



INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

GUIA PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA

ELABORADO POR:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

CON LA PARTICIPACIÓN DE:

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis -INVEMAR-
Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE-

IDEAM

Claudia Yaneth Contreras Trujillo
Nelson Omar Vargas Martínez
Luz Consuelo Orjuela Orjuela
Raquel Vanegas Sarmiento

Jeremías Gómez Cardenas
Alicia Barón Leguizamón
Maria Liseth Rodríguez Montenegro

INVEMAR

Walberto Troncoso

DANE

Maria Carmenza González Ramírez
Martha Poveda Gómez.

Jaime Pérez
Mónica Rodríguez Díaz

Bogotá D.C., Julio de 2004

INDICE

- 1- ALCANCE
- 2- MARCO JURÍDICO
- 3- OBJETIVOS
- 4- MARCO CONCEPTUAL
- 5- INDICADORES MINIMOS NECESARIOS DEL PROGRAMA DE MUESTREO Y SEGUIMIENTO
- 6- RED DE MONITOREO
- 7- MONTAJE Y OPERACIÓN DE LA RED
- 8- SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA
- 9- ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA GUIA

BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

SIGLAS

ANEXOS

1- ALCANCE

La presente Guía, integra los lineamientos básicos que se deben tener en cuenta para un programa de monitoreo del recurso hídrico en los ámbitos continental y marino. Su marco conceptual permite reconocer la importancia del control y seguimiento sistemático del estado del recurso en cantidad y calidad con base en indicadores de oferta, demanda e impacto por actividad antrópica. La información obtenida permitirá legitimar y optimizar la toma de decisiones y el diseño de políticas orientadas a garantizar la sostenibilidad del recurso. Además el documento integra los protocolos para el monitoreo del recurso hídrico de tal manera que puedan estandarizarse métodos y procedimientos para el cumplimiento de las normas que sobre el seguimiento al estado (en cantidad y calidad) del recurso hídrico deben adelantar las autoridades ambientales.

Los protocolos propuestos en el presente documento, se constituyen en los elementos necesarios para la consolidación del sistema de información del recurso hídrico, herramienta básica para la aplicabilidad de la guía en las Corporaciones Autónomas Regionales y Unidades Ambientales de Grandes Centros Urbanos. En este sentido, se pretende sentar las bases para la provisión de información estadística básica para la gestión del agua y el cumplimiento del ejercicio de autoridad ambiental, particularmente en la aplicación de los instrumentos económicos previstos para su uso y conservación.

Para la conceptualización de elementos del marco estadístico, los cuales deben estar claramente definido dentro del sistema de información generado a partir del programa de monitoreo, se cuenta con el acompañamiento del DANE, y para los lineamientos en cuanto al monitoreo del estado de las aguas marinas y costeras se establece una alianza con INVEMAR, quien realiza el monitoreo y seguimiento de estos cuerpos de agua.

Es evidente que el documento pretende abordar un tema bastante extenso por la diversidad de aspectos que deben ser tratados, cuando de monitoreo del recurso hídrico se refiere, sin embargo tras evaluar diferentes posibilidades se ha optado por vertebrar el documento en 9 capítulos los cuales están encadenados entre sí.

En las primeras tres partes, referidas a Alcance, Marco Jurídico y Objetivos, se hace una exposición de hasta donde se llegará con el documento, los antecedentes normativos que en Colombia se han dado en torno a la temática de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico y la explicación de razones y objetivos que han llevado a la decisión de elaborar y presentar el documento.

Las partes cuarta y quinta se ocuparán de describir el marco conceptual que explica el recurso hídrico, descrito por el ciclo hidrológico desde su condición natural hasta su afectación por la presión antrópica manifiesta en los procesos de degradación y contaminación del agua, y los indicadores mínimos necesarios para dar respuesta a aspectos sobre el recurso hídrico en cuanto a su estado, uso, cumplimiento de la normatividad, seguimiento a la sostenibilidad y las alertas tempranas para mitigar los desastres.

A partir del capítulo sexto, de naturaleza básicamente técnica y expositiva, se refleja el estado del arte en lo referente al levantamiento y flujo de información básica para el monitoreo y

seguimiento del recurso hídrico, contando con una red, diseñada u optimizada espacialmente y con definición de las variables y frecuencia del monitoreo, de acuerdo con los objetivos que esta persiga. El capítulo séptimo esta limitado a la descripción de aspectos relacionados con el montaje y operación de la red.

Se ha considerado necesario en el capítulo 8 presentar de manera general aspectos relacionados con el Sistema de Información del Recurso Hídrico en Colombia el cual abarca todos los procesos que involucran el flujo de la información de todos los universos en los cuales están presentes el agua, en términos de oferta y demanda, incluyendo el control de calidad como proceso transversal en las diferentes fases del flujo de la información. Para finalizar, en el capítulo noveno se mencionan las estrategias para la implementación de la guía por parte de las entidades ambientales responsables de administrar el recurso hídrico.

2- MARCO JURIDICO

La pertinencia técnica de la elaboración de protocolos para aguas continentales y marinas en el marco del Sistema Nacional Ambiental está sustentada en el marco legal ambiental que le atribuye funciones específicas al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” INVEMAR, en esta materia. Esta política nacional apoya los lineamientos internacionales, acordados en la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo” celebrada en Río de Janeiro a principios de junio de 1992, la cual a su vez recoge los resultados de las agendas internacionales anteriores sobre medio ambiente realizadas en Dublín, abril de 1997, y Estocolmo, mayo de 1999. De manera particular en el acuerdo de Río se reconoce la necesidad de mantener un seguimiento constante de las fuentes, la cantidad, la calidad y la fiabilidad del agua, así como de las actividades humanas que afecten a ese recurso.

Esta intención se refrenda en la “Conferencia Internacional sobre el Agua Dulce: El Agua una de las Claves del Desarrollo Sostenible” (Bonn, Alemania. 2001) y en los tres foros mundiales del agua realizados hasta el momento.

En Colombia la legislación ha intentado generar todo un marco jurídico en torno a lo que es la protección de los recursos naturales en la parte continental (Código de los Recursos Naturales- Decreto 2811/74), mientras que en lo marino se han realizado esfuerzos para disminuir los derrames de hidrocarburos y las emisiones de los puertos (Ley 9/79-Decreto 1594/84; Ley 12/81; Ley 12/92; Decreto 2190/95). También se han dictado disposiciones que pretenden reglamentar el aprovechamiento de los recursos marinos (Decreto 1877 de 1977), así como otras disposiciones que se derivan de la proclamación de la Constitución Política de Colombia de 1991. Por su parte, el Decreto 1594 de 1984, que reglamenta el uso del agua y vertimientos líquidos, aborda el tema de la descarga de sustancias de interés sanitario según los usos del recurso hídrico.

La ley 99 de 1993 en la vía del ordenamiento administrativo e institucional crea el IDEAM y el INVEMAR, organizados y establecidos por el Decreto 1277 de 1994 y el Decreto 1276 de 1994 respectivamente. Estos son dos de los cinco Institutos de Investigación adscritos al Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y en el marco de sus funciones se encuentra el apoyo técnico científico a este Ministerio y a las entidades del Sistema Nacional Ambiental -SINA. Se prevé en este contexto legal que los institutos referidos dentro del ámbito de su competencia

deben definir los estudios, investigaciones, inventarios y actividades de seguimiento y manejo de información que sirvan para fundamentar la toma de decisiones en materia de política ambiental y además debe suministrar las bases para el establecimiento de las normas, disposiciones, y regulaciones para el ordenamiento territorial, el manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables.

En relación con la articulación con las Corporaciones Autónomas Regionales entre otras el decreto 1277 prevé que el IDEAM:

1. Asesorará las CAR en la implementación y operación del Sistema de Información Ambiental, de acuerdo con las directrices trazadas por el MAVDT,
2. Mantendrá la información sobre los usos de los recursos naturales renovables en especial, agua, suelo y aire y de los factores que los contaminen y afecten o deterioren en colaboración con las Corporaciones, suministrará a las CAR información para el establecimiento de estándares y normas de calidad ambiental.

En relación con el SINA se contempla por parte del IDEAM, en este mismo decreto, la asesoría en toma de datos y manejo de información. Otras funciones están vinculadas a la realización de estudios e investigaciones, junto con otras entidades, relacionadas con la fijación de parámetros sobre emisiones contaminantes, vertimientos y demás factores de deterioro del ambiente o los recursos naturales renovables.

En concordancia con esta articulación, la Ley 99 en el artículo 31 numeral 22 dispone que las Corporaciones Autónomas Regionales deben “Implantar y operar el Sistema de Información Ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente”.

En el decreto 1600 de 1994 por el cual se reglamenta parcialmente el SINA en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental, se contempla que el IDEAM propondrá al MAVDT, protocolos, metodologías, normas y estándares para el acopio de datos, el procesamiento, transmisión, análisis y difusión de la información que sobre el medio ambiente y los recursos naturales realicen los Institutos de Investigación Ambiental, las Corporaciones y demás entidades que hacen parte del Sistema Nacional Ambiental. Además de 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 y demás entidades SINA

En este mismo decreto se establece al IDEAM la función de llevar los registros de vertimientos, emisiones y demás factores que afecten el agua, el suelo, el aire, el clima y la biodiversidad, en coordinación con las Corporaciones, los entes de control ambiental urbano y las instituciones de investigación relacionadas con los recursos mencionados.

En el decreto 3100 del 30 de octubre de 2003 “por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones” se enuncia que “los métodos analíticos utilizados para la toma y análisis de las muestras de vertimientos, base de la caracterización a que hace referencia el artículo anterior, serán establecidos por el IDEAM. En ausencia de éstos se aplicarán los métodos establecidos en el capítulo XIV del Decreto 1594 de 1984, o normas que lo modifiquen o sustituyan. A su vez el decreto 155 de 2004 que reglamenta las tasas por uso con un enfoque de

renovabilidad sostenible prevé el cobro de las mismas a partir de indicadores de oferta y demanda que requieren de protocolos para garantizar su fiabilidad.

Adicionalmente se añade que Colombia es país miembro de la Organización Meteorología Mundial -OMM, desde hace 35 años, con la creación en su momento del Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología, funciones que posteriormente fueron asumidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT, y que actualmente realiza el IDEAM, de acuerdo con la ley 99 de 1993, en la cual le traslada, entre otras, las funciones que en materia de hidrología tenía asignadas HIMAT y toda la información, archivos, laboratorios, centros de procesamiento de información y elementos relacionados con sus actividades hidrológicas. Es por ello que las prácticas y procedimientos hidrológicos aplicados por el IDEAM, están orientados hacia el cumplimiento de las pautas expedidas por el Reglamento Técnico de la OMM, el cual se complementa con guías en las que se describen con más detalles las prácticas y procedimientos y las cuales son periódicamente actualizadas con los aportes de los estados miembros, ejemplo quinta edición de la “Guía de Prácticas Hidrológicas, OMM”.

Estos antecedentes se constituyen en la justificación de la elaboración del documento por parte del IDEAM que se presenta en esta oportunidad y a la vez permite reconocer la pertinencia del acompañamiento del DANE e INVEMAR para garantizar que los protocolos que se presentan, contemplen todos los elementos que aseguran la articulación de un sistema de información del recurso hídrico.

3- OBJETIVOS

PROPÓSITO U OBJETIVO GENERAL DEL SEGUIMIENTO Y MONITOREO DEL AGUA

Reconocer, mediante la captura sistemática y estandarizada de información, el estado (en cantidad y calidad) del recurso hídrico en los ambientes continental (superficial y subterráneo) y marino, y su afectación por actividades antrópicas para soportar acciones y estrategias de protección, manejo y desarrollo del recurso.

