguas marinas y costeras que son objeto de su competencia. La tabla 12 muestra la relación de los protocolos elaborados y vigentes a la fecha por estas dos entidades, con base en literatura aceptada y validada internacionalmente por entidades reconocidas por su respaldo científico, principalmente ISO, ASTM, OMM, EPA, AWWA, APHA, WEF. Por tanto, tales protocolos pueden ser aplicados en lo que concierne al Programa Nacional de Monitoreo.

Hasta la fecha la Resolución 176 de 2003 describe el procedimiento de acreditación de laboratorios ambientales a través de la Oficina de Acreditación del IDEAM, la cual depende de la Subdirección de Estudios Ambientales, para evitar conflicto de intereses con el Laboratorio de Calidad Ambiental, el cual pertenece a la Subdirección de hidrología. Como se ha dicho en otros apartes, los protocolos adoptados por el IDEAM e INVEMAR pueden ser consultados en las páginas web de estas entidades.

Complementariamente, la tabla 13 muestra algunos procedimientos de laboratorio recomendados para el análisis de los parámetros propuestos para la red nacional de monitoreo, junto con los equipos necesarios y la precisión de los mismos. En todo caso, cualquier procedimiento que se utilice debe corresponder a un método aprobado o equivalente de una entidad con autoridad técnica reconocida, como la EPA o el Standard Methods de la APHA-AWWA-WEF, UNEP, entre otros.

Tabla 12. Relación de algunos protocolos del IDEAM e INVEMAR

Código	Versión	Fecha	Descripción
PROTOCOLOS IDEAM			
TI0137	02	30/03/2009	Instructivo de muestreo de agua lluvia
TI0187	03	10/09/2007	Instructivo para la toma de muestra de aguas residuales
TI0207	05	06/04/2010	Toma de muestras de aguas superficiales para la red del IDEAM
TP0080	03	28/09/2007	Determinación de pH en agua por electrometría
TP0081	01	10/02/2002	Temperatura del agua
TP0082	02	12/07/2006	Conductividad eléctrica en aguas por el método electrométrico
TP0083	02	22/11/2007	Oxígeno disuelto. Método electrométrico. Medidor YSI
TP0084	01	22/06/2004	Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Código	Versión	Fecha	Descripción
TP0086	05	28/12/2007	Demanda química de oxígeno por reflujo cerrado y volumetría
TP0087	02	04/06/2007	Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría
TP0088	03	02/08/2007	Sólidos suspendidos totales secados a 103-105°C
TP0092	02	29/06/2007	Determinación de nitratos en agua por espectrofotometría UV
TP0093	04	06/02/2009	Determinación de nitrito por espectrofotometría
TP0094	03	16/07/2007	Fósforo soluble en agua por el método del ácido ascórbico
TP0095	03	01/06/2007	Sulfatos en agua por el método nefelométrico
TP0096	02	23/07/2004	Determinación de metales pesados totales con digestión ácida y solubles. Lectura directa por espectrofotometría de absorción atómica
TP0134	02	08/06/2007	Nitrógeno amoniacal en agua por electrodo selectivo de amoníaco ORION
TP0150	02	28/12/2007	Determinación de grasas y aceites en aguas por el método Soxhlet
TP0151	02	31/08/2007	Tensoactivos aniónicos en agua. Método SAAM
TP0153	02	10/07/2007	Sulfuro en agua por volumetría
TP0154	03	28/11/2007	Cianuro total en agua por destilación y determinación con electrodo de ion selectivo
TP0155	02	04/06/2007	Hidrocarburos (HC) en aguas por extracción Soxhlet o líquido-líquido y gravimetría
TP0211	01	01/04/2005	Determinación de alcalinidad por potenciometría
TP0314	03	30/08/2007	Determinación de Escherichia coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en Agar Chromocult
TP0322	02	28/12/2007	Grasas y aceites en agua. Extracción líquido-líquido y gravimetría
TP0340	02	13/05/2004	Fósforo total en agua por digestión ácida, método del ácido ascórbico
TP0341	02	04/10/2007	Dureza total en agua por EDTA por volumetría
TP0351	02	04/10/2007	Determinación de calcio y magnesio en agua por EDTA por volumetría
TP0413	01	14/08/2006	Macroinvertebrados acuáticos. Determinación taxonómica. Conteo
TP0423	02	25/08/2007	Determinación de coliformes totales y E. coli de agua mediante la técnica de sustrato definido Colilert, por el método de Número Más Probable NMP
TP0432	02	16/04/2007	Nitrógeno total en agua por el método semi-micro Kjeldahl, electrodo de amoníaco
TO0436	01	14/06/2007	Sólidos totales secados a 103-105°C
TP0443	01	15/06/2007	Turbiedad por nefelometría (método B)
TP0453	01	30/10/2006	Metales en agua por plasma acoplado por inducción (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn)
TP0456	02	28/12/2007	Fenoles en agua por destilación, extracción con cloroformo y determinación por espectrofotometría
PROTOSCOLOS INVEVAR			
Análisis de nutrientes (Nitratos, nitritos, amonio, fosfatos), y materia orgánica oxidable en agua de mar	01	2003	De acuerdo al Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físico-químicos y contaminantes marinos: aguas sedimentos y organismos. Santa Marta. (Garay et al., 2003)
Análisis de plaguicidas	01	2008	PNUMA. 2008. Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa del Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA Programa Ambiental del Caribe. Kingston. 121p.
SM- 4500-P J	21	2005	Determinación de Nitrógeno y fósforo total en agua de mar, por digestión con persulfato de potasio y determinación colorimétrica por el método del ácido ascórbico (Standard Methods N° 4500-P J)
Metales	21	2005	Extracción con amonio pirrolidin ditiocarbamato (APDC) y metil isobutil cetona (MIBK) que se usa para eliminar la interferencia de sales en aguas marinas Standard Methods 3111-C

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Código	Versión	Fecha	Descripción
Hidrocarburos en aguas			Determinación de hidrocarburos en aguas de mar por extracción líquido – líquido con hexano-diclorometano y determinación por GC-MSD modo SIM (UNESCO/COI, 1982; Garay et al., 2003).

Fuente: IDEAM, página web, 2010.

Tabla 13. Algunos métodos recomendados para análisis en laboratorio

Parámetro	Método	Parámetro	Método
Acidez total	S.M 2310-B	Niquel	S.M 3111-B / S.M 3500-Ni-B
Alcalinidad por CO3	S.M 2320-B	Nitratos	S.M 4500-NO3-B
Alcalinidad por HCO3	S.M 2320-B	Nitritos	S.M 4500-NO2-B
Alcalinidad por OH	S.M.2320-B	Nitrógeno amoniacal	S.M 4500-NH3-C
Alcalinidad total	S.M 2320-B	Nitrógeno orgánico	S.M 4500-N – B
Aluminio	S.M 3111-D / S.M 3500-Al-D	Nitrógeno total kjeldhal	S.M 4500-N-B
		Nitrógeno total y fósforo total en agua de mar	B.M. 4500 - PJ
Antimonio	S.M 3111-B / S.M 3500-Sb-B	Oxígeno disuelto	S.M 4500-O-C
Arsénico	S.M 3114-B / S.M 3500-As-B	Pesticidas organoclorados	S.M 6630-C
B.T.E.X.	Headspace / S.M 6220 –C	Pesticidas organofosforados	S.M 6640-B
Bario	S.M 3111-D / S.M 3500-Ba-B	pH	S.M 4500-H+ B
Berilio	S.M 3111-D / S.M 3500-Be-B	Plata	S.M 3111-B / S.M 3500-Ag-B
Bicarbonatos HCO3	S.M 2320-B	Plomo	S.M 3111-B / S.M 3500-Pb-B
Bifenilpoliclorados (PCB's)	S.M 6431-B	Potasio	S.M 3500-K-D
Boro	Hach 8015	Salinidad	S.M. 4500-CI-C / S.M 2520-B
Cadmio	S.M 3114-B / S.M 3500-Cd-B	Selenio	S.M 3114-B / S.M 3500-Se-C
Calcio	S.M 3114-B / S.M 3500-Ca-B	Sílice de alto rango	Hach 8185
Carbonatos CO3	S.M 2320-B	Sodio	S.M 3500-Na-D
Caudal micromolinete	Micro-molinete	Sólidos disueltos totales	S.M 2540
Caudal molinete	Molinete	Sólidos sedimentables	S.M 2540-F
Caudal volumétrico	Volumen / tiempo	Sólidos suspendidos fijos	S.M 2540-D
Cianuro disociado	Hach-8027-2	Sólidos suspendidos totales	S.M 2540-D
Cianuro libre	Hach-8027-1	Sólidos suspendidos volátiles	S.M 2540-D
Cianuros	Hach 8027	Sólidos totales	S.M 2540-B
Cloro libre	S.M 4500-Cl-G	Sulfatos	EPA 375.4
Cloro residual total	S.M 4500-Cl-G	Sulfitos	S.M 4500-SO3 (2-)-B
Cloruros	S.M 4500-Cl-C	Sulfuros	SM 4500-S2 –FHach 8131
CO2	S.M 2310-B / S.M 4500-CO2 C	Taninos	Hach 8193
Cobalto	S.M 2310-B / S.M 3500-CO-B	Temperatura muestra	S.M 2550-B
Cobre	S.M 2310-B / S.M 3500-Cu-B	Tensoactivos aniónicos	S.M. 5540-C
Color verdadero	Hach 8025	TPH (VOCs)	EPA-5021
Compuestos orgánicos volátiles VOC's	EPA-5021	TPH cromatografía FID	EPA-3510
Conductividad	S.M 2510-B	Transparencia disco Sechi	S.M. 2110
Cromo hexavalente	S.M 3500-Cr BHach 8023	Trihalometanos	S.M 6232-B
Cromo total	S.M 3111-B / S.M 3500-Cr-B	Turbiedad	S.M 2130-B
Cloruros	SM 4500-CL- D	Dureza total	SM 2340-C
DBO5	SM 5210-B	Grasas y aceites	SM 5520-B
DQO	SM 5220-C (No aplicable para agua de mar)	Fenoles	SM 5530-D
Metales en agua	S.M 3120 B	Mercurio en agua	EPA 7470 A, S.M 3112 - B
Metales en agua de mar	S.M.3111		
Metales en sedimento	EPA 3050 B, S.M 3120 B	Mercurio en sedimento	EPA 7471 A, S.M 3112 - B

S.M.: Standard Methods de la American Public Health Association (APHA), American Work Association (AWWA) y Water Environmental Federation (WEF).

EPA: U. S. Environmental Protection Agency

Hach: Hach Company (compañía privada americana fabricante de equipos de medición de calidad de agua).

Headspace: Modelo de ABC Instrumentación Analítica (ABCIA), compañía mexicano-americana fabricante de equipos de medición ambiental, farmacéutica y otras.

4.5.4.2. Parámetros microbiológicos e hidrobiológicos

El IDEAM ha adoptado los siguientes protocolos para determinaciones microbiológicas e hidrobiológicas:

- TP0314 y TP0423: coliformes totales y fecales (ver tabla 13)
- TP0413: macroinvertebrados acuáticos (ver tabla 13)

De igual manera, INVEMAR ha elaborado y adoptado protocolos para determinaciones de parámetros hidrobiológicos en aguas marinas y costeras (ver tabla 12).

Complementariamente, en la sección 4.5.1, Procedimientos de muestreo, se proponen algunos procedimientos de laboratorio adicionales, así:

- Figuras 13, 14 y 15: macroinvertebrados acuáticos
- Figuras 16 y 17: perifiton
- Figura 18: macrófitas
- Figuras 19 y 20: fitoplancton
- Figuras 21 y 22: zooplancton

Para los casos en que el IDEAM no haya adoptado y/o propuesto protocolos de laboratorio, se aceptarán métodos de referencia o equivalentes de la USEPA o Standard Methods de la American Public Health Association (APHA), American Work Association (AWWA) y Water Environmental Federation (WEF), entre otras entidades de referencia (tabla 13).

IDEAM e INVEMAR coordinarán la adopción de procedimientos de determinaciones analíticas de laboratorio. La oficina de acreditación del IDEAM desde el año 2005 administra pruebas interlaboratorio para confirmar la competencia técnica de los laboratorios ambientales que están acreditados o inscritos en el proceso de acreditación bajo la Norma ISO 17025 de los laboratorios pertenecientes a la Red y la adopción de procedimientos homologados, de acuerdo con lo contemplado en la sección 4.7.2.2 del presente protocolo.

