



PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL CONOCIMIENTO Y MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN COLOMBIA

CONTENIDOS DEL TALLER DE FORMACIÓN

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales (Ideam)
Subdirección de Hidrología

Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC)
Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH)

Año 2015



CONTENIDO

CONSEJO DIRECTIVO

GABRIEL VALLEJO LÓPEZ
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

NATALIA AVELLO VIVES
Ministra de Transporte

SIMÓN GAVIRIA MUÑOZ
Director Departamento Nacional de Planeación (DNP)

MAURICIO PERFFETI DEL CORRAL
Director Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)

JUAN PABLO RUIZ SOTO
Delegado Presidencia de la República

RAMÓN LEAL LEAL
Director Ejecutivo Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - Asocars

YANETH GIHA TOVAR
Directora General Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación - Colciencias

LUIS ALBERTO AGUIRRE GARCÍA
Secretario Técnico del Consejo

DIRECTIVAS

PAULA ANDREA SÁNCHEZ
Secretaria General

ALEXÁNDER MARTÍNEZ
Subdirector de Estudios Ambientales

MARÍA SARALUX VALBUENA LÓPEZ
Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

NELSON ÓMAR VARGAS MARTÍNEZ
Subdirector de Hidrología

JOSÉ FRANKLIN RUIZ
Subdirector de Meteorología

CHRISTIAN EUSCÁTEGUI COLLAZOS
Jefe Oficina Pronósticos y Alertas

JAIRO CÉSAR FÚQUENE
Jefe Oficina Asesora de Planeación

RICARDO GÓMEZ DE LA ROCHE
Coordinador Grupo de Comunicaciones

LEONARDO CÁRDENAS CHITIVA
Jefe Oficina de Informática

ADRIANA PORTILLO TRUJILLO
Jefe Oficina Asesora Jurídica

MARÍA EUGENIA PATIÑO JURADO
Jefe Oficina Control Interno

DIANA QUIMBAY VALENCIA
Jefe Oficina Cooperación Internacional

Autores:
Ana Karina Campillo
Claudia L. Garzón
Lizbeth Gisella Ramírez
Miguel Angel Valenzuela

Coordinador
Fabio Bernal, Coordinador del Grupo de Evaluación Hidrológica

Colaboradores
Pilar Galindo G., Hugo Cendales, Lisbeth Hernández, Carlos Abril T, Diego López, Yesid Fandiño, Gonzalo Mendoza, Doris Liliana Otálvaro, David Román E., Diana Marcela Moreno.

ISBN: 978-958-8067-77-3

Diseño y Diagramación
Imprenta Nacional de Colombia

Impresión
Imprenta Nacional de Colombia

Cítese como: 2015. IDEAM. Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas - Contenidos del Taller de Formación. 180 págs. Diciembre 2015. Bogotá, D. C., Colombia 2015, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Todos los derechos reservados.
Este documento se construye en el marco de las actividades adelantadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, en el desarrollo del convenio interadministrativo 331 de 2015 suscrito con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

INTRODUCCIÓN.....11

1 MARCO CONCEPTUAL Y DEFINICIONES BÁSICAS 13

1.1. Evolución de los estudios hidrogeológicos en Colombia 15

1.2. Marco conceptual de las aguas subterráneas 17

1.3. Conceptos generales en aguas subterráneas 18

1.4. Propiedades hidráulicas de los acuíferos 22

1.5. Nociones básicas sobre el movimiento del agua subterránea..... 25

1.6. Particularidades de la evaluación hidrogeoquímica y la calidad de las aguas subterráneas 27

1.7. Evaluación del agua subterránea 35

2 ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA39

2.1. Enfoque metodológico para la zonificación hidrogeológica..... 41

2.2. Provincias hidrogeológicas de Colombia 43

2.3. Sistemas acuíferos de Colombia 47

2.3.1. Sistemas acuíferos de provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas 47

2.3.2. Sistemas acuíferos de provincias pericratónicas 51

2.3.3. Sistemas acuíferos de provincias costeras e insulares 52

3 MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....57

3.1. ¿En qué consiste el monitoreo del agua subterránea?..... 59

3.2. ¿Qué tipos de redes de monitoreo de aguas subterráneas existen?..... 61

3.3.	¿Cómo se diseña un programa de monitoreo de aguas subterráneas?	62
3.3.1.	Planteamiento de objetivos	62
3.3.2.	Estrategias de monitoreo	63
3.3.3.	Diseño y establecimiento de redes y métodos de monitoreo	64
3.3.3.1.	Cantidad de agua subterránea	65
3.3.3.2.	Calidad del agua subterránea	68
3.4.	Análisis de datos y divulgación	73
3.5.	¿Cuáles son los instrumentos de medición y recolección de muestras en aguas subterráneas?	75
3.5.1.	Pozos de monitoreo	76
3.5.2.	Parámetros medidos y métodos empleados	77
3.5.3.	Instrumentos usados para el monitoreo de aguas subterráneas	81
3.6.	Lecturas recomendadas	84
4	LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RECURSO HÍDRICO (SIRH)....87	
4.1.	Línea de tiempo del SIRH: marco normativo	89
4.2.	contexto general actual del SIRH	92
4.2.1.	Observatorio del Agua	94
4.3.	Las aguas subterráneas y el registro de información en el SIRH	98
4.4.	Proyecciones de la gestión de información en el marco del SIRH	103
5	GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS 111	
5.1.	Antecedentes de política	113
5.2.	Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico	113
5.3.	Avances del seguimiento del recurso hídrico subterráneo al año 2010, identificados en la PNGIRH	116
5.4.	Problemática actual del recurso hídrico asociado a las aguas subterráneas	118
5.5.	Postulados de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)	119

5.6.	Objetivos de la PNGIRH	122
5.7.	Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB) 2014	128
5.8.	Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos	130
5.9.	Otros documentos importantes	139
6.	PRÁCTICA PROCEDIMIENTO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SIRH..... 141	
6.1.	Esquema de registro de información	144
6.2.	Ingreso al sistema	145
6.3.	Identificación de la fuente hídrica	146
6.4.	Registro de usuarios	147
6.5.	Registro del predio	149
6.6.	Registro de la concesión	150
6.7.	Registro de la captación	151
6.7.1	Registro del uso de la captación	154
6.7.2.	Registro de información técnica del punto de agua subterránea	157
6.7.3	Registro de mediciones de calidad asociadas a la captación	163
6.8	Consultas	166
6.8.1.	Consultar usuarios y predios	168
6.8.2.	Captaciones subterráneas	169
6.8.3.	Validación de información	171
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 173	

TABLAS

Tabla 1. Valores de porosidad de rocas y sedimentos.....	22
Tabla 2. Valores de permeabilidad.....	23
Tabla 3. Valores típicos de permeabilidades para diferentes tipos de materiales. Tomado de Custodio y Llamas, 2001 en Benítez (1963).....	24
Tabla 4. Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales.....	24
Tabla 5. Valores de coeficiente de almacenamiento.....	25
Tabla 6. Implicaciones de la litología en la composición del agua subterránea (Modificado de Mazor, 2004)	30
Tabla 7. Error admisible del balance iónico en relación con la conductividad.....	32
Tabla 8. Contaminantes y fuentes de contaminación.....	34
Tabla 9. Sistemas acuíferos de las provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas de Colombia.....	47
Tabla 10. Sistemas acuíferos de las provincias hidrogeológicas pericratónicas de Colombia.....	51
Tabla 11. Sistemas acuíferos de provincias costeras e insulares.....	52
Tabla 12. Preguntas esenciales referentes al tipo de información requerida para un programa de monitoreo.....	60
Tabla 13. Clasificación del tipo de monitoreo de agua subterránea según su función.....	65
Tabla 14. Longitud típica de recolección de datos de nivel de agua en función del uso previsto.....	67
Tabla 15. Contaminantes asociados a vertimientos con afectación en aguas subterráneas.....	69
Tabla 16. Lista de parámetros sugeridos para una red de monitoreo de calidad del agua subterránea.....	70
Tabla 17. Características de monitoreo para protección de calidad del agua subterránea.....	71
Tabla 18. Instrumentos usados para el monitoreo del agua subterránea.....	81
Tabla 19. Diagnóstico general para el ajuste al formulario unico nacional, de solicitud de concesión de aguas.....	104
Tabla 20. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico: objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción.....	124

FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico (Unesco, 2006).....	18
Figura 2. Tipos de acuíferos (Vélez, 2011)	20
Figura 3. Manantial El Sereno, foto cedida por Carsucre (2013).....	20
Figura 4. Pozo ubicado en Leonisa, Medellín.....	21
Figura 5. Aljibe ubicado en el terminal Belencito en Medellín.....	21
Figura 6. Piezómetro ubicado en la jurisdicción del AMVA.....	21
Figura 7. Distribución vertical del agua subterránea. (USGS, 2015a).....	22
Figura 8. Relación entre textura y porosidad (Meinzer, 1923).....	23
Figura 9. Experimento de Darcy (Vélez, 2011).....	26
Figura 10. Divergencia de límites hidrográficos e hidrogeológicos (Carrillo et ál., 2007).....	26
Figura 11. Sistemas de flujo de aguas subterráneas (Tóth, 1995).....	27
Figura 12. Ejemplos de conexión hidráulica entre aguas subterráneas y superficiales.....	27
Figura 13. Procesos que determinan la composición del agua subterránea. Tomado de Herczeg y Edmundo, 2001 citado por Betancur, 2008.....	29
Figura 14. Diagrama de Piper para la clasificación de facies hidrogeoquímicas (Betancur, 2008).....	32
Figura 15. Diagrama de Stiff (Scientific Software Group, 1998).....	32
Figura 16. Relaciones iónicas entre cationes y aniones (Mazor, 2004).....	33
Figura 17. Usos del suelo que generan contaminación de acuíferos (Foster et ál., 2006).....	33
Figura 18. Modelo hidrogeológico conceptual (IDEAM, 2013).....	36
Figura 19. Flujograma de procedimiento y fuentes de información.....	41
Figura 20. Clasificación de provincias hidrogeológicas de Colombia.....	44

Figura 21. Distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica.....45

Figura 22. Localización de sistemas acuíferos de Colombia46

Figura 23. El ciclo del monitoreo. Modificado de (Uil et ál., 1999).....60

Figura 24. Tipos de redes de monitoreo según la cobertura y competencia institucional (Vargas, 2001).....61

Figura 25. Flujograma para la implementación de un programa de monitoreo de aguas subterráneas.
Modificado de Vrba (2002).62

Figura 26. Fuentes de contaminación del agua subterránea (Foster et ál, 2002).....69

Figura 27. Monitoreo automático (diver) y manual (cinta métrica)78

Figura 28. Diagrama esquemático de un ensayo de bombeo típico en el que aparecen indicadas las diversas medi
ciones (Heath, 1983 en OMM, 2011).79

Figura 29. Equipos empleados durante ensayo de bombeo (Palmira, Valle del Cauca, 2013).80

Figura 30. Equipos empleados para recolección de muestra de aguas subterráneas en piezómetro, para análisis
físicoquímicos (equipo técnico de Carder, 2013).80

Figura 31. Línea de tiempo del SIRH.....92

Figura 32. Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC)92

Figura 33. Componentes del SIRH93

Figura 34. Consulta de información en el SIAC.....94

Figura 35. Observatorio del agua y acceso a autoridades ambientales al SIRH.....94

Figura 36. Observatorio del agua95

Figura 37. Información componente de oferta.....95

Figura 38. Información componente de demanda.....96

Figura 39. Información de componente de calidad.....96

Figura 40. Información componente de riesgo.....97

Figura 41. Información componente de gestión.....97

Figura 42. Consulta de información a través del visor geográfico.....98

Figura 43. Cifras y estadísticas del componente agua en el SIAC98

Figura 44. Esquema general de registro de información subterránea en el SIRH.....100

Figura 45. Esquema general concesión de aguas.....102

Figura 46. Esquema general de la información técnica del punto de agua subterránea de acuerdo a FUNIAS.....102

Figura 47. Esquema general proyección SIRH105

Figura 48. Proyección componente zonificación hidrogeológica106

Figura 49. Proyección componente monitoreo piezométrico107

Figura 50. Proyección componente visor - ASUB.....108

Figura 51. Marco político. objetivo general - Específicos - Líneas estratégicas de la PNGIRH.....114

Figura 52. Ciclo de la gestión integral del recurso hídrico119

Figura 53. Instrumentos de PNGIRH.....120

Figura 54. Estructura para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos121

Figura 55. Esquema general Programa Nacional de Aguas Subterráneas.....128

Figura 56. Esquema fase de aprestamiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.....132

Figura 57. Propuesta de manejo y procesamiento de datos en el sistema de información geográfica132

Figura 58. Pasos para la identificación, clasificación y categorización de actores y sectores clave133

Figura 59. Esquema fase de diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.....134

Figura 60. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual.....135

Figura 61. Esquema fase de formulación del Plan de manejo ambiental de acuíferos136

Figura 62. Indicadores para aguas subterráneas del Valle del Cauca.....137

Figura 63. Esquema fase de seguimiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.....138

Figura 64. Esquema fase de aprestamiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.....138

Figura 65. Esquema general de registro de información subterránea en el SIRH.....144

INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico es entendido como el proceso natural en el cual el agua cambia en sus diferentes fases e interactúa e influye en el desarrollo de los ecosistemas que se encuentran en la naturaleza. Pues bien, el agua subterránea forma parte de este gran ciclo, donde una proporción de su volumen depende del recurso que se precipita, escurre e infiltra en el suelo, constituyendo la capa freática o los sistemas acuíferos, definidos como las zonas en las cuales, por su capacidad y condiciones geológicas e hidráulicos, se almacena el recurso hídrico conservando características partículas.

Dicho almacenamiento y flujo del agua en el subsuelo está determinada por las condiciones geológicas del suelo y subsuelo además de las características físicas, químicas, hidrológicas y climáticas que intervienen en la dinámica de recarga, tránsito y descarga de los sistemas acuíferos presentes en las diferentes regiones.

Las aguas subterráneas constituyen importantes reservas de agua dulce con una menor susceptibilidad a procesos de contaminación y degradación en comparación con las fuentes superficiales. De ahí la importancia de conocer su ocurrencia, distribución y principales características

hidráulicas, hidrológicas e hidrogeoquímicas para una gestión adecuada y sostenible del recurso.

En este sentido, a continuación se presentan, en cinco capítulos, los conocimientos básicos necesarios para identificar las generalidades de las aguas subterráneas, establecer los mecanismos para su respectivo monitoreo y las recomendaciones para realizar una gestión integral adecuada, por parte de las Autoridades Ambientales Competentes (AAC) a quienes está dirigida, principalmente, esta publicación.

Estos capítulos fueron estructurados con base en los contenidos de aprendizaje del curso virtual “Principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas”, en el marco del proceso de implementación del Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH).

- ◆ Conceptos básicos de aguas subterráneas
- ◆ Zonificación hidrogeológica
- ◆ Monitoreo de aguas subterráneas
- ◆ Aguas subterráneas en el Sistema de Información de Recurso Hídrico - SIRH
- ◆ Gestión integral adecuada del recurso hídrico subterráneo

MARCO CONCEPTUAL Y DEFINICIONES BÁSICAS

El presente capítulo contiene la síntesis de la evolución de los estudios hidrogeológicos realizados en Colombia desde los años 70, los conceptos básicos empleados en el tema de aguas subterráneas, nociones de hidráulica, movimientos y evaluación de las aguas subterráneas.



- 1. MARCO CONCEPTUAL Y DEFINICIONES BÁSICAS
 - 1.1 EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN COLOMBIA
 - 1.2 MARCO CONCEPTUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 - 1.3 CONCEPTOS GENERALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS
 - 1.4 PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUIFÉROS
 - 1.5 NOCIONES BÁSICAS SOBRE EL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
 - 1.6 PARTICULARIDADES DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
 - 1.7 EVALUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

1.1. EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS EN COLOMBIA

En el país se han realizado estudios hidrogeológicos regionales y de carácter local con escalas que varían entre 1:25.000 y 1:100.000. Con estos estudios se ha cubierto cerca del 15% de la superficie del territorio nacional en reconocidos ambientes sedimentarios. En el **1984** el Departamento Nacional de Planeación estructuró el Mapa Hidrogeológico General de Colombia en planchas a escala 1:500.000 (Huguett et ál., 1989). Además se cuenta con una cartografía hidrogeológica de todo el territorio nacional en escala 1:2.500.000 elaborada por Ingeominas en el **año de 1989** con el patrocinio del Programa Hidrogeológico Internacional de la Unesco. Esta cartografía se realizó con base en el Mapa Hidrogeológico de Colombia, publicado por la misma entidad en el año de 1977 a escala 1:3.000.000.

Los estudios realizados se han enfocado en el reconocimiento de las unidades acuíferas, definición de regímenes de flujo, determinación de la calidad del agua y caracterización de parámetros hidrogeológicos para conocer las condiciones de almacenamiento, caudal, transmisividad y capacidades específicas de los pozos en las unidades acuíferas. Esta información se ha ajustado con métodos geológicos, geofísicos, hidrológicos e hidrogeológicos para formular los Modelos Hidrogeológicos Conceptuales de los diferentes acuíferos objeto de evaluación.

Los estudios de aguas subterráneas en Colombia se iniciaron por parte de Ingeominas desde 1950 con un enfoque de abastecimiento de agua potable en poblaciones con restricciones o limitaciones de acceso a fuentes

superficiales. De esta manera se adelantaron estudios basados en reconocimientos geológicos y perforaciones en el Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. Esta tendencia se extendió a los años 60 abarcando poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas (Ingeominas, 2004).

Solo hasta 1970 se iniciaron desde el Ingeominas estudios con enfoque regional en los departamentos del Valle del Cauca, Valle medio del Magdalena y la zona noroccidental de la Sabana de Bogotá con el acompañamiento de la Netherlands Organization for Applied Scientific Research TNO (Ibíd.). Simultáneamente se estrenaba una jurisprudencia que reconocía el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y, entre ellos, el agua subterránea (Código de los Recursos Naturales. Decreto Ley 2811 de 1974).

Hacia los años 90 se concretan convenios con Autoridades Ambientales que permiten la realización de estudios regionales en el valle del Patía, la sabana de Bogotá, Urabá antioqueño y en los departamentos de César, Huila, Tolima, Magdalena, Sucre, Córdoba y la Isla de San Andrés (Ibíd.).

En 1996 Ingeominas inicia la elaboración del Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia (escala 1:500.000) que compendia el análisis de información disponible en la entidad complementada con información de empresas públicas y privadas. Su cubrimiento es de cerca del 30% del territorio colombiano y abarca 8 planchas 1:500.000 con diferentes capas temáticas (Ibíd.). En este mismo año se concreta el proyecto de cooperación técnica internacional denominado “Protección Integral de

las Aguas Subterráneas” entre el gobierno británico, a través de Water Management Consultants WMC e Ingeominas que beneficia a Coralina y CVC, inicialmente, y que involucra entidades como el Ministerio de Ambiente y el IDEAM. Posteriormente, benefició a Carder, Corpoguajira, Carsucre. Estos convenios permiten incorporar nuevas prácticas y conceptos para el manejo sostenible del recurso hídrico subterráneo permitiendo el fortalecimiento institucional y el afianzamiento de marcos participativos para la gestión del agua. Esta cooperación tendrá continuidad con el Organismo internacional de Energía Atómica OIEA que beneficia a las mismas corporaciones en el marco de un proyecto de manejo integrado de recurso hídrico en América Latina que, finalmente, se extiende a otro convenio para acuíferos costeros con la participación de Corpourabá. Asimismo, caben destacarse estudios regionales realizados por autoridades ambientales en sus áreas de jurisdicción como es el caso de Corpocesar, Cormacarena, Corantioquia, Cornare, AMVA, Secretaría de Ambiente, CAR, CAM, Corpocaldas, CRQ, CRC y Corponor, entre otras.

En el año 2000 se realiza, por parte del IDEAM, la definición de Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia a escala 1:1.200.000 que divide el país en provincias, cuencas y regiones hidrogeológicas. Esta zonificación se realizó sobre el Mapa Geológico de Colombia de Geotec (Geotec, 1988) complementada con la información del Mapa Hidrogeológico de Colombia a escala 1:2.500.000 (Ingeominas, 1989), la información disponible en Ingeominas en boletines y reportes geológicos e informes hidrogeológico regionales y la información disponible en consultoras y empresas privadas. Esta delimitación y cla-

sificación es modificada y presentada en la publicación especial para Iberoamérica, realizada por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Unesco y el Instituto Geominero de España para el Foro Mundial del Agua realizado en México (Vargas, N. O., 2006).

En el año 2004 Ingeominas traza su plan de exploración de aguas subterráneas con la participación de entidades de orden regional y nacional. Se trata del Programa Nacional de Exploración PEXAS (Ingeominas, 2004). En el documento generado por Ingeominas para difusión de este plan se reconocen zonas prioritarias de exploración (Nariño y alto Patía, Santander, Eje Cafetero, piedemonte y sabanas del oriente colombiano, Tunja y valle de Sogamoso, occidente antioqueño, Guajira, Urabá, Sucre, zona fronteriza del Norte de Santander, Bajo Cauca, Medio magdalena Antioqueño, Cesar, Occidente de la Sabana de Bogotá, Leticia, valle de Aburrá, valle superior y medio del Magdalena, sur de Magdalena, Santa Marta, Sur de Bolívar y Centro de Antioquia) y se esboza una estrategia de implementación (Ingeominas, 2004).

Este diagnóstico ha permitido a Ingeominas desarrollar hasta la fecha nuevos estudios de exploración hidrogeológica en el piedemonte y sabanas del oriente colombiano, altiplano nariñense, eje cafetero, provincia Guanentina en Santander y Alta Guajira.

En el Estudio Nacional del Agua 2010 (IDEAM, 2010) se caracterizan provincias hidrogeológicas delimitándolas con base en el modelo de cuencas sedimentarias de la Agencia Nacional de Hidrocarburos 2007, se calculan reservas con base en cortes geológicos, columnas estratigráficas e información de Ingeominas y se presentan

estadísticas de uso con información reportada para la publicación por las autoridades ambientales.

En el tema de geotermia y aguas termominerales, Ingeominas inicia trabajo en los años 80 enmarcados en el reconocimiento de recursos geotérmicos, localización de manantiales y caracterización físico-química de las fuentes. Con los resultados de las investigaciones se genera el “Mapa Geotérmico de Colombia en escala 1:1.500.000” publicado en el año 2000. Además se profundiza en el inventario de las fuentes termales del Parque Natural Nacional de los Nevados en el año 2002, se realiza el inventario de fuentes termales de Cundinamarca (2003) y se caracterizan las fuentes termales del denominado Sistema Geotérmico de Paipa en el 2005. Estos trabajos son retomados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) para elaborar el reporte “Utilización de la energía geotérmica” (UPME, 2003). En este trabajo se reportan cerca de 300 yacimientos termales, la mayoría en el complejo volcánico Cerro Bravo; 180 de los yacimientos cuentan con caracterización físico química (Ibíd.).

En el Estudio Nacional del Agua (2014) se identifican sesenta y un (61) Sistemas Acuíferos distribuidos en 16 provincias hidrogeológicas con diferentes niveles de conocimiento.

Finalmente, la incorporación del Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASub) de reciente formulación por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el IDEAM (con la participación del Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio,

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, las autoridades ambientales, la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos y el sector académico), en el marco de la PNGIRH, permitirá fortalecer el dominio de conocimiento de las aguas subterráneas en Colombia, incorporar el monitoreo como parte del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico y actualizar la normatividad vigente.

1.2. MARCO CONCEPTUAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico de la Tierra es el mecanismo global que hace posible la transferencia de agua desde los océanos a la superficie y desde la superficie, o subsuperficie al subsuelo y a la atmósfera que envuelve nuestro planeta. Las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escurrimiento, evaporación y transpiración (Figura 1). Las actividades humanas (asentamientos, industria y desarrollos agrícolas) pueden alterar los componentes del ciclo natural mediante afectaciones del uso del suelo, por medio de la utilización, reutilización y vertido de residuos en los recorridos naturales de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (Unesco, 2006).

El agua subterránea tiene su origen en la lluvia, parte de la cual se infiltra directamente a través del suelo, o desde ríos y lagos, por grietas y poros de las unidades rocasedimento, hasta alcanzar un nivel impermeable que no la deja descender más.

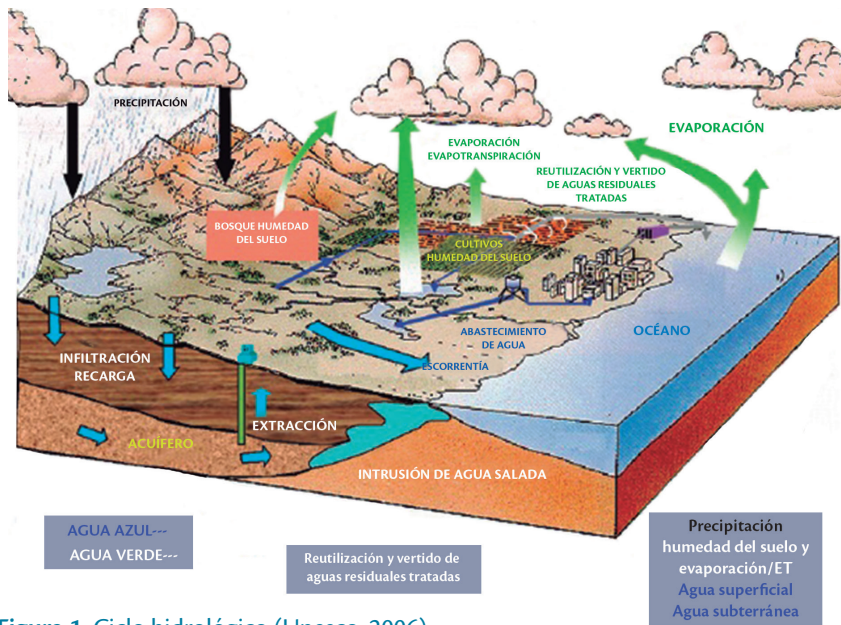


Figura 1. Ciclo hidrológico (Unesco, 2006).

En el subsuelo se encuentran formaciones geológicas consistentes en unidades roca-sedimento porosas (arenas, gravas, etc.), o fracturadas (calizas, areniscas, lavas, etc.) las cuales pueden contener agua en sus intersticios. Esta agua se denomina agua subterránea y los terrenos que la contienen y la pueden ceder se denominan acuíferos. Estos acuíferos pueden tener extensiones laterales de cientos a millones de metros constituyendo acuíferos locales en el primer caso y regionales en el segundo (ITGE, 1987).

Allí se va acumulando con los años, llenando los acuíferos, y poco a poco circula a favor del gradiente, hasta encontrar un nivel de salida a la superficie en puntos definidos que se convierten en manantiales o fuentes, o de forma difusa, en áreas tales como los lechos de los ríos,

cuyo caudal es mantenido por las aguas subterráneas, especialmente, en los estiajes (ITGE, 1987).

1.3. CONCEPTOS GENERALES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Hidrogeología

La hidrología subterránea es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento, circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre. (Custodio y Llamas, 2001).

La hidrogeología es claramente una materia interdisciplinaria en la que, con una finalidad concreta –el estudio de la fase subsuperficial del ciclo hidrológico– es preciso aplicar leyes y métodos de otras muchas disciplinas (Ibíd.).

Tipos de acuíferos

Acuífero: Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicas apreciables para subvenir a sus necesidades. Por ejemplo se pueden citar los aluviones de los ríos, formados por una mezcla de gravas y arenas, las areniscas poco cementadas, algunos tipos de rocas volcánicas y formaciones calcáreas muy karstificadas, entre otros (Ibíd.).

Acuicludo: Se define como aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación no la transmite y, por lo tanto, no es posible su explotación. En este grupo pueden incluirse las arcillas de origen deltaico o estuarino. (Ibíd.).

Acuitardo: Hace referencia la existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones, aunque bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que pueden llegar a ser muy importantes en ciertos casos (Ibíd.).

Acuífugo: Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, por ejemplo un macizo granítico no alterado, o unas rocas metamórficas sin apenas meteorización ni fracturación (Ibíd.).

Sistema Acuífero: Corresponde a un dominio espacial, limitado en superficie y en profundidad, en el que existen uno o varios acuíferos con porosidad primaria o secundaria, relacionados o no entre sí, pero que constituye una unidad práctica para la investigación o explotación (ITGE, 1971, 1987; OMM, 2012 en IDEAM 2013).