RESULTADOS ESPERADOS U OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Determinar de manera cuantitativa el estado del recurso hídrico y su dinámica espacio temporal a partir de la medición de variables que satisfagan indicadores mínimos satisfactorios cuya naturaleza y desarrollo se enmarcan en un protocolo único nacional.
- b. Determinar el uso del agua por categoría atendiendo criterios estandarizados para la validación de este tipo de información.
- c. Reconocer mediante la incorporación de indicadores apropiados, la efectividad en la aplicación de los instrumentos económicos previstos por la ley para garantizar la descontaminación y renovabilidad del recurso hídrico en las áreas de jurisdicción de cada corporación o autoridad ambiental competente.
- d. Reconocer las limitaciones en el monitoreo para formular acciones y estrategias que posibiliten la implementación de redes óptimas de monitoreo y sistemas eficientes para el procesamiento y manejo de la información que respondan tanto a los propósitos del

monitoreo y seguimiento del recurso como a la consolidación de un sistema de información ambiental nacional.

- e. Tener información adecuada para reconocer niveles de amenaza por inundación y sequía en puntos de riesgo previamente reconocidos en el área de jurisdicción de las corporaciones.
- f. Contar con información estandarizada y homologada en relación con el recurso hídrico en un Sistema de Información disponible para usuarios y tomadores de decisiones.
- g. Proponer e implementar estrategias de sostenibilidad tanto para la red de monitoreo, como para las actividades que complementan el sistema.

4- MARCO CONCEPTUAL

Para abordar la presente guía, se hace necesario partir del conocimiento del agua como elemento presente en la naturaleza, la cual se mueve según una secuencia de procesos físicos que constituyen el ciclo hidrológico. El análisis de este ciclo es indispensable para el conocimiento de las relaciones del agua con su entorno y cómo las modificaciones, en términos de calidad y cantidad, debidas al aprovechamiento de los recursos hídricos pueden afectar a los distintos componentes del ciclo y al medio ambiente.

Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2,53% del total es agua dulce, el resto es agua salada presente en los mares y océanos. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmobilizadas en glaciares y al abrigo de nieves perpetuas y la otra tercera parte es la situada en los continentes. De esta agua continentales, aproximadamente el 98.9% esta presente en las aguas subterráneas, el 1% en aguas superficiales (corrientes y lagos) y el 0.1% hace parte del agua atmosférica. Este 1% de las aguas superficiales, cantidades proporcionalmente pequeñas, revisten una importancia biológica significativamente grande.

Los procesos básicos que incluye el ciclo hidrológico en el continente son: evapotranspiración, precipitación, infiltración, percolación y escorrentía. La evapotranspiración se produce a través de la evaporación del agua presente en la superficie terrestre y en los mares, ríos y lagos, y la transpiración procedente de la tierra a través de los seres vivos, en especial de las plantas. Esta evapotranspiración determina la formación de vapor atmosférico que al condensarse, bajo determinadas condiciones, retorna en parte a la superficie continental en forma de precipitación líquida o sólida. Parte de esta precipitación se infiltra en el suelo, desde donde se vuelve a evapotranspirar o percola en el subsuelo, y otra parte escurre superficialmente por la red de drenaje (escorrentía superficial directa) hasta alcanzar la red fluvial. El agua infiltrada en el subsuelo, y que no se evapotranspira, se acumula en los poros, grietas y fisuras de los materiales del terreno que, por sus características físicas, tienen capacidad de almacenar el agua. Las formaciones geológicas que tienen capacidad para almacenar o transmitir el agua se denominan, con carácter general, acuíferos. La parte del agua que, mediante la percolación, recarga los acuíferos y vuelve a salir, diferida en el tiempo, a la red fluvial, se denomina escorrentía subterránea o flujo base

El agua que en régimen natural recarga los acuíferos y no se evapotranspira cuando los niveles freáticos están próximos a la superficie, acaba incorporándose a los cauces en los tramos fluviales drenantes de acuíferos, o surge por manantiales. La excepción se produce en los acuíferos

costeros, en los que el agua subterránea puede salir directamente al mar, en parte o en su totalidad.

Complementariamente, a lo largo del Ciclo Hidrológico y, como consecuencia de las distintas fases del mismo, el agua va experimentando sucesivas transformaciones físicas y en su composición. Al licuarse el vapor y caer a la tierra en forma de lluvia, disuelve ciertas sustancias y gases que se encuentran en la atmósfera. Luego, ya en la superficie de la Tierra, sigue disolviendo sustancias de la corteza terrestre y del subsuelo hasta llegar al mar, donde se encuentran las aguas más cargadas de sales, y en algunos casos, si la orografía del terreno lo permite, aflora de nuevo a la superficie en forma de manantiales o fuentes.

En su parte marina, el ciclo del agua continua con las corrientes locales que se unen a las oceánicas y permiten que se intercambien calor nutrientes y otras sustancia disueltas en ella. Recordemos entonces que todo lo que le hagamos a nuestras fuentes de agua aquí, pueden reflejar problemáticas en otras partes del mundo (Niiler, 2000). Por esta razón, mantener una vigilancia continua y de control sobre la calidad del agua en el país, adquiere relevancia.

El tiempo medio que una molécula de agua permanece en los distintos tramos del ciclo es:

en la atmósfera	9-10 días
en los ríos	12-20 días
en lagos	1-100 años
en acuíferos subterráneos	300 años
en océanos	3 000 años

En los párrafos anteriores se ha hecho mención al régimen natural del ciclo del agua, que correspondería a una situación hipotética sin la existencia del ser humano. Sin embargo, en la realidad, la acción antrópica produce una serie de transformaciones sobre el territorio que dan lugar a un ciclo hidrológico que resulta, en muchos casos, completamente distinto del que se produciría en el régimen natural

Los usos que se le pueden dar al agua son muy diversos, así como pueden ser muy variadas las características de calidad idóneas para cada uno de ellos. Ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias presentes en el agua, pueden variar sensiblemente sus propiedades y, hasta convertirla en no apta, para determinados usos. No necesariamente las aguas en su estado natural son aptas para los usos y no necesariamente la contaminación (con origen antrópico) es la que cambia esta condición.

Es por ello que se hace indispensable la toma de datos en redes de medidas y/o control, tanto para conocer la calidad intrínseca del agua como para determinar la afectación que un vertimiento producto de acciones antrópicas causa sobre un cuerpo de agua y evaluar cuantitativa y cualitativamente su evolución en el tiempo. Por ejemplo, vertimientos con altas cargas contaminantes pueden significar un menor problema en cauces con caudales medios altos, que cargas ligeras en ríos secos durante alguna época del año en la que casi la totalidad del caudal procede del vertimiento.

La aptitud del agua para satisfacer usos diversos, en general, doméstico, agrícola, energético e industrial, se suele clasificar con relación al cumplimiento de una reglamentación técnica, es decir, a la no-superación en un período temporal, de una serie de parámetros de calidad que han sido medidos en determinados puntos o estaciones de control. En Colombia, para los ambientes marinos y costeros, las regulaciones sobre la concentración de sustancias naturales y contaminantes no están totalmente definidas, por ello se inició el proceso de recolectar la información ambiental histórica y reciente, como insumo para establecer con soportes estadísticos valores guía de control, para fines del diagnóstico ambiental de las aguas marinas del país (INVEMAR, 2003).

El anterior marco conceptual conlleva a la necesidad de tener un conocimiento espacio temporal del recurso hídrico, el cual es logrado a partir del monitoreo del agua, bajo una normalización de las variables y parámetros, en los marcos continental y marino, para asegurar la calidad de los resultados, la publicación uniforme de observaciones y estadísticas, y la comparación de información levantada entre los diferentes organismos nacionales, regionales o locales, que participan en el control y evaluación de los recursos hídricos.

5- INDICADORES MINIMOS NECESARIOS DEL PROGRAMA DE MUESTREO Y SEGUIMIENTO

La necesidad de hacer monitoreo al recurso hídrico, para establecer una comparación, que permita a los diferentes actores involucrados en el manejo, vigilancia y control del recurso disponer de información relevante de fácil interpretación, es la motivación para incluir en esta guía indicadores sencillos y rápidos en su evaluación que den cuenta de los cambios tanto a nivel espacial como temporal que se producen en el recurso, partiendo de su estado natural hasta los impactos que sobre el recurso hídrico ejercen las actividades antrópicas, además de reflejar el resultado de la gestión de este recurso.

La selección de indicadores se hizo partiendo de la revisión a normas existentes que sobre la temática existen y lectura de documentos que han venido trabajando instituciones relacionadas con el ambiente y los recursos naturales en el país, además de buscar que los indicadores cumplan con criterios tales como: *Sensibilidad a cambios* para mostrar cambios de tendencia del recurso; *Fiabilidad de los datos* es decir que provengan de variables que puedan ser obtenidas a través de metodologías estándar y que los datos tengan seguridad en los programas de control de calidad; *Predictivo* para que provea señales de alarma previa de futuras tendencias por ejemplo de disminución en la disponibilidad del recurso; *Cobertura geográfica* que puedan ser extensibles de la escala local a la regional y nacional; *Comparable* para permitir comparaciones entre áreas y *Comprensible* para todos los usuarios.

De acuerdo con lo expuesto en el marco conceptual el recurso hídrico está distribuido en las aguas superficiales corrientes (ríos, quebradas, arroyos) y subterráneas (acuíferos), lagos, lagunas, ciénagas, manantiales, embalses, esteros, bahías, lagunas costeras, golfos y las aguas marinas, mostrando claramente estos tipos de cuerpos de agua los ambientes continental, marino y costero. Los indicadores que a continuación se presentan para el ambiente continental se describen para las aguas superficiales y para las aguas subterráneas vista en términos de calidad y cantidad; y los

indicadores de los ambientes costeros y marinos tienen un enfoque de calidad ambiental del recurso.

AGUAS CONTINENTALES

El primer indicador básico en términos de cantidad del recurso es la **Variación de la escurrentía con respecto a la condición media de referencia**, el cual muestra la cuantificación y comportamiento del recurso en el tiempo, elementos fundamentales para determinar entre otras, la disponibilidad de agua en una determinada área, para realizar una planificación del uso acorde con la oferta. Este indicador se enmarca dentro de cualquier objetivo para el cual se haga monitoreo del recurso, estado, uso y seguimiento. La variable fundamental para el cálculo de este indicador es el caudal, medido en puntos que hacen parte de una red de monitoreo, los cuales son llevados a términos de escurrentía o lamina de agua. El Ideam cuenta con aproximadamente 500 puntos de medición de caudales, distribuidos en las principales cuencas superficiales del país, permitiendo conocer la variabilidad diaria de los caudales o escurrentía, a una escala nacional o regional en algunos casos, pero que no son suficientes para la comprensión del funcionamiento de los sistemas hídricos locales.

Los detalles para el cálculo de este indicador, se encuentra en el Tomo 2 “Primera generación de indicadores de la Línea Base de la información ambiental de Colombia” del libro “Sistema de Información Ambiental en Colombia -SIAC-“¹.

En términos de cantidad el indicador más apropiado para las aguas subterráneas es el **Nivel estático**, entendido este como la distancia vertical medida desde un nivel de referencia, que normalmente es la superficie del terreno, hasta el nivel que alcanza el agua en el acuífero cuando no hay una bomba operando.

En el país esta información en la mayor parte de las Corporaciones no se recolecta con la periodicidad deseable y no forma parte de sistemas de información regionales salvo algunas Corporaciones en las cuales el nivel de gestión se encuentra en el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo. En el futuro la medición de esta variable será objeto de la Red Básica Nacional de Seguimiento y Muestreo de Aguas Subterráneas que en la actualidad concerta el Ideam con las Corporaciones Autónomas Regionales para conocer el estado de las aguas subterráneas y evaluar la dinámica espacio temporal del recurso. Esta red propuesta se diferencia de las redes instaladas relacionadas con el uso del agua, destinadas a la protección de acuíferos para abastecimiento de agua potable y de las redes de vigilancia de la contaminación o de propósito especial, ubicadas por lo general en zonas de riesgo, derivadas de la proximidad a instalaciones o actividades potencialmente contaminantes. Esta red de referencia se diseña de acuerdo con las especificidades de los modelos hidrogeológicos regionales sin perjuicio de las redes que en el cumplimiento de sus funciones deben implementar las corporaciones para control del uso y aprovechamiento regional y local.