4.5.5. Procedimientos para la operación y mantenimiento

Las estaciones de muestreo corresponden en general a estaciones hidrométricas existentes, en el caso de aguas superficiales, o a pozos, en el caso de aguas subterráneas. Por tanto, el mantenimiento de estas instalaciones es el indicado en el Protocolo de niveles y caudales y en el Protocolo de aguas subterráneas.

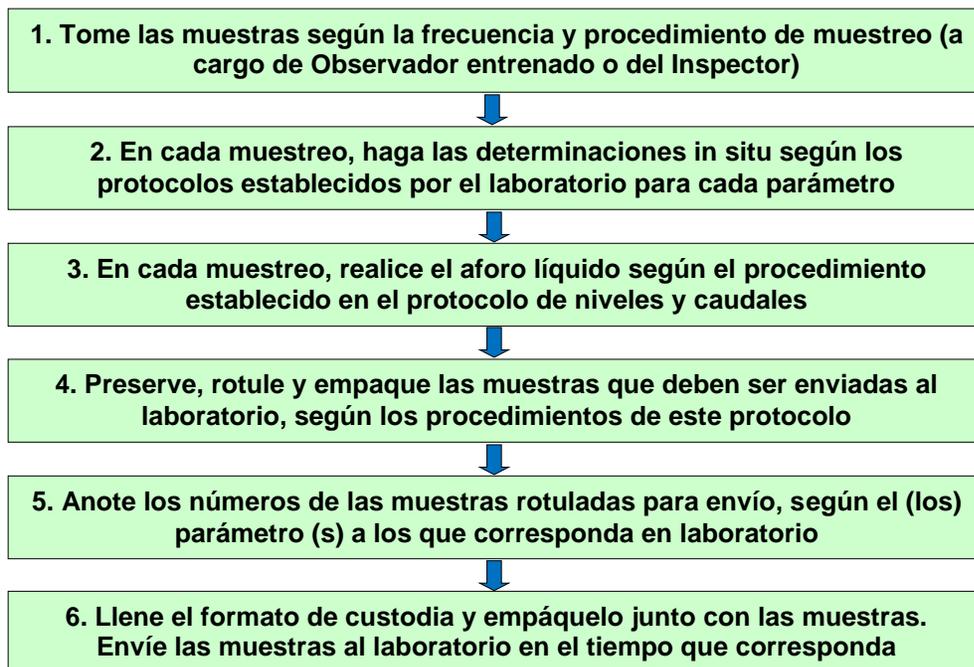
Mención aparte merece el mantenimiento de equipos de muestreo y laboratorio, para lo cual deben seguirse las recomendaciones del fabricante. En los instructivos o protocolos de laboratorio del IDEAM se encuentran igualmente procedimientos para la operación y el mantenimiento rutinario de algunos equipos empleados en los análisis de laboratorio.

Por tanto, no existen procedimientos específicos para mantenimiento de las estaciones de muestreo. La operación se reduce a las actividades listadas en el flujograma de la figura 25.

Es importante anotar que una vez se tengan datos que permitan tener un nivel aceptable de conocimiento sobre la calidad del agua de la corriente objeto de monitoreo, la frecuencia de muestreo podrá reducirse, en especial si no hay una variabilidad importante en las concentraciones. En la sede del Área Operativa o de la entidad correspondiente se hará el tratamiento básico de las muestras, tal como se indica en los procedimientos de muestreo y en la sección 4.5.3, antes de su envío al laboratorio.

Los procedimientos de operación y mantenimiento del laboratorio son establecidos por el propio laboratorio, toda vez que para la acreditación se debe tener implementado un sistema de gestión de calidad con base en los requisitos de la norma NTC/ISO/IEC 17025.

Figura 25. Procedimiento para la operación de las estaciones de calidad de agua



4.6. REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.6.1. Registro de datos en campo

Se distinguen dos tipos de datos, los recolectados in situ y los correspondientes a los análisis del laboratorio.

- Todos los datos se deben capturar en formularios diseñados para el efecto.
- Los datos recogidos en campo se entregan al laboratorio junto con las muestras, con lo cual también se garantiza el soporte documental de la cadena custodia inicial de las muestras recolectadas
- Los datos arrojados por los equipos de medición in situ se transcriben en formularios establecidos.
- Los registros recibidos en el laboratorio se ingresan en una base de datos, una vez se ha dado ingreso a las muestras mediante la asignación de un código o radicado; este código

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

identificará la muestra y los resultados de todos los ensayos de interés.

En el caso de aguas marinas: la recolección en campo de muestras de agua por parte del personal vinculado laboralmente a laboratorio LABCAM, debe incluir si así es requerido y las características del monitoreo lo exigen los tres formatos de campo básicos: a) el Formato de datos de campo, b) el Formato de descripción de estación de campo y c) Formato de etiquetas. Los formatos de campo deben ser entregados por los responsables de la recolección junto con las muestras al personal designado para hacer la recepción y documentación de las muestras que ingresan a laboratorio, de acuerdo al procedimiento establecido en el manual de calidad de LABCAM:

- La identificación interna de cada muestra en LABCAM debe hacerse con un número consecutivo, según su orden de llegada y recepción en el laboratorio.
- El número de identificación consecutivo para cada muestra se debe conservar invariablemente a lo largo de la Cadena de custodia, durante su permanencia en el laboratorio desde su recepción hasta la entrega del informe de resultados.

Los datos generados en el laboratorio se capturan igualmente en formularios apropiados y una vez ha pasado la auditoria de calidad se ingresan a la base de datos; la base de datos tiene varios niveles de restricción, con el fin de mantener la confidencialidad, objetividad e integridad de los datos almacenados.

Los formularios de registros y cuestionarios se diseñan teniendo en cuenta el alcance del programa de monitoreo, pero de manera general se hace necesario mantener como mínimo los siguientes formularios¹¹:

- Formulario para captura de datos de campo para aforo y toma de muestras del monitoreo de agua superficial y subterránea (ver formatos adoptados por IDEAM para Aforo y cálculo de caudal y TF0010 para captura de datos de muestreo de aguas superficiales).
- Formulario de cadena de custodia de muestras.
- Formulario para captura de datos in situ para cada uno de las variables físico - químicas analizadas.

En los casos de monitoreos que efectúen las Autoridades Ambientales regionales, para fines de muestreo y control de vertimientos, impacto ambiental u otros, el IDEAM ha adoptado los siguientes formularios adicionales:

- Constancia de visita de muestreo no efectiva
- Formulario para la caracterización de procesos de los establecimientos visitados
- Formulario para la tipificación de procesos productivos

Estos formatos pueden sufrir cambios periódicos para ajustarlos a cambios en la tecnología de medición o de los procedimientos.

¹¹ Sólo se han contemplado los formatos para la red del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. En la "Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas" del IDEAM se contemplan otros formularios para a) captura datos de campo para aforo y toma de muestras de caracterización de los vertimientos; b) constancia de visita de muestreo no efectiva; c) formulario para la caracterización de procesos de los establecimientos visitados; d) formulario para la tipificación de procesos productivos.

Los formatos de captura que se proponen para muestreos de la calidad del agua superficial y de vertimientos se encuentran disponibles en el documento “Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas”, disponible en el sitio Web: <http://www.IDEAM.gov.co/biblio/paginaabierta/guia.pdf>.

En el caso de las aguas marinas, los datos obtenidos del muestreo REDCAM en campo (*in situ*) y laboratorio son revisados y aprobados o no por el director del laboratorio o el responsable de la validación de los resultados. Los datos validados son enviados al administrador del Sistema de Gestión de Base de Datos en los formatos preestablecidos en el procedimiento (formato digital en hoja Excel) para su posterior almacenamiento en el sistema.

En caso de estaciones automáticas de monitoreo, son aplicables los mismos requerimientos contemplados para las estaciones automáticas de caudales y precipitación.

4.6.2. Entrada de datos al sistema

El ingreso de los datos al sistema de almacenamiento lo realiza el IDEAM en el laboratorio a través de un Subsistema al cual se accede vía web y cada una de las entidades encargadas del monitoreo lo puede hacer a través del recurso informático disponible, a cargo del personal designado, el cual recibe la información en terreno o en laboratorio. La digitación de la información al disco duro del sistema de almacenamiento y operativo consiste en la grabación de los datos contenidos en las carteras diligenciadas en terreno y en ella se cumple el primer control de calidad.

Para la captura y procesamiento de la información de calidad del agua, se puede adoptar un programa o software especializado, que permita grabar interactivamente por pantalla:

- Los datos de identificación de la estación, mes y año de muestreo.
- La información de muestras de calidad de agua previamente depurada en los formatos de campo normalizados.
- La información de las determinaciones *in situ* de calidad del agua: consiste en el registro en un archivo de computador de la cartera de campo de las determinaciones *in situ* realizadas en las estaciones hidrométricas. Los datos deben quedar almacenados en un directorio, identificados por el nombre de la estación y la fecha del muestreo. La validación de los datos debe conllevar como mínimo para cada determinación que si la estación de calidad coincide con una estación hidrológica, que ésta se encuentre en el catálogo, que se identifiquen condiciones y tipo del muestreo y que la fecha del muestreo sea la correcta. El programa debe estar en capacidad de generar un listado de mensajes de error que llevan a corregir o invalidar el muestreo.
- La información del laboratorio: concentraciones de los diversos parámetros físico-químico e hidrobiológicos, por punto y/o vertical, según el método empleado.
- Posibilidad de corregir los datos grabados, utilizando para el efecto un editor de texto

Los datos se deben grabar en las casillas respectivas con sus características y sus correspondientes símbolos, de acuerdo con las instrucciones de los formatos.

En el caso de las aguas marinas: para el ingreso de los datos de la REDCAM, el administrador de base de datos compila los datos suministrados en los formatos de laboratorio, los organiza

según su localización, estación, fecha, variables y crea el código de muestra con un número consecutivo único en la base de datos, el cual se forma teniendo en cuenta una estación, en una fecha, en una hora y un único sustrato. Luego realiza un chequeo de verificación de los datos en cuanto a códigos de variables, unidades de medida, formatos de fecha, entre otros y se estandariza los datos en los formatos preestablecidos en el proceso que son compatibles con el sistema de almacenamiento. Los datos ingresados se validan tomando muestras aleatorias.

4.6.3. Cálculos y procesamiento de datos

Con base en los datos mensuales, semestrales o anuales, el programa debe calcular:

- Concentración mensual, media trimestral, semestral y/o anual del curso de agua objeto de muestreo.
- Caudal del curso de agua correspondiente al nivel leído durante el muestreo, con base en la curva de calibración de la estación (deseable, cuando coincide con una hidrológica).
- Concentraciones mensuales, trimestrales, semestrales y/o anuales. Una vez realizado el control de calidad de los datos, tal como se indica en la sección 4.7, de las concentraciones o valores de calidad del agua, se deben calcular los valores medios, máximos y mínimos para diferentes períodos, mediante el promedio aritmético de las concentraciones correspondientes.
- En aguas marinas, los datos ingresados en la base de datos, son transformados por medio de funciones y algoritmos en estadísticas teniendo en cuenta la agregación espacial (estación, departamento, región o nacional) y temporal (anual, semestral, histórico). Las estadísticas pueden consultarse a través de la página web de Invemar.

4.6.4. Salidas de datos de calidad del agua

Los formatos de salida deben mostrar la siguiente información.

- Relación de información capturada: información grabada en los archivos de datos mensuales, semestrales o anuales para cada estación. El reporte se puede producir en forma global o específicamente para una regional, una estación en particular, y un año determinado.
- Informe de niveles y/o caudales, cuando aplica.
- Informes de valores de concentración. Estos son los datos básicos fundamentales de cada estación, correspondientes a los valores de concentración de los parámetros de calidad del agua que fueron digitados y que no tienen ningún proceso más que el análisis de su calidad. De aquí se pueden extraer los valores medios, máximos y mínimos instantáneos de toda la serie o del período que se desee.
- Con base en los anteriores datos, se pueden generar resúmenes mensuales, semestrales, anuales y multianuales de niveles, caudales y concentraciones (medios, máximos y mínimos).

En casos de estaciones de propiedad de CARs u otros organismos, éstas podrán adoptar formularios de salida similares, a condición que reúnan los mismos datos como mínimo.