Acuíferos libres: Corresponden al esquema más simple: Una zona impermeable sirve de base a una zona permeable saturada de agua; más arriba, existe una franja permeable, sin saturar. Al perforar pozos, el agua en ellos se sitúa al ras de la zona saturada, marcando el nivel freático, que en este caso es también el nivel piezométrico. Desde un punto de vista hidráulico se dice que la presión (en la superficie del agua en el pozo o en las fisuras) es exactamente la atmosférica. De una forma simplificada, se asimilan estos acuíferos a lagos o embalses subterráneos. En ocasiones, la descarga de estos acuíferos a través de manantiales se produce a considerable altura sobre el nivel de base de los cauces de los ríos; se dice entonces que el acuífero está *colgado* (ITGE, 1987).

Acuíferos confinados: La roca permeable queda encajada por encima y por debajo en terrenos impermeables; todo el espesor del acuífero está saturado de agua y la presión de agua en los poros o fisuras es mayor que la atmosférica. Cuando se perfora un pozo en ellos, es decir, cuando el acuífero se pone en contacto con la atmósfera, el agua sube por la perforación o pozo, quedando el nivel del agua por encima del punto en que el pozo alcanzó al acuífero. El nivel al que queda el agua en un sondeo en tales acuíferos se denomina nivel piezométrico del acuífero en ese punto (Ibíd.): En ocasiones (menos numerosas de lo que parece) el nivel del agua supera el

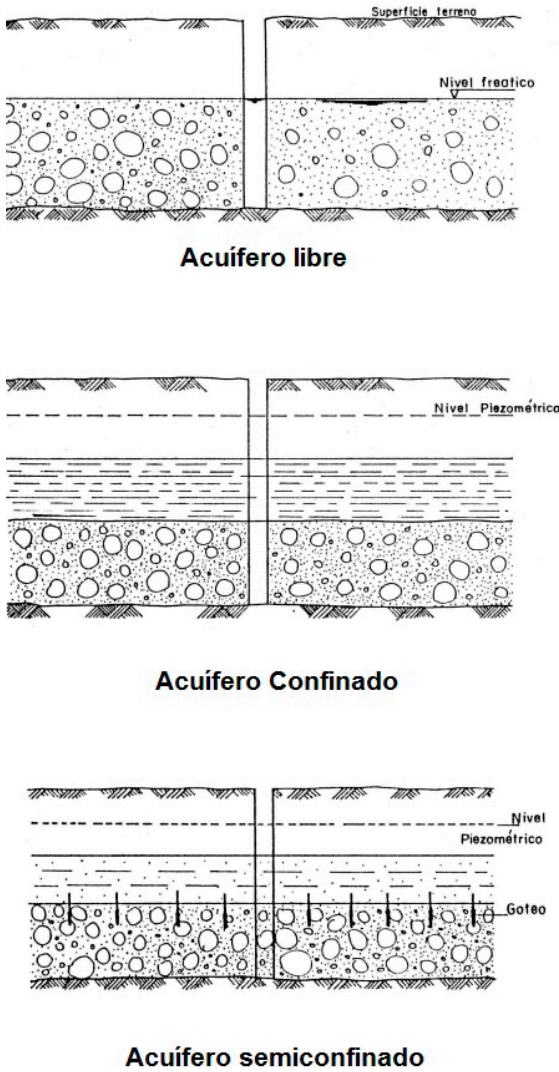


Figura 2. Tipos de acuíferos (Vélez, 2011).

de la superficie y el agua desborda por la boca y se dice entonces que los pozos son surgentes o *saltantes*.

Acuíferos semiconfinados: En sentido estricto, no existen materiales absolutamente impermeables. En caso de acuíferos semiconfinados, una de las rocas encajantes no es totalmente impermeable y permite cierta transmisión de agua a través de ella. El acuífero, de algún modo, tiene unas características intermedias entre el libre y el confinado (Ibíd.):

En la figura 2 se puede esquematizar los diferentes tipos de acuíferos.

Manantial: Surgencia superficial de agua de origen subterráneo que se produce a través de planos de estratificación, discontinuidades de las rocas como fracturas, grietas o cambios de litología en lugares donde la superficie topográfica corta al nivel freático. Figura 3.



Figura 3. Manantial El Sereno, foto cedida por Carsucre (2013).

Pozo: Agujero o perforación que se excava o perfora en la tierra para extraer agua. Generalmente, es de gran profundidad y diámetro pequeño (OMM, 2012). Figura 4.



Figura 4. Pozo ubicado en Leonisa, Medellín.

Aljibe: Excavación manual de gran diámetro, que alcanza la tabla de agua o nivel freático y se profundiza por debajo de esta para acumular agua subterránea que está disponible para ser bombeada. Figura 5.



Figura 5. Aljibe ubicado en el terminal Belencito en Medellín.

Piezómetro: Pozo completamente entubado excepto en su base, utilizado para medir la carga hidráulica en ese punto (OMM, 2012). Figura 6.



Figura 6. Piezómetro ubicado en la jurisdicción del AMVA.

Nivel piezométrico: Corresponde a la suma de la altura geométrica y la carga hidrostática de un líquido, expresada en unidades de altura; es la altura que alcanza el agua en un pozo, aljibe o piezómetro conectado a un punto de un acuífero. (OMM, 2012).

Distribución vertical del agua subterránea: La distribución vertical del agua subterránea puede ser dividida en dos zonas: La zona no saturada consistente de intersticios ocupados parcialmente por agua, parcialmente, por aire y la zona saturada, donde todos los intersticios están ocupados por agua bajo una presión hidrostática. La zona saturada se extiende desde la superficie más alta de saturación hasta el límite con la roca impermeable.

Asimismo, la zona no saturada se extiende desde la superficie hasta el nivel freático tal como se muestra en la Figura 7. (Keith & Mays 2005).

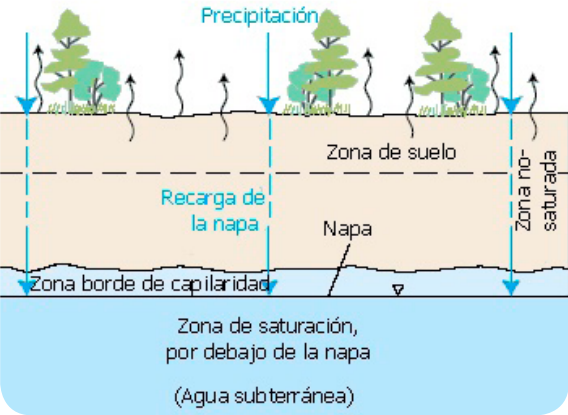


Figura 7. Distribución vertical del agua subterránea (USGS, 2015a).

1.4. PROPIEDADES HIDRÁULICAS DE LOS ACUÍFEROS

La caracterización hidráulica de los Sistemas Acuíferos es un aspecto importante para el conocimiento, la gestión y manejo de estos y debe realizarse conforme a métodos y parámetros establecidos. A continuación se presenta un resumen de las propiedades hidráulicas de los sistemas acuíferos. El estudiante puede consultar la bibliografía de este capítulo para obtener mayor información sobre el tema.

Porosidad: La propiedad de una roca que la hace poder contener agua se define técnicamente como *porosidad*, o porcentaje de intersticios existentes en los sólidos dis-

continuos en relación con el volumen total de la unidad roca-sedimento (ITGE, 1987). Tabla 1 y Figura 8.

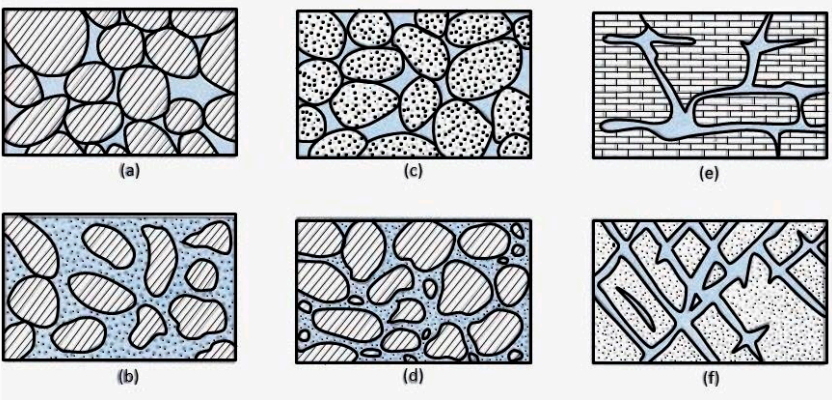
Tabla 1. Valores de porosidad de rocas y sedimentos

Valores de porosidad	
Materiales	n (%)
Depósitos no consolidados	
Gravas	25-40
Arenas	25-50
Limos	35-50
Arcillas	40-70
Rocas	
Basalto fracturado	5-50
Calizas Kársticas	5-50
Areniscas	5-30
Caliza dolomita	0-20
Pizarra	0-10
Rocas cristalinas fracturadas	0-10
Rocas cristalinas compactas	0-5

Fuente: Freeze y Cherry, 1979.

La porosidad puede ser primaria (originada durante la sedimentación) o secundaria (causada por fracturación o meteorización de una roca o un sedimento con posterioridad a su formación) (OMM, 2012).

Permeabilidad o conductividad hidráulica: Para ser verdaderamente acuífera, la roca, además de contener agua, necesita poder cederla, cualidad que se denomina *permeabilidad* o *conductividad hidráulica*. Hay arcillas que pueden absorber cantidades notables de agua, pero bajo condiciones naturales no la ceden, sino que la retienen en su masa (ITGE, 1987). Esas rocas o sedimentos no



- a) Sedimento bien clasificado con alta porosidad.
- b) Sedimento mal clasificado con baja porosidad.
- c) Sedimento bien clasificado de materiales a su vez porosos dando un conunto de alta porosidad.
- d) Sedimento bien clasificado con baja porosidad por relleno de los intersticios.
- e) Roca porosa por disolución.
- f) Roca porosa por fracturación.

Figura 8. Relación entre textura y porosidad (Meinzer, 1923).

son acuíferas. La permeabilidad, en un sentido amplio, mide tanto la posibilidad de poder extraer, drenar o

bompear agua como la posibilidad de introducir, infiltrar o recibir agua en un acuífero. Tabla 2.

Tabla 2. Valores de permeabilidad

Valores de permeabilidad (K)		
(Adaptado de Villanueva e iglesias, 1984)		
K (m/día)	Calificación estimativa	Posibilidades del acuífero
K < 10-2	Muy baja	Pozos de menos de 1 l/s con 10 m de depresión teórica
10-2 < K < 1	Baja	Pozos entre 1 y 10 l/s con 10 m de depresión teórica
1 < K < 10	Media	Pozos entre 10 y 50 l/s con 10 m de depresión teórica
10 < K < 100	Alta	Pozos entre 50 y 100 l/s con 10 m de depresión teórica
100 < K	Muy alta	Pozos con más de 100 l/s con 10 m de depresión teórica

Fuente: (ITGE, 1987).

Los factores que determinan la permeabilidad pueden ser intrínsecos o extrínsecos. Los intrínsecos son los propios del acuífero y dependen del tamaño de los poros y los extrínsecos son aquellos que dependen del fluido y son

fundamentalmente la viscosidad y su peso específico, los cuales dependen de la temperatura del fluido. En la Tabla 3 se presentan los valores típicos de permeabilidad para diferentes tipos de terreno (Custodio y Llamas, 2001).

Tabla 3. Valores típicos de permeabilidades para diferentes tipos de materiales. Tomado de Custodio y Llamas, 2001 en Benítez (1963)

Permeabilidad (m/día)	10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de arena y grava			Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas		
Calificación	Buenos acuíferos					Acuíferos pobres			Impermeables		
Capacidad de drenaje	Drenan bien					Drenan mal			Drenan mal		

Transmisividad: Es el producto de la permeabilidad del acuífero por su espesor saturado. La transmisividad se define también como el caudal de agua que proporciona una sección de ancho unidad de frente acuífero, sometida a un gradiente del 100%. La transmisividad es un parámetro que en el campo se mide más fácilmente que la permeabilidad, por ello, se utiliza en los cálculos de explotación de pozos con mayor frecuencia que esta (ITGE, 1987). Tabla 4.

Tabla 4. Valores de transmisividad para diferentes tipos de materiales. Fuente: (ITGE, 1987)

Clasificación de terrenos por su transmisividad (m³/día) (Adaptado de Custodio y Llamas, 1983)					
T(m³/día) 1 10 10²					
Calificación	Impermeables	Poco permeable	Algo permeable	Permeable	Muy permeable
Calificación del acuífero	Sin acuífero	Acuífero muy pobre	Acuífero pobre	Acuífero de regular a bueno	Acuífero excelente
Tipo de materiales			Arena fina.	Arena limpia.	
	Arcilla compacta.	Limo arenoso.	Arena limosa.	Grava y arena.	Grava limpia
	Pizarra.	Limo.	Caliza poco	Arena fina.	Dolomías, calizas
	Granito.	Arcilla limosa.	Fracturada.	Caliza	Muy fracturadas.
			Basaltos.	Fracturada.	

Coefficiente de almacenamiento: El conjunto de cuantidades que condicionan el volumen de agua producida se cuantifica mediante lo que se denomina *coeficiente de* almacenamiento (Tabla 5), que es la cantidad de agua cedida por un prisma de acuífero de un metro cuadrado de sección y altura la del acuífero, cuando el nivel piezométrico baja un metro. El producto de la superficie de un acuífero por su espesor saturado de agua y por su coeficiente de almacenamiento es, en teoría, una medida del volumen de agua utilizable almacenada en dicho acuífero. Tal volumen se denomina también capacidad del acuífero, almacenamiento o reservas (ITGE, 1987).

Tabla 5. Valores de coeficiente de almacenamiento.

Valores del coeficiente de almacenamiento (S) (Villanueva e Iglesias, 1984)		
Tipo de material permeable	Forma de funcionamiento del acuífero	Valores de S (medio)
Kárstico:		
Calizas y dolomitas jurásicas	Libre	2 X 10 ⁻²
	Semiconfinado	5 X 10 ⁻⁴
	Confinado	5 X 10 ⁻⁵
Calizas y dolomitas cretácicas y terciarias	Libre	2 X 10 ⁻² - 6 X 10 ⁻²
	Semiconfinado	10 ⁻³ - 5 X 10 ⁻⁴
	Confinado	10 ⁻⁴ - 5 X 10 ⁻⁵
Poroso integranular:		
Gravas y arenas	Libre	5 X 10 ⁻² - 15 X 10 ⁻²
	Semiconfinado	10 ⁻³
	Confinado	10 ⁻⁴
Kársticos y porosos:		
Calcarenitas marinas terciarias	Libre	15 X 10 ⁻² - 18 X 10 ⁻²

Fuente: (ITGE, 1987).

1.5. NOCIONES BÁSICAS SOBRE EL MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

El movimiento del agua subterránea es gobernado por principios hidráulicos establecidos. Este flujo en los acuíferos, principalmente, en medios porosos, puede ser expresado por medio de la ley de Darcy (Keith & Mays, 2005).

Esta ley fue descrita por el ingeniero francés Henry Darcy y se basa en las siguientes hipótesis que condicionan su validez (Vélez, 2011):

- Medio continuo, es decir que los poros vacíos estén intercomunicados. En este sentido, los medios kársticos no se pueden considerar como continuos.
- Medio isotrópico
- Medio homogéneo
- Flujo del agua en régimen laminar.

Por medio de cilindros verticales, Darcy demostró que el caudal Q es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud del lecho de arena y proporcional al área de la sección y a un coeficiente que depende de las características del material (Vélez, 2011).

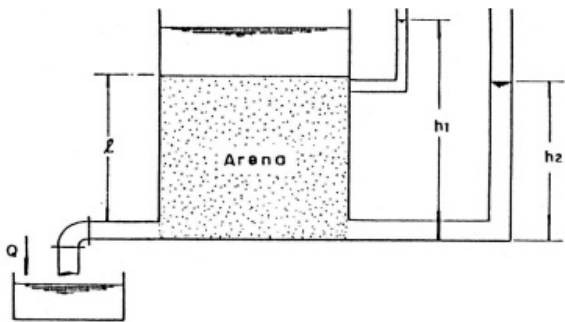


Figura 9. Experimento de Darcy (Vélez, 2011).

Q: caudal constante en m³/s.
h₁ y h₂= Δh: carga hidráulica en m de agua
A: área de la sección en m²
L: longitud del lecho de arena en metros
K= conductividad hidráulica

Se tiene que:

$$Q = v \times A = k * A * \frac{\Delta h}{L}$$

De lo anterior se infiere que para que el agua se mueva en un acuífero, es necesario que de un punto a otro de este exista una diferencia de presión o de altura. En el laboratorio se emplea algún tipo de manómetro para medir esa diferencia de presión. En el campo, sobre el terreno, se mide como diferencia de altura de agua en dos piezómetros, nivelados topográficamente (ITGE, 1987).

Controlando así el nivel de agua en los acuíferos, con los datos obtenidos se establecen los mapas piezométricos que indican las zonas del acuífero con mayor o menor altura de presión (nivel referido a cota absoluta), para

determinar la dirección del movimiento del agua subterránea y su pendiente. Al bombear un acuífero, el agua procede no solamente del vaciado de sus poros y fisuras saturadas, sino también de la disminución de huecos producida por la distensión elástica de esta (carga hidráulica). Es este un fenómeno complejo que tiene por consecuencia que materiales en apariencia parecidos no produzcan a veces los mismos volúmenes de agua (Ibíd.).

En este punto, debe aclararse que no hay coincidencia entre los límites de las divisorias de unidades hidrográficas y las unidades de análisis hidrogeológicas; por ello es imperativo desarrollar estrategias y técnicas para involucrar el subsistema hídrico subterráneo en la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Figura 10.

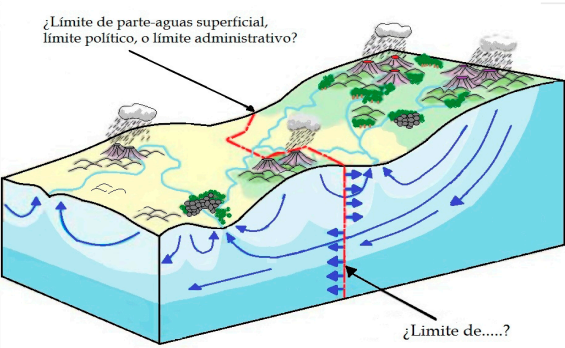


Figura 10. Divergencia de límites hidrográficos e hidrogeológicos (Carrillo et ál., 2007).

Por otro lado, es importante entender que los sistemas hidrogeológicos determinan flujos de carácter regional, intermedio y local que deben ser considerados para entender dinámicas ecosistémicas al formular medidas de protección, manejo y adaptación. Figura 11.

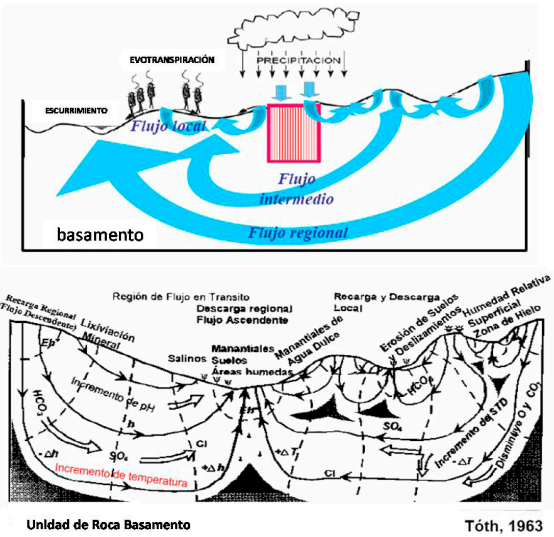


Figura 11. Sistemas de flujo de aguas subterráneas (Tóth, 1995).

En los acuíferos libres someros puede darse una interacción directa entre las aguas de superficie y las aguas subterráneas. Cuando el nivel freático está por encima del nivel del agua del río, el nivel del agua en superficie corresponde aproximadamente con el nivel del agua subterránea (Figura 12a); cuando es el agua superficial quien alimenta al acuífero, el nivel freático se sitúa en una cota inferior a la del río (Figura 12b). La resistencia hidráulica del fondo del cauce o lago (“resistencia a la entrada”) puede causar pequeñas diferencias entre estos dos tipos de niveles, lo cual suele resultar insignificante a escala regional; sin embargo, en una situación de recarga conviene tener en cuenta la aparición de una zona no saturada entre el nivel freático y el lecho del río que interrumpa la continuidad hidráulica entre el agua superficial

y el agua subterránea (Figura 12c). En aquellos sistemas con el nivel freático somero, la divisoria de las aguas subterráneas corresponde más o menos con la de las aguas de superficie (IGRAC, 2006).

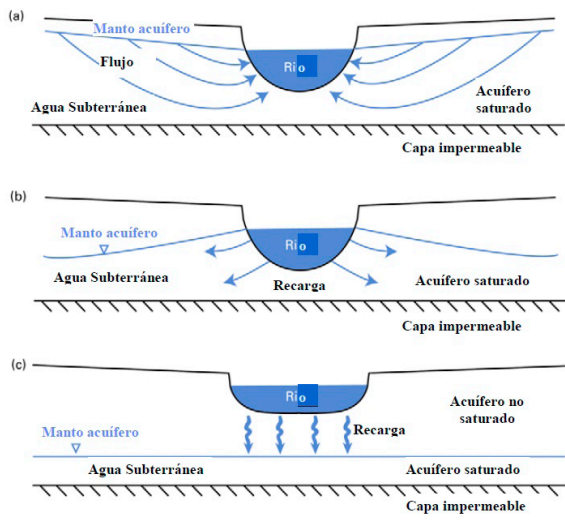


Figura 12. Ejemplos de conexión hidráulica entre aguas subterráneas y superficiales. Fuente: (IGRAC, 2006).

1.6. PARTICULARIDADES DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La complejidad del ciclo hidrológico obliga a utilizar técnicas más avanzadas como la hidrogeoquímica y la hidrología isotópica para la comprensión de la dinámica de las aguas subterráneas. Los estudios hidroquímicos revelan una cantidad cada vez mayor de información que está codificada en el agua durante este ciclo. Corres-

ponde al hidrogeoquímico descifrar esta información y traducirla en términos que puedan utilizarse para la gestión del agua (Mazor, 2004).

Paralelamente, a la hidrogeoquímica se han utilizado técnicas como la hidrología isotópica para la evaluación y modelización de cada uno de los compartimentos del ciclo hidrológico desde los años 50. El estudio de los isótopos del agua en los acuíferos (Campillo, 2012) permite, en ciertas condiciones y en complemento del análisis geoquímico, acceder a cierto número de informaciones concernientes a:

- La relación con las precipitaciones locales: recarga actual, procesos eventuales de evaporación en curso de la infiltración.
- El origen del agua que participa en la recarga
- Las zonas de recarga, y específicamente su altitud.
- La determinación de zonas de mezcla de agua entre dos acuíferos de composición isotópica diferente (ejemplo drenaje de acuíferos superpuestos) o identificación de zonas de intrusión marina.
- Evidenciar procesos de interacción entre la roca y el agua: geotermalismo
- Determinar procesos de evaporación directamente a partir del acuífero (nivel piezométrico cerca de la superficie en zona árida).
- Determinar interacciones entre aguas superficiales-aguas subterráneas.

En complemento, se tiene la posibilidad también de determinar la edad de residencia del agua en el acuífero utilizando el decaimiento radioactivo de ciertos isótopos, siendo los más utilizados actualmente: ³H (tritio) ¹⁴C

(Carbono 14) ³⁶Cl (Cloro 36) para los acuíferos que tienen tiempos de residencia más cortos (algunas decenas de años) a los más largos (algunas centenas de millares de años) (Ibíd.). Para mayor información sobre los usos de los isótopos en hidrología es conveniente utilizar el libro de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA): “Isótopos Ambientales en el Ciclo del Agua” (AIEA, 2008).

La calidad de un agua queda definida por su composición, y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contienen o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización (Custodio y Llamas, 2001). De esta manera, se entiende que la evaluación de la calidad del agua subterránea, corresponde a un proceso investigativo en el cual se integran conceptos de geología y química del agua, necesarios para el entendimiento de todas las reacciones roca-agua. Este capítulo se enfoca en la evaluación hidrogeoquímica.

La incorporación de los constituyentes al agua en variedad y concentraciones diferentes es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación. Esta incorporación de sustancias al agua comienza incluso antes de que se incorpore al sistema de flujo subterráneo propio de cada acuífero; gases, aerosoles, polvo y sales diversas presentes en la atmósfera, reaccionan con el agua marcando el primer esbozo del quimismo del agua de infiltración (IGME, 1995).

Los factores que condicionan, entonces, la composición del agua subterránea natural son múltiples. Entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los ma-

teriales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables. etc. (Ibíd.).

Aunque la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción del mismo no debe olvidarse que las interacciones agua-medio que determinan dicha composición son procesos dinámicos que se desarrollan, a ritmo diverso tanto en el espacio como en el tiempo. En consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal. Una composición química concreta, por lo tanto, no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinados (Ibíd.).

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de la de sus concentraciones, estos han sido clasificados completando la tipificación de Freeze y Cherry (1979) debido a la frecuencia de aparición y valor de concentración decrecientes en:

 Constituyentes mayoritarios o fundamentales

Aniones:($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$). Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^{2-}
Cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+
Otros: CO_2 , SiO_2 , O_2

 Constituyentes minoritarios o secundarios

Aniones: F, S, Br^{1-} ; NO_4^{2-} , PO_4^{2-}
Cationes. Mn, Fe. Li, Sr, Zn.

En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen, por lo general, en forma iónica (sales casi totalmente disociadas). El agua subterránea natural como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica, dureza, etc. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo (IGME, 1995).

Dentro del ciclo hidrológico pueden distinguirse a grandes rasgos tres sistemas o ámbitos en que el agua adquiere y ve modificado su quimismo: atmósfera, zona no saturada y zona saturada. La atmósfera está constituida por gases, aerosoles, polvo atmosférico y sales de diversa procedencia que reaccionan con el agua de lluvia, principal fuente de recarga de los acuíferos, configurando así el quimismo del agua de infiltración (Ibíd.). Figura 13.

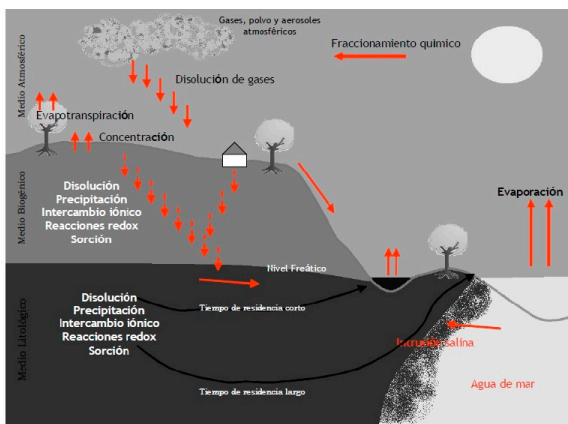


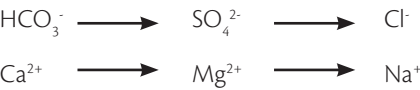
Figura 13. Procesos que determinan la composición del agua subterránea. Tomado de Herczeg y Edmundo, 2001 citado por Betancur, 2008.

En la zona no saturada, durante el proceso de infiltración hasta alcanzar el nivel freático el quimismo del agua sufre modificaciones radicales como consecuencia de las nuevas condiciones a que el agua está sometida. Entre ellas cabe citar la concentración por evapotranspiración, contacto con materiales de acusada capacidad de cesión de elementos solubles al agua al ser hidrolizados, capacidad del suelo para generar gran cantidad de ácidos, capacidad de la zona edáfica para consumir el oxígeno disuelto en el agua en la oxidación de la materia orgánica, intercambio de gases entre el aire del suelo y el aire exterior. Todos estos fenómenos modifican notablemente la composición del agua de lluvia que llega a adquirir en la zona edáfica y no saturada, su configuración casi definitiva (Custodio y Llamas, 1976).

Una vez alcanzada la zona saturada el agua subterránea se incorpora al sistema de flujo propio de cada acuífero realizando recorridos muy variables en función de las características de cada uno de ellos. El conjunto de materiales por los que circula el agua, y con los que interacciona, constituye el tercer sistema en que el agua adquiere o modifica su quimismo. La composición de la roca, aunque muy importante en este sentido, no es determinante en la mineralización del agua subterránea. Pureza, textura, porosidad, grado de fisuración, estructura regional, así como presión temperatura, tiempo de permanencia y de contacto agua-roca, secuencia en que el agua atraviesa determinados minerales, fenómenos modificadores, etc. pueden tener una influencia decisiva en la adquisición y evolución del quimismo (IGME, 1995).

En general, las aguas de circulación regional tienden a ir aumentando su mineralización hasta irse saturando.