Asociada a las condiciones de cantidad se tiene la calidad del recurso la cual depende de numerosos parámetros, además de que el concepto es relativo a un uso, por lo que las exigencias de calidad dependerán del uso al que esté destinado el recurso. Para evaluar la contaminación en un ámbito geográfico o temporal debe tenerse el referente del estado natural del agua y hacer seguimiento, a través del monitoreo, de dicho estado. Todo ello dificulta la labor de definir un

¹ Autores Ideam, Sinchi, Alexander Von Humboldt, Iiap e Invemar. Editor Ideam, Julio de 2002

indicador para el estado de la calidad de las aguas, sin embargo a través de ponderaciones y agregación de parámetros y variables físicas, químicas, bacteriológicas y biológicas se logran obtener un **Índice de calidad del agua -ICA**, el cual puede ser determinado para cada objetivo de calidad establecido.

En el caso de fuentes superficiales a ser usadas *para consumo humano*, la condición buena, regular o mala del agua “cruda”, se determina a partir del indicador ICA calculado con las variables:

- pH
- Conductividad Eléctrica
- Turbiedad
- Color
- Coliformes Totales y Fecales
- Sólidos Suspendidos
- Grasas y Aceites
- Cianuros
- Metales pesados como Plomo, Cadmio, Cromo, Mercurio Niquel y Arsénico
- Nutrientes Nitrogenados como Amonio, Nitratos y Nitritos

Para conocer el *ICA del recurso hídrico superficial de manera general*, de cuya evaluación se puede conocer la posible aptitud para la utilización del agua, se considera básico tener información mínima de los parámetros:

- pH
- Temperatura
- Oxígeno Disuelto
- Conductividad Eléctrica
- Sólidos Suspendidos Totales
- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Nutrientes Nitrogenados
- Coliformes Totales y Fecales
- Sólidos Totales
- Fósforo Soluble

El Ideam, ha desarrollado un Índice de Calidad de Agua en fuentes del país que tienen programa de monitoreo. Para la ponderación se tuvo en cuenta solo cinco variables de las descritas anteriormente por la poca o nula información que se tiene de las demás variables.

Para cuerpos de agua donde se deba conocer el *estado de eutrofización* (lagos, lagunas, embalses, ciénagas, entre otros) el indicador ICA se desarrolla basado en la ponderación de datos de las siguientes variables:

- pH
- Conductividad Eléctrica
- Transparencia
- Clorofila
- Nitratos
- Fósforo Soluble y Total

Cerca de corredores industriales y de *actividad minera* las variables que intervienen en el cálculo del indicador son los Metales Pesados:

- Mercurio
- Cadmio
- Plomo
- Níquel
- Cobre
- Cromo
- Zinc
- Estaño
- Arsénico

En áreas de *agricultura intensiva* el indicador ICA debe contemplar la ponderación entre Plaguicidas Organoclorados y Organofosforados.

Cuando se presume presencia de otras *sustancias tóxicas* se debe adicionar el monitoreo a Compuestos Orgánicos como plaguicidas organoclorados y organofosforados, bifenilos policlorados e hidrocarburos poliaromáticos. Es importante que la autoridad regional que cuenta con la infraestructura para la determinación de plaguicidas, identifique las sustancias activas más usadas en su jurisdicción de acuerdo con los diferentes tipos de cultivo, con énfasis en los compuestos más tóxicos; esta información anualmente es recolectada por el Instituto Colombiano de Agricultura, las Urpas y las Umatas, entre otras entidades.

En la *caracterización de vertimientos*, se tienen en cuenta variables relacionadas con el estado intervenido del recurso, como las materias primas típicas utilizadas en los diferentes procesos de manufactura y la tecnología empleada en diferentes actividades económicas. En la tabla 1, se presenta las variables a analizar en los vertimientos de algunas actividades industriales.

Tabla 1. Posibles parámetros a analizar en los vertimientos industriales.

Actividad Industrial	Posibles Parámetros a Analizar																		
	Datos de Campo	Zinc	Cobre	Cromo VI	Cromo Total	Cadmio	Plomo	Níquel	DBO 5	DQO	SST	SSd	Grasas y Aceites	Hidrocarburos	Sulfuros	Sulfatos	SAAM	Cianuro	Fenoles
Beneficio de Aves	X							X	X	X	X	X		X		X			
Elaboración de bocadillos	X							X	X	X	X	X					X		
Elaboración de gaseosas	X							X	X	X	X	X					X		
Elaboración de pulpas de fruta	X							X	X	X	X	X					X		
Fabricación de cerveza	X							X	X	X	X	X					X		
Obtención de vinos y de alcohol etílico	X							X	X	X	X	X					X		
Producción de embutidos - Salsamentarías	X							X	X	X	X	X		X			X		

Actividad Industrial	Posibles Parámetros a Analizar																		
	Datos de Campo	Zinc	Cobre	Cromo VI	Cromo Total	Cadmio	Plomo	Níquel	DBO 5	DQO	SST	SSd	Grasas y Aceites	Hidrocarburos	Sulfuros	Sulfatos	SAAM	Cianuro	Fenoles
Producción de productos lácteos y sus derivados	X							X	X	X	X	X		X		X			
Curtido y Preparado de Cueros	X			X	X			X	X	X	X	X		X		X			
Elaboración de Productos Químicos Industriales	X							X	X	X	X					X		X	
Fabricación de textiles	X				X			X	X	X	X					X		X	
Estaciones de servicio y lavado de automóviles	X						X	X	X	X	X		X			X		X	
Proceso de recubrimientos metálicos	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X			X	X	X	
Producción de artes gráficas	X	X							X	X	X	X	X			X		X	
Producción de detergentes	X							X	X	X	X	X			X	X			
Producción de jabones	X							X	X	X	X	X			X	X			

En la actualidad existen algunos desarrollos para el cálculo del Índice de calidad del agua por parte de algunas Corporaciones Autónomas Regionales, Ideam y algunas Universidades, sin embargo es necesario ir afinando la metodología para las diferentes condiciones y cuerpos de agua del país, en la medida que se obtenga mayor cantidad de datos, además de aunar esfuerzos a través de la consolidación de talleres de trabajo entre expertos en la temática de las diferentes entidades.

Adicionalmente se acota que el indicador ICA no reemplaza la evaluación de los parámetros fijados por la normativa (ejemplo decreto 1594/84), él plantea un sondeo o evaluación preliminar de las condiciones del recurso basado en resultados de análisis, y se constituye en una herramienta útil para la toma de decisiones respecto a una primera aproximación de la posible aptitud del agua para su utilización.

En aguas subterráneas no se considera apropiado el uso de indicadores integrados de calidad del recurso, se opta por el análisis de variables que garantizan la fiabilidad de los análisis (i.e. balance iónico), una adecuada valoración química y un posible indicador del origen de la contaminación cuando esta se presente. Se consideran como mínimas las siguientes variables:

- **Iones mayores: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Carbonatos**
- **pH**
- **Temperatura**
- **Conductividad eléctrica**
- **Coliformes Totales y Fecales**
- **Potencial de oxidación-reducción**

Las corporaciones a su vez deberán hacer seguimiento a otras variables dependiendo de las circunstancias locales y propósitos de muestreo. En el país este monitoreo es incipiente y requiere ser extendido para propósitos múltiples relacionados con el uso sostenible del recurso. Se prevé la incorporación de estas variables al Sistema Nacional Ambiental a través de la Red Básica

Nacional de Seguimiento y Muestreo de Aguas Subterráneas a la cual se hizo alusión con anterioridad.

A través del indicador **Volumen de agua usada**, se contabiliza el agua que se usa para todas las actividades socioeconómicas de un área tanto de fuentes superficiales como subterráneas. Es un indicador importante para la planificación y gestión del recurso hídrico, para la evaluación de los impactos del crecimiento poblacional y las fluctuaciones del Producto Interno Bruto –PIB, el diseño de alternativas de políticas de manejo, regulación y conservación del agua, evaluación de las tendencias y su uso, planeación de otros usos efectivos del recurso y la proyección de demandas futuras.

Se debe distinguir entre el uso consuntivo y no consuntivo. El uso consuntivo, hace referencia al agua derivada de las fuentes superficiales o subterráneas y dirigida hacia los lugares de uso, la cual retorna a las fuentes con las condiciones iniciales de calidad alteradas. El uso no consuntivo, no compite por el agua con los demás usos, el agua utilizada retorna a las fuentes con alteraciones no significativas de cantidad y calidad inicial.

Uso consuntivo

- Doméstico
- Agrícola
- Pecuario
- Industrial
- Termoeléctrico
- Minero

Uso no consuntivo

- Hidroeléctrico
- Transporte fluvial
- Pesca deportiva
- Recreación

Para conocer de forma específica el Volumen de agua usada y la competencia sectorial por el recurso, se definen las siguientes categorías de uso del agua en función del tipo de uso, la clasificación general de Cuentas Nacionales del DANE y los indicadores macroeconómicos del Departamento Nacional de Planeación:

- Doméstico
- Agrícola
- Pecuario
- Industrial
- Termoeléctrico
- Minero
- Servicios
- Hidroeléctrico

El Volumen de agua usada para el desarrollo de actividades socioeconómicas, debe ser el resultado de las mediciones efectuadas por los usuarios y reportadas a las instituciones relacionadas y autoridades ambientales regionales:

- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD
- Corporaciones Autónomas Regionales
- Departamentos Administrativos de Medio Ambiente
- Interconexión Eléctrica S. A. – ISA

Colombia no cuenta con un sistema de información continua y sectorial de uso de agua. Los avances realizados en el país a este respecto, corresponden a esfuerzos metodológicos para estimar una demanda potencial del recurso, que exprese, el orden de magnitud del uso y la competencia sectorial por el agua en el país. Estas estimaciones de demanda potencial de agua, han sido realizadas por el Ideam en los últimos años, se basan en los volúmenes de producción sectorial, asociados con factores de consumo por tipo de bien y a las variaciones de las principales variables macroeconómicas. Estas aproximaciones metodológicas, están expuestas en el ítem 3 del documento Metodología de Estimación del Índice de Escasez, anexo 1 de esta guía.

Como un indicador de presión del recurso hídrico, se tiene el **Índice de Escasez**, el cual se define como la relación porcentual de la demanda (m^3) sobre la oferta hídrica (m^3) y se interpreta como la escasez o disponibilidad del recurso para satisfacer las distintas demandas de los sectores usuarios. La oferta hídrica es estimada a partir de datos de caudales o de balances hídricos, en tanto que la demanda en la mayoría de los casos es calculada a partir de factores teóricos, dado que son pocos los sectores que tienen la información proveniente de mediciones directas.

El Índice puede ser calculado a diferentes escalas espacial y temporal. En lo espacial se tiene a nivel de cuenca y a nivel de municipios, y en lo temporal se calcula para escenarios de oferta media anual y oferta del mes más seco.

El Ideam, para el Estudio Nacional del Agua ha calculado el Índice de escasez (en el anexo 1 se detalla la Metodología de Cálculo del Índice de Escasez) en condiciones temporales para oferta media y seca, y en condiciones espaciales para 45 cuencas grandes del país, para las cuencas abastecedoras de acueductos en cabeceras municipales y para los municipios.

La oferta hídrica se estima a partir de las series históricas de caudales de la red hidrológica operada por el Ideam, de contexto nacional (no local), y la estimación de la demanda potencial de agua es el resultado de un proceso de agregación en una base de datos de la información compilada de diferentes instituciones relacionados con los sectores usuarios del recurso hídrico.