Para aguas marinas, los datos se pueden consultar como gráficos y tablas de datos estadísticos con tendencias históricas (series de tiempo) o evaluaciones de la dinámica espacial y temporal

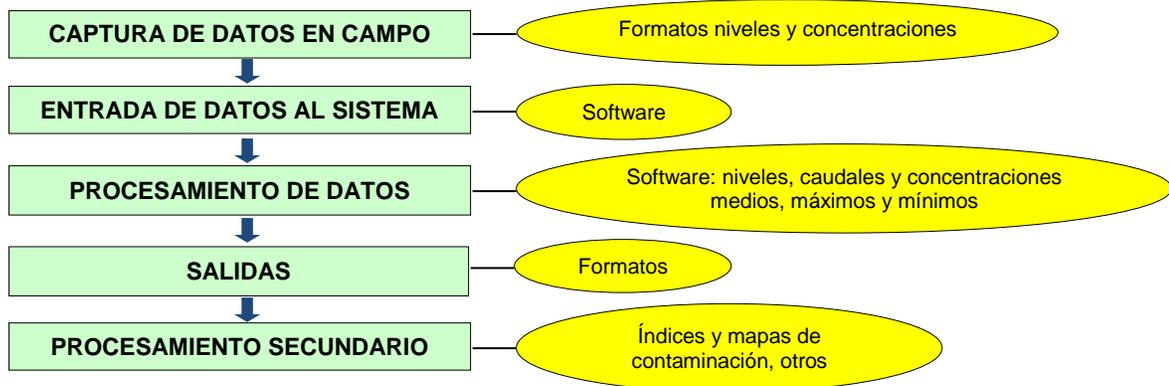
de la calidad del recurso, indicadores, cartografía en línea y los informes técnicos a través de la página web del INVEMAR.

4.6.5. Procesamiento secundario

Previo al procesamiento de los datos de calidad del agua obtenidos en campo y en laboratorio, se deberán cumplir los procedimientos de revisión, verificación y validación de los datos, tal como se describe en la sección 4.7.

Los laboratorios del IDEAM y del INVEMAR elaboran, adoptan y actualizan permanentemente los procedimientos estandarizados para la toma de muestras y análisis in situ y en el laboratorio. Asimismo propone los métodos de procesamiento de datos y cálculos de resultados específicos para los parámetros físicos, químicos y biológicos seleccionados, en el marco de las estaciones que forman parte de la red nacional de monitoreo. Estos parámetros se consideran los mínimos necesarios para determinar las características de la calidad del agua, hacerle seguimiento y poder generar los indicadores básicos mínimos.

Figura 26. Flujograma general del procesamiento básico de la información



Dado el propósito del monitoreo de conocer el estado del recurso hídrico, como complemento necesario al conocimiento de la cantidad del recurso (caudales), el procesamiento secundario a nivel de los datos de la red nacional consistirá en la estimación de índices sintéticos de calidad, que permitan traducir en términos cualitativos el nivel de contaminación del agua, toda vez que para la mayor parte de la población, un dato cuantitativo, como por ejemplo una DBO5 de 5 mg/L, no le dice nada. Para los fines de este Protocolo, se propone estimar los siguientes índices de calidad del agua:

- Índice de calidad de agua superficial ICAfq, del IDEAM
- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)
- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)
- Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)
- Índice de contaminación trófico (ICOTRO).
- Alternativamente se propone calcular el Índice de calidad de agua ICA (NFS-WQI)

Estos datos se pueden organizar espacialmente para determinar el estado del recurso hídrico a nivel de zona hidrográfica y/o cuenca hidrogeológica, elaborando además gráficos y tablas que

muestren sintéticamente el estado del agua a este nivel.

En el Anexo 1 se describe el procedimiento para estimar cada uno de estos índices.

Otras aplicaciones deben ser desarrolladas en el sistema de información para cálculo de gráficas de variación y cálculo de índices específicos de directo significado en el análisis de los datos, gestión del agua y aplicación de la normatividad ambiental.

Para aguas marinas, el INVEMAR utiliza el indicador de calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia (ICAM) para evaluar de forma sintética el recurso hídrico marino-costero que monitorea la REDCAM.

4.7. VALIDACIÓN DE DATOS: CONTROL DE CALIDAD

4.7.1. Verificación

4.7.1.1. Preverificación de los datos en la estación

Esta se lleva a cabo en la propia estación, durante la realización del muestreo. En general, cada estación de la red nacional es visitada una vez por trimestre o semestre. En las estaciones de observación automática se puede utilizar la misma frecuencia, desde que no se presenten problemas de mal funcionamiento. En caso contrario, las visitas de inspección deben ser tan frecuentes como lo exija el manual del equipo registrador.

- La comisión de campo corroborará que se cumplan todos los requisitos técnicos para la realización de la lectura de nivel, para las determinaciones in situ y para la toma de muestras con destino al laboratorio, en particular que se eviten los errores descritos en la tabla 7 del presente protocolo:
 - Uso de muestreadores inadecuados
 - Calibración inadecuada del muestreador
 - Tiempos de llenado inadecuados
 - Tamaño no óptimo de la muestra, según parámetro
 - Empleo inadecuado de botellas
 - Empleo inadecuado de filtros
 - Lecturas mal anotadas o diligenciamiento incompleto de formatos de campo.
 - Anotaciones ilegibles o dudosas.
 - Errores de transcripción a formato electrónico.
- Si se detectan problemas de obstrucción de filtros, se deben realizar labores de limpieza y/o prueba de pozo (en caso de agua subterránea).
- Se debe verificar el correcto funcionamiento de las sondas, sensores o registradores, tal como se explica en las secciones 4.4 y 4.5.
- Se debe eliminar las filtraciones de agua contaminada o agua superficial a los pozos de muestreo, y corregir los problemas de seguridad del mismo (en caso de aguas subterráneas).

Una vez de regreso en la sede, la comisión realiza la revisión de las determinaciones de campo, y revisa, completa el diligenciamiento de los formatos de custodia y envía las muestras al laboratorio.

4.7.1.2. Verificación de los datos sobre el formato

- Se evalúa la calidad de los registros de la medición, según sean: confiables, incompletos o dudosos. Esto se hace mediante el examen de los formatos de campo, de determinaciones in situ y del formulario único nacional de inventario de puntos de agua (en caso de aguas subterráneas), a ser llenado por el inspector:
 - Se verifica que esté anotado correctamente el nombre de la estación, su código, unidad hidrológica, fecha y hora del muestreo.
 - Se verifica el registro de los niveles del agua durante la medición, el instrumento utilizado para muestreo y otros datos requeridos en el formulario.
 - Se revisa la ocurrencia de anotación errada de las determinaciones in situ (pH, oxígeno disuelto, potencial redox, temperatura y conductividad eléctrica).
 - Se observa si hay anotaciones ilegibles o dudosas.
- Luego se procede a la grabación de los datos, siguiendo las especificaciones e instrucciones técnicas del software utilizado por cada entidad. Una vez grabados los datos de la medición de cada estación, se hace una impresión del formulario para confrontar los datos de salida contra los archivos de codificación y así corregir posibles errores de digitación.

4.7.1.3. Verificación de los datos de laboratorio

La verificación del análisis de laboratorio sobre las muestras procesadas se lleva a cabo por el supervisor de laboratorio, mediante la comprobación de que no han ocurrido los errores descritos en la toma de muestras, confirmación del cumplimiento de condiciones de envío y análisis de laboratorio, de acuerdo con lo previsto en el protocolo de calidad del agua y en el presente protocolo (tabla 7 y secciones 4.5.3 y 4.5.4, Procedimientos para preservación de muestras y medición de parámetros físico-químicos).

En particular, se hace hincapié en la necesidad de incluir controles de campo como blancos, duplicados y contramuestras en todo programa de muestreo y análisis.

- Se hacen blancos de los envases y del muestreador, que una vez prelavados se llenan con agua destilada - desionizada, la cual se preserva igual que las muestras.
- Para la realización de análisis por duplicado, se toma suficiente cantidad de muestra (1.000 mL), dependiendo de la conductividad del agua.
- Para las contramuestras se toma igual cantidad de agua para ser enviada a otros laboratorios que tengan homologados sus procedimientos analíticos.

El Laboratorio del IDEAM cuenta con procedimientos para todas las etapas de control de calidad del dato.

En el caso de las aguas marinas, la calidad de los registros se evalúan en el mismo momento que se toman los datos, es decir que el personal de campo tiene la capacitación y competencia para verificar los datos tomados *in situ* con la sonda multiparamétrica; si la sonda arroja una lectura incoherente se recalibra el equipo en campo y se toma una muestra para corroborar

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

esos resultados en laboratorio; ii) luego de llegar de la salida de campo se transcriben en máximo 48 horas después los datos en el formato digital del laboratorio y se entrega al responsable de revisar y verificar uno por uno los datos a conformidad.

4.7.2. Validación de datos

4.7.2.1. Concentraciones

La validación tiene por objeto detectar los errores resultantes de la de observación, ingreso o procesamiento de datos de concentraciones (o parámetros de calidad del agua). Es posible distinguir tres tipos de errores: absolutos, relativos y físico- estadísticos.

- Los errores absolutos son datos o códigos que exceden los valores preestablecidos, por ejemplo, una coordenada geográfica más allá de las coordenadas límites de la jurisdicción o con una precisión menor o mayor a la requerida por la escala; o una cota que no corresponde a la zona de la estación. Una vez detectados los datos erróneos, ya sea visualmente o automáticamente (en la base de datos), se deben corregir.
- Los errores relativos incluyen:

A. Una gama prevista de niveles o concentraciones.

Al inicio de operación de una estación y/o durante las etapas iniciales de desarrollo de la base de datos, se recomienda asignar límites de tolerancia bastante amplios, los cuales pueden ser acotados posteriormente, cuando se logre un mejor conocimiento estadístico de las variaciones del parámetro.

Si bien se requiere un análisis lo más completo posible de las series históricas, las gamas esperadas para el método A deberían ser calculadas para distintos intervalos de tiempo, incluido el intervalo de observación de los datos existentes, debido a que la varianza de los datos disminuye con el incremento de tiempo. Los niveles leídos se podrían comparar inicialmente con una gama esperada de valores para un período de tiempo determinado, por ejemplo, el mes en curso. En forma similar, al final de cada año hidrológico, el promedio para el año en curso se debe comparar con el promedio multianual a largo plazo. Esta técnica es de aplicación general en hidrología a todas las series de datos cronológicos.

Complementariamente, otro control de calidad del dato es comparar el nivel y las concentraciones con las precipitaciones registradas en la cuenca hidrográfica, que, aunque no es una fórmula ideal, sí permite observar la coherencia entre ambos factores hidrológicos.

El análisis en conjunto de estos errores puede llevar al Inspector a eliminar un dato de caudal.

En el caso de aguas marinas la validación de los datos es un proceso integral que involucra el control de los resultados desde los responsables de la cadena de custodia de acuerdo al flujo del proceso desde su recolección, pasando por las diferentes etapas para su análisis hasta el resultado final que lo revisa el Director de Laboratorio, encargado del informe de resultados.

4.7.2.2. Validación de datos en laboratorio

La garantía de calidad es un conjunto de principios de funcionamiento que, si se cumplen estrictamente a lo largo de la toma y el análisis de muestras, generarán datos de calidad reconocida y defendible, proceso en el cual se considera también el control de los rangos inherentes a cada variable, como se anotó antes. En consecuencia, podrá declararse con un alto grado de confianza la exactitud del resultado analítico.

Los procedimientos de control de calidad (PCC) en el laboratorio son el medio por el cual se implementa el Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC). Un PAC usualmente se divide en dos componentes: PCC intra-laboratorio y PCC ínter - laboratorios. Estos procedimientos deben permitir establecer indicadores de exactitud, precisión y porcentaje de recuperación.

El procedimiento de aseguramiento de calidad intra – laboratorio adoptado por el IDEAM, incluye:

- Análisis de blanco de laboratorio o blanco de método, BK. Consiste en correr a través de todo el método y en las mismas condiciones en que se corren las muestras y paralelamente a éstas, por los menos un BK, lo cual se considera suficiente para la mayoría de los métodos. Para algunos métodos no se requiere correr BK y para otros se requiere más de uno, casos en los cuales el analista se debe ceñir a lo dispuesto en el procedimiento correspondiente.
- Análisis de controles. A menos que en el procedimiento se indique lo contrario, con cada lote de muestras se corren dos controles cuya concentración está previamente establecida en el procedimiento del método respectivo. Normalmente, hay una concentración baja (cercana al LDM) y una concentración alta. Sin embargo en los métodos electrométricos y de absorción atómica donde se puede presentar cierta inestabilidad en la lectura, el analista a su juicio puede verificar el comportamiento leyendo nuevamente los controles. Tan pronto se obtengan los resultados de los controles, el analista debe verificar si están dentro de los límites de control. Si no están dentro de estos límites, debe informar inmediatamente al Líder de Análisis para discutir sobre las probables causas y las acciones inmediatas a seguir.
- Análisis de duplicados: Para cada lote de hasta 20 muestras, el analista seleccionará en forma aleatoria una muestra para correrla por duplicado. Para lotes con más de 20 muestras, se procesa un duplicado por cada 20 muestras. Si la diferencia entre duplicados es mayor del 10% el analista debe repetir inmediatamente el análisis de esa muestra por duplicado y dejar la anotación correspondiente en la hoja de captura de datos.
- Estandarización de soluciones titulantes. Cuando se trabaje métodos volumétricos, el analista debe valorar o estandarizar la solución titulante el mismo día y en forma previa a la lectura de muestras. Si el mismo día se va a procesar posteriormente otro lote de muestras, ya no es necesario volver a valorar el titulante siempre y cuando esta solución sea manejada siguiendo las condiciones descritas en el procedimiento.
- Análisis de testigos y adicionados. Estos controles de campo se procesan dentro de un lote de muestras aplicando el método de análisis correspondiente y el resultado se expresa sin redondeo de cifras. Para el caso de los testigos, el contenido del frasco (unos 20 ml aproximadamente) se lleva cuantitativamente a un balón aforado de 500 ml con agua grado reactivo, calidad especificada por el método y se completa a volumen. Para los adicionados, el analista debe medir el volumen que llegó en la botella marcada como adicionado. Si la

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

muestra se filtra, se mide el volumen antes de la filtración. Se registra en la botella, en la hoja de captura de datos y en el formato de filtración, el volumen de líquido.