En la primera aproximación, entre los aniones primero satura el Ion HCO_3^- , luego el SO_4^{2-} y el Cl^- . Para los cationes, el calcio se satura primero, luego el magnesio y más difícilmente el sodio. Así, la evolución normal de un agua de circulación regional es que sucesivamente vayan dominando los siguientes iones (Custodio y Llamas, 2001):



Se supone que en el agua infiltrada dominan los iones bicarbonatos y el calcio, lo cual no puede ser cierto y entonces puede empezarse la secuencia en un lugar más avanzado o sufrir un retroceso para luego tomar la evolución normal (Ibíd.).

En la siguiente tabla se presentan la composición natural del agua subterránea de acuerdo al tipo de roca que la contiene.

Tabla 6. Implicaciones de la litología en la composición del agua subterránea (Modificado de Mazor, 2004)

Tipo de Roca	Composición del agua subterránea
Arenisca	Baja salinidad (300-500mg/l) anión predominante: HCO_3^- -catión predominante: Na^+ , Ca^{2+} Mg^{2+}
Caliza	Baja salinidad (500-800mg/l) anión predominante: HCO_3^- -catión predominante: Ca^{2+}
Dolomita	Baja salinidad (500-800mg/l) anión predominante: HCO_3^- - catión predominante: Ca^{2+} y Mg^{2+}
Granito	Muy baja salinidad (300mg/l) anión predominante: HCO_3^- -catión predominante: Na^+ , Ca^{2+}

(pasa...)

(sigue...)

Tipo de Roca	Composición del agua subterránea
Basalto	Baja salinidad (400mg/l) anión predominante: HCO_3^- -catión predominante: Ca^{2+} Mg^{2+} y Na^+
Esquisto	Baja salinidad (300mg/l) anión predominante: HCO_3^- -catión predominante: Ca^{2+} y Na^+
Marga	Mediana salinidad (1200mg/l) anión predominante: HCO_3^- y Cl^- -catión predominante: Ca^{2+} y Na^+
Yeso	Alta salinidad (2000-4000mg/l) anión dominante: SO_4^{2-} -catión dominante: Ca^{2+} seguido de Mg^{2+} o Na^+

La Tabla 6 constituye una validación de los resultados de los análisis fisicoquímicos. Así, el agua que se encuentra en un acuífero conformado por areniscas, tendrá como iones predominantes los bicarbonatos, calcio, sodio y magnesio. En caso de que sean predominantes los cloruros, se debe realizar un estudio para evaluar el origen de estos cloruros; actividad antrópica, rocas evaporíticas, acuíferos profundos.

De igual forma, Appelo y Postman (1993) citan que las concentraciones en cloruros en un agua subterránea a pH neutro y natural deberían variar entre 1,8 y 71,0mg/l, siendo los más fuertes asociados a la presencia de rocas evaporíticas. De la misma manera, las concentraciones en nitratos, potasio y sodio no deberían superar los 12,4mg/l, 7,8mg/l y 46mg/l, respectivamente. Para los sulfatos, los valores máximos pueden ser más elevados (480mg/l), en caso de disolución del yeso (Campillo, 2012).

Los parámetros de mayor interés para la evaluación hidrogeoquímica y de la calidad son: pH, potencial

redox, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, cationes mayores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), aniones mayores (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-), y algunos elementos traza (Si, Fe, Mn, B). De igual forma, se tienen en cuenta parámetros microbiológicos, específicamente, a la bacteria Escherichia Coli.

Los valores medidos en el laboratorio no son absolutos, sino que son obtenidos con un cierto grado de incertidumbre (Mazor, 2004). La incertidumbre es causada por el efecto combinado de varias fuentes de error; reproducibilidad, precisión, resolución y límite de detección. A ello se suman otros factores: la inestabilidad de la instrumentación, la contaminación, la precisión en la preparación de soluciones estándar, etc. La suma de todas las incertidumbres se llama el error analítico. El error analítico es un resultado acumulativo de todos los errores (Ibíd.)

Si bien algunos autores utilizan el error analítico para validar los resultados de laboratorios, en la práctica se utiliza más comúnmente el error en el balance iónico. El balance iónico supone que la suma de cationes es igual a la suma de aniones en cada solución. La desviación de tal igualdad proporciona otra manera de evaluar la calidad de los datos. La ecuación utilizada es (Custodio y Llamas, 2001):

Balance iónico:

$$Error(\%) = \frac{\left| \frac{\sum Cationes}{\sum Cationes + \sum Aniones} - 1 \right|}{1} \times 100$$

Al comienzo de cada estudio se debe tomar la decisión sobre qué error es aceptable para continuar con el estudio. Un punto de corte en 2 o 5% es común. Los análisis con elevados errores en el balance iónico se omiten en el procesamiento de datos y, si es posible, se deben discutir con el personal del laboratorio (Mazor, 2004).

Según Custodio y Llamas (2001), el valor del porcentaje del error mínimo está en relación con la conductividad de la siguiente manera (Tabla 7).

Tabla 7. Error admisible del balance iónico en relación con la conductividad

Conductividad eléctrica (µc/cm)	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	±30	±10	±8	±4	±4

Así se tiene que a medida que la conductividad eléctrica disminuya, el error aceptable en el balance iónico aumenta, debido a la dificultad de los límites de detección.

La gran variedad de componentes y características fisicoquímicas del agua natural exige su clasificación en grupos para tener una información breve y sencilla sobre la composición química del agua de que se trate y de sus aspectos (IGME, 1995).

Los criterios que se utilizan para la clasificación geoquímica de las aguas son múltiples y a menudo complicados. En general, suele nombrarse el agua por el anión o catión que sobrepasa el 50% de sus sumas respectivas. En caso de que ninguno supere el 50% se nombran los dos más abundantes. Si conviene se puede añadir el nombre de algún ión menor de interés y que esté en concentración

anormalmente alta. Esta clasificación por iones dominantes se adapta bien a su representación en diagramas triangulares (Figura 14) o lineares (Figura 15) (Ibíd.)

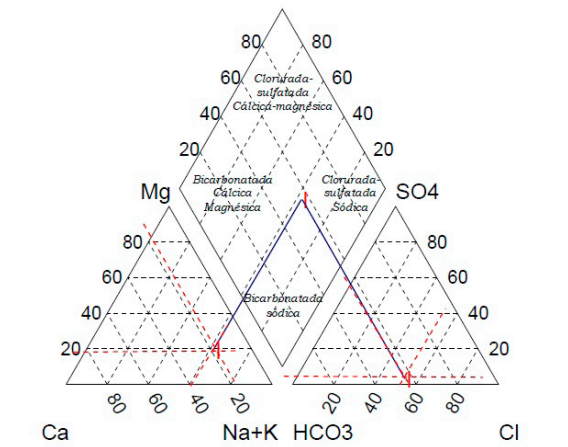


Figura 14. Diagrama de Piper para la clasificación de facies hidrogeoquímicas (Betancur, 2008).

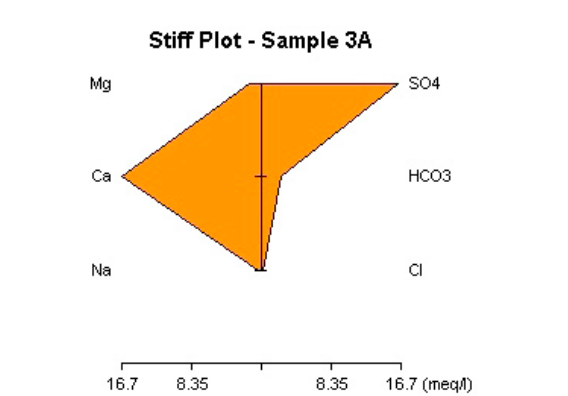


Figura 15. Diagrama de Stiff (Scientific Software Group, 1998).

Así mismo, suelen utilizarse gráficas de comparación entre cationes vs. aniones (Figura 16).

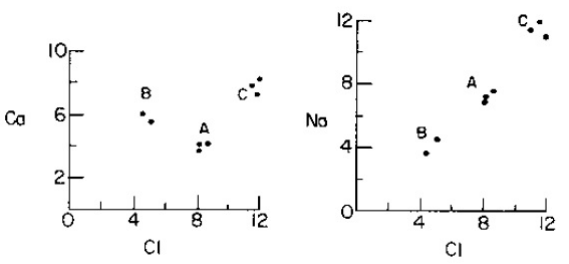


Figura 16. Relaciones iónicas entre cationes y aniones (Mazor, 2004).

La Figura 16 presenta uno de las muchas relaciones que pueden establecer entre los cationes y aniones. Suelen ser útiles para representar diferentes tipos de agua, para establecer el intercambio iónico, determinar si el agua subterránea procede del agua de mar, entre otras.

El conocimiento de los efectos de cada uno de los elementos que contiene el agua o del conjunto de todos

ellos permite establecer, mediante normas de calidad, las posibilidades de utilización de un agua de composición definida en cada caso concreto. “A nivel mundial, los acuíferos experimentan una creciente amenaza de contaminación ocasionada por la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas y la explotación minera (Figura 17). Por lo tanto, se requieren campañas proactivas y acciones prácticas que protejan la calidad original (generalmente excelente) del agua subterránea” (Foster & Mate, 2006).

La Tabla 8 presenta las actividades más comunes que pueden llegar a contaminar el agua subterránea. Es importante reconocer que estas difieren por mucho de las actividades y compuestos que más frecuentemente contaminan los cuerpos de agua superficial. Esto se debe a que la contaminación en el subsuelo depende de factores muy disímiles que controlan la movilidad y persistencia de los contaminantes, originados por la matriz del acuífero y las tasas mucho más lentas de biodegradación (como resultado de las bajas concentraciones de carbón orgánico, la reducida población de bacterias y la



Figura 17. Usos del suelo que generan contaminación de acuíferos (Foster et ál., 2006).

limitada difusión de oxígeno). También es importante enfatizar que ciertas prácticas industriales y agrícolas (y procesos específicos que se magnifican dentro de dichas prácticas) a menudo presentan amenazas desproporcionadamente grandes a la calidad del agua subterránea. Por ello, medidas de control de contaminación atinadas y bien enfocadas y dosificadas pueden producir grandes beneficios con costos relativamente moderados” (Ibíd.).

Tabla 8. Contaminantes y fuentes de contaminación. Fuente (Foster et ál., 2006).

Fuente de contaminación	Tipo de contaminante
Actividad agrícola	Nitratos, amonios, pesticidas, microorganismos fecales
Saneamiento in situ	Nitratos, microorganismos fecales, trazas de hidrocarburos sintéticos
Gasolineras y talleres automotrices	Benceno; otros hidrocarburos aromáticos; fenoles; algunos hidrocarburos halogenados
Depósitos final de residuos sólidos	Amonio, salinidad, algunos hidrocarburos halogenados; metales pesados
Industrias metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloroetileno; otros hidrocarburos halogenados, metales pesados, fenoles, cianuro
Talleres de pinturas y esmaltes	Alcalobencenos, tetracloroetileno, otros hidrocarburos halogenados, metales, algunos hidrocarburos aromáticos
Industria maderera	Pentaclorofenol; algunos hidrocarburos aromáticos
Tintorerías	Ticloroetilena, tetracloroetileno
Manufactura de pesticidas	Algunos hidrocarburos halogenados, fenoles, arsénico, metales pesados
Depósitos final de lodos residuales domésticos	Nitratos, varios hidrocarburos halogenados; plomo, zinc
Curtidurías	Cromo, salinidad, algunos hidrocarburos halogenados, fenoles
Exploración y extracción de petróleo/gas	Salinidad (cloruro de sodio), hidrocarburos aromáticos
Minas de carbón y de metales	Acidez, diversos metales pesados, hierro, sulfatos

La anterior tabla presenta los contaminantes que pueden afectar la calidad del agua subterránea en sitios donde predominan las respectivas actividades. Sin embargo y como se mencionó al inicio, primero se debe definir si la contaminación es de tipo natural, es decir, si obedece a un proceso fisicoquímico dentro de la roca. La determinación de estos compuestos se realiza en laboratorios acreditados.

1.7. EVALUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La gestión de las aguas subterráneas debe articularse al modelo de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) de tal manera que el agua se pueda entender en su contexto del ciclo hidrológico aun cuando el subsistema de aguas subterráneas tiene condiciones dinámicas e hidroquímicas particulares que deben entenderse. En este sentido, la gestión parte de un conocimiento de los acuíferos que debe ser representado en un Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC).

El MHC integra la información geológica, hidrológica, hidrodinámica, hidráulica, hidroquímica e isotópica para ilustrar los procesos y flujos que ocurren en las dimensiones espaciales de su dominio.

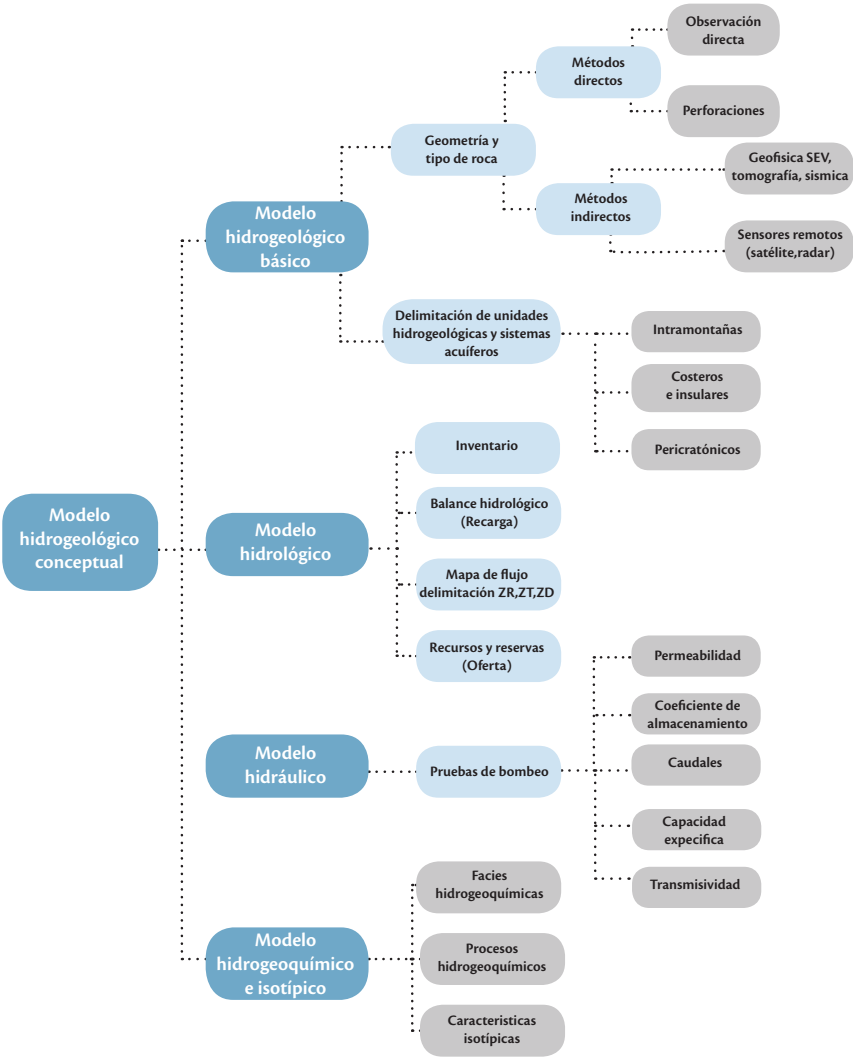
El MHC es dinámico en la medida en que se actualice la información de las variables hidrogeológicas de cantidad y calidad y las estadísticas de extracción y recarga (natural e inducida), a partir de un monitoreo permanente y sistemático que dé cuenta de la dinámica e interrelaciones con el medio físico.

Los sistemas acuíferos se caracterizan a partir del conocimiento de su modelo hidrogeológico conceptual MHC que en términos general se construye atendiendo los dominios, parámetros y variables que se ilustran en la Figura 18.

El Modelo Hidrogeológico Conceptual (MHC)

integra la evaluación geológica-geofísica, la evaluación hidrológica, evaluación hidrogeoquímica y evaluación hidráulica e hidrodinámica (IDEAM, 2013).

- La **evaluación geológica-geofísica**, a la escala apropiada para fines hidrogeológicos, debe componerse combinando métodos directos que comprenden observaciones de afloramientos, levantamiento de columnas estratigráficas, correlaciones estratigráficas, elaboración de secciones geológico-geofísicas, análisis de registros de perforaciones exploratorias, procesamiento de imágenes de satélite, radar, fotografías aéreas e interpretación geofísica de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y registros provenientes de exploraciones sísmicas, tomográficas, magnetométricas, o de perfilaje o registro geofísico de pozos.
- La **evaluación hidrológica** permite reconocer la distribución espacio temporal de la recarga, dinámica de flujo (zonas de recargas, tránsito y descarga), representada por mapas de isopiezas (que requieren nivelación topográfica de pozos), balance hídrico y flujos base, relaciones cuantitativas con subsistemas de agua superficial. El modelo hidrológico se construye a partir de información hidroclimática, uso de trazadores e



inventarios de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales). Los inventarios se realizan mediante campañas que permiten recolectar información de usos y usuarios, tendencias de la demanda, estado sanitario de captaciones, parámetros de diseño de las captaciones, características hidráulicas de pozos, condiciones y cuantificación de aprovechamientos, parámetros de calidad físico-química de las aguas captadas y otras variables que contempla el Formulario Único nacional para Inventario de Aguas Subterráneas (FUNIAS) y que deben ser incorporadas al Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH) para generar productos de valor agregado, representados en estadísticas, espacialización de variables e indicadores de estado.

La **evaluación hidrogeoquímica** e isotópica complementa y es parte estructural del MHC. Permite re-

conocer facies hidrogeoquímicas, separar y reconocer sistemas de flujos, precisar edad y origen de las aguas subterráneas y reconocer afectaciones por actividad antrópica. Se construye a partir del seguimiento en redes de monitoreo y se complementa con información proveniente de inventarios de puntos de agua.

El **modelo hidráulico e hidrodinámico** permite reconocer tipos de acuíferos (libre, confinado, semi-confinado), espacializar variables hidráulicas (permeabilidad, capacidad específica, caudales de explotación, rendimientos o productividad), reconocer superposición y extensión de conos de abatimiento, etc. Parte de la interpretación y extrapolación de resultados de pruebas de bombeo (a caudal constante, escalonadas, *slug* test, etc.) que dan información de captaciones y del acuífero.

Figura 18. Modelo hidrogeológico conceptual (IDEAM, 2013).

ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Teniendo como base conceptual los puntos vistos en el capítulo anterior, se presenta la zonificación de unidades hidrogeológicas, que parte del reconocimiento y codificación de unidades de mayor jerarquía, denominadas provincias hidrogeológicas, cuya delimitación está determinada por estructuras geológicas mayores que por su génesis y características separan dominios homogéneos que alojan diferentes ambientes hidrogeológicos. En estas unidades se identifican sistemas acuíferos.

El presente capítulo contiene la metodología con la cual se elaboró la zonificación hidrogeológica del país, incluyendo la sistemática de codificación asociada a cada Sistema Acuífero.



- 2. ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
 - 2.1 ENFOQUE METODOLÓGICO PARA LA ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
 - 2.2 PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS DE COLOMBIA
 - 2.3 SISTEMAS ACUÍFEROS DE COLOMBIA
 - 2.3.1 SISTEMAS ACUÍFEROS DE PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS MONTANAS E INTRAMONTANAS
 - 2.3.2 SISTEMAS ACUÍFEROS DE PROVINCIAS PERICRATÓNICAS
 - 2.3.3 SISTEMAS ACUÍFEROS DE PROVINCIAS COSTERAS E INSULARES

2.1. ENFOQUE METODOLÓGICO PARA LA ZONIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La delimitación y caracterización de sistemas acuíferos supone un procedimiento expedito que se ilustra en la siguiente gráfica, donde se relacionan las principales fuentes de información utilizadas (Figura 19).

Tal como se observa la propuesta tiene que ver con el hecho incontrovertible de que la geología controla la presencia y distribución del agua en las rocas y, por lo tanto, se debe establecer una caracterización de las unidades hidrogeológicas con base en un modelo geológico regional que representa el medio físico sobre el cual se desarrolla la dinámica del ciclo hidrológico en su

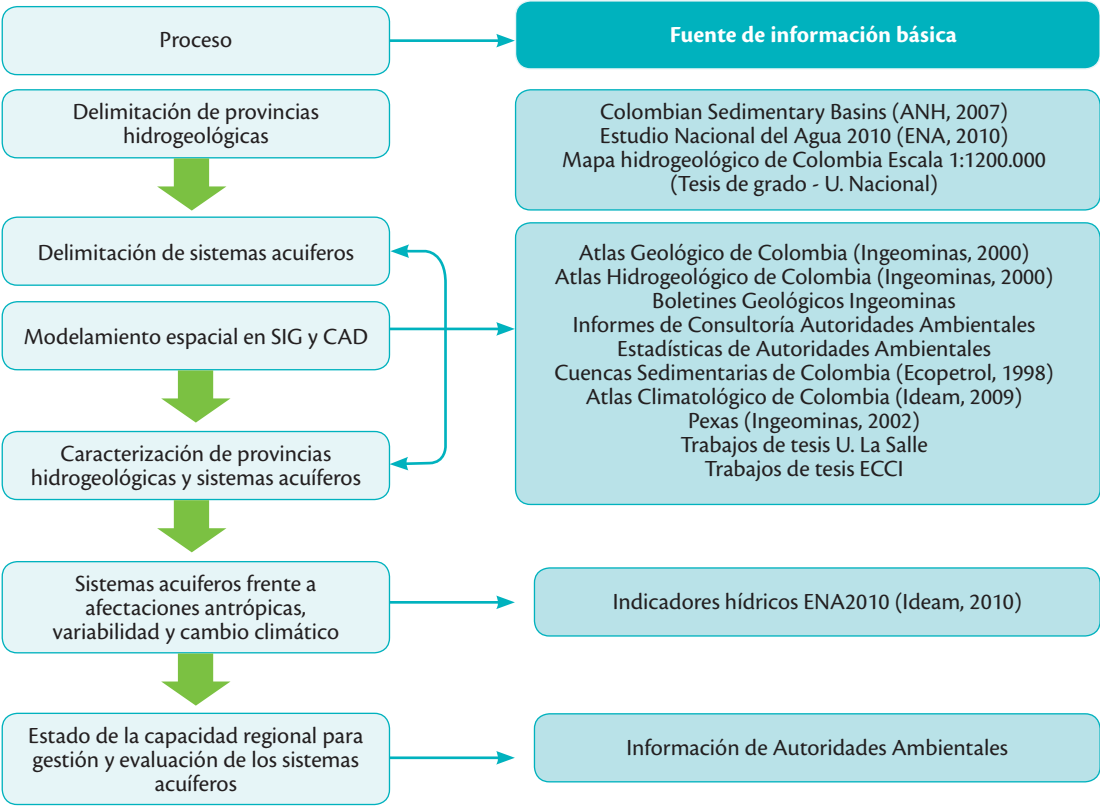


Figura 19. Flujograma de procedimiento y fuentes de información.

componente subterráneo, de acuerdo con la capacidad de las rocas para almacenar y transmitir el fluido (IDEAM, 2013).

En este orden de ideas, sobre el mapa geológico base se han delimitado cuencas sedimentarias y unidades tectónicas en una propuesta unificada que integra las clasificaciones de Geotec (1988), Mapa de Terrenos de Colombia (Etayo et ál., 1983) y Ecopetrol (1998). Estas unidades tectono-estratigráficas corresponden a eventos geológicos únicos cuyos límites físicos están marcados por megafracturas de orden regional ampliamente documentadas en los estudios geológicos del país. Las unidades geológicas delimitadas se han convertido en provincias hidrogeológicas de acuerdo con las posibilidades de las rocas de almacenar y permitir el paso del agua (porosidad y permeabilidad).

En las provincias hidrogeológicas las unidades hidroestratigráficas (derivadas de las unidades litoestratigráficas de acuerdo con la naturaleza de los intersticios del sistema roca-sedimento) se comportan como acuíferos (rocas permeables que permiten el paso relativamente fácil de agua bajo condiciones naturales de campo), acuitardos (permiten el paso lento del agua por sus condiciones semipermeables), acuícludos (rocas impermeables que pueden contener agua pero no permiten su flujo) o acuífugas (no contienen ni transmiten agua). Los acuíferos a su vez pueden ser libres, semiconfinados o confinados de acuerdo con la ubicación estratigráfica de las rocas encajantes y la posición de la tabla de agua. Su caracterización se resume en la leyenda que se ha adaptado de la IAH (Struckmeier y Marat, 1995).

En esta clasificación se propone una división del país por provincias definidas de acuerdo con la similaridad con el modelo geológico básico, las características geomorfológicas y las condiciones hidrogeológicas de las unidades constituyentes. Para ello, se agrupan las **cuencas hidrogeológicas** en **Provincias Hidrogeológicas** cuyos límites se ilustran en cortes o secciones hidrogeológicas a las que se asocian columnas hidroestratigráficas que permiten reconocer la litología y ubicación geológica de las diferentes formaciones geológicas (aceptadas formalmente en el Léxico Estratigráfico Internacional), sus características hidrogeológicas y el tipo de acuífero que forman de acuerdo con su porosidad y permeabilidad.

Se han cumplido tres etapas básicas de trabajo que se relacionan a continuación con sus actividades conexas y a la vez se ilustran en la figura anterior, donde se presenta el esquema lógico seguido para elaborar el trabajo, las relaciones establecidas entre las diferentes representaciones gráficas presentadas, las etapas de preparación y las responsabilidades compartidas con quienes prestaron su apoyo y colaboración para culminar este proceso.

🔹 **Etapas 1. Diseño del proyecto:** En esta etapa se elabora el marco conceptual para la delimitación de Provincias Hidrogeológicas y Sistemas Acuíferos, definiendo su propósito, alcance, escala, contenido y formas de representación. Para tal fin se adelantaron las actividades que se relacionan enseguida:

1. Formulación y diseño del marco conceptual.
2. Selección del Mapa geológico base.

3. Selección de elementos documentales y cartográficos que serán utilizados como básicos para la elaboración del mapa de unidades hidrogeológicas.
4. Recopilación bibliográfica y cartográfica de información geográfica, geomorfológica, hidroclimatológica, geológica e hidrogeológica.

🔹 **Etapas 2. Análisis e integración de la información:** De acuerdo con el marco conceptual y la información disponible se procede a integrar de manera sistemática los diferentes componentes del modelo atendiendo a la secuencia de actividades que se mencionan a continuación:

1. Integración de cortes geológicos
2. Definición y representación en SIG de cuencas sedimentarias y unidades tectónicas
3. Definición y representación en SIG de provincias hidrogeológicas
4. Definición y representación en SIG de sistemas acuíferos
5. Elaboración de cortes hidrogeológicos por provincia hidrogeológica en Autocad
6. Elaboración de columnas hidroestratigráficas, a partir de correlaciones de columnas litoestratigráficas generalizadas.

🔹 **Etapas 3. Desarrollo de mapas:** La integración sistemática de los componentes anteriores permiten elaborar mapas hidrogeológicos utilizando un Sistema de Información Geográfica, el cual almacena los datos espaciales del mundo real en bases de datos y coberturas dirigidas que pueden ser manipulados por herramientas de software para interpretar la realidad tan bien como sea posible.

En esta etapa se cubrieron las actividades siguientes:

1. Definición de la leyenda del mapa de unidades hidroestratigráficas siguiendo los criterios, normas y estándares de la IAH.
2. Elaboración de manuscritos, textos explicativos y soporte finales.

El macrofracturamiento representado por fallas sobre mapas geológicos es también a menudo altamente relevante para mapas hidrogeológicos. Las fallas pueden actuar como barreras o drenes para el flujo de agua subterránea o puede no afectarlo, mientras las zonas de fractura en rocas duras usualmente son altamente transmisivas.

2.2. PROVINCIAS HIDROGEOLÓGICAS DE COLOMBIA

Una vez realizada la división en provincias hidrogeológicas a partir de los criterios técnicos ya mencionados, se observa que estas unidades hidrogeológicas pueden agruparse en tres grupos de acuerdo con su posición geográfica (Figuras 20 y 21):

- 🔹 Provincias hidrogeológicas costeras e insulares (PC): Corresponden a ocho provincias que comparten ambientes costeros y litorales. De estas cinco corresponden a la costa Caribe, dos al Pacífico y San Andrés Islas se clasifica como provincia insular.
- 🔹 Provincias hidrogeológicas montañas e intramontañas (PM). En esta categoría se encuentran cinco provincias que se localizan en la zona andina y sus valles intramontanos.