Se espera que las CAR mejoren la resolución del Índice de Escasez, con la información local que ellas tienen de su jurisdicción de la oferta y demanda del recurso.

Finalmente para terminar este grupo de indicadores básicos, se enuncian en la temática de monitoreo para las alertas tempranas en el tema de inundaciones, los indicadores **Cota Crítica de Afectación por Inundación** para áreas de llanuras o planicies y **Volumen de Precipitación** para las zonas montañosas; y un indicador representativo en la temática de estiajes es el **Número de días consecutivos sin lluvia**, a partir del cual se puede calcular el déficit de agua en un suelo y su afectación en la vegetación y en el desarrollo de actividades humanas.

La topografía del país acompañada de la variabilidad del clima, la situación económica y social, y los problemas de orden público de algunas regiones, inciden directamente en la ubicación de los asentamientos humanos que en algunos casos no son los más favorables para el desarrollo de sus actividades, dado que son espacios sometidos frecuentemente a eventos naturales como las inundaciones.

Un indicador básico en el sistema de alertas tempranas lo constituye el nivel del río en un punto específico (Cotas de Inundación), a partir del cual comienzan los desbordamientos y anegamientos en áreas de planicie o llanura por largos períodos de tiempo, y que puedan afectar las poblaciones ribereñas aledañas localizadas aguas arriba o aguas abajo de un punto de referencia, afectando terrenos habitados por población humana y por actividades económicas como agrícola, industrial, energía, etc. El monitoreo y seguimiento en tiempo real de estos niveles, o cotas críticas y la elaboración de mapas de inundación con fines de planificación urbana y prevención, reducen los impactos en los desastres que causan este tipo de eventos naturales.

A través de la red de monitoreo en tiempo real para el Sistema de Alertas, el Ideam hace seguimiento a las cotas críticas de afectación especialmente de poblaciones ribereñas ubicadas a lo largo de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge, Sinú y Arauca en donde las inundaciones suelen ser frecuentes, por lo general todos los años. Estos niveles o cotas están asociados topográficamente a estaciones hidrológicas que pueden ser automáticas (transmisión en tiempo real) cuya información se recibe horariamente in situ y se transmite vía satélite a intervalos de tiempo, cada 4 horas; ó convencionales con transmisión diariamente vía teléfono, fax o Internet, de tal manera que al analizar los datos, sea posible emitir oportunamente los comunicados a que haya lugar, ya sean boletines, aviso o alertas. En el anexo 2, se detallan los aspectos del Sistema de Alertas Hidrológicas.

En el caso de zonas montañosas, en donde se presentan crecientes súbitas el indicador es el Volumen de precipitación, a partir del cual se genera un gran escurrimiento, caudal que al concentrarse rápidamente en un cauce puede generar inundaciones, estos eventos que por lo general son de corta duración, algunas horas o minutos en la mayoría de los casos y afectan poblaciones ribereñas, áreas de explotación agrícola y pecuaria, polígonos industriales, infraestructura vial. El monitoreo y seguimiento en tiempo real de estos volúmenes de precipitación y la oportuna emisión de los comunicados reduce el impacto ante la inminente ocurrencia de un evento de estas características.

AGUAS MARINAS Y COSTERAS

Como se mencionaba al inicio de este capítulo, los indicadores para las aguas marinas y costeras están enfocados hacia la calidad de las aguas. Invermar con instituciones componentes del SINA (Ley 99 de 1993), dentro del marco del proyecto “Indicadores”, ha venido desarrollando el Indicador de Calidad de Aguas Marinas –ICAM, el cual posee cuatro definiciones según el uso (preservación de flora y fauna y actividades recreativas, náuticas y pesqueras) y la condición natural del agua (marinas y estuarinas).

Indicador de Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Estuarinas para la Preservación de Flora y Fauna –ICAM_{PFF}. Representa el conjunto de características físicas, químicas y

microbiológicas, que describen el estado de un cuerpo de agua marino o estuarino con relación a las condiciones ambientales que propician la preservación de la flora y la fauna.

Indicador de Calidad Ambiental de las Aguas Marinas y Estuarinas para la Recreación, Actividades náuticas y Playas –ICAM_{RAP}. Representa el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas, que describen el estado de un cuerpo de agua marino o estuarino con relación a las condiciones ambientales que propician un ambiente saludable para la recreación, actividades náuticas y playas. Dentro de este indicador juega un papel muy importante el índice de microorganismos de origen fecal en una masa de agua marina o costera que evalúa la calidad microbiológica del agua y representa el riesgo sanitario que propicia el uso de un cuerpo de agua para la recreación, actividades náuticas y playas.

Estos indicadores han sido liderados por Invemar bajo el Sistema de Indicadores de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia –SISCAM y se encuentran actualmente en fase de validación. La información de las variables requeridas para el cálculo de los ICAM tiene como fuente la producida por la Red de Vigilancia de la calidad de las Aguas Marinas y Costeras –REDCAM, administrada por el INVEMAR, las CAR, los Centro de Investigación CIOH y el IIAP.

Los detalles metodológicos de estos indicadores no son materia de este documento, estos se encuentran descritos en las fichas metodológicas desarrolladas por Invemar, las cuales pueden ser consultadas en la página web de la institución.

6- RED DE MONITOREO

El monitoreo del agua es un proceso de seguimiento de las condiciones de calidad y de cantidad de este recurso en cualquiera de los ambientes en que este presente, continental (superficial y subterráneo), marino o costero, durante un tiempo indefinido o definido y en un área específica. Este proceso de monitoreo conlleva al concepto de red, entendido este como el conjunto de actividades relativas a la recolección de datos, diseñados y procesados para lograr un objetivo único o un conjunto de objetivos compatibles.

El concepto de red inicia entonces con la identificación del objetivo del monitoreo, objetivo que se agrupa de forma muy general en:

- Seguimiento del recurso. Permite realizar un diagnóstico sobre el estado del recurso superficial y subterráneo y evaluar tendencias temporales y espaciales de la cantidad y calidad del recurso a partir de series históricas;
- Control y vigilancia. Permite a las autoridades ambientales conocer las condiciones de cantidad, calidad y disponibilidad del agua para los diferentes usos y evaluar los efectos que sobre el recurso tienen los diferentes proyectos que lo utilizan;
- Modelamiento. Permite conocer las características de los cuerpos de agua, la predicción de la variación de estas características y la verificación de ciertos acontecimientos. Este objetivo esta estrechamente ligado con el seguimiento del recurso.

Paralelamente estos objetivos deben estar asociados a los ambientes en los cuales se encuentra presente el recurso hídrico o también llamados universos de estudio, aguas continentales (involucra las superficiales y subterráneas), aguas marinas y costeras, y los vertimientos. Los universos deben ser claramente diferenciados porque tienen su propia naturaleza, comportamiento y complejidad, además cada uno de ellos requiere su acercamiento propio al sistema de información y procesos estadísticos (niveles de significación y cobertura, escalas y desagregación geográfica, unidades de observación, análisis, medición y síntesis, entre otros). También existen entre estos universos temas comunes (aspectos administrativos, financieros y operativos) que llevan a la integración de producción, procesamiento, análisis y síntesis de resultados para encontrar modelos de causa-efecto que simulan situaciones de corto y largo plazo, así como la búsqueda de soluciones a problemas presentes y futuros del recurso hídrico.

Identificado el objetivo del monitoreo, se deben establecer los puntos físicos o también denominadas estaciones en donde se van a realizar las observaciones, medir las variables, fijar la frecuencia de las observaciones, concertar la duración del programa de observación (que esta directamente relacionada con el objetivo que persiga la red), definir la precisión requerida de las observaciones y la oportunidad en la obtención de los datos.

Sitios de muestreo

Cuando se tiene una red de monitoreo para conocer el comportamiento y hacer seguimiento al estado del recurso hídrico, entonces se consideran 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 (ejemplo sitios donde se hacen vertimientos) o donde se presentan afectaciones por fenómenos naturales (ejemplo sitios sometidos a inundaciones, sequías). Para el monitoreo de los vertimientos, adicionalmente de monitorear el punto de descarga, se deben involucrar dos puntos más, ubicados sobre la fuente a la que se le esta haciendo el vertimiento: uno ubicado aguas arriba antes de que el vertimiento sea incorporado al cuerpo de agua y otro aguas abajo en 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 los tiempos necesarios para tomar medidas de acción.

Para el diseño de la red, una vez se tenga claramente definido el objetivo de ella, se debe identificar el inventario de las estaciones existentes en el área analizada, y a partir de él complementar y/o optimizar la red. Esta acción busca la identificación de vacíos de información y la integración de los actores que intervienen en el monitoreo del recurso hídrico para establecer un sistema que comparta la información y conocimiento adquirido a partir del análisis de los datos obtenidos de la red de monitoreo.

El universo de aguas superficiales en el país, esta constituido por un 60% de estaciones hidrológicas² y meteorológicas³ operadas por el Ideam, y por un 40 % restante operado por las

2 Puestos de observación situados sobre cuerpos de agua (ríos, quebradas, embalses, ciénagas, etc.) en donde se pueden medir variables de cantidad como niveles y caudales, y de calidad como oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad, color, turbidez, principales aniones y cationes, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO). Adicionalmente se

CAR y gremios del sector agropecuario principalmente. En el anexo 3 se presenta una nota técnica sobre Diseño y Optimización de la red de estaciones hidrológicas.

La selección de los sitios para el muestreo de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas deberá diseñarse a partir del modelo hidrogeológico conceptual y de los sistemas acuíferos presentes en cuencas y/o subcuencas hidrogeológicas. Es importante destacar que las variaciones naturales de los niveles y la calidad de las aguas subterráneas están íntimamente relacionadas con las variaciones espaciales y temporales de variables meteorológicas e hidrológicas que definen las diferentes épocas climáticas.

Desde el punto de vista hidrogeológico es importante conocer el tipo de acuífero a monitorear teniendo en cuenta⁴:

- El marco geológico, geofísico y estructural
- El modelo de flujo que defina sus zonas de recarga, tránsito y descarga
- Las relaciones río- acuífero, sus parámetros hidráulicos, sus características hidrogeoquímicas naturales
- La recarga proveniente de la precipitación, sus recursos y reservas
- La vulnerabilidad y las fuentes potenciales puntuales y/o difusas de contaminación

Todo lo anterior permite definir no solo los sitios de muestreo sino la frecuencia mediante modelos estadísticos y de flujo y transporte de contaminantes.

El monitoreo de aguas subterráneas no es de por sí un campo nuevo en el conocimiento, sin embargo en nuestro país aún no se tiene operando una red para este fin. El Ideam ha dado lineamientos para la formulación y diseño de una red básica nacional de seguimiento y muestreo de este universo, encontrándose actualmente en el proceso de hacerla compatible con las redes regionales de las CAR y entidades sobre las cuales recae la responsabilidad de este recurso en el país. Se espera que los resultados del monitoreo tanto de la cantidad como de la calidad de las aguas subterráneas, mejore el planeamiento, desarrollo, protección y manejo para anticipar o reducir escenarios de contaminación y deterioro de este recurso. En el anexo 4 se detallan aspectos del Monitoreo del agua subterránea.

Para conocer el universo de las aguas marinas y costeras, existe una red de estaciones a lo largo de toda la zona costera, diseñada por las entidades que conforman la Red de Calidad Ambiental Marina –REDCAM (INVEMAR, 2001, 2002, 2003). El objetivo primordial de la red es la evaluación del impacto que tienen sobre los ecosistemas marinos y costeros del país las descargas terrestres y marinas. La mayoría de estaciones están asociadas a ríos y vertimientos que llegan a los mares colombianos, así como a zonas de mezcla y estaciones puntuales de referencia, las cuales se consideran con escaso impacto directo de sus contaminantes sobre el entorno marino. La selección de las estaciones hidrológicas contó con la participación de las CAR con ingerencia en las zonas costeras del país.

pueden medir los sedimentos especialmente materiales gruesos como arenas y finos como limos, arcillas y coloides en corrientes y puntos estratégicos, donde por las características hidrológicas, topográficas, geológicas y geomorfológicas, entre otros, de las cuencas y de los cauces que acarrean material tanto en suspensión como de fondo.