- Análisis de contramuestras. Es realizado dentro de un lote de muestras por el analista encargado del método y por solicitud del Líder de Análisis. Los resultados se registran en la hoja de captura de datos con el nombre contramuestra seguido de la letra mayúscula que identifica cada Testigo y Adicionado.
- Registros en cartas de control. Tan pronto como el analista termine los procesos de análisis, cálculo de datos y diligenciamiento total de la hoja de captura de datos, debe registrar en la carta de control correspondiente, los valores obtenidos para los Estándares de Control, sin redondeo de cifras y verificando en primera instancia si están dentro de los límites de control (LSC y LIC). Si uno de los dos controles cae por fuera de estos límites, debe informar inmediatamente al líder de análisis o al Oficial de calidad, para tomar las acciones del caso.

Para el procedimiento de aseguramiento de calidad inter – laboratorio se propone¹²:

1. Los laboratorios seleccionados deben estar acreditados o en proceso de acreditación según la norma NTC/ISO/IEC 17025. En lo posible, el número de laboratorios participantes no debe ser menor de 8, al inicio, pero una vez se adquiera experiencia en este tipo de pruebas, este número puede rebajarse a 2 o 3.
2. Entre los deberes de los laboratorios participantes son de destacar:
 - Analizar el material en el tiempo establecido.
 - Cuando el estudio se realiza para evaluar un método analítico, debe seguirse estrictamente lo indicado en el método, sin omitir pasos o cambiar equipos y reactivos.
 - Realizar el número indicado de determinaciones acordadas.
 - Expresar los resultados en la forma que se solicita.
 - Informar los valores según las indicaciones del instructivo entregado con las muestras para análisis.
 - Informar cualquier incidencia ocurrida durante la ejecución del ensayo.
3. Entre los derechos de los laboratorios participantes son de destacar:
 - Recibir con anticipación la metodología a emplear a fin de familiarizarse con ella.
 - Los laboratorios establecerán un sistema de codificación con el objetivo de garantizar la confidencialidad de los resultados, los cuales serán sólo de conocimiento de los dos laboratorios y no podrán utilizarse con fines diferentes a los de la evaluación para los que fue previsto el estudio.
4. Cada laboratorio deberá seguir las indicaciones establecidas para la manipulación de sustancias peligrosas o equipamientos que representan riesgo al personal.
5. Cuando no existan referencias acerca del método analítico que debe emplearse o éstas sean escasas, es necesario realizar estudios pilotos con pocos laboratorios para obtener nociones sobre los índices de precisión y exactitud.
6. El diseño del procedimiento interlaboratorio incluye:
 - Número de laboratorios.
 - Niveles de magnitud. Se recomienda trabajar con 3 niveles (bajo, medio y alto), para cubrir el mayor recorrido de valores posibles y lograr una buena representatividad. Estos niveles se pueden definir en función del límite de detección (LD) y los valores máximos normalmente encontrados del compuesto que se determina en este tipo de ensayo para los sustratos específicos.

¹² Propuesta elaborada con base en Valdés A. O., Luna M. V., Lukse E y García C. Guía para la práctica. Pautas para estudios interlaboratorios de análisis químico". Rev. Cubana de Alimentación y Nutrición, 1995, 9 (1). La Habana. 1995.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- Nivel bajo: Desde LD hasta 0,1 x
Nivel medio: Desde LD + 0,45 x hasta LD + 0,55
Nivel alto: Desde LD + 0,9 x hasta LD + x
Número de réplicas: Lo más usual es 2 ó 3 réplicas.
7. Junto con las muestras se debe enviar un instructivo que incluya por lo menos:
 - Forma de manipular la muestra.
 - Número de réplicas por cada muestra.
 - Forma de expresar los resultados y las cifras significativas a emplear.
 - Datos sobre el control de calidad interno, curvas de calibración y otros.
 - Método analítico empleado (en caso de no evaluarse el método).
 - Tiempo en que deben hacerse los análisis.
 - Cualquier información sobre posibles alteraciones durante la ejecución que se considere, puede influir en la evaluación e interpretación de los resultados.
 8. Cuando se reciben los datos provenientes de los laboratorios, se examinan exhaustivamente y se eliminan los valores anómalos. Posteriormente se pueden aplicar diferentes pruebas estadísticas para eliminar valores de límites, por ejemplo, Dixon y Cochran (ver ISO 5725:86).
 9. Para la evaluación de un método analítico se aplicará la metodología establecida en la ISO 5725:86, donde se informan los valores de media (X), desviación estándar (S), repetibilidad (r) y reproducibilidad interlaboratorio (R).
 10. La evaluación de los laboratorios participantes, se utilizará el coeficiente de variación (CV), donde:
$$CV = (S \times 100)/X$$

Para valores bajos se aceptará CV del 20 %; para valores medios hasta 15 %; para valores altos hasta 10 %.
 11. El índice de exactitud (E) podrá evaluarse mediante la comparación del resultado medio (X) contra el valor certificado o conocido de la muestra (VC), expresado como porcentaje del valor certificado, donde:
$$E = (X - VC) \times 100$$

Este valor no deberá superar el límite 10 %.

También se puede aplicar el estadígrafo t de Student de 2 colas para $P < 0,05$; se consideran como "buenos" los laboratorios donde la diferencia entre sus resultados y los del valor de la muestra certificada no sea significativa.

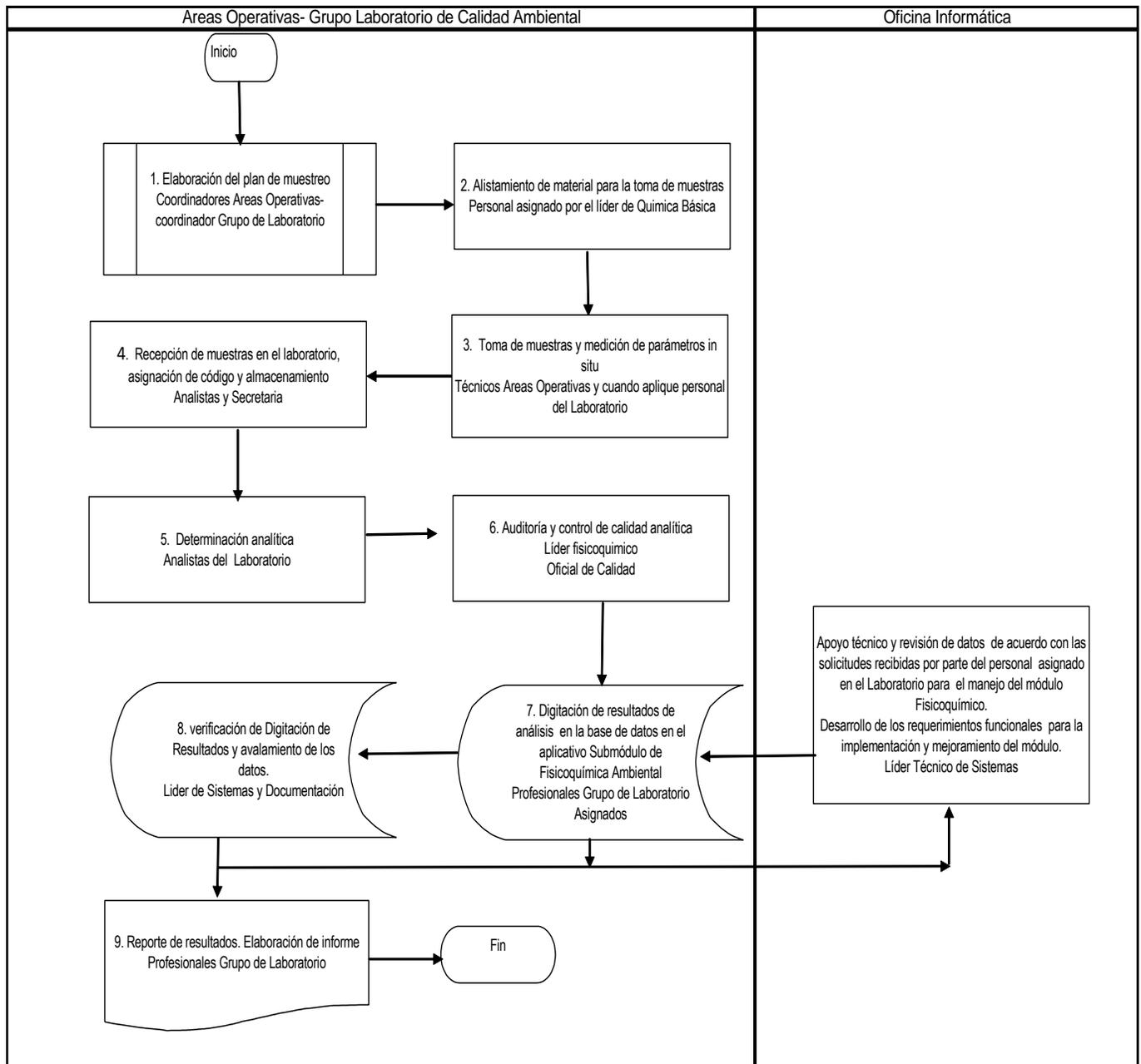
Opcionalmente, pueden hacerse gráficos para observar el comportamiento de blancos y recobrados, lo cual da una noción de las desviaciones producidas por impurezas de reactivos e interferencia respectivamente. Para la mayoría de los análisis químicos se consideran como valores aceptables entre el 80 y 110 %.
 12. Los resultados permiten evaluar los laboratorios participantes con el ánimo de realizar acciones correctivas, las cuales deben presentarse ante la Oficina de Acreditación del IDEAM por el propio laboratorio afectado o pueden tomarse internamente. Dentro de las acciones correctivas son de destacar las siguientes:
 - Asesoría directa y sistemática.
 - Auditorías al sistema de calidad del laboratorio.
 - Capacitación del personal.

En los casos que se acuerde, se podrán enviar sistemáticamente muestras para evaluar el laboratorio por un período determinado.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

La figura 27 muestra un resumen de las actividades de monitoreo de calidad del agua, desde la elaboración del plan de muestreo hasta la entrega de resultados a la Oficina de Informática, pasando por el proceso de control de calidad de los datos.

Figura 27. Diagrama de flujo laboratorio de calidad del agua



Fuente: IDEAM, 2010.

4.7.2.3. Determinación de la homogeneidad de las series de datos

Series mensuales y anuales

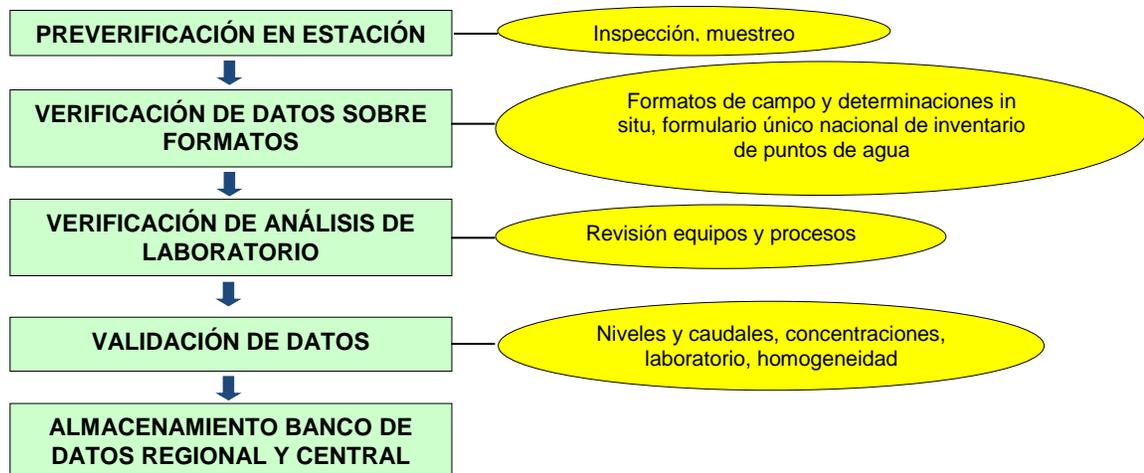
Los procesos hidrometeorológicos, así como otros tipos de procesos naturales, pueden presentar dos tipos de variaciones: variaciones naturales o aleatorias y variaciones causadas por la acción humana. Estos tipos de variabilidad se reflejan en las mediciones, esto es, en las estadísticas del comportamiento de las variables hidrometeorológicas.