Provincias hidrogeológicas pericratónicas (PP): Agrupa tres provincias que se localizan entre el piedemonte de la cordillera Oriental y el Escudo de la Guyana, localizado en la parte más oriental del territorio colombiano y que corresponde a una zona estable, peniplanizada donde se alojan las rocas más antiguas del país. En términos generales, estas provincias abarcan la Orinoquía y Amazonía colombiana y constituyen el Sistema Acuífero transfronterizo del Amazonas.

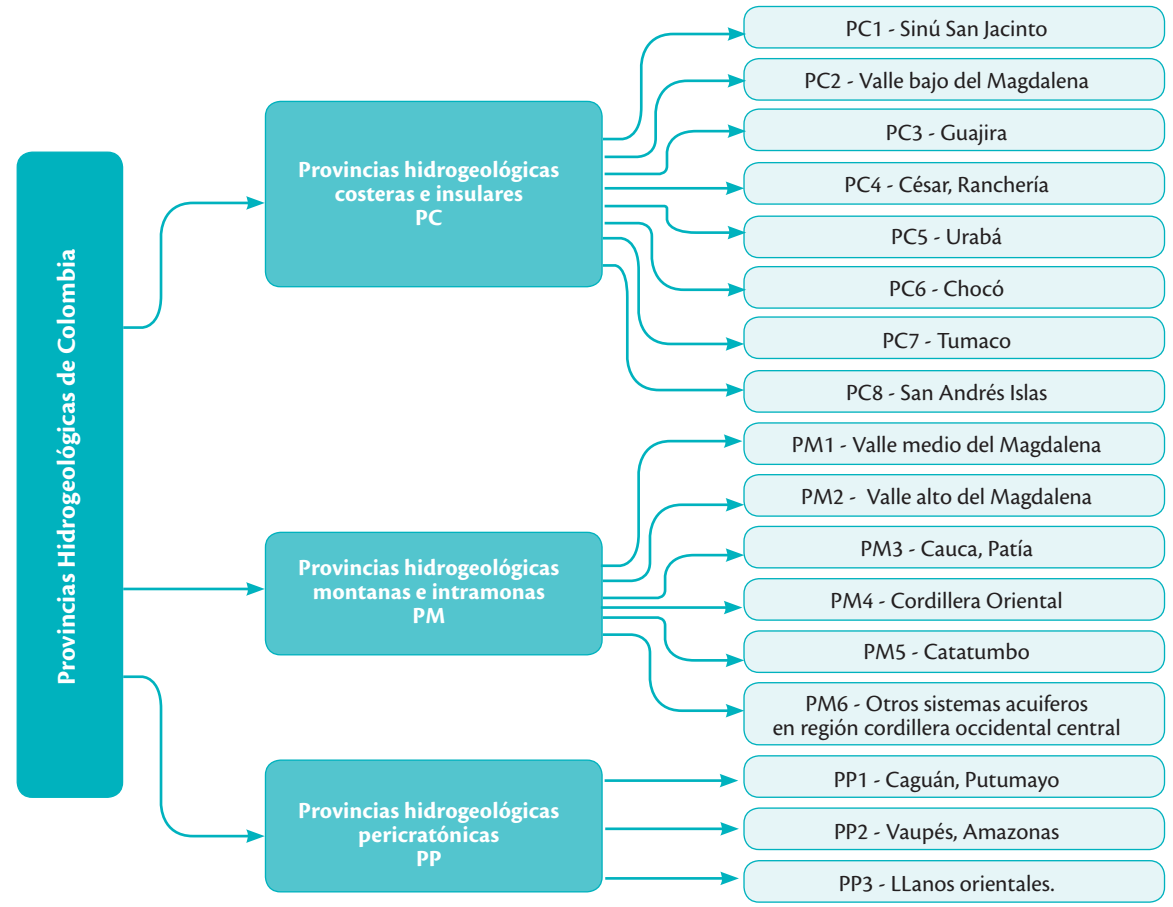


Figura 20. Clasificación de provincias hidrogeológicas de Colombia.

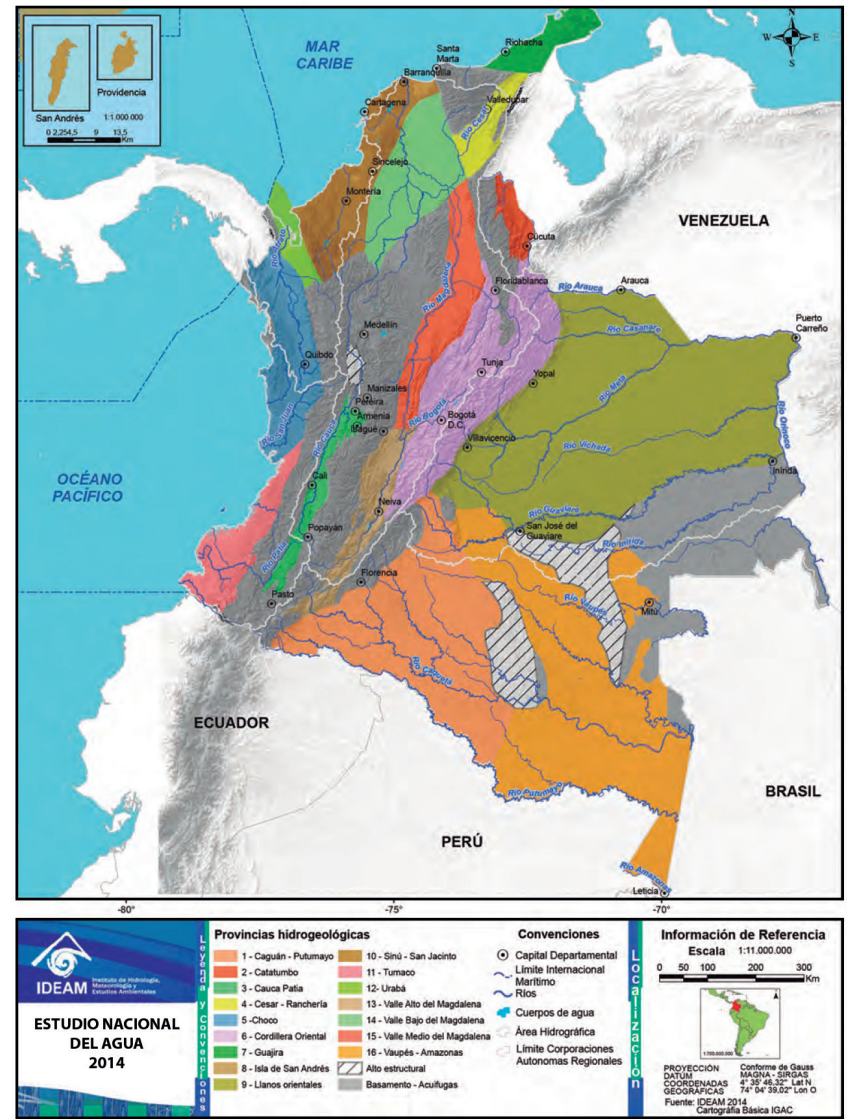


Figura 21. Distribución de provincias hidrogeológicas por área hidrográfica.

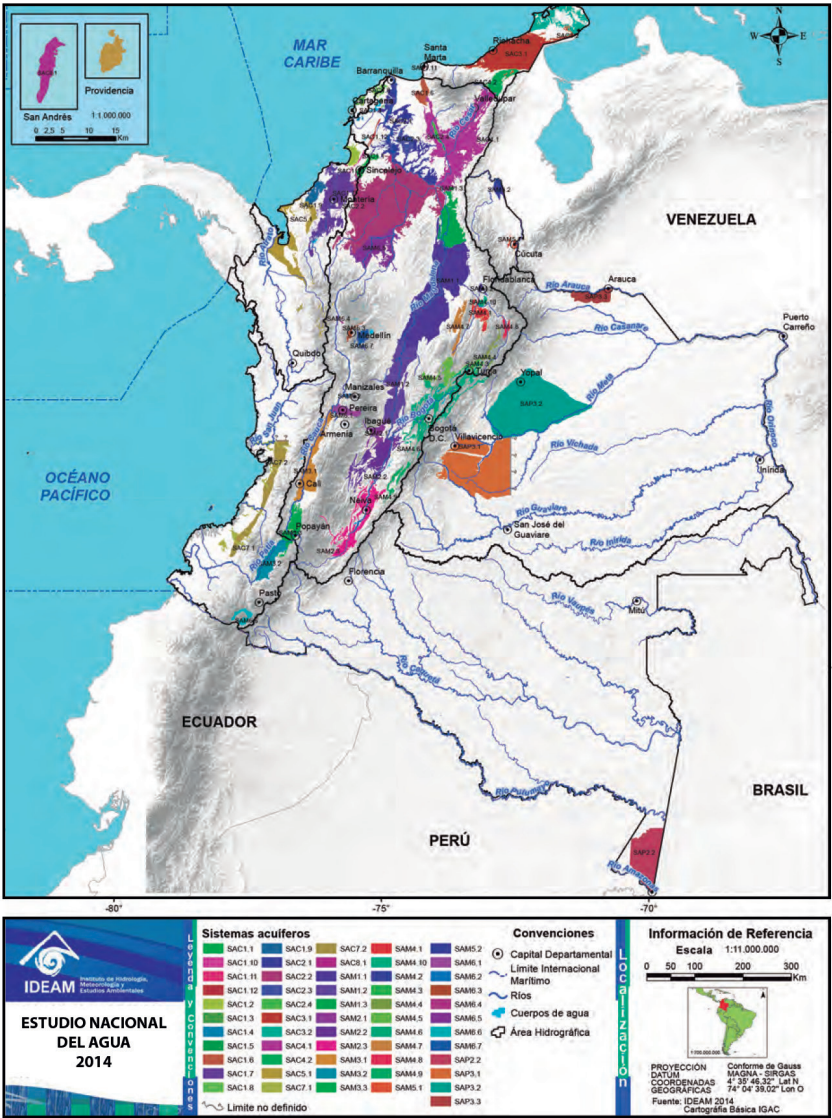


Figura 22. Localización de sistemas acuíferos de Colombia.

2.3. SISTEMAS ACUÍFEROS DE COLOMBIA

- Con base en la división de provincias hidrogeológicas y utilizando cartografía geológica e información más detallada (Mapas geológicos del Servicio Geológico escalas 1:100.000- 1:250.000, imágenes Landsat y Modelos Digitales de Terreno 90x90 y Modelo de Sombras); información proveniente de informes técnicos de la Autoridades Ambientales y de universidades se han delimitado los Sistemas Acuíferos.
- La codificación se asocia al tipo de provincia, de tal manera que un SAM4.1 corresponde a un Sistema Acuífero Montano (SAM) de la Provincia Hidrogeológica PM4. El último dígito es un consecutivo. De esta manera, se cuenta con una propuesta de clasificación y codificación de Sistemas Acuíferos amarradas a provincias hidrogeológicas que no cambiaran de denominación y cuyos límites son aceptados por la comunidad geológica por tratarse de megafracturas

de fácil reconocimiento en imágenes y cartografía. La afinación de límites de los Sistemas Acuíferos, la integración de acuíferos a un Sistema Acuífero o su desagregación corresponde a ejercicios que tendrán que desarrollarse a futuro como parte del conocimiento hidrogeológico del país. Figura 22.

2.3.1 Sistemas acuíferos de provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas

Para el caso particular de los sistemas acuíferos montanos e intramontanos, estos se agrupan en cinco provincias de las cuales una es transfronteriza y se encuentra identificada en la base de datos del proyecto ISARM-Américas. Se trata de la Provincia Hidrogeológica del Catatumbo PM5 (SAT 2S Táchira-Pamplonita del inventario de ISARM-Américas) que compartimos con Venezuela (Tabla 9).

Tabla 9. Sistemas acuíferos de las provincias hidrogeológicas montanas e intramontanas de Colombia

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PM1 Valle medio del Magdalena	SAM1.1	Valle medio del Magdalena	Acuífero Terrazas del río Magdalena, Acuífero Depósito Aluvial del Río Magdalena, Acuífero Mesa (NgQp), Acuífero Real (Ngc), Acuífero La Luna y Acuífero Tablazo y Rosablanca
PM1	SAM1.2	Mariquita-Dorada-Salgar	Acuífero de Depósitos Aluviales y Terrazas del río Magdalena, Acuífero del Cono aluvial de Lérída y del sistema volcánico, Acuífero del grupo Honda (Formaciones Mesa y San Antonio), Acuífero San Juan de Rioseco y Acuífero Hoyón

(pasa...)

(sigue...)

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PM2 Valle alto del Magdalena	SAM1.3	Abanico de aguachica	Depósitos coluviales Serranía los Motilones, Acuífero depósito fluvial del río Magdalena, Acuífero Depósito Coluvial de Aguachica (Qc) y Acuífero Abanico de Aguachica (NgQp)
	SAM2.1	Ibagué	Acuífero Abanico de Ibagué y acuífero Gualanday
	SAM2.2	Purificación-Saldaña	Acuífero depósito aluvial Valle del río Magdalena (Qal2), Acuífero del Guamo Espinal (NgQp5), Acuífero Honda (Ngc2) y Acuífero Caballos – (Kit1)
	SAM2.3	Neiva-Tatacoa - Garzón	Acuífero depósito aluvial Valle del río Magdalena (Qal2), Acuíferos Depósitos Aluviales de la Cordillera Oriental (Qal3), Acuífero Abanicos Antiguos y Recientes (Qc5), Acuífero Gigante (Ngp1) y Acuífero Gualanday (Pgc4)
PM3 Cauca-Patía	SAM3.1	Valle del Cauca	Unidad A y Unidad C
	SAM3.2	Patía	Acuífero Abanico aluvial (Qca), Acuífero Llanura aluvial (Qal) y Acuífero de la Formación Galeón superior (TQgs)
	SAM3.3	Cauca	Acuífero Popayán y Acuífero Esmitia
PM4 Cordillera Oriental	SAM4.1	San Gil-Barichara	Formación Silgará, Formación los Santos, Formación Rosablanca, Formación Tablazo y Formación Simití
	SAM4.2	Bucaramanga-Piedecuesta	Acuífero Bucaramanga
	SAM4.3	Tunja	Acuífero Tilatá y Acuífero Formación Bogotá
	SAM4.4	Duitama - Sogamoso	Acuíferos de las Formaciones Cuche (Cc), Montebel (Jim), La Rusia (Jru), Tibasosa (Kit), Une (Kv2), Conejo (Kscn), Plaeners (Kg2), Labor y tierra (Kg1), Guaduas (Ktg), Depósitos aluviales (Qa) y Depósitos fluvio lacustres (Qpl)
	SAM4.5	Ubaté-Chinquinquirá	Acuíferos de depósitos Fluviolacustres y Acuífero Formación Regadera
	SAM4.6	Sabana de Bogotá	Acuífero Sabana, Acuífero Guadalupe, Acuífero Formación Tilatá, Acuífero de la Formación Labor y Tierna,

(pasa...)

(sigue...)

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
	SAM4.7	Tablazo	Acuífero Tablazo y Rosablanca
	SAM4.8	Conejo	Acuífero Conejo
	SAM4.9	Colombia - dolores	Acuífero Gualanday, Acuífero Guadalupe y Acuífero de la formación la Tabla
	SAM4.10	Mesa de los Santos	Acuíferos de la Formación los Santos (miembros superior e inferior),
PM5 Catatumbo	SAM5.1 (2S)	Cúcuta - Villa del Rosario - Táchira	Acuífero Cuaternario, Acuífero río Táchira y Acuífero Terciario
	SAM5.2	Tibú	Acuífero Necesidad, Acuífero Guayabo
PM6 Otros sistemas acuíferos en región Cordillera Occidental-Central	SAM6.1	Glacis del Quindío	Unidad A1, Unidad A2 y Unidad A3
	SAM6.2	Santagüeda	Flujo de lodo de Santágueda (Qfls), Flujo de lodo Km 41 (Qflk), Flujo de lodo del Plan de Anserma (Qflp), Formación Irra-Tres puertas (Tsic, Tsivs) y Formación Barroso (Kvb)
	SAM6.3	Valle de Aburrá	Acuífero libre de Valle de Aburrá (A1), Acuífero semiconfinado del Centro y Sur del Valle (A2) y Acuífero de la Dunita de Medellín
	SAM6.4	Santa Fé de antioquia	Acuíferos asociados a depósitos aluviales del río Cauca, Acuíferos asociados a materiales de tributarios del Río Cauca y Acuíferos asociados a depósitos de vertiente
	SAM6.5	Bajo Cauca Antioqueño	Acuífero U123, Acuífero U4 y Acuífero U5
	SAM6.6	Antiplano Nariñense	Acuífero de rocas volcánicas con porosidad secundaria y Acuífero de depósitos vulcanoclásticos
	SAM6.7	Valles de San Nicolás y la Unión	Unidades de Alto Potencial Hidrogeológico, Unidades de Potencial Hidrogeológico Medio, Unidades de Bajo Potencial Hidrogeológico

Nota: las fuentes bibliográficas para estas tablas se encuentran en el Estudio Nacional del Agua 2014 publicado recientemente por el IDEAM.

Diez sistemas acuíferos montanos e intramontanos se localizan en la Cordillera Oriental siendo los más conocidos los sistemas acuíferos de la sabana de Bogotá (SAM4.6) y Tunja (SAM4.3) que corresponden a acuíferos clásticos desarrollados en rocas sedimentarias con buenas posibilidades en las secuencias cretácicas, Paleógeno- Neógeno y sedimentos recientes del Cuaternario. Así mismo, se cuentan con estudios y modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero San Gil-Barichara (SAM4.1) que se desarrolla en ambientes cársticos de rocas carbonatadas cretácicas.

En el valle del Cauca se identifica el Sistema Acuífero más conocido del país (SAM3.1) y adecuadamente manejado por la CVC cuya sostenibilidad es estratégica para el desarrollo del Valle del Cauca pues de él depende la agroindustria, principal renglón de la economía de esta región. Este Sistema Acuífero se desarrolla en secuencias de sedimentos clásticos interconectados del valle estructural del río Cauca que son recargados desde la cordillera Central.

Bajo el valle alto del río Magdalena y asociados a depósitos aluviales, terrazas y secuencias sedimentarias silisiclásticas del Paleógeno-Neógeno principalmente se identifican y conocen los sistemas acuíferos de Ibagué, Purificación-Saldaña y Neiva-Tatacoa (SAM2.1, SAM2.2, SAM2.3) que se utilizan para agricultura, abastecimiento doméstico e industria petrolera principalmente.

En el valle medio del río Magdalena se encuentran los sistemas acuíferos de Mariquita -Dorada - Salgar, Nare – Berrío - Yondó y Simití (SAM1.1, SAM1.2, SAM1.3) constituidos por sedimentos aluviales, terrazas y secuencia de areniscas y conglomerados del Paleógeno Neógeno

que presentan variaciones de facies y poca continuidad lateral. Estos sistemas acuíferos se utilizan para actividades agropecuarias, uso doméstico y desarrollos de hidrocarburos.

En la región Andina se reconocen adicionalmente sistemas acuíferos que no están asociados a las provincias hidrogeológicas por constituir coberteras que suprayacen en ambientes ígneos y metamórficos de las cordilleras Central y Occidental. El Sistema Acuífero del Glacis del Quindío se ubica en el pedimento de la Cordillera Central en vecindades de los departamentos de Quindío y Risaralda. Este Sistema Acuífero (SM6.1) se desarrolla a partir de secuencias de flujos de piroclastos y lavas que provienen de la actividad volcánica de la Cordillera Central y depósitos aluviales que conforman acuíferos discontinuos de moderada productividad, los cuales son usados en la región para fines recreativos, abastecimiento público y doméstico y la agricultura.

De características similares es el Sistema Acuífero de Santagueda que es aprovechado para satisfacer necesidades recreativas y que está constituido por sedimentos recientes y del Paleógeno-Neógeno conformando por acuíferos de poca continuidad y rápidos cambios laterales de facies litológicas. En ambientes restringidos y suprayaciendo rocas cristalinas se reconocen los Sistemas Acuíferos del Bajo Cauca antioqueño y Santa Fe de Antioquia (SAM6.5 y SAM 6.4) que se desarrollan en depósitos aluviales, principalmente. Restringido al valle de Aburrá se encuentra el Sistema Acuífero del valle de Aburrá (SAM6.3) que es aprovechado en vecindades de Medellín para uso doméstico e industrial primordialmente y sobre el altiplano nariñense se aprovechan acuíferos

desarrollados en flujos piroclásticos provenientes de la cordillera Occidental (SAM6.6).

2.3.2. Sistemas acuíferos de provincias pericratónicas

En la Orinoquía y Amazonía colombianas se identifican los sistemas acuíferos asociados a Provincias Hidrogeológicas Pericratónicas (Tabla 10). Estos sistemas acuíferos son extensos, continuos y están asociados a depósitos aluviales de gran extensión, terrazas de piedemonte de grandes ríos, depósitos clásticos de altillanura y secuencias detríticas del Paleógeno Neógeno que se adelgazan hacia el oriente. Se han identificado y estudiado en la Orinoquía los sistemas acuíferos de Villavicencio-Granada-Puerto López (SAP3.1) y Yopal-Tauramena (SAP3.2) localizados en abánicos aluviales de origen torrencial y terrazas hacia el piedemonte de la cordillera Oriental.

En menor grado se conoce el Sistema Acuífero Arauca-Arauquita del cual se abastecen comunidades rurales y urbanas aprovechando espesos depósitos aluviales del río Arauca y tributarios. Hacia la Amazonía colombiana se encuentran Sistemas Acuíferos asociados a valles aluviales de grandes ríos con régimen torrencial hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental y caprichosos patrones anastomosados a medida que avanzan hacia el oriente. Estos acuíferos son extensos pero discontinuos con frecuentes variaciones laterales de facies y se explotan hacia el piedemonte putumayense y en vecindades de asentamientos de la Amazonía incluyendo el casco urbano de Leticia. Estos sistemas acuíferos corresponde al SAT 13S del proyecto ISARM-Américas que se comparte con Brasil, Venezuela, Ecuador, Bolivia y Perú.

Tabla 10. Sistemas acuíferos de las provincias hidrogeológicas pericratónicas de Colombia

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PP1 Caguán-Putumayo	SAP1.1	Valles aluviales y terrazas de grandes ríos	Sin información
	(13S)		
	10S	Transfrenterizo Tulcán - Ipiales	Sin información
PP2 Vaupés-Amazonas	SAP2.1	Valles aluviales y terrazas de grandes ríos	Sin información
	(13S)		
	SAP2.2	Leticia	Acuífero Cuaternario (Qal) y Acuífero Terciario Superior Amazónico (Tsa)
	(13S)		
PP3 Llanos orientales	SAP3.1	Villavicencio-Granada-Puerto López	Acuífero Cuaternario y Acuífero Terciario
	(13S)		
	SAP3.2	Yopal Tauramena (Maní)	Acuífero Terrazas de planicie Aluvial (Qt), Acuífero de Depósitos Aluviales recientes (Qal)
	(13S)		
	SAP3.3	Arauca - Arauquita	C-D1-D2, F
	(13S)		

Nota: las fuentes bibliográficas para estas tablas se encuentran en el Estudio Nacional del Agua 2014 publicado recientemente por el IDEAM.

2.3.3 Sistemas acuíferos de provincias costeras e insulares

En la Tabla 11 se identifican los sistemas acuíferos asociados a Provincias Hidrogeológicas Costeras e insulares. De estos los más conocidos son los sistemas Acuíferos de Maicao, Morroa, Golfo de Morrosquillo, Cesar, Ranchería, Golfo de Urabá y San Andrés Islas (SAC3.1, SAC1.1, SAC1.2, SAC4.1, SAC4.2 SAC5.1 SAL1) que explotan secuencias detríticas cuaternarias y del Paleógeno-Neógeno suprayacen espesas secuencias de rocas sedimentarias cretácicas que conforman el subsuelo de la costa Caribe y el valle inferior del Magdalena.

Estos sistemas acuíferos son estratégicos pues abastecen poblaciones con poca disponibilidad de recurso hídrico principalmente en la Guajira y Sucre. En el Urabá antioqueño su uso es fundamental para el desarrollo del sector bananero de la región. Los sistemas acuíferos de Barranquilla-Sabanalarga, Arroyogrande, Ciénaga de Oro, Turbaco, Santa Marta, Mompox han sido objeto de estudios hidrogeológicos por parte de Ingeominas cuyos

resultados se encuentran consignados en boletines geológicos de los años 80 y 90 sin que sean aprovechados de manera intensiva y más bien se aprovechan marginalmente por los lugareños para suplir necesidades de abastecimiento doméstico principalmente.

En La Guajira se explotan acuíferos someros asociados a depósitos recientes y ocasionalmente a sedimentos y rocas conglomeráticas y arenáceas del Paleógeno-Neógeno. La principal recarga de estos sistemas acuíferos es la Falla de Oca al sur del departamento de la Guajira. Es común la explotación con molinos de viento para abastecer rancherías de comunidades indígenas en Uribá, Manaure, Fonseca, Albania y asentamientos en la alta Guajira. Así mismo, se abastecen centros urbanos como Riohacha, Fonseca y Maicao. Las aguas disponibles presentan problemas por influencia marina que incrementa su salinidad. Estos sistemas acuíferos se han identificado como SAT 3S compartido con Venezuela por ISARM-Américas en inmediaciones de la franja Maicao-Paraguachón.

Tabla 11. Sistemas acuíferos de provincias costeras e insulares

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PC1 Sinú San Jacinto	SAC1.1	Morroa	Morroa Areno-conglomeráticas, Morroa Arenosa y Morroa Areno Arcillosa
	SAC1.2	Golfo de Morrosquillo	Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3
	SAC1.3	Arroyo grande	Acuífero Cuaternario (ac), Acuífero Arroyo Grande (aT) y Acuífero Unidad Detrítica de la Popa (acH)
	SAC1.4	Turbaco	Acuífero de la Popa y Acuífero depósitos cuaternarios recientes (Acuífero Rotinet)

(pasa...)

(sigue...)

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PC1 Sinú San Jacinto	SAC1.5	Sabanalarga	Formación Sabanalarga (Neógeno)
	SAC1.6	Ciénaga - Fundación	Acuífero Cuaternario – Terciario de Ciénega Fundación (Q-T2)
	SAC1.7	Río Sinú	Acuífero Depósitos Aluviales aladaños al río Sinú, Acuífero Depósitos de terraza
	SAC1.8	Turbará	Acuífero Turbará
	SAC1.9	Arenas Monas	Acuífero Depósitos Aluviales aladaños al río San Juan y corrientes menores, Acuífero Depósitos de terraza del río San Juan y Acuífero Arenas Monas
	SAC1.10	Tolú Viejo	Acuífero Tolú Viejo
	SAC1.11	Santa Marta	Acuífero Santa Marta, Acuífero Gayra y Acuífero Tamacá
	SAC1.12	Maco	Acuífero de la formación Maco
PC2 Valle bajo del Magdalena	SAC2.1	Bajo Magdalena	Cuaternario aluvial somero y depósitos de terrazas aluviales
	SAC2.2	La Mojana	Acuífero Mojana, Depósitos aluviales del río San Jorge, Acuífero Sincelejo, Acuífero Betulia arenoso y Acuífero El Cerrito
	SAC2.3	Chivolo	Terciario superior
	SAC2.4	Ariguaní	Cuaternario profundo
PC3 Guajira	SAC3.1(3S)	Media Guajira (Maicao - Riohacha - Manaure)	Acuífero Llanura aluvial de la Guajira (Qal), Acuífero Castilletes (Ngm), Acuífero Terciario, Acuífero Cretácico
	SAC3.2 (3S)	Alta Guajira	Acuífero Nazareth (Qal), Acuífero Llanura Aluvial de la Guajira (Qal), Acuífero Castilletes (Ngm), Acuífero Siamana, Acuífero La Luna (Kism), Acuífero Cogollo, Acuífero Yuruma, Acuífero Moina y Acuífero Poschachi
PC4 Cesar-Ranchería	SAC4.2	Ranchería	Acuífero Oca, Acuífero Fonseca - San Juan, Acuífero La Luna, Acuífero del Eoceno y Acuífero Cogollo

(pasa...)

(sigue...)