³ Miden la variable precipitación, entre otras

⁴ Ideam. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. 2003 p. 9

La red de estaciones es susceptible de ser reevaluada con el fin de incorporar prioridades y necesidades por parte de cada uno de los componentes institucionales o nodos del sistema (principalmente las CAR). Entre los ámbitos geográficos a tener en cuenta se pueden mencionar: a) los ecosistemas marinos que no presentan fuentes cercanas de contaminantes desde el continente; b) las zonas de playas que en la actualidad no son usadas como balnearios y c) los sistemas acuáticos que evidencian escasos impactos antrópicos.

Variables Requeridas

a) Aguas continentales

Las variables que se consideran deben ser medidos u observados para obtener la información mínima necesaria que permita representar el estado, los procesos básicos, la composición química y la dinámica del agua en los ambientes continentales son:

Escurrimiento superficial

- Nivel (m)
- Velocidad de la corriente (m/s)
- Ancho de la sección (m)
- Profundidad (m)
- Area (m²)
- Caudal (m³/s)

Escurrimiento subterráneo

- Nivel piezométrico (m)
- Espesor del acuífero (m)
- Profundidad (m)
- Gradiente hidráulico (m/m)
- Area del acuífero (m² o km²)
- Conductividad hidráulica (m/día)
- Transmisividad (m²/día)

Sedimentos

- Concentración (Kg/m³)
- Transporte (K.ton/día)

Variables físico-químicas mínimas en aguas superficiales

- Oxígeno disuelto (mg/l)
- PH (unidades de pH)
- Conductividad eléctrica (μS/cm)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/l)
- Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/l)
- Temperatura del agua T(°C)
- Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/l)
- Nutrientes Nitrogenados (mg/l)
- Coliformes Totales y Fecales (UFC Unidades Formadores de Colonias)
- Sólidos Totales (mg/l)
- Fósforo Soluble (mg/l)

VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS MÍNIMAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Iones mayores: Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Carbonatos
- PH
- Temperatura
- Conductividad eléctrica
- Coliformes Totales y Fecales
- Potencial de oxidación-reducción

Para una red de monitoreo de control y vigilancia, se consideran adicionalmente variables de calidad que dependerán del tipo de uso, en el capítulo de indicadores, específicamente en el Indicador de Calidad del Agua, se enunciaron las variables adicionales a monitorear en fuentes que van a ser usadas para consumo humano; en fuentes cercanas a zonas de agricultura intensiva, actividades mineras y actividades que presumen el uso de sustancias tóxicas. Adicionalmente en la tabla No. 1 se relacionan los parámetros a analizar en fuentes que son utilizadas como vertimientos producto de actividades industriales.

Fenómenos naturales como las inundaciones, crecientes súbitas y sequías, requieren que la red de monitoreo adicionalmente incluya la variable Precipitación (mm).

Detalles de las técnicas e instrumentos para la medición y recolección de las variables de las aguas superficiales, específicamente en términos de su cantidad, están descritos en los anexos 5 y 6, Hidrotopografía y Mediciones hidrométricas, respectivamente. Con la aparición de nuevas tecnologías, las técnicas e instrumentos deben ser actualizados periódicamente, acción que debe ir acompañada con el aseguramiento en la consistencia y el estándar de los datos y el entrenamiento del personal que hace uso de esta tecnología.

Los Procedimientos y Métodos de recolección de datos en términos de la calidad de las aguas, aparecen consignados de forma resumida en el anexo 7.

b) Aguas marinas

Existen más de 15 variables con las que se pueden realizar diagnóstico sobre el estado de las aguas marinas y costeras del país. Sin embargo, se sugiere como base mínima, las variables contenidas dentro del grupo de indicadores que se han venido desarrollando entre las instituciones componentes del SINA (Ley 99 de 1993) dentro del marco del proyecto "Indicadores". El monitoreo de las aguas marinas y costeras deberá involucrar como mínimo las siguientes variables ambientales, que se consideran prioritarias para el diagnóstico ambiental:

Físicoquímicas.

- Temperatura (°C)
- Oxígeno disuelto (mg/l)
- Sólidos en suspensión (mg/l)
- Nitrógeno inorgánico disuelto (nitritos y nitratos) (mg/l)
- Fósforo inorgánico disuelto (ortofosfatos) (mg/l)
- Salinidad $\mu\text{S}/\text{cm}$

pH

Adicionalmente, según características de algunos ecosistemas costeros, se sugiere la medición de Transparencia, Secchi, y Amonio.

Biológicas y microbiológicas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Coliformes fecales y totales

Clorofila "a"

Recuento poblacional de hongos y levaduras, aerobios mesófilos y enterococos.

Tóxicos Químicos.

Hidrocarburos del petróleo (disueltos y dispersos)

Plaguicidas organoclorados totales y fosforados

Metales pesados.

Los métodos propuestos para el análisis de aguas marinas se encuentran descritos en el "Manual de Técnicas Analíticas para la determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos", texto editado por el INVEMAR (Garay *et al.*, 2003). El protocolo de muestreo en campo, para la recolección de aguas y las mediciones a realizar en campo con equipo portátil se pueden consultar en el manual citado anteriormente, el cual compendia y adapta los procedimientos básicos utilizados a escala global en el estudio de aguas marinas.

Frecuencia de las observaciones

La frecuencia y el horario de muestreo, deben estar determinados por el uso anticipado de la información, deben permitir la organización de las observaciones en el tiempo y por la exactitud que se requiere de la información. Cuando la variable de interés en el sitio cambia rápidamente, los muestreos y observaciones tienen que ser más frecuentes si se quiere mantener un registro válido.

A continuación se detalla la frecuencia para las principales variables que son objeto de monitoreo del agua, la cual puede ser ampliada en el documento Guía de prácticas hidrológicas OMM No. 168

a) Variables de cantidad

- Niveles de agua.

La frecuencia del registro del nivel de agua está condicionada por el régimen hidrológico del curso de agua y por el fin que se asigne a la concentración de los datos. De requerirse registros casi continuo, las lecturas sistemáticas, dos veces al día, complementadas con lecturas más próximas entre sí durante las crecidas son suficientes para muchas corrientes. En corrientes sujetas a variaciones de nivel rápidas, generalmente las corrientes de alta pendiente, es necesario la instalación de instrumentos registradores continuos, los cuales son muy útiles para los sistemas de predicción de crecidas. Para algunos objetivos, es suficiente tener los niveles máximos durante las crecidas, utilizándose instrumentos adecuados para estos fines. Una observación diaria es, en general, suficiente para los niveles de lagos y embalses si se requiere calcular las variaciones en almacenamientos.

- Caudales

Los factores que se deben tener en cuenta para determinar el número y la distribución de mediciones del caudal a lo largo del año son: la estabilidad de la relación nivel-caudal y las características y variación del caudal estacional. Es necesario efectuar un número suficiente de mediciones del caudal en una estación nueva de tal manera que para la definición de la relación nivel-caudal queden representados los caudales en todos las escalas de niveles: mínimos, medios, máximos; se recomiendan 10 mediciones anuales de caudal como mínimo. Una vez la relación nivel-caudal se establece, se requieren mediciones periódicas para seguir los cambios en la relación nivel-caudal, estos cambios son los que finalmente determinan la frecuencia de las mediciones de los caudales, la cual es diferente en cada fuente.

Es fundamental determinar adecuadamente el caudal durante las crecidas, por ello el programa de monitoreo debe incluir mediciones no rutinarias del caudal en esos momentos.

Para programas en donde sea requerido conocer con mayor exactitud el caudal de manera continua durante todo el año, las mediciones del caudal se tendrán que hacer con más frecuencia.

La exactitud de estas mediciones de caudal depende de la fiabilidad de la calibración del instrumento de medición, de las condiciones del río y del número de mediciones de la profundidad y la velocidad que se hayan efectuado (estas metodologías se describen en el anexo 6). Las mediciones se hacen normalmente registrando la profundidad y la velocidad en dos puntos, en cada una de las 20 a 25 verticales de la sección transversal. El error típico para un nivel de confianza del 95 por ciento en este tipo de mediciones efectuadas en condiciones normales, es alrededor de un cinco por ciento.

b) Variables de calidad del agua

La calidad del agua esta directamente asociada a la cantidad, por ello las variables que definen el estado de la calidad del recurso presentan fluctuaciones en la medida en que los caudales varíen, es así como la frecuencia del muestreo de las variables de calidad del agua deben cubrir la gama de variación los caudales: mínimos, medios y máximos.

Las corrientes que son afectadas por vertimientos (monitoreado en tres sitios, de acuerdo con lo mencionado en el ítem sitios de muestreo), la frecuencia de los muestreos es definida por la autoridad ambiental, acorde con la meta global de reducción de carga contaminante mencionada en el decreto 3100 del 2003.

Para el caso de los vertimientos industriales, estos se pueden clasificar de acuerdo al tipo de industrias, las cuales se clasifican si vierten sustancias de interés sanitario o no. La frecuencia de monitoreo está determinada por el grado de significancia del aporte contaminante.

Nivel de la contaminación	Grado de significancia	Frecuencia de control
1	Bajo	Anual
2	Medio	Semestral
3	Alto	Bimestral
4	Muy alto	Mensual

7- MONTAJE Y OPERACIÓN DE LA RED

En el capítulo anterior se detallo la necesidad de identificar en los niveles locales los vacíos de información y ubicarlos a través del diseño de una red de monitoreo. Esta etapa va de forma paralela con el montaje o instalación y operación de esos puntos o estaciones que hacen parte de la red. El diseño inicial de la red debe estar validado con trabajo de campo que asegure que las observaciones se están haciendo en sitios que cumplen las condiciones mínimas tanto para su instalación como para su operación. Se ha considerado necesario mencionar explícitamente aspectos relacionados con este etapa por la planificación y costos que ella implica, y por la relevancia en el tema de la confiabilidad de los datos.

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores y criterios ⁵ cuando se están haciendo los análisis para la ubicación de las estaciones. Los factores son de tres tipos:

- a) Factores Fundamentales o Estructurantes. Determinan el porque y el para que de la localización y características de la estación. Una misma localización puede resultar representativa para varios de los sectores o “clientes” de la información. Los factores fundamentales o estructurantes son los que cada sector determine como la información mínima critica que requiere para desarrollar su actividad. Así una fuente a ser utilizada por varios sectores usuarios (por ejemplo un distrito de riego, para abastecimiento de un acueducto y para generación de energía hidroeléctrica) necesitan conocer el dato del caudal en cantidad y calidad, y su comportamiento en el tiempo, aunque otras variables como los niveles y sedimentos ayudarían a ganar comprensión adicional.
- b) Factores condicionantes son los que se refieren a las limitaciones propias de cada localización, tales como la dificultad de acceso, la seguridad de los equipos, la presencia de obstrucciones que aumenten los errores en las mediciones, la voluntad de los propietarios para autorizar la instalación de la estación, la disponibilidad de los observadores locales que puedan interferir con la calidad, continuidad y confiabilidad de los datos obtenidos en las estaciones. Este último factor condicionante debe analizarse en conjunto con el tipo de equipos que van a ser instalados en los puntos de observación.
- c) Factores limitantes. Se refieren al equipo de medición, al tipo de estación, su capacidad, precisión, exactitud, rangos, limitaciones, etc., lo cual podría restringir las posibilidades de establecer los datos requeridos, dependiendo de las características de los instrumentos y aparatos de medición, trasmisión y procesamiento. Por ejemplo en un punto pueden ser requeridos los datos de niveles de la fuente transmitidos cada 10 minutos, requerimiento que podría presentar limitaciones si no se adquieren los equipos adecuados.