Para determinar si las variaciones que se presentan en una serie de información son aleatorias o se deben a causas “asignables”, como errores de medición u otros, se llevan a cabo análisis de homogeneidad, cuyo objeto es detectar no estacionariedades en las series. Este análisis puede enfocarse a determinar cambios en la media o en la variabilidad. También se puede realizar sobre los cambios en variables, como por ejemplo en los niveles o en las concentraciones, o en los atributos de una variable, como sería el caso de determinar en qué casos se alcanza o sobrepasa un valor dado.

Existen distintos métodos y niveles de profundidad en los análisis de homogeneidad. En los textos y estudios de hidrología se pueden encontrar diferentes métodos, tales como gráficas de series de tiempo, gráficos de simple y doble masa, gráficos de cuartiles, gráficos S-S, gráficos suavizados y otros. Los métodos también varían si se trata de detectar cambios en la media, en la tendencia, en la varianza o en la independencia de una serie. No obstante, para los fines del Programa Nacional de Monitoreo se propone utilizar un método sencillo que permita detectar si una serie presenta cambios no aleatorios, para proceder luego a corregirlos o eliminar los datos defectuosos, de ser el caso. Para este efecto se propone el método de las cartas de control, cuya descripción se puede encontrar en textos de hidrología y/o estadística. En cualquier caso, la aplicación de estos métodos debe integrarse al procesamiento automático de la información adaptado por la entidad.

La figura 28 muestra los componentes básicos de la validación de la información de calidad del agua.

Figura 28. Flujograma general de la validación de la información de calidad del agua



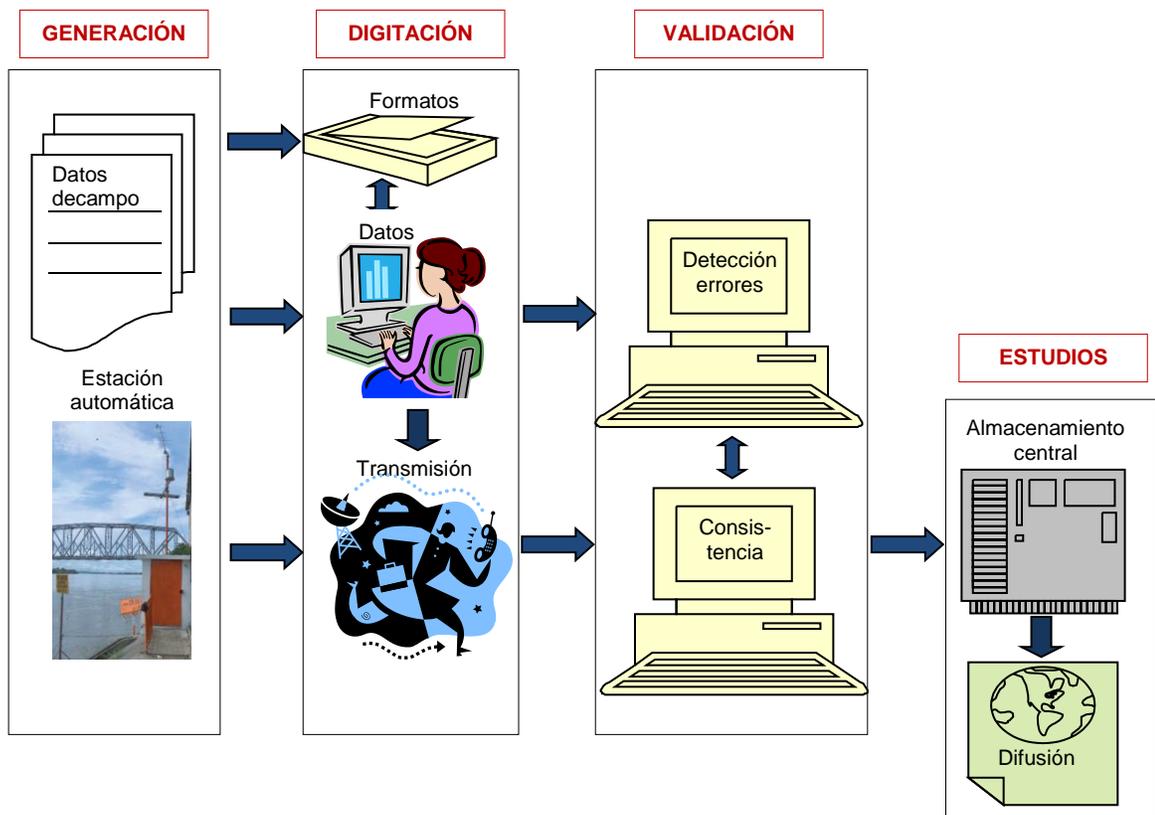
4.8. ALMACENAMIENTO

Con el almacenamiento de datos se ubica toda la información procesada, validada y consistente en el Subsistema respectivo, en donde podrá ser utilizada por usuarios autorizados. En la práctica, se siguen procedimientos similares a la captura y, frecuentemente, estas dos labores no se diferencian. El sistema debe tener la capacidad para mostrar por pantalla todos los archivos disponibles para procesamiento, así como para bajarlos a CD, imprimirlos, consultarlos vía web o enviarlos vía correo electrónico.

Como se anotó en la sección 4.6, el ingreso de los datos al sistema de almacenamiento se hace en el Laboratorio. La digitación de la información al disco duro del sistema de almacenamiento y operativo consiste en la grabación de los datos contenidos en los formatos o carteras diligenciadas en terreno y laboratorio, y en ella se cumple el primer control de calidad, como ya se anotó (ver sección 4.7).

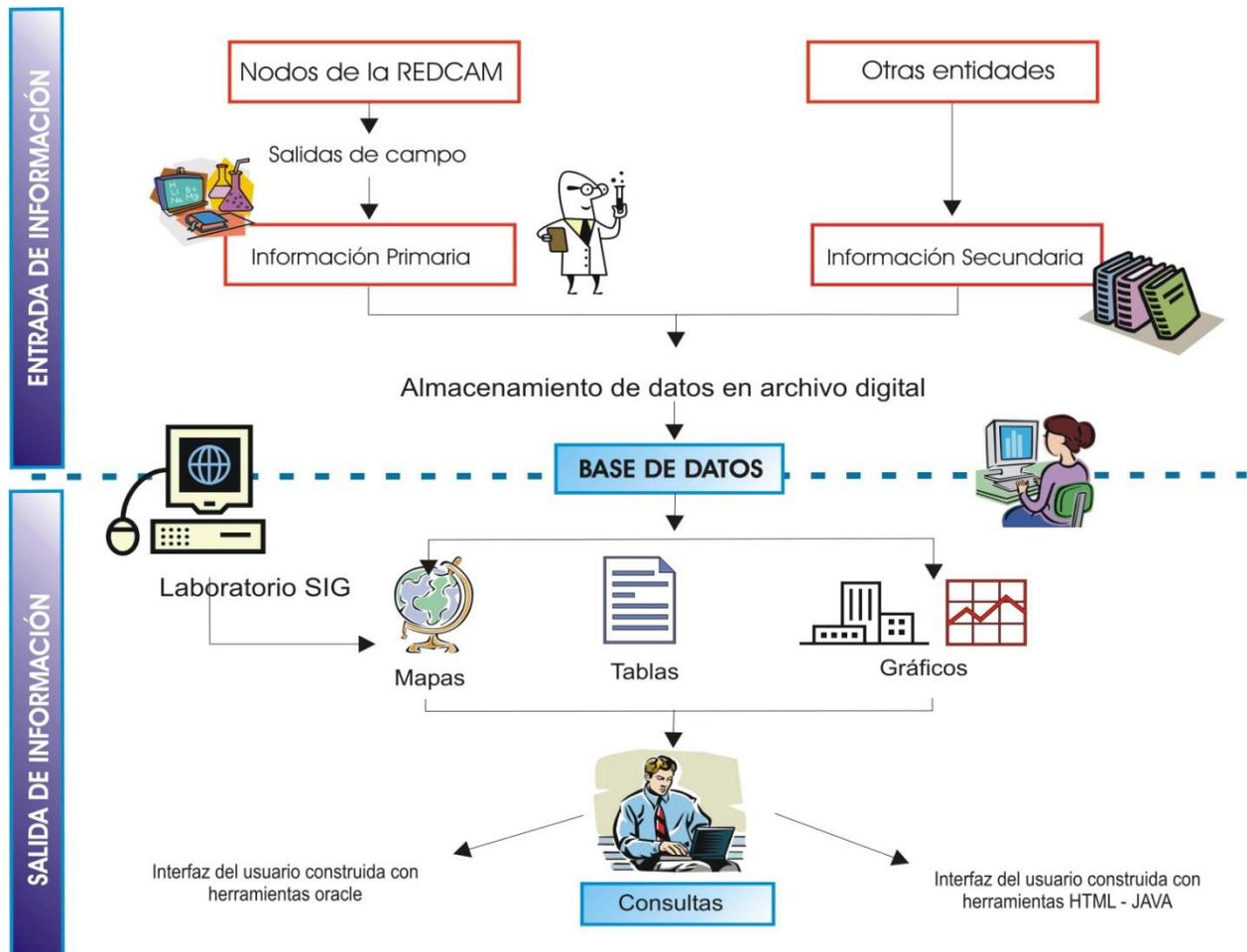
El ingreso de datos al sistema puede variar en función del programa de que se disponga para el efecto, adoptado por la Oficina de Sistemas del IDEAM o de cada entidad operativa. La figura 29 muestra el flujograma general del almacenamiento.

Figura 29. Flujograma general del almacenamiento de la información



En aguas marinas: Los datos e información resultantes de los monitoreos son ingresados a la base de datos del Sistema de Información de la REDCAM (Base de Datos y Cartografía) y se pueden consultar a través de Internet desde el portal de INVEMAR (www.invemar.org.co), ingresando por la página principal de INVEMAR / Datos e Información marina y costera al Servicio monitoreo de los ambientes marinos, luego en el enlace REDCAM se tiene acceso a los datos, estadísticas y cartografía dinámica en línea (figuras 30 y 31).

Figura 30. Flujo de información general de la información en aguas marinas de la REDCAM



4.9. DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

La difusión de los datos de calidad del agua se realizará conforme a las políticas de gestión de información que defina el Consejo Directivo de cada entidad, definiendo la disponibilidad de los diferentes tipos de datos asociados al monitoreo de calidad del agua, las estrategias de entrega de información a usuarios particulares, la disponibilidad para usuarios internos y la divulgación de información en el portal web institucional de cada entidad, de información consolidada de acuerdo con la condición misional de la información.

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

El Decreto 1277 de 1994 indica que le corresponde al IDEAM dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las Entidades Científicas vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente, con las Corporaciones autoridades ambientales y demás entidades del Sistema Nacional Ambiental - SINA. En este sentido las entidades mencionadas anteriormente, deberán coordinar con el IDEAM la estrategia de transmisión de la información o consolidados del monitoreo del recurso hídrico en Colombia para su divulgación en el Sistema de Información Ambiental de Colombia, particularmente en el subsistema de información del recurso hídrico SIRH.

Como referente se cita la resolución 2367 de 2009 sobre Gestión de Datos e Información del IDEAM y donde se adopta el proceso genérico de Gestión de Datos e Información Misional del IDEAM.

La información a divulgar por cada entidad tendrá como prerequisite el cumplimiento del protocolo de monitoreo, que garanticen que la información cumpla con los requisitos de gestión de información en los aspectos de calidad de la información en su carácter de información misional, oportunidad, restricciones de ley, observación de estándares, y documentación.