Provincia hidrogeológica	Código	Sistema acuífero	Unidades hidrogeológicas
PC4 Cesar-Ranchería	SAC4.1	Cesar	Acuífero de llanura aluvial (Qlla), Acuífero abanico aluvial de Valledupar (Qcal), Acuífero cuaternario aluvial reciente (Qal) reconocido como acuífero Cesar, Acuífero de terrazas (Qt), depósitos coluviales Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá, Acuífero Sedimentitas de Arjona, Acuífero de la formación Cuesta, Acuífero de la formación Cogollo y Acuífero de la formación La Luna y Aguas Blancas
PC5 Urabá	SAC5.1	Golfo de Urabá	Unidad T2C, Unidad T2B, Unidad T2A, Unidad T21 y Depósitos Llanura Aluvial
PC6 Chocó	SAC6.1	Valles aluviales de grandes ríos	Sin información
	SAC7.1 (1S)	Transfronterizo Chocó - Darién	Sin información
PC7 Tumaco	SAC7.1	Acuíferos depósitos aluviales Llanura del Pacífico	Acuífero de depósitos aluviales
	SAC7.2	Raposo	Acuífero Raposo
PC8 San Andrés Islas	SAC8.1	San Andrés	Acuífero San Andrés, Acuífero San Luis

Nota: las fuentes bibliográficas para estas tablas se encuentran en el Estudio Nacional del Agua 2014 publicado recientemente por el IDEAM.

El Sistema Acuífero del valle del río Cesar (SAC4.1) está formado por los depósitos aluviales del río Cesar y secuencias detríticas del Paleógeno-Neógeno. Se trata de una estructura alargada restringida al valle del río Cesar donde se aprovecha el agua subterránea para uso doméstico, agropecuario y en la explotación del carbón a cielo abierto por mediana y gran minería.

En la costa Pacífica se han identificado acuíferos asociados a los valles aluviales de grandes ríos que divagan por las llanuras aluviales y costeras que se forman al occidente de la Cordillera Occidental. Sin embargo, estos acuíferos son discontinuos y se desarrollan en sedimentos clásticos recientes y del Paleógeno-Neógeno. El uso de agua subterránea en la región pacífica realmente es marginal y

de insignificante valor a nivel de estadísticas nacionales. En la frontera con Panamá, ISARM-Américas identifica el Sistema Acuífero transfronterizo SAT 2S-Chocó Darién y alude en sus documentos la falta de información sobre el sistema.

Finalmente, se identifica el Sistema Acuífero Insular de San Andrés del cual se abastece más del 90% de la población isleña por la ausencia de agua superficial pues corresponde a un ambiente coralino de rocas y sedimentos carbonatados arrecifales que actúan como una esponja para el agua precipitada impidiendo la formación de almacenamientos y corrientes superficiales.

MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea es un recurso muy extendido, pero oculto y en contraste con el agua superficial, los cambios en su cantidad y calidad frecuentemente son procesos muy lentos ya que ocurren debajo de la tierra en grandes extensiones. Para determinar estos cambios es necesario utilizar redes de monitoreo e interpretar los datos obtenidos (Tuinhof et ál., 2002-2006).



3. MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

- 3.1 ¿EN QUE CONSISTE EL MONITOREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA?
- 3.2 ¿QUÉ TIPOS DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EXISTEN?
- 3.3 ¿COMO SE DISEÑA UN PROGRAMA DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS?
 - 3.3.1 PLANTEAMIENTO DE OBJETIVOS
 - 3.3.2 ESTRATEGIAS DE MONITOREO
 - 3.3.3 DISEÑO Y ESTABLECIMIENTO DE REDES Y MÉTODOS DE MONITOREO
 - 3.3.3.1 CANTIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA
 - 3.3.3.2 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA
- 3.4 ANÁLISIS DE DATOS Y DIVULGACIÓN
- 3.5 CUÁLES SON LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION Y RECOLECCION DE MUESTRAS EN AGUAS SUBTERRANEAS?
 - 3.5.1 POZOS DE MONITOREO
 - 3.5.2 PARÁMETROS MEDIDOS Y MÉTODOS EMPLEADOS
 - 3.5.3 INSTRUMENTOS USADOS PARA EL MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 3.6 LECTURAS RECOMENDADAS

Con el monitoreo se pretende generar conocimiento sobre los sistemas hidrogeológicos, para comprender el impacto sufrido por actividades de origen antrópico, la necesidad de prevenir la degradación del recurso en el futuro y la manera de remediar sistemas acuíferos impactados de tiempo atrás. La meta principal de la gestión de acuíferos es explotar los recursos de agua subterránea con base en un plan que obedezca a una política dada, así como monitorear y controlar los impactos de su extracción en el propio recurso.

El desarrollo y evolución de la política requiere un buen conocimiento hidrogeológico, el cual mejora en la medida en que las redes de monitoreo detecten cambios en el nivel del agua subterránea ocasionados por su extracción, así como variaciones en calidad. Los resultados de la implementación del monitoreo de cantidad y calidad de aguas subterráneas ayudan a mejorar su planeamiento, desarrollo, protección y manejo para anticipar o reducir escenarios de contaminación y deterioro del mismo. El presente capítulo contiene las bases conceptuales sobre las cuales debe edificarse la estructura de los programas de monitoreo de aguas subterráneas. Es pertinente aclarar que el documento no constituye una guía exhaustiva sobre el diseño de una red de monitoreo, para lo cual se recomienda la revisión de los documentos referenciados y las lecturas propuestas.

3.1. ¿EN QUÉ CONSISTE EL MONITOREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA?

En términos generales el monitoreo ha sido definido como la observación continua con métodos estandarizados del medio ambiente (Unesco, WHO, 1978). De

manera particular, el monitoreo del agua subterránea puede ser entendido como un programa diseñado científicamente de continua supervisión que incluye observaciones, mediciones, muestreo y análisis estandarizado metodológicamente y técnicamente de variables físicas, químicas y biológicas seleccionadas con los siguientes objetivos (Vrba, J. & Soblsek, P., 1988):

- Colectar, procesar y analizar los datos sobre la cantidad y calidad de las aguas subterráneas como línea base para reconocer el estado y las tendencias a nivel de pronóstico debido a procesos naturales e impacto por actividad antrópica en tiempo y espacio.
- Proveer información para el mejoramiento en la planeación y diseño de políticas para la protección y conservación de las aguas subterráneas.

El monitoreo se convierte en la principal herramienta utilizada en la Gestión del Recurso Hídrico para obtener la información requerida para la evaluación y detección de problemas relativos a la gestión.

El ciclo del monitoreo (adaptado de UN/ECE Task force on monitoring and assessment, 1996), sugiere que el monitoreo y la evaluación puede ser visto como una secuencia de actividades relacionadas que se inicia con la definición de las necesidades de información y termina con el uso de los productos generados a partir de esta. La evaluación de los datos obtenidos puede dar lugar a nuevas necesidades de información o redefinir las mismas, iniciando así una nueva secuencia de actividades. De esta manera, el proceso del monitoreo de las aguas subterráneas puede ser mejorado (Uil et ál., 1999) (Figura 23).



Figura 23. El ciclo del monitoreo (Modificado de Uil et ál., 1999)

Las áreas a monitorear deben ser definidas con criterios hidrogeológicos, basados en los conocimientos técnicos y científicos de la zona de interés. La escala de trabajo (local, regional, nacional) proporciona la base para un enfoque integrado entre el agua subterránea y sus interacciones con las aguas superficiales.

El programa de monitoreo constituye un componente clave del proceso de evaluación y está representado por todas las casillas excepto por las tres superiores. Un primer paso en las etapas preliminares de la planificación y ejecución de un programa de monitoreo es definir la información necesaria como base para la gestión de la cantidad y calidad de las aguas subterráneas. Esto significa plantearse preguntas esenciales concernientes al tipo de información que se requiere (Tabla 12). (IGRAC, 2006).

Al ser formuladas y contestadas este tipo de preguntas, pueden ser usadas para el diseño de un programa de

Tabla 12. Preguntas esenciales referentes al tipo de información requerida para un programa de monitoreo

Preguntas – Información requerida	Ejemplos ilustrativos de respuestas
¿Quién quiere ser informado?	El gobierno, las autoridades ambientales, los usuarios del agua, las autoridades de salud, el público, los organismos internacionales.
¿Qué tipo de información?	Nivel del agua subterránea Estado de la calidad y las tendencias Datos auxiliares para la interpretación
¿Con qué propósito?	Reconocimiento, regulación, cumplimiento, determinación de eficacia de medidas
¿Con qué frecuencia?	Controles semanales, mensuales, reportes periódicos
¿En qué formato?	Reportes, mapas, internet

Fuente: (IGRAC, 2006).

monitoreo o evaluar un programa existente con el fin de mejorarlo, reconociendo que es poco probable que las necesidades de información sean invariables en el tiempo (Ibíd.).

3.2. ¿QUÉ TIPOS DE REDES DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EXISTEN?

Se distinguen en función del alcance los siguientes tipos de redes: internacionales, nacionales, regionales y locales (Musikar, 2002):

- **Redes internacionales.** Son redes enmarcadas en programas de seguimiento global o también en los acuíferos que extralimitan las fronteras de los estados. Estas redes deben integrar las redes de seguimiento cuantitativo de menor rango, las de flujo superficial y las pluviométricas.
- **Redes nacionales.** El objetivo del seguimiento es adquirir los datos representativos sobre las tendencias de largo plazo y de las variaciones anuales de las características cuantitativas (niveles, superficies piezométricas o caudales de los manantiales) en todo el país.
- **Redes regionales.** En las redes regionales se realiza el seguimiento a corto y mediano plazo y con menor escala, que tiene como finalidad obtener datos más precisos y detallados que pueden ser complemento de los datos básicos de la red nacional (por ejemplo, la verificación de la alteración del régimen de las aguas subterráneas o de los intervalos de variaciones diarias, horarias, etc.).

• **Redes locales.** Las redes locales se establecen con el fin de analizar y solucionar problemas concretos, especialmente en zonas donde se producen alteraciones específicas del régimen de las aguas subterráneas. Se sitúan en el entorno de pozos de extracción, drenajes del terreno o yacimientos mineros, cortinas hidráulicas, alrededores de los embalses especialmente tras su construcción, etc.

La duración del seguimiento es habitualmente breve aunque los intervalos de medida pueden ser de corto plazo. Ello depende del carácter y la duración del impacto.

En Colombia, la competencia institucional de los diferentes tipos de monitoreo de acuerdo a la cobertura se ilustra en la Figura 25.

Ámbito	Tipo de red	Entidad
NACIONAL	RED NACIONAL	IDEAM
REGIONAL	RED REGIONAL	Corporaciones autónomas regionales, unidades ambientales de grandes centros urbanos
LOCAL	REDES ESPECÍFICAS	CAR unidades ambientales de grandes centros urbanos, usuarios y sectores

Figura 24. Tipos de redes de monitoreo según la cobertura y competencia institucional (Vargas, 2001)

3.3. ¿CÓMO SE DISEÑA UN PROGRAMA DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS?

El diseño de un programa de monitoreo debe atender un esquema conceptual basado en el conocimiento técnico científico de las unidades acuíferas objeto de observación y medición. El programa comprende los

sistemas de monitoreo e información, el cual obedece al procedimiento metodológico indicado en la Figura 26.

3.3.1 Planteamiento de objetivos

Los objetivos del monitoreo dependen del tipo de red a instalar (nacional, regional o local), así como de las funciones de la red de monitoreo propuestas considerando

las prioridades, intereses y necesidades de los usuarios. En términos generales son objetivos comunes (IDEAM, 2014 SP):

- Identificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del sistema de aguas subterránea.
- Definir el estado, en cantidad y calidad, de las aguas subterráneas.
- Identificar los efectos de los procesos naturales y los impactos humanos de los sistemas hidrogeológicos
- Pronosticar a largo plazo las tendencias en cantidad y calidad de las aguas subterráneas.
- Definir el grado de vulnerabilidad de los sistemas hidrogeológicos.
- Definir medidas a ser adoptadas para prevenir la degradación de las aguas subterráneas o restaurar los acuíferos que ya han sido afectados.
- Determinar prioridades y conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos subterráneos y otros recursos naturales.

En el montaje de programas de monitoreo de la calidad de aguas subterráneas es esencial definir claramente el objetivo, ya que esto determinará los parámetros que necesitan ser analizados, el tipo de instalación de muestreo y el diseño de la red de monitoreo requerida (Foster & Gomes, 1989). Una vez definidos claramente

los objetivos es esencial identificar los resultados esperados del monitoreo. Los requerimientos de información por los usuarios (planeadores, políticos y tomadores de decisiones, científicos y público en general) no pueden ser satisfechos cuando los objetivos del monitoreo no han sido claramente establecidos.

3.3.2. Estrategias de monitoreo

Después de definir los objetivos técnicos, se desarrolla una estrategia más específica antes de iniciar el diseño real de una red de monitoreo, la cual debe considerar los siguientes aspectos (Uil et ál., 1999):

- Información existente.** Se debe revisar si la información requerida existe por otras fuentes (sistemas de monitoreo existentes, encuestas específicas, modelos, etc.).
- Requerimiento para la evaluación.** Debe pensarse en el tipo de evaluaciones a llevar a cabo, por ejemplo, situación natural, niveles de contaminación, variaciones de la reserva del acuífero, etc.
- Técnicas de monitoreo.** Considerar las técnicas de monitoreo disponibles y adecuadas así como los equipos demandados.
- Tipo de monitoreo.** Qué tipo de monitoreo es requerido y cuál debe ser frecuencia de las campañas.
- Responsabilidades. La definición de los responsables de la organización del sistema de monitoreo, para el diseño - implementación - operación y evaluación.

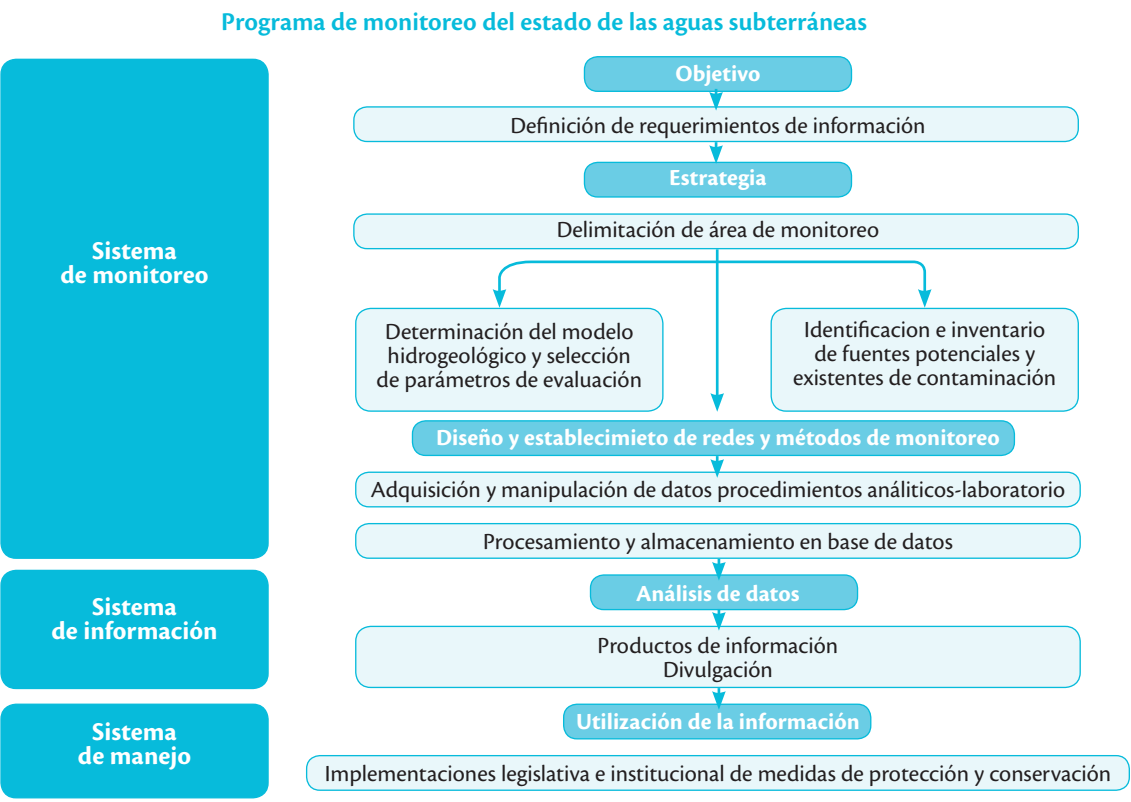


Figura 25. Flujograma para la implementación de un programa de monitoreo de aguas subterráneas (Modificado de Vrba, 2002).

◆ **Recursos financieros y humanos.** Cuál debe ser el presupuesto para la operación y con qué recursos humanos se cuenta.

Desde el punto de vista hidrogeológico es importante conocer el tipo de acuífero a monitorear teniendo en cuenta (IDEAM, 2003):

- ◆ El modelo 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.

Es necesario resaltar que si bien las condiciones geofiguras, ambientales y sociales varían en todo el país, la selección de los sitios de monitoreo siempre deben tener en cuenta tanto el modelo hidrogeológico conceptual, como información específica sobre la existencia de datos de cantidad y calidad de aguas subterráneas (European Communities, 2007).

3.3.3. Diseño y establecimiento de redes y métodos de monitoreo

En función de los propósitos de su instalación, las redes de monitoreo pueden ser clasificadas en tres grupos

principales, que no son mutuamente excluyentes (Tuinhof et ál., 2002-2006). (Tabla 13).

Una vez los objetivos han sido establecidos, el diseño de las redes de monitoreo incluye la determinación de (Uil et ál., 1999):

- ◆ Los parámetros de monitoreo
- ◆ La ubicación y profundidad de los puntos de medición
- ◆ La densidad de la red
- ◆ El periodo de tiempo durante el cual se requiere el monitoreo y la frecuencia de muestreo.

La esencia de una red de monitoreo es la elección de los parámetros a ser medidos y analizados, es así como se reconocen las redes de cantidad y calidad de agua subterránea principalmente. Entonces la representatividad de la variable medida, dada por la ubicación y profundidad, es el aspecto más crucial del monitoreo. Así, el periodo de tiempo y la frecuencia de las mediciones tienen que ajustarse a los objetivos del monitoreo y a las variaciones de los parámetros y fluctuaciones temporales (Ibíd.).

El diseño de una red puede tener dos puntos extremos de la partida. En primer lugar, un diseño de una red puede empezar casi desde cero, con o sin pocos datos de monitoreo de aguas subterráneas histórica disponible; en consecuencia, el enfoque del conocimiento hidrogeológico será la base del procedimiento de diseño.

Tabla 13. Clasificación del tipo de monitoreo de agua subterránea según su función

Sistema	Función básica	Ubicación de los pozos
Primario o estratégico	Evaluación del comportamiento general del agua subterránea con objeto de aportar el conocimiento científico necesario para entender el recurso de agua subterránea: Tendencias resultantes de cambios en el uso del suelo y variación climática Procesos tales como recarga, flujo y contaminación difusa	Zonas con hidrogeología y uso de suelos uniformes
Secundario u operacional	Monitoreo asociado a la función / uso de la vigilancia para fines específicos y protección contra impactos potenciales en: Un recurso de agua subterránea que sea estratégico Los campos de pozos o manantiales para abastecimiento público de agua La infraestructura urbana por el asentamiento del suelo El afloramiento del manto freático en sitios arqueológicos Los ecosistemas que dependen del agua subterránea	Alrededor de zonas, instalaciones o sitios peculiares que requieran protección
Terciario o de vigilancia	Alerta oportuna del impacto en el agua subterránea por: Uso agrícola intensivo del suelo Industrias Rellenos sanitarios y depósitos no controlados de basuras Zonas de recuperación de suelos Minas y canteras	Inmediatamente gradiente arriba o gradiente debajo de la situación que represente el peligro

Fuente: Modificado de (Tuinhof et ál., 2002-2006).

En segundo lugar, un diseño de una red puede comenzar con la disponibilidad suficiente de datos históricos de monitoreo. En este caso y si los parámetros objetivo pueden ser suficientemente cuantificados, el diseño puede ser considerado un problema de optimización (Ibíd.).

3.3.3.1. Cantidad de agua subterránea

a) Parámetros

Los objetivos generales del monitoreo de la cantidad de agua pueden ser la adquisición de información acerca de

los niveles de agua subterránea (presiones hidráulicas), la dirección y la cantidad de los flujos de agua subterránea, incluyendo áreas recarga y descarga y balances de las aguas subterráneas (Ibíd.).

Posibles parámetros de cantidad de agua subterránea son principalmente:

- ◆ Las mediciones de nivel de agua dentro de un pozo de observación.
- ◆ La descarga por abstracciones y manantiales.

- La recarga inducida (disposición de efluentes, infiltración de las aguas superficiales para la purificación y almacenamiento de agua potable, etc.).
- La fuga de los sistemas de distribución y alcantarillado.

Los parámetros indicados pueden ser medidos directamente. Es recomendado que una red de cantidad de agua subterránea pueda incluir estos parámetros o poder garantizar la obtención de estos fácilmente, por ejemplo, mediante la integración con otros sistemas de monitoreo.

b) Ubicación y profundidad de los puntos de medición

Técnicamente, el posicionamiento de los puntos de observación y su número, que determina la densidad de la red, se rige por dos criterios:

- (i) La representatividad específica de los puntos de observación.
- (ii) La posibilidad de determinar la tendencia espacial de los niveles de agua subterránea o carga de presiones hidráulicas sobre la escala requerida.

Por ejemplo, para una red regional, de tipo primaria o estratégica, podría permitir la determinación de una tendencia regional basada en los niveles de agua subterránea medidos durante un cierto período, o en los niveles de agua subterránea para una fecha específica. En el caso de que la red local fuese de tipo de operacional o de vigilancia, los períodos a ser considerados para la detección de tendencias serán, generalmente, mucho más cortos

y requieren una mayor densidad de puntos de observación en comparación con la supervisión regional (Ibíd.).

Para la ubicación de los puntos de monitoreo en sentido vertical, es requerida la información de la composición litológica del subsuelo, la geometría de las diferentes capas litológicas que pueden delinear los acuíferos, acuitardos y acuicludos. Los puntos de monitoreo deben localizarse dentro de los acuíferos, en una única unidad hidrogeológica. Para acuíferos freáticos, generalmente, se necesita relativamente una red con puntos de observación más densa que para acuíferos semi- a confinados (Ibíd.).

c) Densidad de la red

La densidad de la red debe cumplir con los objetivos de monitoreo definidos (en la medida de lo posible), además la distribución espacial requerida dependerá de aspectos como (Ibíd.):

- Las características de las zonas identificadas deben estar representadas.
- La escala espacial de la variable correlacionada, a menudo una tendencia espacial debe ser detectable.
- La magnitud y frecuencia de las variaciones de la variable medida en el espacio y el tiempo.
- La frecuencia de las mediciones.

Algunos autores plantean la densidad de puntos en relación al ámbito de la red (nacional, regional, local). Para programas de monitoreo de carácter nacional se recomienda una densidad de puntos que varía en el rango de una estación por cada 100 a 10000 km², mientras que

para redes regionales la densidad aumenta a un rango de 10 a 100 km² y para redes locales específicas de m² a 1 km² (IDEAM, 2014 SP).

d) Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo puede variar para distintas zonas o regiones dependiendo de las condiciones climáticas, de las características hidrogeológicas, de la situación y conflictos de cada sistema, así como de los

objetivos del monitoreo. A partir de esto, IGRAC (2008) presenta algunas consideraciones por tener en cuenta cuando se hace monitoreo manual:

- En regiones áridas, donde las fluctuaciones son prácticamente ausentes, se recomienda una frecuencia de observación muy baja, una o dos veces al año.
- En climas húmedos y regiones semiáridas es posible que la frecuencia aumente a cuatro veces al año, debido a que las variaciones no pueden ser ignoradas.

Tabla 14. Longitud típica de recolección de datos de nivel de agua en función del uso previsto

Uso previsto de datos de nivel de agua	Longitud típica de registros hidrológicos requeridos			
	Días/semanas	Meses	Años	Décadas
Para determinación de propiedades hidráulicas de un acuífero (pruebas de bombeo)	X	O		
Mapeo de la altura de la tabla de agua o superficie potenciométrica	X	O		
Monitoreo de los cambios a corto plazo en recarga y almacenamiento	X	X	O	
Monitoreo de los cambios a largo plazo en recarga y almacenamiento			X	X
Monitoreo de los efectos de la variabilidad climática			X	X
Monitoreo de los efectos regionales de desarrollo de aguas subterráneas			X	X
Análisis estadístico de las tendencias de los niveles de agua			X	X
Monitoreo de los cambios de dirección de flujo de las aguas subterráneas	O	X	X	X
Monitoreo de las aguas subterráneas y la interacción con el agua superficial	X	X	X	X
Modelación numérica del flujo y/o transporte de contaminantes del agua subterránea	O	X	X	X

Nota: (X) Más aplicable para uso previsto, (O) A veces aplicable para el uso previsto. Fuente: (Taylor & Alley, 2002).

Las observaciones sistemáticas a intervalos fijos son más adecuadas para los objetivos de la mayoría de las redes nacionales. En ellas las fluctuaciones, por cualquier razón, son rápidas, convendría un registro continuo, al menos hasta que se haya definido la naturaleza de dichas fluctuaciones (OMM, 1994).

Los datos a largo plazo son fundamentales para la determinación de muchos de los problemas más complejos que están asociados a la disponibilidad de agua subterránea y la sostenibilidad. Normalmente es significativo el periodo de tiempo (años a décadas) que es requerido para recolectar datos de nivel de agua, necesarios para evaluar los efectos de la variabilidad climática, el monitoreo de efectos del desarrollo de un acuífero regional o para obtener datos suficientes para el análisis de las tendencias del nivel de agua (Tabla 3) (Taylor & Alley, 2002).

Los usos y la importancia del monitoreo del nivel de agua se reflejan, generalmente, en la valoración de los efectos de las extracciones de aguas subterráneas, la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la disponibilidad de agua subterránea y los cambios del nivel de la tierra debido a procesos de subsidencia (Ibíd.).

3.3.3.2. Calidad del agua subterránea

a) Parámetros

Los parámetros por medir dependen de:

- (i) Los requisitos de las funciones definidas y usos de las aguas subterráneas.

- (ii) Las amenazas a las que el sistema de aguas subterráneas está expuesto.
- (iii) Los problemas que ya son efectivos.

En general, para definir los parámetros por medir se recomienda seguir el siguiente procedimiento (Uil et ál., 1999):

- Caracterización de los principales acuíferos (incluyendo composición química de la matriz del suelo y calidad del agua subterránea).
- Definición de actuales usos y requerimientos de calidad del agua (por ejemplo, función ecológica, el uso del agua para el abastecimiento de agua potable, la agricultura y la industria, etc.).
- Especificación de amenazas a las que está expuesto el sistema de aguas subterráneas (por ejemplo, sitios agricultura, la industria, residuos, instalaciones militares, etc.) (Figura 27).

Especificación de los problemas que ya son experimentados por el sistema de agua subterránea (por ejemplo, la acidificación, los nutrientes, la salinización, la contaminación, etc.).

La selección de los parámetros de monitoreo debe realizarse teniendo en cuenta, además de las condiciones geológicas de la zona, la evaluación de las fuentes potenciales de contaminación del agua subterránea (Foster et ál., 2002). (Tabla 15).

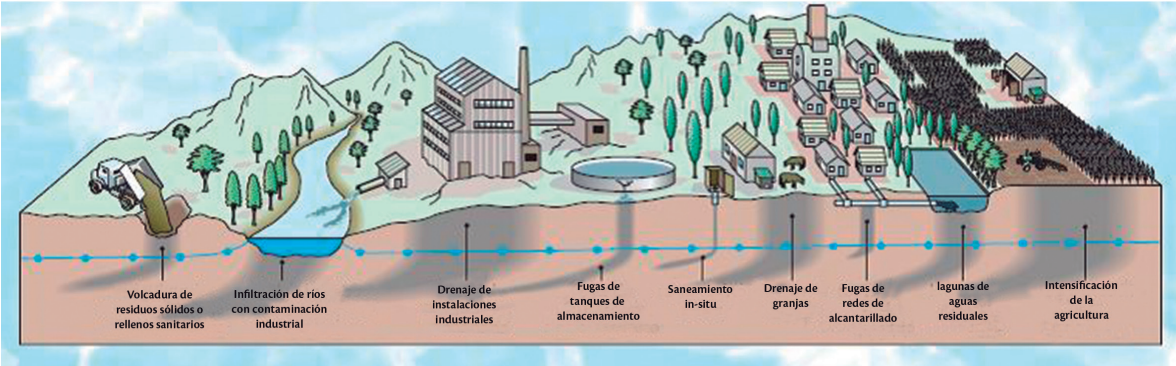


Figura 26. Fuentes de contaminación del agua subterránea (Foster et ál., 2002)

Tabla 15. Contaminantes asociados a vertimientos con afectación en aguas subterráneas

Fuentes de contaminación	Tipo de contaminante
Recogida y tratamiento de aguas residuales	Lodos procedentes de la precipitación o disolución con aditivos específicos, sales con contenido en cianuro, metales, sales de mercurio.
Recogida y tratamiento de otros residuos	Hidrocarburos alifáticos, metales (Ej. Plomo, cinc)
Saneamiento sin red de alcantarillado	Compuestos nitrogenados, patógenos fecales y virus, trazas de hidrocarburos sintéticos, microorganismos tóxicos, carbono orgánico disuelto (COD),
Saneamiento in situ	Nitratos, bacterias patógenas, virus y protozoos, trazas de hidrocarburos sintéticos, carbono orgánico disuelto (COD),
Cementerios	Microorganismos patógenos, cadaverina, putrecina,
Gasolineras y talleres automotrices	Hidrocarburos totales, hidrocarburo aromático (Ej. benceno, fenoles), algunos hidrocarburos halogenados monocíclicos (Ej. Tolueno, xileno), compuestos tóxicos sintéticos especialmente, clorobenzenos, tricloetileno, tetracloroetileno, disolventes, clorofluorocarbonos, metales (Ej. Cobre, cromo, plomo, zinc), álcalis, ácidos (Ej. Sulfúrico, fosfórico), cianuros
Lavanderías	Metales (arsénico, cadmio, cromo, cobre, cianuro, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, zinc), ftalatos, fenoles, hidrocarburos aromáticos (benceno, clorobenceno, diclorobenceno, tolueno), hidrocarburos policíclicos aromáticos (antraceno, naftaleno), compuestos alifáticos halogenados (cloroformo, clorometileno, 1,1,1,1-tetracloroetano, tretracloroetileno)

(sigue...)