Respecto a los criterios de selección, se refieren al Por qué y al Para qué de la información que se obtiene. Para ello, los criterios fundamentales son los de la Representatividad, Pertinencia, Confiabilidad y Oportunidad:

- a) Representatividad. Se refiere a la capacidad del dato adquirido para “representar” una condición ambiental en función del área, fenómeno o sector que representa.

⁵ Discutidos durante los talleres de codiseño de la red realizados en el año 2003, liderados por el Ideam con las participación de las CAR y diferentes sectores usuarios de datos ambientales.

- *La representatividad del área* indica si la ubicación de la estación es significativamente demostrativa de las condiciones de un área “homogénea” o con características compartidas. Las áreas se definen en función de diferentes conocimientos de las disciplinas o especialidades y son tales como cuencas de diferentes órdenes, municipios, áreas urbanas, zonas agrícolas, industriales, etc.
 - *La representatividad del fenómeno* o punto o sitio estratégico es dada en función de situaciones o condiciones específicas que se requiera estudiar; así por ejemplo, la localización de estaciones consecutivas de medición de niveles de ríos, aguas arriba de zonas que están sometidas a inundaciones, permite conocer el comportamiento, la variación y los posibles efectos espacio-temporales de este fenómeno.
 - *La representatividad sectorial o temática* se refiere a los intereses o necesidades de actores o sectores específicos, tales como el doméstico, agropecuario, industrial, energético, entre otros. Cada sector, con el conocimiento de sus actividades, debe lograr establecer sus propias necesidades.
- b) **Pertinencia.** La pertinencia del dato revela la congruencia o “empate” entre la oferta y la demanda de información. Revisa la periodicidad, rango, precisión y exactitud requeridos para establecer el conocimiento apropiado de la variable para los fines que se requieren. Así, un dato de nivel del río podría requerirse de forma horaria para algunos sectores, mientras que para otros podría ser mensual. Igualmente, ciertas variables pueden ser requeridas por algunos sectores en tanto que otras variables pueden ser requeridas por otros usuarios en la misma región o área.
- c) **Oportunidad.** Se refiere a la coincidencia entre la capacidad de la red de proveer el dato o la información en el momento en el cual se requiere y las necesidades de los diferentes usuarios de la misma. La capacidad de suministrar los datos en “tiempo real”, horaria, cada seis horas, diaria, semanal, mensual, etc. Por ejemplo los datos para una red de alertas y alarmas tempranas, son requeridos en tiempo real, en otra escala de tiempo ya no serían oportunos.
- d) **Confiabilidad.** Se refiere a la capacidad de la red de proveer el dato requerido con la calidad, exactitud, precisión, continuidad y periodicidad que se esperan. Sus dos principales componentes son el factor humano y el factor tecnológico:
- El factor humano describe la capacidad, cumplimiento y puntualidad de la observación, que depende enteramente de las personas asignadas a la labor de observadores locales. El nivel de entrenamiento y compromiso son a su vez función de cada persona y de las estrategias y políticas de las instituciones responsables de la red.
 - El factor tecnológico define las capacidades, potencialidades y limitaciones de los equipos de medición, seguimiento, transmisión y procesamiento de los datos en el sitio y a distancia. La descripción adecuada de las especificaciones técnicas de cada estación así como las estrategias y programas de operación y mantenimiento, reparación y reemplazo, definen la calidad de este aspecto.

La instalación física de las estaciones o sitios de muestreo, dependiendo de las variables a medir u observar, requieren trabajos de campo previos. La construcción de las obras civiles (que cumplen con los criterios y fundamentos de la Norma ISO-9001, numeral 8) involucra aspectos desde toma de datos de campo hasta la construcción de las estructuras necesarias y la instalación de los equipos requeridos.

Estas actividades de planeación y ejecución deben estar a cargo de un grupo idóneo (profesional y técnico), el cual también elabora el programa de operación y mantenimiento que garantice el normal funcionamiento y toma de datos en las estaciones que conforman la red. El programa contempla las actividades a realizar en cada sitio de la red, hasta los costos del él.

Las actividades del programa involucran tanto aspectos administrativos como aspectos técnicos, las cuales de manera general pueden resumirse en las siguientes:

- Variable (s) a medir u observar en cada sitio
- Requerimientos de muestreos
- Frecuencia de operación
- Mantenimiento de equipos e infraestructura
- Itinerarios de desplazamiento a los sitios y equipo de transporte (terrestre, fluvial, aéreo)
- Elementos de insumos: papelería técnica, repuestos de instrumentos, etc.
- Instrumento(s) necesarios para realizar las mediciones *in situ*

Para el estudio de costos, lo primero a definir es con qué precisión requiero medir la variable, de cada grado de precisión se obtiene un escenario de costos, el cual debe ser sometido a un análisis detallado de costo / beneficio. Por ejemplo para generar datos de caudales son necesarios mediciones de aforos que cubran la gama de variación de los niveles, en la medida en que se tenga cubierta esta gama será mayor el grado de confianza de los caudales.

Un aspecto paralelo al programa es el componente de capacitación al personal involucrado en la operación de la red. La implementación de herramientas provistas por los avances tecnológicos y la garantía de la calidad en la información medida u observada requieren de programas continuos de actualización.

8- SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA

El Ideam, como institución que tiene la competencia de capturar información sobre el recurso agua, y las Corporaciones Autónomas Regionales, representan un cúmulo de experiencia y de información levantada a lo largo de muchos años, sin embargo, la información disponible es insuficiente⁶ para atender las demandas de información que necesitan los tomadores de decisión nacionales y en general de la sociedad. Es necesario que el país tenga claridad acerca de la importancia de reforzar la generación de información de tipo hidrológico y meteorológico, no

⁶ ICDE, Mayo 2001. La información con frecuencia, se presenta con diferencias de formato, "aunque desde 1992 se realiza la producción digital de información por parte de las entidades relacionadas, la mayor parte de los datos está en formato análogo y no existe una definición unificada sobre si ellos deben ser digitalizados ó no y con base en qué objetivos, prioridades y especificaciones. Debido a ello, las actividades de conversión de datos conducen frecuentemente a información duplicada e inconsistente".

solo por la rentabilidad social y económica que la misma tiene sino también por que sin ella difícilmente, podría mejorar sus estrategias para el logro de un desarrollo sostenible⁷.

Con respecto a la información hidrológica en Colombia los problemas más frecuentes son⁸: la existencia de datos que cubren de manera parcial y desigual el territorio nacional, con un bajo nivel de actualización; documentación incompleta de los datos disponibles; existencia de productos con especificaciones técnicas diferentes, muchas veces no formalizadas, lo cual se traduce en información cuya calidad es disímil; dificultades para que los usuarios conozcan oportunamente los datos disponibles, accedan a ellos, los integren y los usen; producción autónoma de los datos a cargo de cada entidad sin consideración de las prioridades comunes y con análisis parcial de los requerimientos de los clientes; duplicación de los proyectos para la obtención, actualización y digitalización de información hidrológica.

El conocimiento integral del agua genera valor agregado para el manejo y gestión de los recursos hídricos y presta apoyo a los tomadores de decisión, generación de conocimiento para la formulación de políticas y como mecanismo para medir la gestión mediante indicadores, no solo a nivel nacional, sino regional, por consiguiente, la puesta en marcha de un sistema sobre el recurso hídrico para Colombia es de enorme importancia⁹. Este sistema, se inscribe en el marco del Sistema de Información Ambiental, el cual a su vez es parte integrante del Sistema de Información Ambiental para Colombia -SIAC, en su componente hídrico, y se compone de la infraestructura física de las redes para la toma de datos y las políticas para el manejo de información, establecimiento de estándares y protocolos para la captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y divulgación de la información, y la definición de las políticas y mecanismos para la integración, transformación y consolidación de información entre las diferentes entidades que se apropian del Sistema de Información Nacional Ambiental.

El objetivo del Sistema de Información del Recurso Hídrico En Colombia, es suministrar al Estado y a la Sociedad en general estadísticas oficiales que sean estratégicas, coherentes, pertinentes, oportunas y accesibles, sobre cantidad y calidad del recurso agua, sobre su dinámica con el medio ambiente y el espacio territorial, y propender hacia la consolidación de los sistemas de información oficiales y su coordinación técnica.

FLUJO DE INFORMACIÓN

La competencia institucional del Sistema de Información del Recurso Hídrico en Colombia, está en cabeza del Ideam, quien define las metodologías de investigación estadística del recurso, estándares, definiciones, calendarios de levantamiento de datos y publicación de resultados, los instrumentos y los operadores del mismo. **Como fuente oficial de la información**

⁷ Max Toro. El Valor de la información hidrometeorológica en Colombia. Enfoque: Pérdidas evitadas. 2003

⁸ Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales "Conceptos y Lineamientos" IGAC. 1999

⁹ De acuerdo a un estudio realizado por la OMM y BID - Propuesta de Sistema Nacional de Alerta temprana en Colombia ante el fenómeno El Niño/Oscilación del sur. IDB ATN/JF 6579 RG) Septiembre 2002, por cada dólar invertido en generar información hidrológica y meteorológica acerca del impacto económico de la inversión en un Sistema de información para caracterizar el Fenómeno el Niño en Colombia puede significar un incremento en los beneficios económicos de la sociedad en una cuantía cercana a 277 dólares.

hidrometeorológica¹⁰ y como director y coordinador del Sistema de información Ambiental, el Ideam tiene la responsabilidad de “Garantizar la disponibilidad y calidad de la información ambiental que se requiera para el logro del desarrollo sostenible del país y suministrar los datos e información que se requiera por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial”¹¹.

El desarrollo del Sistema de información del Recurso Hídrico para Colombia, se enmarca dentro del Sistema de Información Ambiental y se entiende como “los datos, las bases de datos, las estadísticas, la información, los sistemas, los modelos, la información documental y bibliográfica, las colecciones y los reglamentos y protocolos que regulen el acopio, el manejo de la información, y sus interacciones. El sistema de información ambiental tendría como soporte el SINA”¹², entendiéndose como SINA, el conjunto de entidades que participan en la construcción e implementación del SIAC (Sistema de Información Ambiental para Colombia): Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, IDEAM, Institutos de investigación, Autoridades Ambientales Regionales y Entidades Territoriales.

El Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, tiene la calidad de ente rector del Sistema Nacional Ambiental, la coordinación, promoción y orientación de las investigaciones ambientales y de los recursos naturales renovables, y el establecimiento, administración y coordinación del Sistema de Información Ambiental, advirtiendo que las labores relacionadas con la conceptualización e implementación del sistema deberán adelantarse conjuntamente con el Ideam, los institutos de investigación y las autoridades ambientales regionales¹³. El SIAC se compone de:

- Sistema de información Ambiental Nacional – SIA
- Sistema de información Ambiental Territorial – SIAT.
- Sistema de Información Ambiental Regional y Locas – SIARL
- Sistema de información para la Planificación y Gestión Ambiental.