La difusión de la información marina se hace con la publicación de los datos en el sistema de Información de la REDCAM y a través de publicaciones impresas, como uno de los pasos más importante en el monitoreo. Es la etapa donde se recopilan los productos obtenidos del muestreo (datos, mapas, gráficos, tablas, mapas, documentos, etc.) en un documento, informe técnico, artículo científico, atlas, conceptos técnicos, entre otros, en formato digital o impreso. En esta etapa se hace el análisis de la información y se dan las consideraciones pertinentes de acuerdo al balance de los datos obtenidos y las referencias de otras épocas, otras regiones, niveles permisibles según las legislaciones ambientales nacionales e internacionales sobre calidad ambiental de marina, así como la identificación de fuentes de contaminación y tendencias del comportamiento del recurso hídrico marino-costero.

Figura 31. Donde encontrar más información sobre el sistema de información de la REDCAM



Última actualización: 22/09/2010
Visitantes: 227117

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés"
COLOMBIA 50% MAR

Colombia, Santa Marta D.T.C.H. | Jueves 23 de septiembre de 2010 | 10:30 pm

INV. GESTIÓN MARINA Y COSTERA | CALIDAD AMBIENTAL MARINA | APROVECHAMIENTO DE RECURSOS | BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS | GEOCIENCIAS MARINAS | SERVICIOS CIENTÍFICOS

Programa de Investigación Calidad Ambiental Marina

Descripción General

Líneas de Investigación

Laboratorios de Calidad Ambiental

Red de monitoreo de aguas marinas

Proyectos

Productos

Novedades

Investigadores

Actividades de baño y recreación en la bahía de Santa Marta, Magdalena | Sílvia Narváez F., Prog. Calidad Ambiental Marina - INVEMAR

invemar.org.co / Programa de Investigación Calidad Ambiental Marina /

Descripción General

Una contribución para garantizar un ambiente sano

DATOS E INFORMACIÓN MARINA Y COSTERA

CAMBIO CLIMÁTICO

Monitoreo de los ambientes

REDCAM - Red de monitoreo de la Calidad Ambiental Marina

Información del proyecto

SISMAR - Sistema de soporte al monitoreo las áreas coralinas.

Información del proyecto

Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia - SIAM

Inicio > Productos de Información > RedCAM

Red de Calidad Ambiental Marina REDCAM

Inicio Leg

Estaciones de Monitoreo ::

- Listado de estaciones de monitoreo agrupadas por áreas geográficas o sectores.

Variables muestreadas ::

- Listado de variables muestreadas en los monitoreos.

Módulo de Estadísticas ::

- Filtre, busque y vea el comportamiento de las variables en las estaciones monitoreadas.
- Filtre y busque las estadísticas precalculadas de los parámetros predefinidos.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ANEXOS



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

ANEXO 1. ESTIMACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICAf_q PARA AGUAS SUPERFICIALES

De acuerdo con el IDEAM (2010), el ICA es un número o una clasificación descriptiva de parámetros de calidad (5, 9, 23), cuyo propósito principal es simplificar la información para que pueda ser útil en la toma de decisiones de las autoridades.

Mediante este sistema, se asigna “coeficientes de peso” y calificaciones de concentración para cada parámetro y, con base en ellos, se estima un indicador sintético para un grupo representativo de datos. La tabla 1.1 muestra los parámetros que intervienen en este índice y los pesos o factores de ponderación de cada uno de ellos.

Tabla 1.1. Factores del ICAf_q y coeficientes de ponderación

Variable	Expresada como (I _i) :	Peso de importancia (W _i)
Oxígeno disuelto OD	% de saturación	0,20
Sólidos en suspensión SS	mg/L	0,20
Demanda química de oxígeno DQO	mg/L	0,20
Conductividad eléctrica CE	μS/cm	0,20
pH	Unidades de pH	0,20

Fuente: CAN, 2004, en IDEAM, 2010

La fórmula para la estimación del ICAf_q es la siguiente:

$$ICAf_q = \sum W_i I_i$$

Donde:

W_i: es el coeficiente de ponderación de cada parámetro

I_i: valor de cada parámetro

El procedimiento de cálculo de ICAf_q es el siguiente (IDEAM, 2010):

- Selección de los parámetros
- Determinación de las funciones de calidad (curvas) o de su correspondiente ecuación para cada variable, entendidos como subíndices.
- Asignación de pesos a cada subíndice
- Cálculo agregado del índice a partir de los subíndices, por medio de una expresión matemática.
- De acuerdo con los valores obtenidos, el ICAf_q se clasifica en cinco (5) grupos, como se indica en la tabla 1.2, a cada uno de los cuales se da un color característico.
- Con el color del índice característico de cada estación, se puede generar mapas de puntos, en los cuales cada punto (estación) se representa por el color del índice (ver figura 1.1)

Tabla 1.2. Representación del ICAfq

Descriptor	Ámbito numérico ICAfq	Color
Muy malo	0 – 0,25	Rojo
Malo	0,26 – 0,50	Naranja
Regular	0,51 – 0,70	Amarillo
Aceptable	0,71 – 0,90	Verde
Bueno	0,91 – 1,00	Azul

Fuente: IDEAM, 2010

2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA (NFS-WQI)

Alternativamente y siempre que se disponga de la información necesaria, se propone estimar el Índice de Calidad del Agua ICA (NFS-WQI), que combina nueve (9) parámetros de calidad en un sólo número indicativo de la calidad de una fuente de agua. El resultado del ICA tiene diferentes aplicaciones en (Consortio EPAM-CPT, AMVA, 2008):

- Análisis de tendencias: Se puede aplicar a datos ambientales en diversos puntos en el tiempo para determinar cambios en la calidad del agua.
- Investigación científica: Como medio para reducir un gran número de datos ambientales a una forma que muestren una fácil comprensión del fenómeno evaluado.
- Cumplimiento de los estándares: Pueden ser aplicados en la comparación de condiciones ambientales en diferentes lugares o áreas geográficas.
- Clasificación de sitios: Pueden ser aplicados en la comparación de las condiciones particulares del comportamiento en áreas específicas.
- Asignación de recursos: Aplicados cuando se van a tomar decisiones por parte de los organismos gubernamentales en la asignación y determinación de prioridades.
- Información pública: Pueden ser usados para informar al público acerca de las condiciones de calidad de un agua.

El grado de calidad del agua puede determinarse con ayuda de indicadores determinados mediante mediciones en campo y/o laboratorio, tales como oxígeno disuelto, pH, temperatura, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nutrientes (nitratos y fosfatos), etc. De igual manera, se han desarrollado múltiples índices que combinan el mayor número posible de estos parámetros, uno de los cuales es:

El Índice de Calidad de Aguas-NFS-WQI (National Sanitation Foundation) (en español, ICA) es uno de los más usados y está basado en la propuesta de un índice para calificar el estado de calidad de una fuente de agua. Fue inicialmente usado por Brown, McClelland, Deininger y Tozer y posteriormente respaldado por la National Sanitation Foundation (NSF), y dio como resultado el índice conocido como NSF-WQI o ICA, el cual combina los siguientes parámetros de calidad:

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- % de saturación de oxígeno disuelto.
- NMP de coliformes fecales/100ml.
- pH.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Nitratos.
- Fosfatos totales.
- Desviación de la temperatura de equilibrio (Variación sustancial en países con estaciones).
- Turbiedad.
- Sólidos totales o disueltos según el caso.

En la siguiente fórmula:

$$WQI (ICA) = \sum QiWi$$

Donde:

ICA: Índice de calidad del agua, un numero entre 0 y 100.

Q_i: Calidad del iésimo parámetro obtenido del respectivo grafico de calidad, en función de su concentración o medida

W_i: Valor ponderado correspondiente al iésimo parámetro, atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, mediante un número entre 0 y 1.

A cada parámetro de calidad se le atribuye un peso (W_i), de acuerdo a su importancia dentro de la calificación de la calidad del agua. En la tabla 1.3 se aprecian los diferentes pesos. Las curvas de las figuras 1.2 a 1.5 representan las funciones de los subíndices (Q_i).

Tabla 1.3. Pesos de cada uno de los parámetros incluidos en el NFS-WQI

Parámetro	W _i
Porcentaje de saturación de oxígeno	0,17
NMP coliformes fecales/100 ml	0,16
pH	0,11
Demanda bioquímica de oxígeno	0,11
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Variación de la temperatura en °C	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,07
Total	1,00

Fuente: National Sanitation Foundation (NSF)

Figura 1.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y oxígeno disuelto

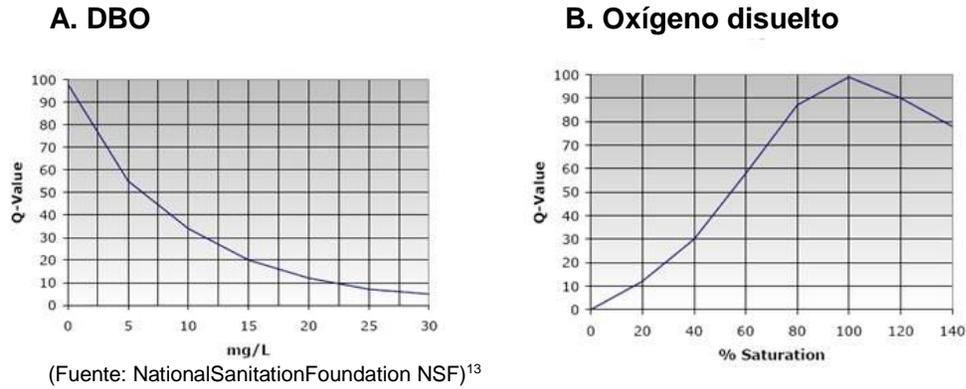


Figura 1.3. Coliformes fecales y nitratos

A. Coliformes fecales B. Nitratos

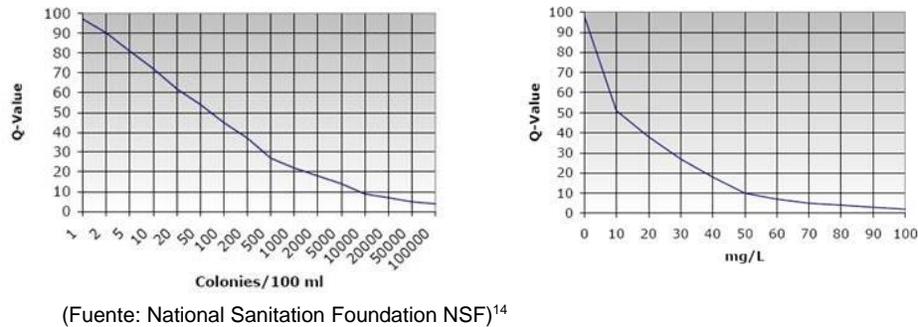
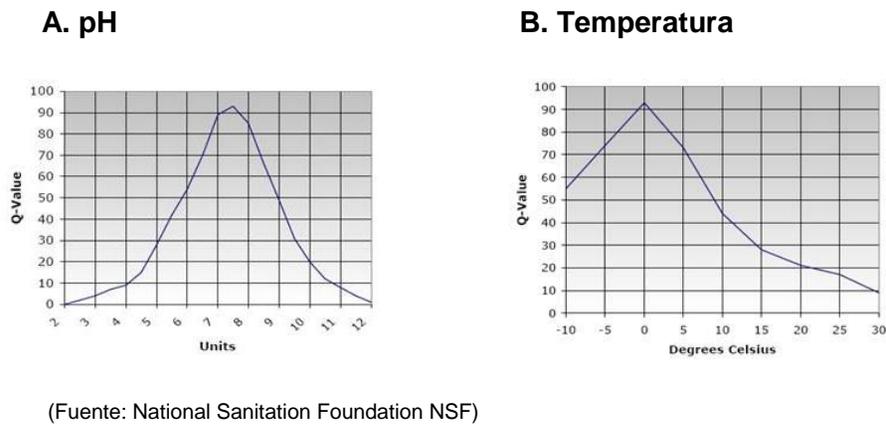


Figura 1.4. pH y temperatura

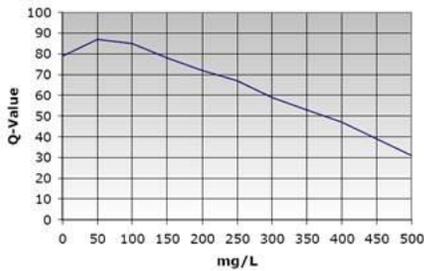


¹³ Por tratarse de una cita textual de la fuente original, se ha respetado el idioma inglés en los nombres de los parámetros