Fuentes de contaminación	Tipo de contaminante
Deposito final de lodos residuales domésticos	Nitratos, varios hidrocarburos halogenados, plomo, zinc, cualquier sustancia peligrosa presente
Tintorerías	Tricloroetileno, tetracloroetileno
Curtidurías	Cromo, hidrocarburos halogenados, fenoles
Exploración / extracción de gas y petróleo	Salinidad (cloruro de sodio), hidrocarburos aromáticos
Minas de carbón y de metales	Acidez, metales pesados, hierro, sulfatos

Fuente: Modificado de Foster y Hirata, 1991; Foster et ál., 2002

Las especificaciones técnicas para el monitoreo de calidad del agua subterránea son mucho más estrictas que para el monitoreo de los niveles de agua. Los tipos de parámetros incluidos en un programa dependen de la finalidad de la red de monitoreo. Los metales pesados y sustancias orgánicas son importantes en programas

de monitoreo sobre la contaminación de puntos como vertederos y sitios contaminados. Por otro lado, los metales pesados y pesticidas son más importantes para la contaminación difusa por la agricultura. El número de compuestos analizados dentro de cada grupo depende de la finalidad de la red y en la economía.

Tabla 16. Lista de parámetros sugeridos para una red de monitoreo de calidad del agua subterránea.

Grupo	Parámetro
Parámetros descriptivos	Temperatura, pH, OD, CE
Iones mayoritarios	Ca, Mg, Na, K, HCO3, Cl, SO4, PO4, NH4, NO3, NO2, Carbono orgánico total
Parámetros adicionales	La elección depende particularmente de la fuente de contaminación local identificada
Metales pesados	Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Cr. La elección depende particularmente de la fuente de contaminación local identificada
Sustancias orgánicas	Hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, fenoles, clorofenoles. La elección depende particularmente de la fuente de contaminación local identificada
Pesticidas	La elección depende de las costumbres locales, el uso del suelo y las ocurrencias observadas en el agua subterránea
Microbiológico	Coliformes totales, coliformes fecales

Fuente: (Uil et ál., 1999).

b) Ubicación y características de los puntos de medición

Considerando los objetivos definidos en el programa de monitoreo y acorde a los alcances que se planten para la red de calidad, esta puede estar compuesta por diversos puntos de medición:

- Si la red de monitoreo es un sistema primario o estratégico (IGRAC, 2006):
- La ubicación de los pozos seleccionados debe ser representativo de la situación de calidad del agua subterránea regional (las zonas cercanas a fuentes locales de contaminación deben ser evitadas).
- El diámetro de los pozos no debe ser inferior a 2” para garantizar el acceso con sondas.

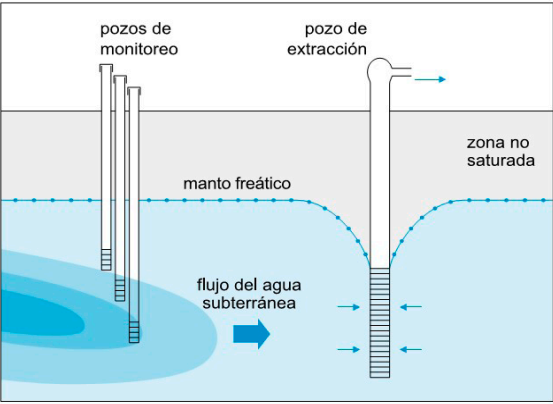
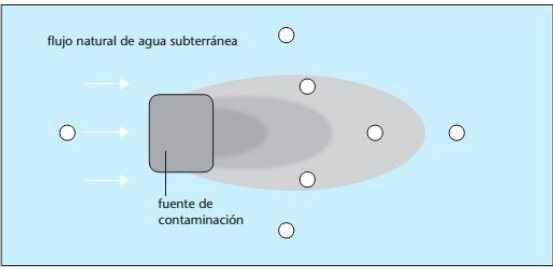
- La posibilidad de purga es una necesidad absoluta para los pozos que no estén activos (piezómetros).
- Generalmente se emplean los puntos de monitoreo propuestos para la red de cantidad y pozos de extracción activos.
- Para sistemas de monitoreo operacionales y/o de vigilancia:
- La ubicación de pozos para seguimiento (nuevos o existentes), así como la profundidad específica, se dará por la estrategia de control definida (monitoreo ofensivo de fuentes de contaminación potencial, monitoreo defensivo de fuentes de abastecimiento de agua subterránea, monitoreo de evaluación en sitios con contaminación de acuíferos conocida) (Tabla 17).
- Los pozos de monitoreo (o piezómetros) perforados con este fin, son ubicados inteligentemente y cuidadosamente construidos.

Tabla 17. Características de monitoreo para protección de calidad del agua subterránea

Monitoreo tipo	Características
Monitoreo de fuentes de contaminación potencial	El objetivo es proveer una detección temprana de la contaminación incipiente del acuífero, producida por fuentes conocidas de contaminación potencial, se realiza el monitoreo inmediatamente gradiente abajo de la fuente además se eligen los parámetros analíticos específicos con respecto a esa fuente de contaminación. Esta propuesta metodológica es costosa; por lo tanto, debe ser altamente selectiva, se dirige a las fuentes de contaminación más peligrosas localizadas en las zonas de captura de las fuentes de abastecimiento en acuíferos con alta vulnerabilidad a la contaminación.

(pasa...)

(sigue...)

Monitoreo tipo	Características
Monitoreo de fuentes de abastecimiento de agua subterránea 	El objetivo es alertar sobre las plumas de contaminación que amenazan los campos de bombeo de agua potable o pozos y manantiales individuales, mediante la instalación de una red de monitoreo gradiente arriba de estas fuentes, que sea capaz de detectar a tiempo la aproximación de agua subterránea contaminada para que sean tomadas acciones de investigación adicionales y medidas de remediación. Para evitar una red de monitoreo defensivo se requiere una comprensión cuidadosa de los sistemas de flujo de agua subterránea y trayectorias del transporte de contaminantes locales (especialmente en relación con la selección de las profundidades de extracción de los pozos de monitoreo).
Monitoreo de evaluación en sitios con contaminación de acuíferos conocida. 	Un procedimiento metodológico similar al descrito en monitoreo ofensivo debería ser adoptado: Principalmente para confirmar la efectividad de los procesos naturales de atenuación de contaminantes, donde estos sean considerados como la manera más económica o la única forma posible de manejar la contaminación del acuífero. Para confirmar la efectividad de las medidas ingenieriles de remediación tomadas para limpiar o contener la contaminación del acuífero, donde estas hayan sido consideradas técnica y económicamente factibles.

Fuente: Modificado de Foster et ál., 2002

c) Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de medición debe ser ajustada al cambio temporal en la calidad del agua el cual está relacionado con la velocidad de las aguas subterráneas. En general, en medios porosos sedimentarios no consolidados la velocidad del agua es baja, en el orden de centímetros a algunas decenas de metros por año; en consecuencia, el cambio temporal de la calidad de agua subterránea también es lento. En países de la Unión Europea, las frecuencias en general varían entre 1 a 4 veces por año (Uil et ál., 1999).

Dependiendo de las funciones, usos y amenazas del sistema acuífero, se pueden requerir mayores frecuencias de monitoreo. Salvo en acuíferos de vulnerabilidad a la contaminación extrema o alta, normalmente no es necesario monitorear la calidad del agua subterránea del acuífero con una frecuencia mayor a tres meses (Foster et ál., 2002).

3.4 ANÁLISIS DE DATOS Y DIVULGACIÓN

Para poder gestionar, resulta indispensable disponer de información y conocimiento de cómo funcionan los acuíferos y las aguas superficiales, pero también se necesitan conocer datos sobre el agua que se utiliza, cómo cambian los niveles y la recarga y cómo se afecta o cambia la calidad del recurso. A pesar de que existe una gran cantidad de datos, estudios de informes disponibles para el sector, tales como flujos de retorno, calidad ambiental del agua y fuentes de contaminación, se presentan una serie de deficiencias en la cobertura y accesibilidad a la información. Entonces, dado que existe

una gran cantidad de datos dispersos de difícil acceso, es importante resolver el desafío de organizar el acceso a esta información (Haener, 2013).

La problemática en torno a la disponibilidad de datos ha obligado a cumplir con una serie de requisitos resumidos en tres importantes condiciones (Ibíd.):

- 1. Facilitar el acceso a la información sobre el estado y evolución de los recursos es una de las necesidades para la organización del manejo de agua.
- 2. Gestores de recursos hídricos necesitan información fiable, actualizada y pertinente para trabajar en torno a reglamentos, planificación, gestión del riesgo e información pública.
- 3. Las necesidades de información son diferentes según los actores y su nivel de acción.

La mayor parte de los datos producidos por las diversas organizaciones a nivel nacional enfrentan dificultades de identificación y acceso. Así, el contexto generalizado arroja la existencia de información fragmentada, incompleta, dispersa y heterogénea, fenómeno que da cuenta de procesos de producción poco claros, de falta de trazabilidad (ausencia de metadatos) y discontinuidad en el seguimiento a nivel temporal. A esto se le suma el hecho de que no siempre los datos son digitalizados. ¿El desafío? Pasar de bases de datos dispersas y costosas a una red de sistemas y servicios accesibles y estandarizados para la producción de información útil para la toma de decisiones (Ibíd.)

En el ámbito nacional, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Ministerio

de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Servicio Geológico Colombiano diseñaron un Formulario Único para Inventario de Aguas Subterráneas (FUNIAS). A su vez se desarrolló un aplicativo para que las Autoridades Ambientales almacenen y procesen la información recopilada. Tanto el formulario, como el instructivo están en la página web del IDEAM, este básicamente consiste en recolectar información acerca del propietario de la captación, localización del punto, características topofiguras, climáticas, geológicas, estado de la captación, parámetros fisicoquímicos, niveles piezométricos (IDEAM, 2014 SP).

Los datos adquiridos en un programa de monitoreo deben ser incorporados en bases de datos. Las bases de datos están formadas con los datos recuperados por el FUNIAS deben ser incorporados en el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) (Módulo de Aguas Subterráneas), el cual hace parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (Ibíd.).

El SIRH fue creado por medio del Decreto 1323 de 2007 y establece que “el SIRH es el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo, y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliofiguras, reglamentos y

protocolos que facilita la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. La coordinación del SIRH está a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ibíd.).

Igualmente, las corporaciones y autoridades ambientales de grandes centros urbanos deben desarrollar sus propios sistemas de información regional que incluyan el componente de aguas subterráneas siguiendo las directrices del Sistema de Información Ambiental. Así mismo, es necesario desarrollar las estrategias e instrumentos de divulgación a los usuarios para sus fines pertinentes (Ibíd.).

El análisis de los datos y la transformación de los datos analizados en información útil para los usuarios es otro punto crítico en el programa de monitoreo de las aguas subterráneas. Es claro que a pesar de que se tenga una alta calidad de la información, si esta no es transmitida a los usuarios en sistemas inteligentes de información realmente no será utilizada de manera efectiva y perderá su valor como insumo para la toma de decisiones (Batista, 2002). Las salidas de información deben ser entendidas por técnicos, sectores socioeconómicos, sectores ambientales, científicos, tomadores de decisiones y público en general (Ibíd.).

NOTA IMPORTANTE

Las autoridades ambientales deben considerar las siguientes reglas básicas para lograr programas exitosos de monitoreo del agua subterránea (Tuinhof et ál., 2002-2006):



3.5. ¿CUÁLES SON LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS?

Los instrumentos de medición y recolección de muestras en aguas subterráneas están referidos tanto al tipo de punto a monitorear como los equipos empleados para tal fin acorde a los objetivos del programa de monitoreo.

Una red de monitoreo está formada normalmente por un conjunto de pozos de observación acoplado con una selección de pozos de extracción. Dicha red se diseña de forma que se tenga acceso a los datos requeridos del recurso de agua subterránea (Tuinhof et ál., 2002-2006).

Los pozos de observación son los existentes cuidadosamente seleccionados entre los ya perforados en la

zona, o los perforados y construidos especialmente con propósitos de hacerles estudios. La perforación de pozos de observación constituye uno de los principales costos en los estudios de agua subterránea. Siempre que sea posible, los pozos existentes deben seleccionarse cuidadosamente e incorporarse a la red de observación (OMM, 1994).

Por otra parte, los instrumentos empleados para la medición y recolección de muestras varían acorde a la oferta comercial de cada región. Es común encontrar equipo de medición manual como sondas métricas y bailer, así como equipos más sofisticados como divers y multiparámetros. A continuación se presentan las características y consideraciones a tener en cuenta para la definición de los instrumentos de monitoreo.

3.5.1. Pozos de monitoreo

Los pozos de monitoreo pueden clasificarse en pozos convencionales y no convencionales.

a) Pozos convencionales

Son pozos de monitoreo o piezómetros, los cuales son ubicados inteligentemente y cuidadosamente construidos. Son los medios más seguros de obtención de muestras de agua subterránea representativas de las condiciones in situ en un sistema acuífero. Estos comprenden pozos de pequeño diámetro con longitudes de filtro cortas (2-5 m), realizados con materiales relativamente inertes (acero inoxidable, teflón o PVC). Se requieren procedimientos apropiados de perforación e instalación (incluyendo un sellado con bentonita para

prevenir el ingreso de la contaminación por el anillo de la perforación) que están usualmente disponibles en la mayoría de los países (Foster y Gomes, 1989).

b) Pozos no convencionales

Corresponden a aquellos abandonados que eventualmente se adecuan como pozos de monitoreo por razones económicas. Deben cumplir con especificaciones mínimas relacionadas con el reconocimiento de su diseño, captar únicamente el acuífero objeto de monitoreo y cumplir con disposiciones sanitarias que impidan el acceso de contaminantes desde la superficie. En algunos casos se utilizan pozos de producción como pozos de monitoreo pero los procedimientos de muestreo y toma de datos deben considerar un estado estático y una purga adecuada. Los pozos de producción aptos para monitoreo deben permitir el libre paso de una sonda para medición de niveles y permitir el libre acceso de un bailer si se incorporan además para monitoreo de calidad (IDEAM, 2014 SP).

El uso de pozos de producción presenta como inconveniente la captación de agua subterránea en un gran tramo de su profundidad, atravesando inclusive, diversas unidades hidrogeológicas. De esta manera los pozos tienden a bombear un “cóctel de agua subterránea” con grandes diferencias en origen, en términos de área y época de recarga (en muchos casos mezclando agua subterránea con tiempos de residencia que varían desde décadas, siglos y hasta milenios) y evolución hidrogeoquímica, en términos de la modificación a través de la interacción acuífero-agua y la atenuación natural de contaminantes. Esto ejerce inevitablemente una seria

limitación en la interpretación y extrapolación de los datos obtenidos en el monitoreo en muchos tipos de sistemas acuíferos (Foster et ál., 2002).

c) ¿Qué requisitos mínimos deben cumplir los pozos de monitoreo?

En todos los casos los pozos de monitoreo deben:

- Estar georreferenciados y nivelados a un BM único o a una red de puntos del IGAC referenciados al *datum* nacional.
- Cumplir con disposiciones sanitarias (cerramiento, tapa de seguridad y sello sanitario).
- Captar una única unidad hidrogeológica, acorde a la priorización del sistema acuífero.
- Tener zonas de protección definidas.
- Tener una ficha en la base de datos del sistema de monitoreo que incluya codificación, fotografía del pozo, características de diseño, fecha de instalación, propiedades hidráulicas del acuífero y del pozo obtenidas a partir de pruebas de bombeo, opcionalmente descripción de sistema de recepción y transmisión de datos, fechas de limpieza, desarrollo y mantenimiento.

3.5.2. Parámetros medidos y métodos empleados

En los pozos de observación de aguas subterráneas se efectúan mediciones que tienen que ver con su estado

en cantidad y calidad y la dinámica del sistema. Estas mediciones se pueden agrupar como (IDEAM, 2014 SP):

- Mediciones de niveles.
- Determinación de parámetros hidráulicos del acuífero.
- Mediciones de parámetros físico-químicos, microbiológicos y aplicación de técnicas avanzadas.

a) Medición de niveles

Los niveles de agua en muchos acuíferos siguen un patrón cíclico natural de fluctuación estacional, normalmente se da un aumento durante la época de lluvias, debido a la recarga del sistema por mayores precipitaciones; el declive se presenta durante el verano debido a una menor recarga y una mayor evapotranspiración. La magnitud de las fluctuaciones en los niveles de agua puede variar mucho en períodos de sequía e invierno y de año en año en respuesta a las diversas condiciones climáticas. Los cambios en la recarga y almacenamiento de las aguas subterráneas causado por la variabilidad climática comúnmente ocurre durante décadas y los niveles de agua en los acuíferos generalmente tienen un retraso en la respuesta a los efectos acumulativos de la sequía (Taylor & Alley, 2002).

La medición de niveles requiere un conocimiento del modelo hidrogeológico conceptual pues los niveles registrados deben corresponder a una unidad acuífera en particular y no a la mezcla de varias unidades cuando el acuífero es multicapa, pues las condiciones hidráulicas de cada una son diferentes dependiendo de las condiciones de presión y confinamiento.



Figura 27. Monitoreo automático (diver) y manual (cinta métrica).

La medición directa de los niveles de agua subterránea puede realizarse en los pozos de observación, con instrumentos de operación manual o con ayuda de instrumentos automáticos de registro continuo. Todos los dispositivos de medición manual necesitan un manejo cuidadoso y un mantenimiento realizado a intervalos frecuentes, si no puede disminuir gravemente su eficacia (OMM, 1994).

Los instrumentos automáticos deben ser portátiles, fáciles de instalar y capaces de registrar en una gran variedad de condiciones climáticas y funcionar sin control durante períodos de tiempo variables. También deben ser capaces de medir las variaciones lineales y temporales

del nivel de agua subterránea con distintas velocidades de registro, por intercambio de engranajes, en las escalas de tiempo y de nivel. De este modo el mismo instrumento, con el mínimo uso de equipo auxiliar, podrá ser utilizado durante varios períodos de observación y para un extenso intervalo de variaciones de agua subterránea en numerosos pozos de observación (Ibíd.).

Es importante resaltar que hay dos tipos de niveles: *estático* y *dinámico*. El primero hace referencia al nivel estacionario del pozo y el segundo corresponde al nivel cuando el pozo se encuentra en bombeo. Se considera que una vez instalado y utilizado el pozo para el uso respectivo, se altera la condición natural del acuífero y

por tal motivo se deberá, en lo posible, concertar con el propietario del pozo para que este detenga el bombeo por determinado tiempo (dependerá de las condiciones del acuífero), con el fin de acercarse al nivel estático (IDEAM, 2014 SP).

b) Determinación de parámetros hidráulicos del acuífero

La conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento de un acuífero o unidad confinante se determinan generalmente mediante ensayos directos, denominados ensayos de acuífero o de bombeo. Tienen por objeto medir el descenso de nivel resultante de un bombeo u otro factor de estrés hidrológico similar para, seguidamente, se proceda a calcular los parámetros hidráulicos (OMM, 2011).

La finalidad general de los ensayos de bombeo es determinar los parámetros hidráulicos cuando el bombeo está controlado y se mantiene generalmente constante, mientras se miden los niveles de agua en el pozo bombeado y en los pozos de observación cercanos. (Figura 29) (Ibíd.).

Los ensayos de bombeo suelen durar desde 8 horas hasta un mes o más, dependiendo del tiempo necesario para lograr un nivel estable de agua durante el bombeo. Cuando se pone en marcha la bomba, el nivel de agua desciende. El mayor descenso de nivel se observa en el pozo de bombeo, disminuyendo de manera no lineal con la distancia al pozo bombeado y aumentando, también de manera no lineal, con el tiempo. Los valores observados son las variaciones del descenso de nivel a

lo largo del tiempo. Este ensayo se denomina ensayo transitorio, en referencia a las variaciones del descenso de nivel a lo largo del tiempo (IDEAM, 2014 SP).

Generalmente, los datos del ensayo se analizan mediante un método gráfico o manual, o utilizando un programa informático de análisis de ensayos de acuífero. Para analizar las Figuras, los datos obtenidos se superponen y comparan con “curvas tipo” conocidas para calcular una solución de la conductividad hidráulica y del coeficiente de almacenamiento.

Las distintas Figuras son analizadas una a una, y se determina un valor medio o consensual para el ensayo (OMM, 2011).

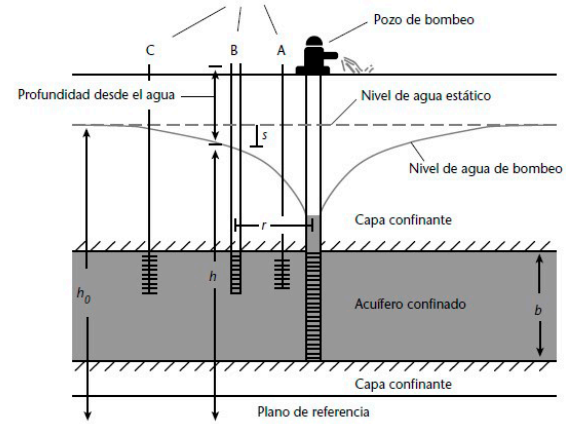


Figura 28. Diagrama esquemático de un ensayo de bombeo típico en el que aparecen indicadas las diversas mediciones (Heath, 1983 en OMM, 2011).

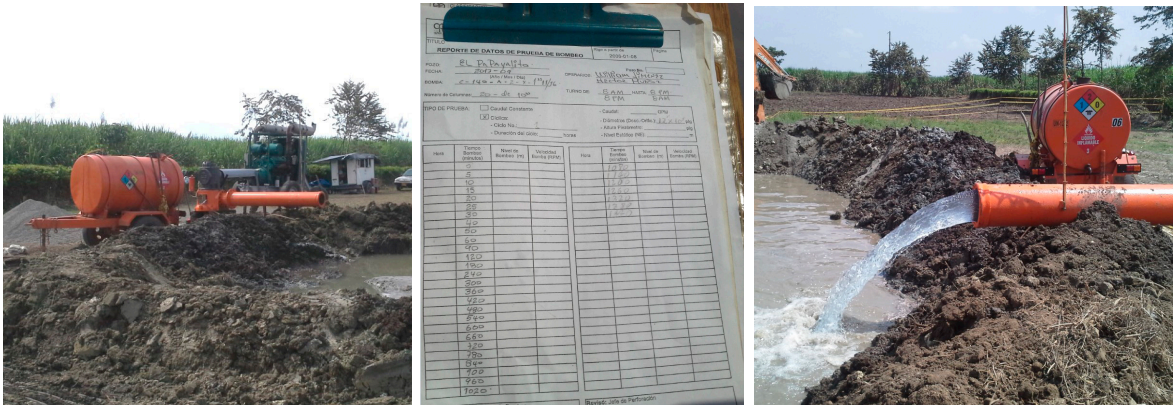


Figura 29. Equipos empleados durante ensayo de bombeo (Palmira, Valle del Cauca, 2013).

c) Mediciones de parámetros físico-químicos, microbiológicos y aplicación de técnicas avanzadas

Las orientaciones para el muestreo y manejo de muestras de aguas subterráneas es abordado por la “Guía para el muestreo de aguas subterráneas” que forma parte de la

Norma Técnica Colombiana (Icontec) NTC-ISO 5667-11. En ella se especifican equipos, materiales, procedimientos de muestreo, frecuencia y tiempo de muestreo, selección de métodos de muestreo, transporte, preservación y almacenamiento de las muestras, precauciones de seguridad e identificación y registro de las muestras (IDEAM, 2014 SP).



Figura 30. Equipos empleados para recolección de muestra de aguas subterráneas en piezómetro, para análisis físicoquímicos (equipo técnico de Carder, 2013).

En sitios contaminados por actividad antrópica el muestreo requiere especificaciones especiales que se contemplan en Norma Técnica Colombiana (Icontec) NTC-ISO 5667-18. En esta norma se compendian las estrategias de muestreo, los criterios de selección para la ubicación de puntos de muestreo, la frecuencia de muestreo, los tipos de instalaciones de monitoreo, materiales de construcción, procedimientos de muestreo, purga, calicatas de prospección, muestreo de contaminantes de fase libre, materiales para equipo de muestreo, preservación, estabilización y transporte de muestras, precauciones de seguridad, identificación de muestras y registros (Ibíd.).

Textos como el del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS titulado “Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas: una evaluación de métodos y costos” publicado en 1989 con la autoría de Stephen Foster y la participación de la UK Overseas Development Administration y la Or-

ganización Panamericana de la Salud OPS y “Guidance on the design and installation of groundwater quality monitoring points” (2006) de la Agencia Medioambiental del Reino Unido, son documentos de referencia en la temática tratada.

3.5.3. Instrumentos usados para el monitoreo de aguas subterráneas

Se presenta algunos de los instrumentos más empleados en el monitoreo de las aguas subterráneas. Dentro de la gama de instrumentos que se encuentran en el mercado, los más utilizados para la medición de nivel son los equipos de tipo manual (cintas, sensores ultrasónicos y neumáticos) y automáticos. Para el muestreo de aguas subterráneas es común el uso de bombas, entre las que se destacan las de tipo neumáticas, peristálticas y sumergibles. Para monitoreo in situ se utilizan celdas de flujo y sensores con registro periódico de parámetros como pH, presión y temperatura, entre otros.

Tabla 18. Instrumentos usados para el monitoreo del agua subterránea

Equipo	Características
Sondas de nivel manuales	- Equipos transportables que proveen de mediciones exactas de niveles estáticos en pozos y barrenos. - Cuentan con una cinta que está disponible en el mercado en largos de hasta 900 metros, marcada en incrementos de 1 mm. - Compuestas por un cable de acero inoxidable, carrete, manija y freno. Actualmente, existen diseños de cintas que impide que estas se adhieran a superficies mojadas en los pozos. - Dispone de una batería que alimenta una alarma visual o sonora que se activan al contacto con agua. - Los modelos se diferencian por la longitud del cable, el diámetro del sensor, disponibilidad de carretes motorizados. - Algunos equipos incorporan sensores de conductividad eléctrica y temperatura, lo que incrementa su costo.

(pasa...)

Equipo	Características
<i>Sensores automáticos para nivel y calidad de agua</i> 	- Se caracterizan por ser registradores automáticos diseñados para ser usados en monitoreo permanente de aguas subterráneas y superficiales. - Son unidades selladas que disponen de batería para 5 a 10 años (varía según el precio). - De diversos tamaños (pequeño a mediano según la marca), cuentan con una alta precisión (exactitud 0.05% de la escala total). - Poseen una capacidad para registrar hasta 40.000 mediciones en cada canal (nivel y temperatura en muestreo lineal) almacenamiento con memoria interna. - El muestreo se puede hacer periódicamente cada 0,5 segundos hasta 99 horas, programar un muestreo por evento.
<i>Sensores multiparámetros</i> 	- Permiten el registro de niveles y calidad de agua de forma automatizada. - Los sistemas modulares permiten operar hasta con ocho sondas de diferente diámetro que se pueden conectar en línea o con un manifold. - Estos equipos han sido diseñados para el trabajo en campo permitiendo monitorear rápidamente en forma automatizada presión, temperatura, conductividad y pH. Cuentan con un visualizador digital de datos (LCD) que permiten ver las lecturas al instante. Usualmente son de operación sencilla, dependiendo la marca y modelo pueden programarse y obtener datos con un PC o laptop a través de una interfase infrarroja digital. Varía también la capacidad de memoria y operatividad del software.
<i>Bombas sumergibles de membrana</i> 	- Permiten tomar muestras de alta calidad en todo tipo de aplicaciones, ajustándose a las características de las aguas subterráneas. - Utilizan una membrana de teflón, PVC o acero inoxidable que impide que la muestra entre en contacto con el aire, de tal modo que evita su contaminación o desgasificación. - Son resistentes y duraderas. Tanto membranas como válvulas pueden reemplazarse con facilidad en el campo. - Dependiendo la marca y modelo, varían sus diámetros y profundidad de succión.