CADENA DE ABASTECIMIENTO DEL DATO HIDROLÓGICO

El Ideam define los alcances de las investigaciones, las metodologías de investigación estadística, los universos de estudio, los instrumentos de investigación, la operación de la red de monitoreo, los procedimientos de agregación y estimación, la publicación de resultados y supervisión técnica del sistema. Las CAR deben identificar los vacíos de información del recurso hídrico en su jurisdicción, a partir de la red hidrológica existente, e iniciar el programa de monitoreo pertinente, bajo los protocolos elaborados por el Ideam, contando con la constante asesoría del Ideam (de ser requerida), en los procesos que intervienen en el monitoreo y seguimiento del agua. La operación del monitoreo del recurso hídrico para las necesidades locales debe efectuarse descentralizadamente de tal forma que en cada CAR exista un sistema de información que

¹⁰ Decreto 1277 de junio 21 de 1994, artículo 15 “Ser la fuente oficial de información científica en las áreas de su competencia y autoridad máxima en las áreas de hidrología y meteorología”

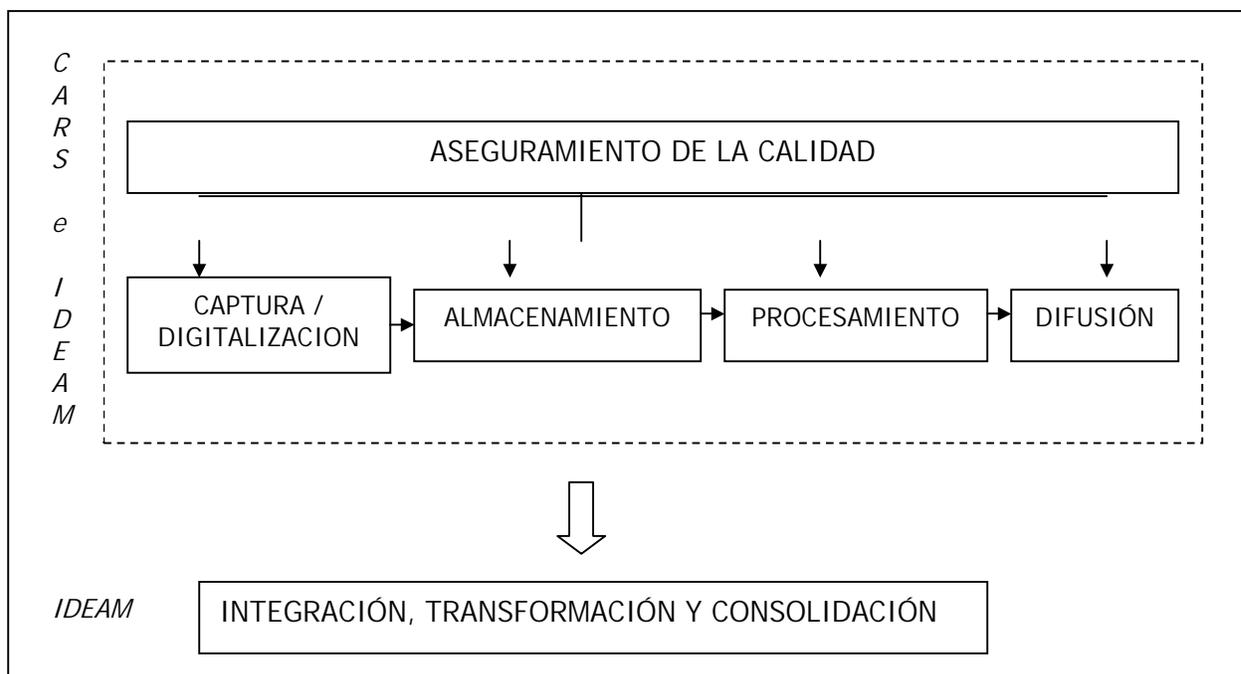
¹¹ Decreto 1600 de julio 27 de 1994, artículo 2.

¹² Idem.

¹³ Decreto 216 de 2003

permita garantizar la consolidación del sistema ambiental nacional en lo referente al recurso hídrico, la agregación de los datos, la integración de la información, la estandarización de los procesos de acuerdo con las directrices impartidas por el Ideam, la calidad estadística y el cumplimiento de los objetivos propuestos en un sistema de información.

Dentro del Sistema propuesto, el dato tiene asociado las siguientes actividades básicas: entrada (captura), almacenamiento, procesamiento, salida (difusión) y aseguramiento de la calidad de información:



Flujo de información en el Sistema de Información del Recurso Hídrico En Colombia

Captura: se relaciona con el ingreso de datos al sistema. Esta puede ser en forma manual (digitación de los datos obtenidos por los observadores voluntarios mediante lectura directa de instrumentos y evaluación de gráficas de instrumentos registradores), automática (digitalización de gráficas de instrumentos registradores, estaciones automáticas y otros) o mediante la importación de datos de otros sistemas externos.

Antes de ingresar los datos hidrológicos al sistema, se requiere evaluar, analizar y codificar los datos y efectuar un control básico de la calidad de ellos por diferentes métodos (visualmente, comparación de variables, estadísticamente). Una vez ingresados los datos al sistema, se efectúa un control de calidad automático, utilizando herramientas estadísticas que permiten detectar, entre otros, márgenes de error para cada dato, valores atípicos que requieren un análisis detallado.

Almacenamiento: para manejar el volumen de datos acopiados es recomendable utilizar manejadores de base de datos que garantizan el ordenamiento de la información, la integridad e independencia de los datos y su disponibilidad para el tratamiento de los mismos mediante resúmenes estadísticos, gráficos y tablas. Se requiere un diseño en la estructura para el almacenamiento de los datos que contenga la referencia espacial (longitud, latitud y altitud) y

temporal (año, mes, día, hora, minutos). Para facilitar la integración de datos con los provenientes de otros sistemas, es necesario que los datos estén óptimamente descritos (metadatos).

Procesamiento: puede definirse como la capacidad del sistema de información para efectuar cálculos de acuerdo con una secuencia de operaciones preestablecida. En el caso de los datos hidrológicos, es necesario efectuar la agregación de datos de intervalo de tiempo regular e irregular, con el fin de contar con información estructurada en escala horaria, diaria, mensual y multianual. En esta fase, a través de análisis estadístico se realizan las complementaciones de datos faltantes.

Difusión de información: corresponde a la capacidad del sistema para entregar la información procesada que puede darse principalmente a través de reportes impresos, consultas por navegador, análisis espacial y archivos.

Gestión: la garantía de la calidad y confiabilidad de los datos, se sustenta en la evaluación de los procedimientos, metodologías e instrumentos presente en todas las etapas que involucra el flujo de los datos, desde la toma hasta la divulgación del mismo. Es indispensable la capacitación y actualización de las personas involucradas en cada una de estas etapas: toma del dato, verificación previa, captura o transmisión, almacenamiento, procesamiento y divulgación, así como establecer políticas adecuadas para el resguardo de la información (custodia de medios magnéticos, copias de respaldo).

Entre las herramientas presentes para el apoyo de la gestión de datos, están las bodegas de datos o datawarehouse, la minería de datos, la implementación de metadatos, los cuales guardan información sobre los formatos, significado y origen de los datos, y facilitan por lo tanto, el acceso, la navegación y administración de los datos en la bodega.

El modelo conceptual del Ideam actualmente maneja los siguientes módulos:

Agua Superficial (estado = en operación). Cuenta con información numérica (series históricas) de aproximadamente cuarenta años, generada por la red hidrológica y meteorológica. Actualmente se consolida la información gráfica cuya base es IGAC, requiriendo procesos de elaboración de metadatos y estructuración cartográfica, entre otros. Este módulo permite generar y difundir conocimiento e información oportuna en cantidad y calidad sobre la dinámica, estado, distribución espacial y temporal del recurso hídrico en el país a partir de las variables que se relacionan en el capítulo 6. En el anexo 8 se presentan los aspectos relacionados con el Procesamiento y Calidad de la información hidrológica básica, referida a este módulo.

Calidad Ambiental (estado = en operación). Se tiene información de las variables fisicoquímicas obtenidas a través de los procesos de monitoreo, muestreo representativo y análisis en el laboratorio ambiental, orientados al diagnóstico de la calidad ambiental, permitiendo almacenar los datos muestrales, que incluyen los valores de la incertidumbre de las mediciones, la calibración y validación periódica de los equipos y métodos de medición, y la identificación de la entidad, el laboratorio, los equipos y las personas que participan en todo el proceso.

Agua Subterránea (estado = se encuentra en la fase de conceptualización). Pretende efectuar los análisis hidrogeológicos, fisicoquímicos y microbiológicos del agua subterránea con el fin de

evaluar el estado y la dinámica del recurso hídrico subterráneo como soporte para la definición de estrategias y lineamientos de políticas para la protección y conservación del recurso hídrico subterráneo.

Invemar ha implementado la Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental Marina en Colombia – REDCAM para efectuar el monitoreo y la evaluación continua y permanente de la calidad de las aguas marinas y costeras, a través del ingreso de los valores registrados en las principales variables físicas y químicas del medio marino y estuarino que reúne a las principales instituciones de investigación y control con injerencia en las costas colombianas sobre el Caribe y el Pacífico.

9- ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACION DE LA GUIA

El presente documento cubre de manera conceptual y global la temática sobre monitoreo del recurso hídrico, en donde los detalles procedimentales de algunos tópicos han sido consignados en anexos.

El presente documento estará sometido a actualizaciones periódicas, producto de las conclusiones y recomendaciones del trabajo conjunto durante las diferentes fases (mencionadas en el siguiente párrafo), y del desarrollo tecnológico que aporta continuamente nuevas herramientas para levantar información sobre el agua desde la fase de mediciones hasta la consolidación del sistema de información. Las versiones actualizadas del documento y de los anexos estarán disponibles en la página web del Ideam.

Las estrategias a seguir para lograr la implementación de la guía se resumen en tres fases, para las cuales es necesario contar con el apoyo y participación, específicamente del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y las Corporaciones Autónomas Regionales:

- 1- Aplicación de la guía en tres CAR que serán seleccionadas concertadamente con el MAVDT y las CAR. Actualmente el desarrollo que le han dado las CAR a la temática de monitoreo del recurso hídrico se encuentran en diferentes niveles, por tanto se recomienda que las Corporaciones que sean seleccionadas representen estos niveles para que las conclusiones y recomendaciones apliquen a todas.
 - 2- Socialización de la guía en un taller nacional con la participación de las Corporaciones, fase que operará paralelamente a la anterior. El documento esta disponible para consulta en la página web del Ideam, de tal manera los aportes de las CAR sean discutidos y analizados durante el desarrollo del taller.
 - 3- Conformación de grupos de trabajo temáticos para analizar, discutir y profundizar aspectos muy específicos de los diferentes módulos se dejan ver en la guía: Agua Superficial, Agua Subterránea, Calidad del agua, Sistema de Información del agua, y Monitoreo en ambiente marino y costero.
- Agua superficial en términos de cantidad.

Las variables que caracterizan la cantidad del recurso hídrico, son quizás las que poseen mayor cantidad de registros continuos en el tiempo (series históricas de 30 a 40 años), no solo por parte del Ideam, sino de algunas CAR. Para hacer los datos comparables se debe tener la certeza de que ellos sean generados a partir de protocolos de mediciones que siguen los mismos estándares. La conformación de un grupo para trabajar en esta temática tiene como objetivo homologar los criterios y normas que deben considerarse en cada uno de los procesos que se realizan durante el monitoreo del agua, desde los requerimientos para la ubicación de los puntos de las observaciones, la frecuencia de las observaciones y mediciones, y los programas de operación y mantenimiento de infraestructura y equipos utilizados para las observaciones y mediciones hidrométricas.

- Agua subterránea.

El monitoreo del recurso hídrico subterráneo en nuestro país, hasta el momento, no obedece a un sistema planificado que de cuenta del comportamiento espacio-temporal del recurso. A través de un trabajo conjunto entre Ideam y las CAR se espera poner en operación la red de monitoreo que de cuenta del estado de este recurso y su disponibilidad en términos de calidad y cantidad.

- Calidad del agua.

Como se menciona en la guía son muchas las variables que intervienen con el concepto de calidad de agua, las cuales están asociadas con los usos que tiene el recurso hídrico. Es necesario ampliar la discusión en la agrupación y ponderación que se le deben dar a estas variables, reflejado en los Índices de Calidad del Agua –ICA, de tal manera que se lleguen a ponderaciones representativas de niveles regional y local.