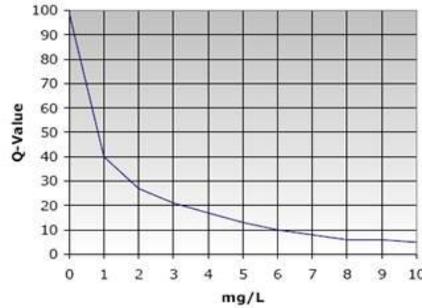
¹⁴ Por tratarse de una cita textual de la fuente original, se ha respetado el idioma inglés en los nombres de los parámetros

Figura 1.5. Sólidos disueltos totales y fósforo

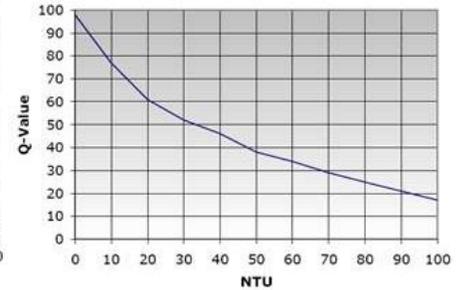
A. Sólidos disueltos



B. Fósforo



C. Turbiedad



Fuente: National Sanitation Foundation NSF

El valor del índice permite definir en palabras, la calidad de las aguas, de acuerdo con la siguiente clasificación (tabla 1.4):

Tabla 1.4. Clasificación de los valores del índice ICA

Valor del índice	Clasificación (Calidad)	Color
0 – 25	Muy mala	Red
26 – 50	Mala	Orange
51 – 70	Media	Yellow
71 – 90	Buena	Green
91 – 100	Excelente	Blue

Fuente: National Sanitation Foundation (NSF)

Para la estimación de los índices de calidad del agua (ICA), los datos se pueden organizar como se muestra en la tabla 1.5. Esta tabla muestra para cada muestreo (según fecha) y para cada estación, los siguientes datos:

- El valor medido de cada parámetro
- La ponderación de cada factor del ICA (según tabla 1.3)
- El Índice Qi obtenido de las figuras 1.3 a 1.6
- El resultado del cálculo del ICA ponderado para cada parámetro
- Al final de la tabla aparece el ICA global por estación y muestreo (NSF) y, resaltada en el color correspondiente según tabla 1.4, la clasificación correspondiente del ICA para el punto.

De acuerdo a los resultados encontrados al calcular el Índice de Calidad del Agua, se observa que las estaciones 1 y 2 conservan una buena calidad del agua, mientras que las estaciones 3 y 4 mantienen una calidad media.

3. ICOMI: ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MINERALIZACIÓN (ICOMI)¹⁵

Incluye variables como conductividad, dureza y alcalinidad entre otros. Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 a 1; índices próximos a cero (0) indican muy baja contaminación, e índices cercanos a uno (1) lo contrario.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$$

Donde:

$$\text{Log}(I_{Conductividad}) = -3.26 + 1.34 \text{Log}[Conductividad(\mu S / cm)]$$

$$\text{Log}(I_{Dureza}) = -9.09 + 4.40 \text{Log}[Dureza(g / m^3)]$$

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005 \text{Alcalinidad}(g / m^3)$$

4. ICOMO: ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA

Incluye variables como oxígeno disuelto, DBO5, y coliformes totales y fecales. Al igual que el ICOMI, este índice es el promedio de cada una de las variables elegidas.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformestotales} + I_{Oxígeno \%})$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{Log}_{10}[DBO(g / m^3)]$$

$$I_{COLTOT} = -1.44 + 0.56 \text{Log}_{10}[Col Tot (NMP)]$$

$$I_{Oxígeno \%} = 1 - 0.01 \text{Oxígeno}(\%)$$

¹⁵ Para la estimación de ICOMI, ICOMO, ICOTRO e ICOSUS se ha seguido el libro de Herrera y otros, Limnología, Bogotá. 2000.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Tabla 1.5. Ejemplo de cálculo del Índice de calidad del agua (ICA)

TRABAJO DE CAMPO 19 DE JUNIO DE 2007					
Punto de muestreo --->		Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Presión atmosférica corregida	(mm de Hg)	594	604	612	623
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Valor medido	7,3	7,9	6,6	6,9
	Factor de corrección	0,781	0,794	0,806	0,819
	%saturación	65%	66%	56%	61%
	OD corregido (mg/L)	6,248	6,275	5,318	5,653
	Porcentaje de ponderación	17%	17%	17%	17%
	Índice I ₁	66,85	67,67	53,20	60,26
	Resultado ICA= Qi*Wi	11,36	11,50	9,04	10,24
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Valor medido	3 E+04	13 E 2	160 E 6	13 E 5
	Porcentaje de ponderación	16%	16%	16%	16%
	Índice I ₂	6,601	19,045	2,000	2,000
	Resultado ICA= Qi*Wi	1,06	3,05	0,32	0,32
pH	Valor medido	7,99	8,05	7,89	8,1
	Porcentaje de ponderación	11%	11%	11%	11%
	Índice I ₃	84,84	83,438	86,942	82,198
	Resultado ICA= Qi*Wi	9,33	9,18	9,56	9,04
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	Valor medido	4,0	4	6,17	4
	Porcentaje de ponderación	11%	11%	11%	11%
	Índice I ₄	69,800	61,553	46,826	61,553
	Resultado ICA= Qi*Wi	7,68	6,77	5,15	6,77
Nitratos (mg N-NO ₃ /L)	Valor medido	1,500	1,500	1,500	1,500
	Porcentaje de ponderación	10%	10%	10%	10%
	Índice I ₅	90,942	90,942	90,942	90,942
	Resultado ICA= Qi*Wi	9,09	9,09	9,09	9,09
Fosfatos (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	Valor medido	0,02	0,02	0,28	0,21
	Porcentaje de ponderación	10%	10%	10%	10%
	Índice I ₆	98,25	97,76	75,85	81,13
	Resultado ICA= Qi*Wi	9,82	9,78	7,58	8,11
Temperatura (°C)	Valor medido	18	18,5	19	22
	Porcentaje de ponderación	10%	10%	10%	10%
	Índice I ₇	94,5	86,3	68,3	68,3
	Resultado ICA= Qi*Wi	9,45	8,63	6,83	6,83
Turbiedad (NTU)	Valor medido	7,28	6,82	8,11	7,18
	Porcentaje de ponderación	8%	8%	8%	8%
	Índice I ₈	81,106	82,014	79,355	79,217
	Resultado ICA= Qi*Wi	6,49	6,56	6,35	6,34
ST (mg ST/L)	Valor medido	80	82	98	118
	Porcentaje de ponderación	7%	7%	7%	7%
	Índice I ₉	85,3	85,2	84,2	82,4
	Resultado ICA= Qi*Wi	5,97	5,96	5,89	5,77
Índice de calidad (NSF)	Valor	70,26	70,5	59,8	62,5
Descriptor de calidad agua	Resultado	BUENO	BUENO	MEDIO	MEDIO

Fuente: Consorcio EPAM-CPT, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2008.

5. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUAS MARINAS Y ESTUARINAS - ICAM

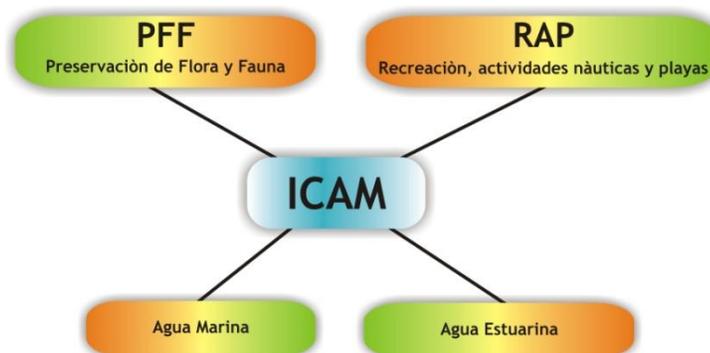
El Indicador de Calidad de Aguas Marinas (ICAM) es un instrumento de referencia utilizado para evaluar la calidad fisicoquímica y sanitaria de las aguas marinas y costeras del país, que se basa en la información disponible sobre los diversos parámetros que se recopilan en la Red de vigilancia de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia REDCAM (Tabla 1.6). El ICAM permite cuantificar el estado de conservación o deterioro del agua marino-costera, de acuerdo a sus características y en función de su destinación en un lugar y tiempo específico. Debido a que la calidad es un atributo que depende de múltiples condiciones naturales y antrópicas, para su cálculo se utilizan de manera integral las variables oxígeno disuelto, pH, salinidad, nitritos, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos, hidrocarburos disueltos y dispersos, organoclorados totales, metales pesados, Coliformes totales y termotolerantes (Marín *et al*, 2003; Vivas-Aguas, 2007).

Tabla 1.6. Categorías del Indicador de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras (ICAM). Tomado de Informe Final del Sistema de Indicadores. Marín *et al.*, 2003.

Color	Calificación	Nivel de riesgo	Rango numérico ICAM (%)
Verde	Excelente- Adecuado	No hay	75 – 100
Amarillo	Bueno - Satisfactorio	Bajo	50 – 75
Naranja	Regular - Deficiente	Medio	25 – 50
Rojo	Malo - Inadecuado	Alto	0 – 25

Cada variable dentro de la ecuación se califica por la concentración medida y se ajusta a las curvas de función o relación de calidad con valores entre 0 y 100 de acuerdo a la escala de valoración descriptiva del ICAM (tabla 1.7), con cuatro categorías (excelente, bueno, regular o malo) asociadas a un color que indica rápidamente la condición del agua evaluada (Marín *et al*, 2003), según el tipo de agua y el uso (Figura 1.7), para preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}), o para recreación, actividades náuticas y pesqueras (ICAM_{RAP}).

Figura 1.7. Estructuración de la batería de indicadores



El Indicador de Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Estuarinas para la Preservación de Flora y Fauna –ICAMPFF, representa el conjunto de variables o características físicas, químicas, biológicas que ésta adquiere a través de diferentes procesos naturales; del contenido

de contaminantes, producto de actividades antropogénicas; de sus valores de aceptación o de rechazo, los cuales deben cumplir con los estándares preestablecidos y que son considerados aptos para proteger el hábitat de una especie o una comunidad de flora o fauna en los ecosistemas marino-costeros (Beamonte *et al.*, 2004; Bianucci *et al.*, 2005).

El Indicador de Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Estuarinas para la Recreación, Actividades náuticas y Playas –ICAMRAP, representa el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas, que describen el estado saludable de un cuerpo de agua para recreación. Esta información permite garantizar el desarrollo de actividades turísticas y la protección de los bañistas, teniendo en cuenta que la aptitud del agua marino-costera para actividades recreativas tiene un papel fundamental en el desarrollo de las poblaciones, ya que estas cumplen con diferentes propósitos en el ámbito social, económico y ambiental (Stewart *et al.*, 2008; Machado y Mourato, 2001). Dentro de este indicador los microorganismos de origen fecal juegan un papel importante para evaluar el riesgo sanitario que favorece el uso de un cuerpo de agua para la recreación, actividades náuticas y playas.

El algoritmo general del ICAM es un promedio ponderado que se resume en la ecuación 1, el cual incluye sumatorias separadas de parámetros fisicoquímicos y contaminantes. Dentro de cada sumatoria, se utiliza la calificación de cada parámetro de la curva, multiplicada por un factor (F_i) que pondera la importancia de cada uno de los parámetros (Marín *et al.*, 2003).

$$ICAM = \sum_{i=1}^n (Q_{iq} \times F_i) - \sum_{i=1}^n (Q_{ct} \times F_i) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Q = es la calidad del agua en función de la concentración de cada una de las variables del ICAM. Q_{iq} es la calificación de fisicoquímicos; mientras que Q_{ct} es la calificación de los contaminantes.

F_i = es el peso asignado a cada una de las variables, según su importancia en la ecuación ponderado entre cero y uno.

En aguas marinas:

$$ICAMPFFM = [(0.21)OD + (0.18)SST + (0.17)PO4 + (0.16)NI + (0.15)pH + (0.13)SAL] - [(0.25)HDD + (0.22)CFS + (0.19)CTT + (0.17)OCT + (0.17)MET]$$

$$ICAMRAPM = [(0.20)SST + (0.18)OD + (0.17)SAL + (0.16)PH + (0.15)PO4 + (0.14)NI] - [(0.25)CFS + (0.23)CTT + (0.19)HDD + (0.17)OCT + (0.16)MET]$$

En aguas estuarinas:

$$ICAMPFFE = [(0.21)OD + (0.18)PO4 + (0.17)NI + (0.16)SAL + (0.15)pH + (0.13)SST] - [(0.24)CTT + (0.23)CFS + (0.19)HDD + (0.18)OCT + (0.18)MET]$$

$$ICAMRAPE = [(0.21)SST + (0.19)OD + (0.17)PO4 + (0.16)NI + (0.14)SAL + (0.13)PH] - [(0.26)CTT + (0.21)CFS + (0.20)HDD + (0.17)OCT + (0.16)MET]$$

Tabla 1.8 Parámetros utilizados para calcular el ICAM.