(pasa...)

Equipo	Características
<i>Bombas sumergibles plásticas</i> 	- Están diseñadas para operar incluso bajo condiciones de turbidez, bombeando continuamente sin la necesidad de enfriamiento. - Poseen un motor eléctrico alimentado con una batería de 12 V, tienen una vida útil estimada en 400 horas, lo que permite realizar muestreos y vaciado de pozos de manera económica.
<i>Bombas peristálticas</i> 	- Diseñadas para uso en terreno, operan por succión permitiendo bombeo al vacío o recuperación de líquidos o gases por presión. - Ideal para remoción de muestras de pozos poco profundos o aguas superficiales (4 a 10 metros). - Su operación mecánica utiliza rodillos de rotación, creando un vacío que desplaza la columna de agua en la dirección deseada (velocidad variable y reversible).
<i>Muestreadores discretos</i> 	- Se usan para obtener muestras de agua subterránea por debajo de napas flotantes, sin la necesidad de purgar. - Se pueden obtener muestras de agua entre napas y muestrear a intervalos discretos en pozos. - El muestreador se presuriza con una bomba manual en superficie antes de ingresarlo al pozo. Mientras atraviesa la columna de agua, el agua no entra al muestreador. Al llegar a punto de muestreo, se libera la presión y el agua ingresa al muestreador por presión hidrostática.
<i>Muestreo de agua en pozos</i> 	- Estas unidades de muestreo varían en configuración y especificaciones para cada tipo de requisito de toma de muestras de agua. - Su precio varía según el material con el que fueron fabricados, siendo estos desechables o reutilizables.

(sigue...)

(sigue...)

(pasa...)

Equipo	Características
<i>Piezómetros para hincado</i>  Fuente: www.solinst.com	◆ Los piezómetros para hincado permiten efectuar investigaciones iniciales y delinear plumas en sitios o zonas de aguas subterráneas. ◆ Se utilizan para tomar muestras de agua subterránea o gases, monitoreo de tanques subterráneos, puntos esparcidos y medición de niveles estáticos. ◆ Los equipos tienen en el extremo anterior una punta de acero inoxidable y en el extremo posterior una rosca para uso con extensiones de acero inoxidable o acero galvanizado. Estas últimas permiten la instalación permanente del piezómetro a un costo inferior. ◆ Para obtención de muestras de mayor calidad, el piezómetro se puede suministrar con lengüeta para conectar tubería de polietileno o de teflón. ◆ Algunos modelos, como el 615 de Solinst, pueden traer con funda de acero que evita la obstrucción de la malla del piezómetro cuando se hincan en terrenos arcillosos. ◆ Se pueden hincar con martillo manual para hincado en terrenos arenosos blandos, o con martillos vibradores o con plataforma para perforación para profundidades mayores o terrenos más firmes.

Fuente: Modificado (Quintana, 2008).

Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data. U.S. Geological Survey Circular 1217. (2002).

Protección de la calidad del agua subterránea”. Washington D.C: Banco Mundial - Groundwater manangement advisory team (GW-MATE). (2002).

Monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas una evaluación de métodos y costos”. Stephen Foster y Daniel Caminero Gomes, 1989. CEPIS / OPS / OMS.

3.6. LECTURAS RECOMENDADAS

State of the art on monitoring and assessment of groundwaters. Delf, Holanda: UN/ECE Task Force on Monitoring & Assessment. (1999).	a la calidad del agua. Serie de notas informativas (9). Banco Mundial.
Requerimientos de Monitoreo del Agua Subterránea para manejar la respuesta de los acuíferos y las amenazas	Guideline on: Groundwater monitoring for general reference purposes. Utrecht: International Groundwater Resources Assessment Centre IGRAC (2006).

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RECURSO HÍDRICO (SIRH)

El conocimiento de las aguas subterráneas aún es visto como un proceso ambiguo, debido a que las metodologías y procedimientos no son difundidos, implementados y adoptados en todo el territorio nacional; es por ello que las diferentes entidades con injerencia en la temática, están desarrollando mecanismos para capacitar, analizar y socializar las técnicas empleadas. Este es el caso del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que, en coordinación con el Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales (IDEAM), viene apoyando técnicamente a las AAC, sobre las actividades que deben tener en cuenta para conocer las aguas subterráneas, de tal forma que se logre realizar un manejo y una planificación del recurso, ya que no se puede administrar algo que no se conoce y mucho menos, algo que quizá hoy en día no es visto con la importancia y relevancia que se merece.



4. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RECURSO HÍDRICO (SIRH)

- 4.1 LÍNEA DE TIEMPO DEL SIRH: MARCO NORMATIVO
- 4.2 CONTEXTO GENERAL ACTUAL DEL SIRH
 - 4.2.1 OBSERVATORIO DEL AGUA
- 4.3 LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL REGISTRO DE INFORMACIÓN EN EL SIRH
- 4.4 PROYECCIONES DE LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN EL MARCO DEL SIRH

En este sentido, nace la necesidad de promover los principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas, cuya información generada sea capturada, sistematizada y recopilada en un único sistema de información, para su consulta a nivel Nacional y Regional por todos y cada uno de los interesados, de tal forma, que permita una transferencia de datos para la toma de decisiones en lo que respecta a la prevención, control, administración y gestión del recurso hídrico.

Dicho sistema único de información, se encuentra materializado en el Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH), definido bajo el Decreto 1076 de 2015, Capítulo 5 Sección 1, artículo 2.2.3.5.1.2. *Definición. El Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) es el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico.*

Por lo anterior, el SIRH está previsto como el instrumento que consolida la información asociada al agua en sus diferentes estados, cuyas áreas temáticas se relacionan con la oferta, demanda, calidad y riesgo del recurso hídrico superficial y subterráneo.

En este sentido, el presente capítulo da a conocer el estado actual del SIRH, para la captura y reporte de información de aprovechamiento y monitoreo del recurso hídrico subterráneo y establece las proyecciones de mejora para la articulación de datos e información técnica de interés, para la toma de decisiones.

4.1. LÍNEA DE TIEMPO DEL SIRH: MARCO NORMATIVO

En el **año 1974** con la expedición del Decreto Ley 2811, se establece las bases para el desarrollo del Sistema de Información Ambiental (SIA), en el que se contempla como objetivo principal la organización y actualización permanente de un sistema de informaciones ambientales, con los datos físicos, económicos, sociales, legales y, en general, concernientes a los recursos naturales renovables y al medio ambiente. Años después, en 1993, con la expedición de la Ley 99, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), definiendo las responsabilidades de administrar y operar dicho sistema.

Un **año después**, con los Decretos 1277 y 2241, se organiza el IDEAM y se adoptan sus estatutos, se contempla dentro de sus funciones el suministrar los conocimientos, los datos y la información ambiental del país, así como dirigir y coordinar el Sistema de Información Ambiental y operarlo en colaboración con las entidades científicas vinculadas al Ministerio de Ambiente, con las corporaciones y demás entidades del SINA.

En el **año 1994** se expide el Decreto 1600 por medio del cual se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental (SINA) en relación con los Sistemas Nacionales de Investigación Ambiental y de Información Ambiental.

Luego, en el Decreto 1200 del **año 2004**, en su Capítulo V *del seguimiento y evaluación a los instrumentos de planificación de las corporaciones autónomas regiona-*

les artículo 9°- del seguimiento y evaluación: El Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC), compuesto por el Sistema de Información Ambiental para el seguimiento a la calidad y estado de los recursos naturales y el ambiente, SIA, y el Sistema de Información para la Planeación y Gestión Ambiental, SIPGA, se constituye en los sistemas para el seguimiento y evaluación de que tratan el numeral 4 del artículo 50 y numeral 5 del artículo 70 del presente Decreto.

El diseño del Sistema de Información Ambiental para Colombia, (SIAC), será liderado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y su implementación será coordinada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Tres años después, mediante la expedición del Decreto 1323 de 2007, se conceptúa el Sistema de Información de Recurso Hídrico, *como el conjunto que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico.* Allí mismo, en dicho decreto se indica que la gestión de información hídrica nacional debe definirse en las siguientes áreas temáticas: a) disponibilidad hídrica, b) calidad hídrica, c) estado actual del recurso hídrico y d) gestión integral del recurso hídrico. De igual forma, se definen los responsables, las funciones y sus roles en la implementación del SIRH.

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) nace en el **año 2010**, con una proyección de doce años. Allí se contemplan seis objetivos

fundamentales relacionados con la oferta, demanda, calidad, riesgo, fortalecimiento institucional y gobernabilidad, los cuales a su vez, incluyen líneas estratégicas asociadas al conocimiento, planeación, conservación, medición de consumos, gestión en sectores, uso eficiente y ahorro del recurso, ordenamiento del recurso, reducción de contaminación, monitoreo y seguimiento, entre otros. Dichas líneas estratégicas están asociadas en un proceso de planificación definido como Plan Hídrico Nacional, el cual se encuentra estructurado en tres fases, iniciando con un periodo de 2010 a 2014, 2014 a 2018 y finalizando de 2018 a 2022.

En el **año 2012**, con el Decreto 303 y Resolución 955, el SIRH da sus primeros pasos con el diseño y puesta en marcha del formulario de captura de usuarios del recurso hídrico, en el que se incorpora la información de concesiones de agua y permisos de vertimiento expedidos por las Autoridades Ambientales Competentes, constituyéndose como parte de los módulos de demanda y calidad para la identificación de usos, puntos de monitoreo e identificación de las fuentes hídricas, que permite los respectivos análisis del comportamiento que dan origen a la toma de decisiones.

En este mismo **año 2012**, se expide el Decreto 1640, que reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de los recursos hídricos (planes de ordenamiento del recurso hídrico, planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, planes de manejo ambiental de acuíferos), y se plantea la necesidad de adelantar las Evaluaciones Regionales del Agua, para lo cual el SIRH se enfrenta al reto de poder ofrecer la información necesaria para que dichos instrumentos puedan

diseñarse basados en información real o al menos muy aproximada del comportamiento del recurso hídrico.

La Ley 1712 nace en el **año 2014**, creando la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional, contemplando como objetivo regular el derecho de acceso a la información pública, los procedimientos para el ejercicio y garantía del derecho y las excepciones a la publicidad de información. En tal sentido, el SIRH atiende a dicha ley, facilitando el acceso libre a la información hidrológica del IDEAM.

A fecha de **mayo de 2015**, se expide el Decreto 1076 en el cual se compila en un único Decreto Ambiental la normativa asociada al sector de ambiente y desarrollo sostenible, con el fin de contar con un único instrumento jurídico, que facilita la consulta normativa ambiental reglamentada en decretos y resoluciones expedidos en años anteriores. Dicho decreto consolidó en cinco capítulos las temáticas relacionadas con el recurso hídrico, así: Capítulo 1: Instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos; Capítulo 2: Uso y aprovechamiento del agua; Capítulo 3: Ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos; Capítulo 4: Registro de usuarios del recurso hídrico y Capítulo 5: Sistema de Información de Recurso Hídrico.

En **julio de 2015**, se estructura el Plan Hídrico Nacional fase II 2014-2018, en donde se contempla el Programa de Monitoreo, Investigación y Gestión de la Información, el cual incluye actividades relacionadas con la implementación del Sistema de Información de Recurso Hídrico -(SIRH), como uno de los ejes fundamentales del Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC).

De igual forma, se expide la Ley 1753 de 2015, se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”, el cual contempla cinco estrategias transversales, enmarcadas a un crecimiento verde, como mecanismo para que todos los sectores adopten prácticas verdes de generación de valor agregado, de acuerdo a lo establecido en la Constitución Política, como crecimiento económico, social y sostenible ambientalmente.

El “Crecimiento Verde” define como uno de sus objetivos a mediano plazo, proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad y gobernanza ambiental, puntualizando cinco estrategias, que permitirán mantener el flujo de servicios ecosistémicos en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, entidades del SINA y demás de orden nacional. En este sentido, la estrategia consignada en el literal c. Mejorar la calidad ambiental a partir del fortalecimiento del desempeño ambiental de los sectores productivos, buscando mejorar su competitividad, en el componente Gestión Integral del Recurso Hídrico, identifica que se fortalecerá la institucionalidad y la gobernanza a través de: 1) implementar la estrategia de sostenibilidad financiera para la gestión integral del recurso hídrico; 2) ejecutar el Programa de Cultura del Agua, Participación y Manejo de Conflictos relacionados con el recurso hídrico; 3) implementar el Programa Nacional de Legalización y 4) **continuar con la implementación del Sistema de Información del Recurso Hídrico articulado con los demás subsistemas del Sistema de Información Ambiental de Colombia, (SIAC), pertinentes.** (Negrilla fuera de texto).

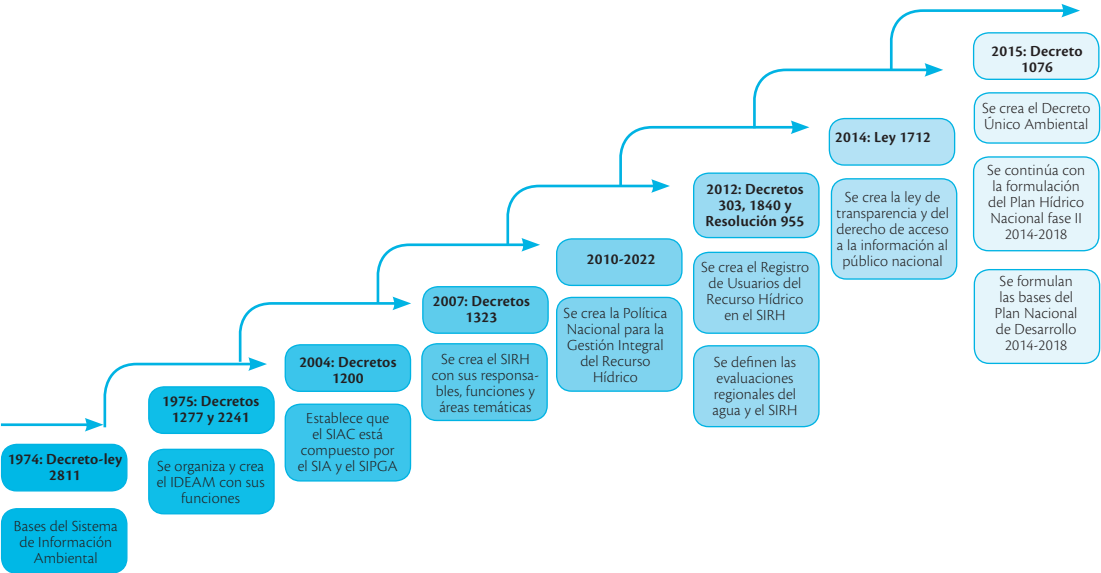


Figura 31. Línea de tiempo del SIRH

4.2. CONTEXTO GENERAL ACTUAL DEL SIRH

El Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC) es el conjunto integrado de actores, políticas,

procesos, y tecnologías involucrados en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, toma de decisiones, análisis, educación y participación social para el desarrollo sostenible. Dicho



Figura 32. Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC).

sistema busca recopilar y consolidar toda la información en relación a aspectos temáticos y territoriales de los recursos naturales renovables (agua, aire, suelo), resultantes de estudios, modelos, proyecciones, levantamiento de línea base ambiental, procesos de observación regionales y nacionales, entre otros (Comité SIAC, 2006).

En el marco del SIAC se han desarrollado una serie de subsistemas administrados por las diferentes instituciones pertenecientes al Sistema Nacional Ambiental (SINA). Uno de ellos es el Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH), constituido como una herramienta de captura de datos para la salida de información que permite conocer el comportamiento del ciclo del agua, considerando variables para la toma de decisiones relacionadas con la oferta, demanda, calidad, riesgo y gestión, lo cual conlleva a fortalecer los procesos de gobernabilidad institucional enmarcados en la planificación, administración y seguimiento del recurso hídrico.

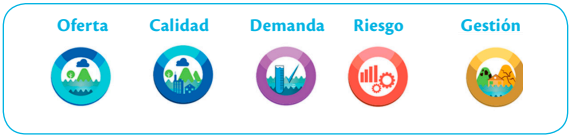


Figura 33. Componentes del SIRH.

El SIRH gestiona la información ambiental relacionada con:

- a) La cantidad de agua (aguas superficiales continentales y las aguas subterráneas.)
- b) La calidad de los cuerpos hídricos del país (aguas subterráneas, las aguas marinas y las aguas estuarinas).

Tal como lo define el Decreto 1076 de 2015 artículo 2.2.3.5.1.2, los objetivos del SIRH son:

- Contar con información para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico.
- Constituir la base de seguimiento de los resultados de las acciones de control de la contaminación y asignación de concesiones, con base en reportes de las autoridades ambientales.
- Proporcionar la información hidrológica para orientar la toma de decisiones en materia de políticas, regulación, gestión, planificación e investigación.
- Consolidar un inventario y caracterización del estado y comportamiento del recurso hídrico en términos de calidad y cantidad.
- Aportar información que permita el análisis y la gestión de los riesgos asociados al recurso hídrico.
- Constituir la base para el monitoreo y seguimiento a la Gestión Integral del Recurso Hídrico.
- Promover estudios hidrológicos, hidrogeológicos en las cuencas hidrográficas, acuíferos y zonas costeras insulares y marinas.
- Facilitar los procesos de planificación y ordenación del recurso hídrico.

El SIRH como parte integral del SIAC, consolida las variables necesarias para conocer el comportamiento del ciclo del agua, relacionadas con la oferta, demanda, calidad y riesgo. El acceso a la información Nacional, se realiza a través de la página del SIAC presentando repor-

tes de cifras y consulta de información, relacionadas en el observatorio del agua, el acceso por parte de las autoridades ambientales, cifras SIRH y la consulta mediante el visor geográfico institucional, así:



Figura 34. Consulta de información en el SIAC
Fuente: Tomado de: www.siac.gov.co. Fecha de consulta 20 diciembre de 2015.

Cada esquema de consulta de datos, presenta unas particularidades de acceso que permiten tener reportes ya sea a nivel regional o nacional, según sea el caso, teniendo en cuenta que el IDEAM es el ente administrador de la información, pero las autoridades ambientales competentes junto a los usuarios del agua, son los que tienen la custodia del detalle de los datos.

Tal como se muestra en la figura anterior, el primer acceso de consulta de datos permite ingresar tanto el **observatorio del agua** para la consulta general de datos asociados a los módulos de oferta, demanda, calidad y

riesgo, como al **acceso a las autoridades ambientales**, para el reporte de datos que serán visibles a los usuarios a través del observatorio mencionado previamente, así:



Figura 35. Observatorio del agua y acceso a autoridades ambientales al SIRH
Fuente: Tomado de www.siac.gov.co. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

4.2.1. Observatorio del Agua

Como se mencionó previamente, el SIRH ofrece servicios de consulta de información a través del OBSERVATORIO DEL AGUA (ver enlace <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>), relacionada con oferta, demanda, calidad, riesgo y gestión, así:

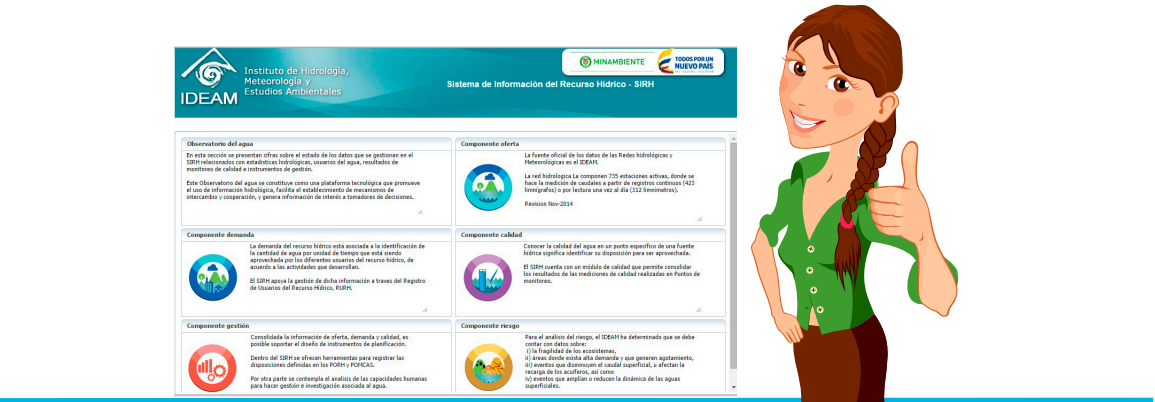


Figura 36. Observatorio del Agua.
Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

OFERTA: permite la consulta de información de las estaciones hidrológicas del IDEAM, que incluye las series de datos históricas, tabla de datos, series anuales, resumen numérico, datos multianuales, gráficas multianuales, histograma, curva de duración de caudal, e indicadores del Estudio Nacional del Agua (ENA–2010).

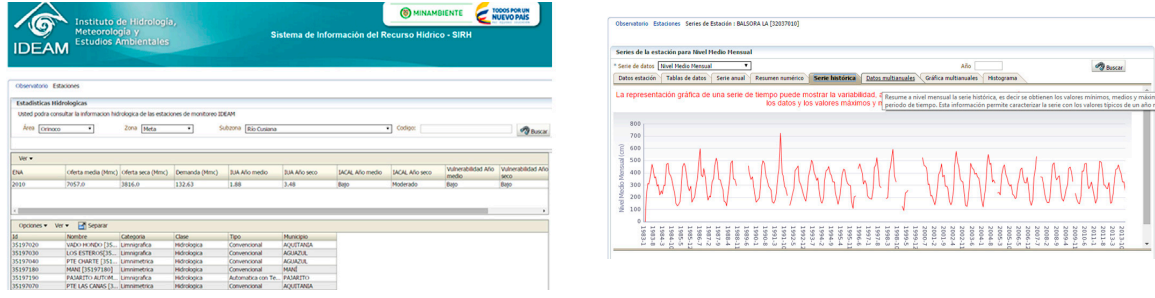


Figura 37. Información componente de oferta.
Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

DEMANDA: se cuenta con salidas gráficas de información relacionada con número de usuarios del agua de acuerdo a su naturaleza por municipio, Número de captaciones por fuente hídrica, Caudal concesionado por fuente hídrica, Número de vertimientos por fuente hídrica, Caudal vertido por fuente hídrica, Número de concesiones otorgadas por año, Número de permisos de vertimientos otorgadas por año, vigencia de los permisos y concesiones, usuarios por tipo de fuente (superficial y subterránea)



Figura 38. Información componente de demanda. Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

CALIDAD: permite la consulta de información de los puntos de monitoreo de calidad del agua realizado por el IDEAM y Autoridades Ambientales Competentes, cálculo del Indicador de Calidad del Agua (ICA), Número de muestras en el año sobre una fuente hídrica, Comportamiento cronológico de un parámetro en un Punto de Monitoreo; Comportamiento cronológico de un parámetro en los Puntos de Monitoreo de una fuente hídrica.

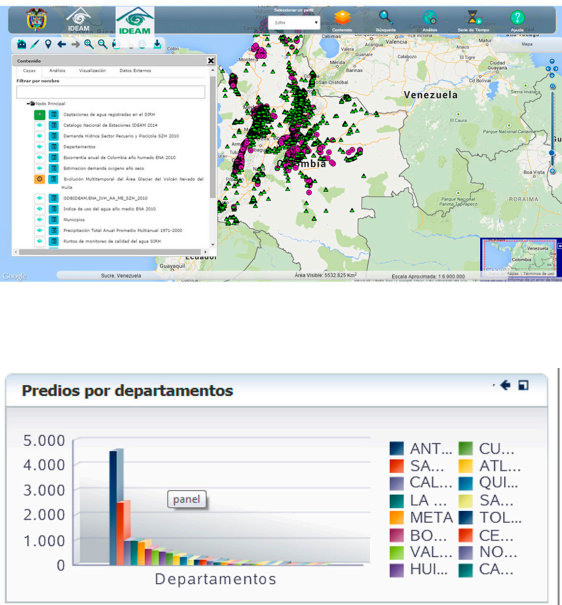


Figura 39. Información de componente de calidad. Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

RIESGO: permite la salida de información relacionada con alertas de disponibilidad del recurso hídrico, identificación de puntos de monitoreo en los que existen cambios significativos en la calidad del agua y cuenta con un link de acceso al sistema de alertas temprana FEWS, como fuente de información de datos recientes de niveles y precipitación, y generación de pronósticos (modelos en validación).

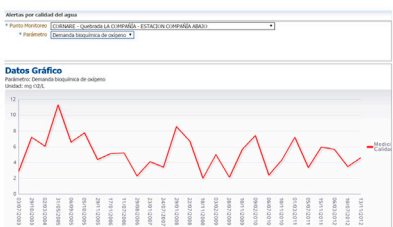


Figura 40. Información componente de riesgo. Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

GESTIÓN: permite la captura de información relacionada con los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH); Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), directorio de actores y los conflictos asociados a una fuente hídrica. Lo anterior, con el fin de aportar información para el seguimiento de los objetivos de calidad, metas de carga contaminante, conflictos identificados en una fuente hídrica, indicadores de gestión y ejecución programática y financiera de los POMCA.

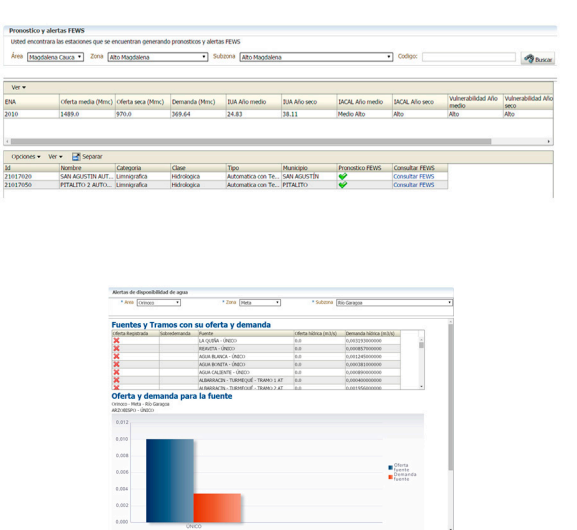


Figura 41. Información componente de gestión. Fuente: Tomado de <http://sirh.ideam.gov.co:8230/Sirh/faces/observatorio.jspx>. Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

El segundo esquema de acceso es mediante el visor geográfico, el cual permite consultar la información relacionada con las captaciones, vertimientos, puntos de monitoreo y estaciones de la red hidrológica del IDEAM, que se encuentran vinculadas en el SIRH.



Figura 42. Consulta de información a través del visor geográfico.
Fuente: Tomado de www.siac.gov.co.
Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

El tercer acceso se relaciona con las cifras y estadísticas de recurso hídrico en el cual se puede consultar datos de oferta, demanda, calidad, gestión, riesgo y cifras de SIRH.



Figura 43. Cifras y estadísticas del componente agua en el SIAC.
Fuente: Tomado de www.siac.gov.co.
Fecha de consulta 20 de diciembre de 2015.

4.3. LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL REGISTRO DE INFORMACIÓN EN EL SIRH

El Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH) es previsto como la herramienta de captura, registro y consulta de información asociada al agua en el territorio nacional; sin embargo, se ha observado diferentes dificultades en las entidades que administran el conocimiento del agua a nivel regional, tales como:

- Varias bases de datos en Excel en una misma autoridad ambiental.
- Documentación en archivos, carpetas y libros que dificultan la búsqueda de la información.
- Incompatibilidad entre los sistemas de captura de información.
- Registro de información en diferentes formatos manejados por las dependencias de la entidad.
- Dificultad de acceso en las bases de datos de la entidad.
- Desconocimiento de la información por parte del personal que realiza la visita y seguimiento al permiso ambiental.

La construcción del SIRH está basada en la necesidad de unificar los criterios de registro de información, para la consulta en una única base de datos nacional que comparta un lenguaje informático común. Esto con el fin de canalizar la información y poder tener acceso a datos de

interés técnico que capturan las autoridades ambientales regionales y demás entidades del SINA, que tienen como objetivo brindar conocimiento para la toma de decisiones o la formulación de estrategias de manejo integral del recurso hídrico.