Un aspecto relevante para las CAR, el cual puede ser abordado por este grupo de trabajo, es la concertación de los requerimientos de muestreo para los vertimientos, para lo cual es indispensable el conocimiento de las CAR de su jurisdicción y los inventarios detallado de los diferentes vertimientos de los sectores productivos con sus niveles tecnológicos de producción.

- Sistema de información del recurso hídrico.

En cuanto al flujo de información a través del sistema hídrico para Colombia, es importante considerar que el éxito en el uso e intercambio de información depende de la forma como las diferentes entidades vinculadas al SINA se interconecten, la tecnología a utilizar y los protocolos establecidos. El Ideam con el fin de efectuar la consolidación del SIAC promoverá acciones tendientes a llevar a cabo el intercambio de información entre las entidades del SINA en forma concertada, de acuerdo con las siguientes etapas:

- o Identificar el estado actual en las Corporaciones Autónomas Regionales teniendo en cuenta el tipo y cantidad de los conjuntos de datos, infraestructura tecnológica y humana y la estructura de los datos. Esta actividad es importante ya que debido a la ausencia de políticas para el manejo de la información hidrológica a nivel nacional, los datos

existentes en cada institución están disponibles en formatos diferentes, en sistemas implementados en diversas herramientas bajo plataformas desiguales. Es importante analizar los avances particulares relacionados con el recurso hídrico en cada corporación para lograr una consolidación nacional.

- Establecer los protocolos para la transformación, integración y consolidación de información, definiendo los estándares, estructuras, formatos, permisos de acceso y metadatos. Se requiere identificar y socializar la normatividad relacionada con los derechos de autor; estandarización de la información común mediante la adopción de registros únicos de acuerdo con la competencia de cada entidad (por ejemplo para la división político administrativa del Dane, catálogo de estaciones, catálogo de objetos para hidrología entre otros); concertar directrices y procedimientos para el intercambio de información y para la administración y divulgación de la información en formatos únicos de presentación de acuerdo con los perfiles de los actores que interactúan a través del sistema.

Las políticas para la gestión de los datos y el intercambio de información debe ser suficientemente socializada a los actores que intervienen en la temática, a través de documentos y programas de capacitación y sensibilización sobre el tema

- Monitoreo en ambiente marino y costero.

Se espera continuar con el proceso de gestión y operación de sistemas de seguimiento a la calidad de las aguas marinas y costeras, en el ámbito local y regional por parte de las corporaciones autónomas regionales que hacen parte de la Red de Calidad Ambiental Marina (REDCAM) (INVEMAR, 2001; 2002; 2003). REDCAM, lleva cuatro años de actividades de monitoreo a nivel nacional, período en el cual se han consolidado los 16 NODOS y la RED de estaciones en todo el territorio marino costero.

La generación y consolidación de la RED nacional, se fortalecerá aún más mediante el apoyo decidido y el acompañamiento de las instituciones nacionales con experiencia en este tipo de labores, como es el caso del IDEAM, las CARs costeras, las Universidades y la empresa privada. Otra forma de consolidar esta red ambiental nacional es mediante la constitución de redes o nodos locales, con base en la experiencia de REDCAM a nivel nacional, operando con instituciones y entidades del ámbito local (municipal) y regional (departamentales).

Se espera que las redes locales inicien procesos de concertación en cuanto a las responsabilidades institucionales y de la comunidad en sus zonas costeras jurisdiccionales, sobre el tema de la calidad ambiental marina. Al mismo tiempo, que la participación ciudadana en estos temas, aumente y genere el conocimiento básico acerca de los recursos que poseen, su estado de calidad y las medidas preventivas y correctivas para su protección y recuperación.

BIBLIOGRAFÍA

Buraglia, P. y L. Osorio. 1998. Guía metodológica para la formulación de planes de acción ambiental local – PAAL. Santa fé de Bogotá, Informe final. 56 p.

CIFI – PESI. Universidad de los Andes. 1999. Método para la planificación estratégica de Sistemas de Información.

Davies, J. (ed); J. Baxter; M. Bradley; D. Connor; J. Khan; E. Murray; W. Sanderson; C. Turnbull and M. Vincent. 2001. Marine Monitoring Handbook. UK Marine SACs Project. Joint Nature Conservation Committee. 405 p.

Garay, J.; G. Ramírez; J. Betancourt; B. Marín; B. Cadavid; L. Panizzo, L. Lesmes; J. Sánchez; H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: Aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR: Santa Marta, 177 p. (Serie documentos Generales; N° 13 – ISBN 958-97264-5-3)

GESAMP. 1990. The state of the marine environment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of marine Pollution IMO /FAO/ UNESCO/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP. UNEP Regional Sea Reports and Studies No. 115.

Giraldo, R.; W. Troncoso; J.E. Mancera & N. Méndez. 2000 Geoestadística: Una herramienta para la modelación en estuarios. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(90): 59 - 72.

González, A. Noviembre 2003. Documento Técnico: SIAC Sistema de Información del SINA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

IDEAM.2003. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas (<http://www.ideam.gov.co/biblio/paginaabierta/guia.pdf>)

IDEAM (ed). 2002. Conceptos, definiciones e instrumentos de la información ambiental de Colombia. Sistema de información ambiental de Colombia – SIAC - tomo I. IDEAM/Instituto SINCHI/Instituto Von Humbolt/IIAP/INVEMAR. IDEAM. 1999. Sistema de Información componente hidrológico, redes, mediciones, observaciones y procesos básicos. Documento interno Subdirección de Hidrología. Bogotá.

IDEAM. 2000. Estudio Nacional del Agua. Bogotá. 253 p

INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. 2003. Diagnostico de la calidad ambiental marina en el caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la protección y conservación de las aguas marinas y costeras. Diagnostico nacional 2003. 273 p.

Jeffrey L.; Whitten, L.D.; Bentley; y Barlow V. M. 1999. Análisis y Diseño de Sistemas de Información., Colombia, Editorial Norma.

Jiménez, J.T. Febrero 2004. Bodegas de datos como apoyo a la toma de decisiones. ITEMS Campus Morelos.

Marín, B.; J. Garay; A. Vélez; L. Arias; J. Bohórquez y N. Calvano. 2002. Manual de funcionamiento del sistema de información de la REDCAM. Red de vigilancia de la calidad ambiental marina en Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andreís” INVEMAR. 110 p.

Ministerio de Agricultura. 1984. Decreto 1594. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Ministerio del Medio Ambiente. 2000. Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia. Bogotá, D.C. 79 p.

Nadal, E. Y Lacasa M. 1997. Introducción al análisis de la planificación hidrológica, 2ª edición. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Madrid. 202 p.

Niiler, P. 2000. The world ocean surface circulation. Current: The journal of marine education. Drifter buoys 16(1): 11 – 13

OMM. 1994. Guía de prácticas hidrológicas, Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. Organización Meteorológica Mundial, OMM No. 168, Quinta edición. 781 p.

Tomás de Galiana Mingot. 1987. Diccionario Ilustrado de las Ciencias. Editorial Larousse, Paris

Steer, R., Arias-Isaza, F., Ramos, A., Sierra-Correa, P.C., Alonso, D. 1997. Documento base para la elaboración de la política nacional de ordenamiento ambiental y desarrollo sostenible de las zonas costeras colombianas. Consultoría para el ministerio del medio Ambiente.

Sistema de Información Ambiental para Colombia propuesta de trabajo para su desarrollo. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. V.3.0. 2003.

SIAC Sistema de Información del SINA - Documento Técnico. Armando González. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Noviembre de 2003.

UNESCO y OMM. Julio 1998. Evaluación de los Recursos Hídricos, Manual para la estimación de las capacidades nacionales. 153 p.

UNESCO, Editores literarios Malin Falkenmark y Tom Chapman. 1993. Hidrología Comparada, Un enfoque ecológico a los recursos hídricos y de suelo. Aportación del Comité Nacional Español para el Programa Hidrológico Internacional a la IV Fase del PHI, Versión española Cedex. Madrid. 491 p.

GLOSARIO

Agregación: mecanismo que permite estimar un descriptor estadístico para una serie de valores correspondientes a la observación de un parámetro ambiental en el tiempo.

Bodega de datos (Datawarehouse): almacén de información integrada, proveniente de sistemas de información transaccionales, con el objetivo de proveer datos para el análisis y la toma de decisiones.

Ciclo Hidrológico. Proceso de la naturaleza en el que el agua de la corteza terrestre atraviesa sucesivas etapas -precipitación, acumulación, evaporación y transpiración, condensación y otra vez la precipitación que abre y cierra el ciclo- al pasar de la atmósfera a la Tierra y de ésta de nuevo a la atmósfera.

Consumo. Pérdida o reducción física del agua disponible que un determinado uso lleva consigo.

Dato. Expresión numérica de mediciones de alguna dimensión de un objeto o de un fenómeno natural o producido por el hombre.

Demanda. Caudal y volumen de agua que se precisa para cada actividad cuando se consideran las necesidades creadas y unas dotaciones razonables y ajustadas a la realidad.

Estándar. Que sirve como tipo, modelo, patrón o referencia para unificar los productos o las técnicas.

Información hidrológica. Es el resultado del proceso de series de datos espacio-temporales de diversas formas para tener una idea de las características del objeto o fenómeno y poderla utilizar en la toma de decisiones.

Metadatos: información acerca de los datos, permitiendo comprender las virtudes y limitaciones de los datos disponibles.

Minería de datos: la búsqueda de información valiosa en grandes volúmenes de datos.

Norma. Regla que determina las dimensiones, composición y demás características que ha de tener un objeto, producto, variable, etc. Documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido que proporciona para uso común y repetido reglas, directrices características para ciertas actividades o sus resultados con el fin de conseguir un grado óptimo de orden en un contexto dado. La aplicación de una norma tiene carácter voluntario.

Parámetro. Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Protocolo. Conjunto de reglas y/o procedimientos que se establecen para la transmisión de información o datos, conocido por el emisor y el receptor

Uso. Volumen bruto de agua suministrado para una actividad determinada.

Variable. Valor que puede tomar cualquier elemento de un determinado conjunto de valores variable en el sentido matemático

Vertimientos. Son los que se realizan directa o indirectamente en los cauces, cualquiera que sea la naturaleza de éstos.

SIGLAS

CAM. Calidad Ambiental Marina. Programa desarrollado por el Grupo de investigación en calidad ambiental marina en el INVEMAR, cuyo énfasis en la actualidad es el estudio de las condiciones de las aguas marino costeras del país. El programa posee tres líneas de investigación que son: Prevención y protección de los ecosistemas marinos y costeros; Monitoreo y evaluación de efectos; y, Rehabilitación de ecosistemas marinos

CAR. Corporación Autónoma Regional

DANE. Departamento Administrativo Nacional de Estadística

HIMAT. Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras

ICA. Índice de calidad del agua

ICAM. Índice de calidad de aguas marinas

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis”

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi

MAVDT. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

OMM. Organización Meteorológica Mundial

REDCAM. Red de Vigilancia de la Calidad Ambiental de las Aguas Marinas de Colombia. Programa diseñado para el seguimiento de la Calidad Ambiental de las Aguas Marinas de Colombia. Este seguimiento es realizado sobre una red de estaciones predefinidas y georeferenciadas, en las cuales se miden una serie de variables ambientales que son usadas para evaluar el estado de las aguas.

SIA. Sistema de Información Ambiental

SIAC. Sistema de Información Ambiental de Colombia

SINA. Sistema Nacional Ambiental

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

ANEXOS

- 1- Metodología cálculo Índice de Escasez
- 2- Sistema de Alertas Hidrológicas
- 3- Diseño y Optimización de la red de estaciones hidrológicas
- 4- Monitoreo de agua subterránea
- 5- Hidrotopografía
- 6- Mediciones hidrométricas
- 7- Procedimientos y Métodos de recolección datos de calidad del agua
- 8- Procesamiento y calidad de la información hidrológica básica