TIPO	COD	NOMBRE	UNIDAD
Físico/Químicos	NO2	Nitritos	µg/l
Físico/Químicos	NO3	Nitratos	µg/l
Físico/Químicos	PO4	PO4 (Ortofosfatos)	µg/l
Físico/Químicos	OD	Oxígeno Disuelto	mg/l
Físico/Químicos	SST	Sólidos Suspendedos Totales	mg/l
Físico/Químicos	SAL	Salinidad	‰
Físico/Químicos	PH	pH	Unidad
Hidrocarburos del petróleo	HDD	Hidrocarburos disueltos y dispersos	µg/l
Metales traza	CD	Cadmio	mg/l
Metales traza	CR	Cromo	mg/l
Metales traza	PB	Plomo	mg/l
Microbiológicos	CFS	Coliformes Fecales	NMP/100 ml
Microbiológicos	CTT	Coliformes Totales	NMP/100 ml
Plaguicidas organoclorados	OCT	Organoclorados Totales	ng/l

Fuente: Marín *et al.* (2003).

Las curvas de calidad para la estandarización de los valores de los parámetros con el fin de ajustar el indicador a una escala de 0-100 pueden ser consultadas en Marín *et al.* (2003).

6. ICOSUS: ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 \text{sólidos suspendidos (g/m}^3\text{)}$$

sólidos suspendidos por encima de 340 g/m³ tienen ICOSUS = 1

sólidos suspendidos menores a 10 g/m³ tienen ICOSUS = 0

7. ICOTRO: ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICO

Se fundamenta en la concentración del fósforo total, el cual define por sí mismo una categoría discreta, así:

<i>Oligotrófico</i>	< 0.01	(g/m ³)
<i>Mesotrófico</i>	0.01–0.02	(g/m ³)
<i>Eutrófico</i>	0.02–1	(g/m ³)
<i>Hipereutrófico</i>	> 1	(g/m ³)

La tabla 1.9 muestra un ejemplo de organización de los resultados del cálculo de los índices de contaminación propuestos,

	INFORME FINAL	
Contrato No. 214 de 2010 AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN		

Tabla 1.9 Ejemplo de Índices de contaminación

INDICE DE CONTAMINACIÓN, 19 DE JUNIO DE 2007							
Secciones	ICOMI	Observación	ICOMO	Observación	ICOSUS	Observación	ICOTRO
1	0,104	Contaminación muy baja por mineralización	0,57	Contaminación orgánica moderada	0,00	No existe contaminación por sólidos suspendidos	Mesotrófico
2	0,104	Contaminación muy baja por mineralización	0,34	Contaminación orgánica baja	0,025	Muy baja contaminación por sólidos suspendidos	Mesotrófico
3	0,157	Contaminación muy baja por mineralización	0,65	Contaminación orgánica alta	0,037	Muy baja contaminación por sólidos Suspendidos	Eutrófico
4	0,241	Contaminación baja por mineralización	0,59	Contaminación orgánica moderada	0,022	Muy baja contaminación por sólidos suspendidos	Eutrófico

Fuente: Consorcio EPAM-CPT, Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2008.

Estos índices se deberán estimar para cada monitoreo (mes) y cada estación, y serán representados, junto con los parámetros individuales que los conforman, en histogramas de variación mensual, anual e interanual. Con base en los resultados de los índices, se elaborarán mapas de variación espacial de la contaminación, indicando las subzonas donde los índices presentan una clasificación muy mala, mala, media, buena y excelente.

Los valores promedios y máximos encontrados deberán ser comparados con las normas legales vigentes sobre calidad del agua para diferentes usos, con el fin de determinar las limitaciones y posibilidades de uso del recurso.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

Formato 2. Propuesta de lista de chequeo para verificación de campo y laboratorio

		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial					
		SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA –GRUPO DE LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL					
Código:		Fecha elaboración:		Versión:	Página: -- de ---		
LISTA DE CHEQUEO DE VERIFICACIÓN POR CAMPAÑA DE MUESTREO							
Área Operativa:		Zona o cuenca hidrogeológica:		Subzona:			
Corriente o acuífero:		Estaciones:					
Pozos:				Fecha:			
No	Descripción	<input type="checkbox"/>	Descripción	<input type="checkbox"/>	Descripción	<input type="checkbox"/>	
1	Preparación trabajo de campo						
	1.1. Equipos adecuados (según aplique)		- Notificación accidente ARP		- Neveras icopor		
	- PHmetro calibrado		- Documentos identificación		- Frasco lavador		
	- Conductímetro calibrado		1.3. Reactivos		- Toalla papel absorbente		
	- Termómetro calibrado		- Para oxígeno disuelto (s/método)		- Cinta pegante y enmascarar		
	- Kit oxígeno disuelto		- Preservantes: H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , HCl, NaOH, Acetato de zinc		- Bolsa para basura		
	- Turbidímetro calibrado		- Agua desionizada o destilada		- Esfero y marcador tinta ind.		
	- Disco Secchi		1.4. Materiales		- Tabla portapapeles y bolsa		
	1.2 Formatos		- Balde de muestreo con lazo		- Guantes		
	- Captura		- Balde plástico llave, 10 lit		- Bolsas plásticas sedimentos		
	- Cadena custodia		- Tubo PVC 60 cm para agitar		- Pala plástica o guantes cauc		
	- Instructivos métodos campo		- Botellas plástico				
	- GPS		- Botellas vidrio				
			- Muestreadores				
Observaciones revisor:							
2	Determinaciones de campo						
	Parámetro		Método	<input type="checkbox"/>	Parámetro	Método	<input type="checkbox"/>
	Temperatura				Oxígeno disuelto		
	pH				Turbiedad		
	Conductividad eléctrica				Transparencia		
Observaciones verificador:							
3	Envase y envío de muestras al laboratorio						
	Descripción		Parámetros	<input type="checkbox"/>	Descripción	Parámetros	<input type="checkbox"/>
	Botellas plásticas				Uso preservantes		
	Botellas de vidrio				Formato captura		
	Bolsas adecuadas				Formato custodia		
	Rótulos completos				Hielo		
Observaciones verificador:							
Nombre verificador campo:		Fecha:		Ciudad:			
4	Determinaciones de laboratorio						
	Parámetro		Método	<input type="checkbox"/>	Parámetro	Método	<input type="checkbox"/>
Observaciones verificador:							
Nombre verificador laboratorio:		Fecha:		Ciudad:			

BIBLIOGRAFÍA

BEAMONTE, E., A. Casino, E. Veres y J. Bermúdez. Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana. Estadística Española. 46 (156): 357 – 384. Valencia, España. 2004.

BIANUCCI, S.P., A.R. Ruperto, C.A. Depettris y M.T. Clemente. Aplicación de indicadores de impacto ambiental al estudio de calidad de aguas continentales: caso de la laguna Los Lirios, Resistencia, Argentina. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Resumen T-0.38. UNNE: www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-038.pdf. Resistencia, Arg. 2005.

EPAM-CPT, ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Plan de ordenación y manejo de la microcuenca de la quebrada La Grande. Medellín. 2008.

IDEAM – GAITÁN, M. E. Análisis fisicoquímico de muestras. NTCGP 1000:2004. MECI 1000: 2005. Código: GI PD 07. Versión No.2. Bogotá. 2010.

IDEAM. Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM. Instructivo TI0207 Versión 05. Bogotá. 2010.

IDEAM. Estudio Nacional del Agua. Bogotá. 2010.

IDEAM – CORTÉS, S., G., Diagnóstico de la calidad del recurso hídrico superficial. Bogotá. 2009.

IDEAM. pH en agua por electrometría. Instructivo TP0080. Versión 03. Bogotá. 2007.

IDEAM - SÁNCHEZ, L. F. D. Guía y protocolos del monitoreo y seguimiento del agua. Contrato de servicios de consultoría No. C – 0427 – 05. Bogotá. 2005.

IDEAM - GÓMEZ, J. & ORJUELA, C. Procedimientos y Métodos de recolección datos de calidad del agua. Versión 13. Bogotá. 2004.

IDEAM – VARGAS, M., N., O. Monitoreo de aguas subterráneas. Versión 13. Bogotá. 2004.

IDEAM. Red de calidad de aguas lluvias. Bogotá. 2004.

IDEAM. Red básica de calidad del agua. Primer taller de socialización del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. Bogotá. 2010.

IDEAM. Protocolos de calidad del agua. Página web institucional. Bogotá. 2010.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-1 Calidad de agua. Muestreo. Guía para el diseño de programas de muestreo.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-2 Calidad de agua. Muestreo. Guía para las Técnicas de muestreo.

Contrato No. 214 de 2010
AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN

- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3 Calidad de agua. Muestreo Guía para la preservación y manejo de las muestras.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-4 Calidad de agua. Muestreo. Guía para muestreo de lagos.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5. Gestión Ambiental. Calidad de Agua. Guía para el muestreo de agua potable y agua utilizada para alimentos y procesamiento de bebidas
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-6 Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de ríos y corrientes.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-8 Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de depósitos húmedos.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-9 Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas marinas.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-10 Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas residuales
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-11 Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-12 ICONTEC. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de sedimentos de fondo
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-13 Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-14. Guía para el control de la calidad en el muestreo y el manejo de agua ambiental.
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-15. Calidad de agua. Muestreo. Guía para la preservación y manejo de muestras de lodos y sedimentos
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-16. Calidad de agua. Muestreo. Guía para los bioensayos de las muestras
- ICONTEC. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-17. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de sedimentos suspendidos
- ICONTEC. Guía Técnica Colombiana GTC 100 Calidad del Agua. Guía para los procedimientos de cadena de custodia de muestras
- MACHADO, F y S. Mourato. Evaluating the multiple benefits of marine water quality improvements: how important are health risk reductions?. Journal of Environmental Management, 65: 239-250.

MARÍN B., L. Martín, J.L. Garay, W. Troncoso, J. Betancourt, M. Gómez, J. Acosta, J. Vivas y A. Vélez. Sistema de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia - SISCAM. Programa Calidad Ambiental Marina, Informe Técnico Final, INVEMAR. 184 p. Cartagena. 2003.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. Guía de prácticas hidrológicas. (5),210-213, 217-220, 223. Ginebra. 1994.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 21 ed., 2005 New York.

STEWART, J., R. Gast, R. Fujioka, H. Solo-Gabriele, J. Meschke, L. Amaral-Zettler y E. del Castillo, et al. 2008. The coastal environment and human health: microbial indicators, pathogens, sentinels and reservoirs. Environmental Health, 7 (2): S3

SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO. Informe de calidad del agua en Colombia 2004. Bogotá. 2005.

UNESCO, WHO. Water Quality Surveys. Studies and Reports in Hidrology. París. 1978.

VALDÉS A. O., LUNA M. V., LUKSE E Y GARCÍA C. Guía para la práctica. Pautas para estudios interlaboratorios de análisis químico". Rev. Cubana de Alimentación y Nutrición, 1995, 9 (1). La Habana. 1995.

VARGAS, O. Propuesta para la formulación, diseño e implementación de la Red básica nacional de seguimiento y muestreo de aguas subterráneas. IDEAM. Bogotá. 2001.

VARGAS O. Protocolo del agua: Monitoreo de aguas subterráneas. IDEAM. Bogotá, 2010.

VIVAS-Aguas, L.J. Calibración, validación e implementación de la batería de indicadores de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe Técnico de consultoría No. 0550-06. Convenio No. 001/04 OEI- MAVDT-IDEAM-INVEMAR. 41 p. Cartagena. 2007.

VRBA, J. (2002). Groundwater quality monitoring network. Praga. 2002.

WMO, World Meteorological Organization. Manual on Stream Gauging. Vol I y II. WMO No 1044. Geneve. 2010.

WMO, World Meteorological Organization. Guide to hydrological practices. Vol I y II. WMO No 168. Geneve. 2008.

WMO, World Meteorological Organization. Manual on Sediment Management and Measurement. WMO No 948. Geneve. 2003.

WMO, World Meteorological Organization. Guidelines for Computerized Data Processing in Operational Hydrology and Land and Water Management. WMO No 1634. Geneve.1985.



INFORME FINAL

epam s.a. esp

Contrato No. 214 de 2010

AJUSTAR EL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO Y LA DETERMINACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SU IMPLEMENTACIÓN