En este capítulo se hará énfasis al estado actual de los formatos de captura de información en el SIRH, en lo relacionado a la temática de aguas subterráneas, para luego socializar las proyecciones que se tienen en el marco del fortalecimiento del SIAC y las mejoras al SIRH.

Gran parte de la información consultada a través del acceso al **OBSERVATORIO DEL AGUA**, es registrada por las Autoridades Ambientales Competentes (AAC), mediante el formulario de captura de información de Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH) y componente de calidad, reglamentado bajo el Decreto 303 de 2012 y Resolución 955 de 2012; de allí la importancia que la calidad y completitud de los datos cumplan con los requerimientos establecidos por el MADS e IDEAM, lo cual aporta al proceso de gestión de conocimiento requerido en el país para la toma de decisiones asociadas al recurso hídrico.

En este sentido, desde el año 2012 se ha puesto a disposición diferentes mecanismos de captura de información, para el registro de datos, así:



EN LÍNEA: se tiene acceso a través de la página www.siac.gov.co, donde solicita el usuario y contraseña para

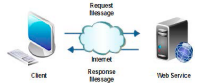
el registro de la información, la cual debe ser solicitada previamente al IDEAM.



PLANTILLAS DE EXCEL: la información es consolidada por la autoridad ambiental en plantillas de Excel, diseñadas para realizar el cargue masivo por el Equipo SIRH del IDEAM, teniendo en cuenta los criterios mínimos de calidad y completitud de la información.



NODO REGIONAL SIRH: a través de la instalación de una máquina virtual en el servidor de la autoridad ambiental, se realiza la transferencia de información al Nodo central del IDEAM.



WEBSERVICE: mediante el desarrollo de mecanismos de interoperabilidad entre los sistemas de las autoridades ambientales y el SIRH, se realiza la transferencia de información, teniendo en cuenta los protocolos y estándares requeridos por el SIRH.

Para el ingreso de información en el sistema, se debe acceder a través de un usuario y contraseña suministrado por el IDEAM, al personal delegado de la entidad, quien tendrá la responsabilidad de la calidad de la información, así como la validación, registro y/o eliminación de la misma.

Actualmente, el SIRH contiene el formulario de Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH) que alimenta el módulo de demanda y calidad del observatorio del agua, en los cuales se incluye la captura de información relacionada con:

- 1. Identificación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas.
- 2. Usuarios con concesión de aguas superficial y subterránea.
- 3. Usuarios con permiso de vertimientos a fuentes hídricas superficiales.
- 4. Usuarios con captación superficial y subterránea sin resolución y/o puntos identificados.
- 5. Información técnica de los puntos de agua subterránea – Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS).
- 6. Puntos de monitoreo asociados a una captación superficial.

- 7. Puntos de monitoreo asociados a un vertimiento.
- 8. Puntos de monitoreo asociados a una fuente hídrica superficial.
- 9. Puntos de monitoreo asociados a un punto de agua subterránea.

Para el caso particular del presente curso virtual, se va a profundizar en la identificación de fuentes hídricas, usuarios del agua con concesión de aguas y/o puntos identificados, información técnica de los puntos de agua subterránea y puntos de monitoreo a un punto de agua subterránea. Lo anterior, teniendo en cuenta que actualmente son los componentes desarrollados en el SIRH, y los cuales están siendo objeto de análisis para la implementación de mejoras.

De acuerdo a lo anterior, se establece el procedimiento general para incluir la información relacionada:

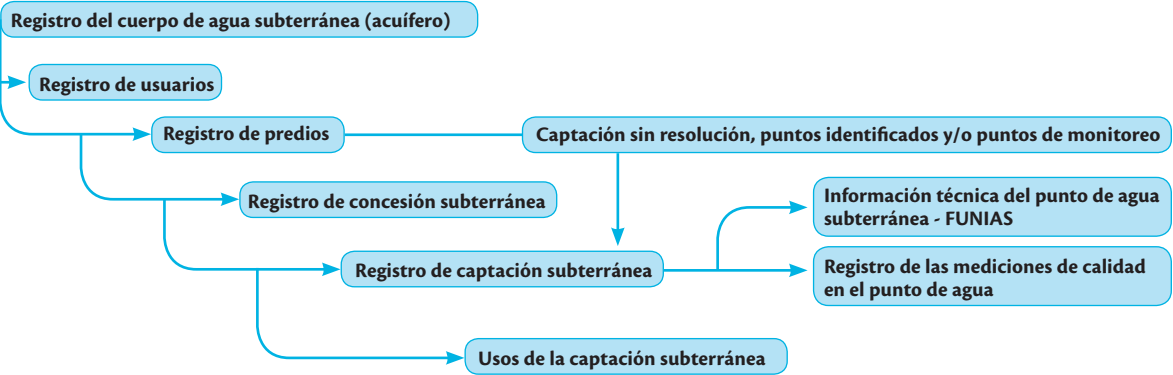


Figura 44. Esquema general de registro de información subterránea en el SIRH.

Identificación de la fuente hídrica: tal como se muestra en el esquema anterior, el primer paso para ingresar la información de aguas subterráneas en el SIRH, es la identificación de la fuente hídrica, es decir, registro del sistema acuífero del cual se está realizando uso y aprovechamiento del recurso hídrico.

Registro de usuarios: se debe ingresar la información relacionada con el tipo de persona, es decir, señalar si es una persona natural, jurídica privada, jurídica pública, prestador del servicio y/o megaproyecto o proyectos específicos. Así mismo, se deberá ingresar la información de los datos de contacto del usuario.

Registro de predios: posteriormente al ingreso de la información del usuario, se debe registrar la información del predio beneficiado del uso y aprovechamiento del recurso hídrico. Allí se solicita la información del nombre del sitio, dirección, matrícula inmobiliaria, cédula catastral y coordenadas del predio. En dado caso, de que el lugar beneficiado del aprovechamiento del recurso hídrico esté asociado a más de un predio y/o un polígono, el sistema le deshabilitará la opción de la georreferenciación y cédula catastral. Esto se asocia a tipo de usuarios como: prestadores del servicio, municipios, proyectos específicos y/o megaproyectos.

Una vez registrada la información del predio, el sistema le permitirá crear una concesión de aguas, para aquellos casos en los cuales se cuente con el acto administrativo que otorga el permiso; pero si contrario a esto, no se tiene el acto administrativo pero se cuenta con la identificación de la captación, podrá dar la opción de **captación sin**

resolución y/o punto inventariado, para que el sistema le deshabilite el formulario de captura relacionado con la concesión de aguas y automáticamente podrá ingresar los datos de la captación subterránea.

Concesión de aguas: se debe asociar la información relacionada con el número de expediente, resolución y fecha de aprobación de la concesión de aguas, resolución y fecha de aprobación de planos y obras, caudal concesionado y vigencia del permiso (figura 44).

Captaciones: se relaciona la información de localización del punto de captación al sistema acuífero y al área, zona y subzona hidrográfica.

De igual forma, se debe ingresar los datos del departamento, municipio y/o tipo de centro poblado, así como relacionar los componentes del sistema de captación subterránea, el caudal de diseño y la georreferenciación del punto de captación en Sistema de Referencia Magna Sirgas.

Asociada a la captación, se cuenta con la opción de ingresar la información técnica del punto de agua subterránea, en la cual se solicita datos capturados en el **Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS)**, cuyo instrumento consolida información técnica que especifica el detalle del punto en sus componentes de localización, identificación, geología y geomorfología, construcción y diseño, geofísica, explotación, diagnóstico sanitario, registro de niveles, caudales, pruebas de bombeo, entre otros. (Figura 45).



Figura 45. Esquema general concesión de aguas

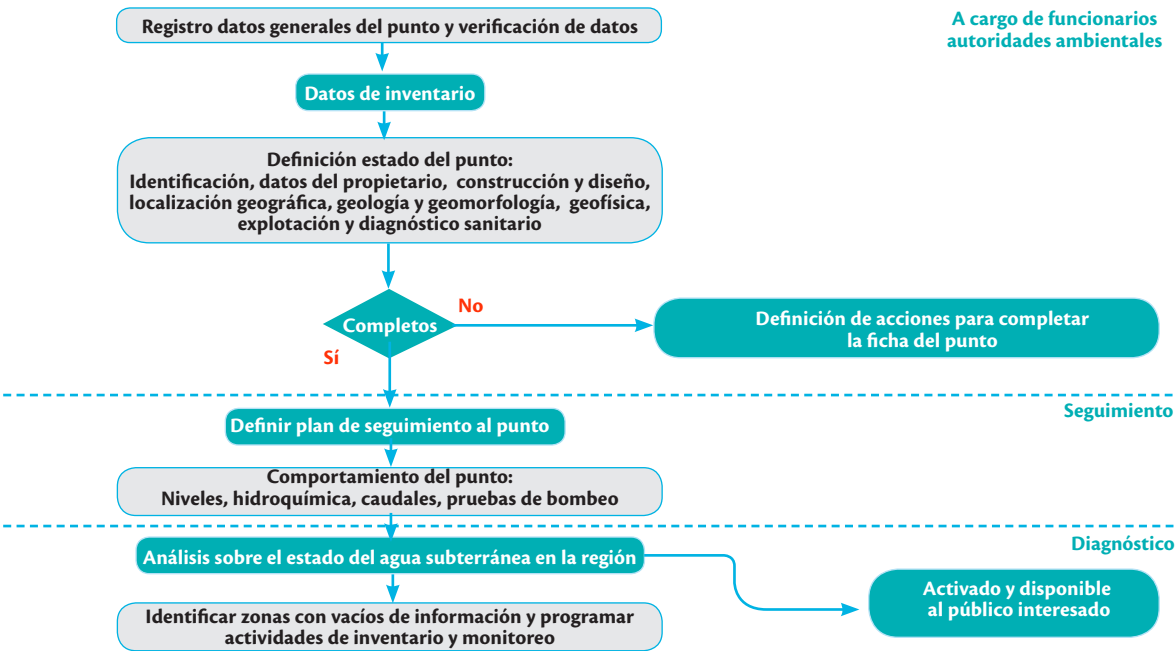


Figura 46. Esquema general de la información técnica del punto de agua subterránea de acuerdo a FUNIAS.

Es necesario mencionar, que la autoridad ambiental debe propender por realizar el proceso de codificación de sus puntos de agua subterránea (pozos, manantiales y aljibes), para efectos de facilitar el registro de la información, ya que dicho atributo es considerado como la llave en la base de datos del sistema.

Existen diferentes metodologías para realizar este proceso. La entidad debe adoptar la que mayor se ajuste a las necesidades de su jurisdicción, siempre y cuando anteponga el código del sistema acuífero definido en el orden nacional por el IDEAM.

Registro de las mediciones de calidad del agua: podrá ingresar la información relacionada con el nombre del punto de monitoreo, tipo de punto y el reporte de las mediciones que hayan sido suministradas por el laboratorio de calidad de aguas.

Usos de la captación subterránea: una vez ingresada la información de la captación, culminará el proceso de registro de datos con los valores de caudal y tipo de uso del agua de la captación, de acuerdo con la clasificación establecida en la normativa ambiental, tales como doméstico, pecuario, agrícola, industrial, entre otros.

4.4. PROYECCIONES DE LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN EL MARCO DEL SIRH

Como se mencionó previamente, el SIRH hace parte de los subsistemas que componen el SIAC, los cuales buscan consolidar información ambiental de Colombia, para la gestión y análisis sobre el estado y uso de los recursos naturales, así como para la toma de decisiones a nivel

nacional y regional. El SIAC fue objeto de identificación de necesidades de mejora a los sistemas para articular los instrumentos de gestión de datos, evitar la duplicidad de información en los diferentes sistemas y réplica de esfuerzos institucionales. De acuerdo a lo anterior, se definió un plan estratégico para un periodo 2015–2020, el cual constituye cuatro líneas de acción relacionadas con el fortalecimiento, la interoperabilidad, la regionalización y difusión de la información sobre el uso de los recursos naturales.

En este sentido, el SIRH viene siendo analizado por el grupo de trabajo, para la optimización y mejoras a los formularios de captura, tanto en el proceso de registro como de salida de información, que permita construir una gestión del conocimiento basados en la articulación de los instrumentos. Bajo esta consideración, se presentan los avances en la proyección que se tiene, con el fin de conocer sus expectativas, sugerencias y/o recomendaciones del caso. Dichas proyecciones se enfocan en lo siguiente:

Actualización y adopción del Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS)

Durante el año 2009, las entidades hoy denominadas como Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en coordinación con el Instituto de Hidrología, Meteorología y de Estudios Ambientales (IDEAM), Autoridades Ambientales Competentes y el Servicio Geológico Colombiano, formularon una propuesta del Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS), con el fin de unificar los

estándares y criterios para la captura de información, que permitiera consolidar datos técnicos de los puntos subterráneos. Dicho formulario actualmente está siendo empleado por la mayoría de las entidades, siguiendo los lineamientos definidos en aquella época de trabajo. Sin embargo, dadas las condiciones y consideraciones actuales de avance sobre el conocimiento del recurso hídrico, surge la necesidad de realizar algunas actualizaciones al esquema general del formulario, de tal forma que se ajuste a las necesidades de las regiones.

Este proceso se viene adelantando en el marco de la actualización del Programa Nacional de Monitoreo de Recurso Hídrico, el cual se proyecta ser socializado al finalizar el año en curso. Para su conocimiento, se anexa el FUNIAS vigente con su respectivo instructivo.

Decreto 1076 de 2015 (Decreto 1541 de 1978, 3930 de 2010)	Formularios único Nacionales	Decreto 303 de 2012 Resolución 955 de 2012 - SIRH	Situación Real AAC ante cumplimiento SIRH
Se establece a nivel general el procedimiento para otorgar los permisos de concesión de aguas, vertimientos pero falta mayor claridad en solicitar la información de identificación de fuentes hídricas y su disponibilidad (cantidad y calidad).	El formulario no establece todos los requisitos exigidos en la normativa ni en el Decreto 303/12, tales como identificación de las fuentes e información hidrológica, hidrogeológica por parte de la AAC. Así como la identificación de puntos de agua subterránea (aljibe, pozo y manantial) y vertimientos al alcantarillado.	Se requiere información de usuario, predio, actos administrativos, información de la captación o vertimiento, fuente hídrica y usos. La mayoría de los campos se encuentran vacíos por la carencia de datos en los expedientes de las autoridades.	Cada AAC establece sus propios procedimientos. Interpretación y criterios normativos diferentes. No se tiene conocimiento de lo mínimo y básico para otorgar un permiso (fuente e hidrología). Rotación alta de personal. Vacío de estructura en los formularios nacionales y normativa definidos por MADS.

Tabla 19. Diagnóstico general para el ajuste al formulario unico nacional de solicitud de concesión de aguas.

Actualización y adopción del Formulario Único Nacional de Solicitud de Prospección, Exploración y Concesión de Aguas Subterráneas

De acuerdo a las necesidades de captura y suministro de información del uso y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, por parte de los usuarios beneficiados del permiso, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en coordinación con las Autoridades Ambientales Competentes, vienen adelantado el proceso de actualización de los Formularios Únicos Nacionales de Solicitud de Prospección, Exploración y Concesión de Aguas Subterráneas, el cual está siendo ajustado de acuerdo con los requerimientos del SIRH, criterios actuales normativos e identificación de condiciones regionales:

Mejoras al SIRH para la captura y consulta de información regional y nacional asociada al agua subterránea.

Dentro de la propuesta de mejoras al SIRH para la captura y consulta de información relacionada con agua subterránea, se proyecta separar la temática registrada en el observatorio del agua con la generada en el com-

ponente de aguas subterráneas, teniendo en cuenta que ambos presentan un grado de detalle, especificidad y pertinencia diferente, sin desconocer que la relación está íntimamente ligada al momento de analizar el ciclo del agua en conjunto [Tomado de CLAUDIA L. GARZÓN M. AGUAS SUBTERRÁNEAS - Informe_IV. Contenido propuesto para el portal de la Red Básica Nacional de aguas subterráneas en el SIRH y propuesta para integrar la información hidrogeológica al Sistema de Información del Recurso Hídrico. IDEAM. Julio 2015].

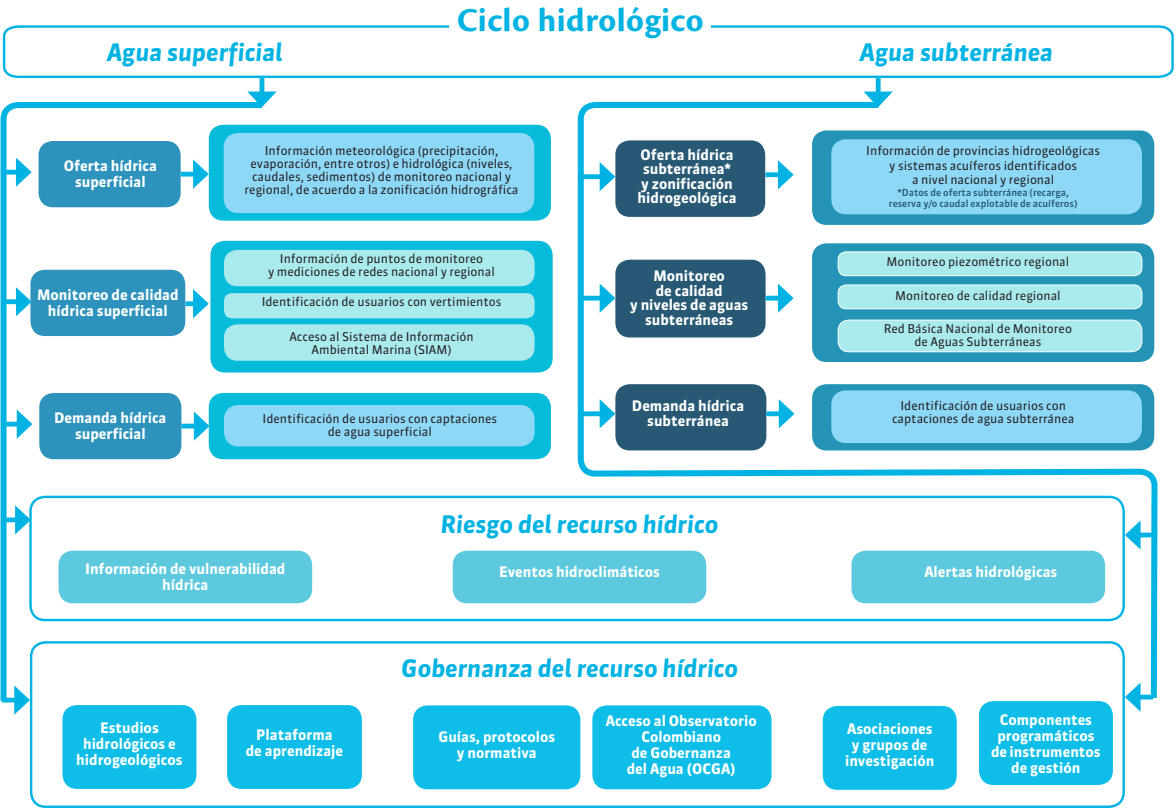
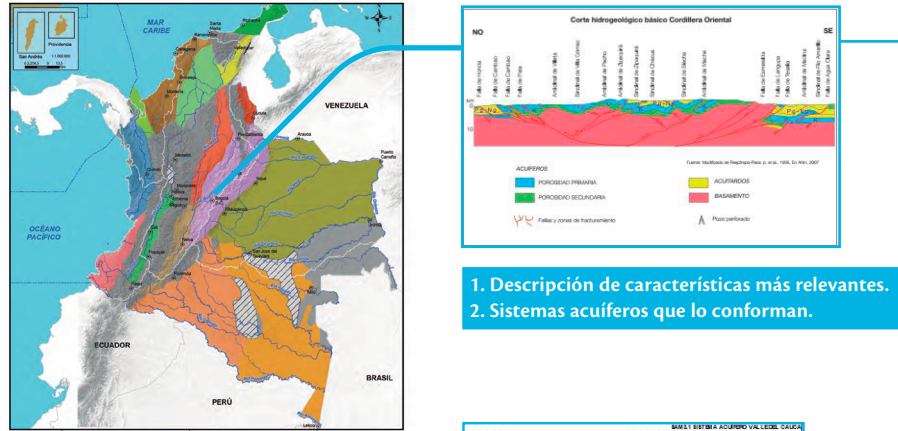


Figura 47. Esquema general proyección SIRH.

A nivel general se proyecta que cada componente de aguas subterráneas contenga lo siguiente:

Zonificación hidrogeológica: se define una breve descripción de las características principales por provincia hidrogeológica, síntesis de información hidrogeológica por sistema acuífero y detalle de las fichas técnicas para cada caso específico.



1. Descripción de características más relevantes.
2. Sistemas acuíferos que lo conforman.

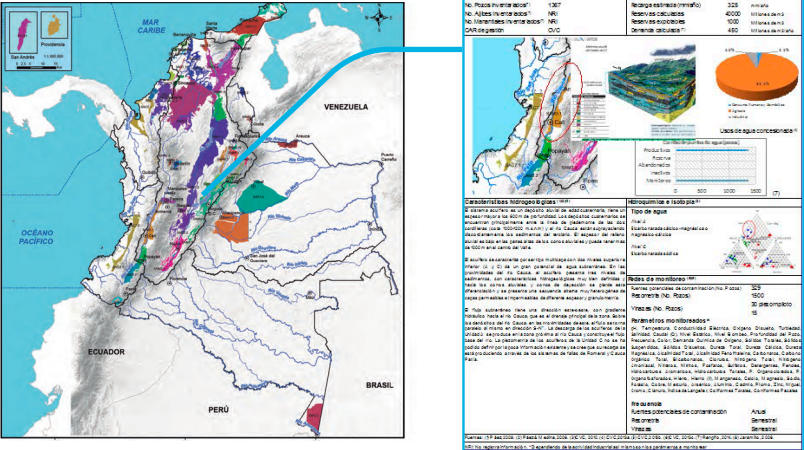


Figura 48. Proyección componente zonificación hidrogeológica.

Monitoreo piezométrico: se indica la información referente a redes de monitoreo piezométrico regional y nacional. La captura de información se hace a través del Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) – niveles, ingresando los datos de provincia, sistema acuífero, unidad hidrogeológica y listado de puntos de agua subterránea.

Identificador del punto	Fecha de inicio de medición:	Hora	Tipo de nivel (estático/ dinámico/ recuperación)	Tiempo de bombeo (si se tomó un nivel dinámico)	Tiempo desde el apagado de la bomba (si se tomó un nivel de recuperación)	Nivel medido (m)	Método de medida (cinta/estimado graficado/ línea aire/ sonda eléctrica)	Instrumento de medición (sonda / transductor de presión)	Observaciones
-------------------------	------------------------------	------	--	---	---	------------------	--	--	---------------

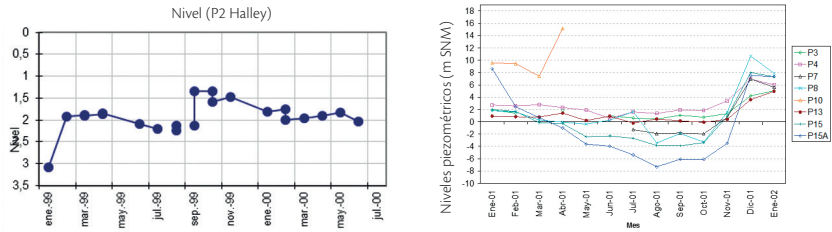


Figura 49. Proyección componente monitoreo piezométrico.

Componente de calidad: se presenta las cifras estadísticas referentes a las mediciones realizadas en cada punto de monitoreo de la red regional por la autoridad ambiental. La información presentada se asocia con las muestras y mediciones de los parámetros de calidad registradas por las autoridades ambientales para las redes de monitoreo de seguimiento periódico, muestras puntuales solicitadas para inicio de procesos de concesión, así como datos tomados en campo o monitoreo ocasionales. La captura de información se realizará a través del módulo de RURH – componente de calidad.

Componente de demanda: está asociado al Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH), con la información técnica contenida en el FUNIAS para todos los puntos de agua subterránea (formales, en proceso de formalización y/o puntos identificados e inventariados).

Portal RBASUB: se propone incluir información relacionada con: introducción de la naturaleza de la RBASUB, objetivos, alcances, sistemas acuíferos monitoreados, estadísticas de puntos que componen la red y visor geográfico, en el cual se pueda consultar los datos de localización de puntos de la red básica. Estas consultas pueden realizarse por área hidrográfica, provincia hidrogeológica, sistema acuífero, unidad hidrogeológica o departamento y municipio.

Relación de estudios de hidrogeología regional/nacional: se incluye la información contenida en el banco de datos del IDEAM y demás entidades del SINA, para poder establecer las consultas por zonificación hidrográfica, provincia hidrogeológica, sistema acuíferos y tipo de publicación (artículos, documentos, estudios, tesis, bases de datos, presentaciones y mapas. Adicionalmente realizar estadísticas de consulta, sobre la distribución de estudios por provincias hidrogeológicas/sistemas acuíferos.

Guías, protocolos y normativa asociada: Reporte a través de vínculos de toda la normativa actual asociada a aguas subterráneas.

Asociaciones y grupos de investigación en hidrogeología: Reporte a través de vínculos de: Asociaciones correspondientes a la temática de hidrogeología de orden regional, nacional, internacional y Directorio de grupos de investigaciones, detallando entidad asociada, líneas de trabajo, numero de contacto, responsable.

Visor SIRH – ASUB: Con base en la estructura planteada para el observatorio de aguas subterráneas, se propone que el visor SIRH clasifique la información acorde a las salidas planteadas en este documento. El contenido actual está estructurado como el observatorio vigente:

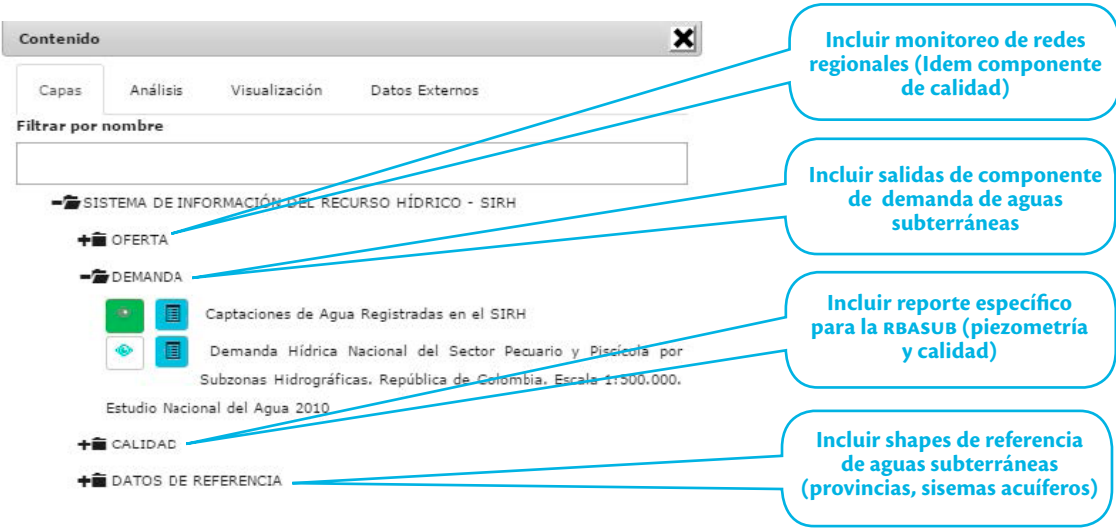


Figura 50. Proyección componente visor - ASUB.

Actualización del Programa Nacional de Monitoreo de Recurso Hídrico

El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) se constituye como un documento de línea base orientado a conocer el comportamiento del ciclo del agua en Colombia en términos de calidad y cantidad, que debe ser actualizado dados los nuevos enfoques técnicos que a nivel nacional, se tienen en relación al análisis en las zonas de interés hídrico nacional y regional, la definición de la Zonificación Hidrográfica Nacional, los lineamientos conceptuales de las Evaluaciones Regionales del Agua, Red de Monitoreo de Aguas Subterráneas, la priorización de las cuencas hídricas para la formulación y/o ajuste de los Planes de Ordenación y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, las nuevas proyecciones del Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH) y la formulación del Conpes de la Estrategia institucional y financiera de la red hidrológica, meteorológica y oceanográfica del país .

Para esta actualización, se tiene presente la nueva normativa ambiental asociada al monitoreo del recurso hídrico, los estándares nacionales e internacionales asociados al conocimiento del recurso hídrico a escala regional y nacional, que deben ser articulados a través de un nuevo instrumento que defina la ruta a seguir para conocer y analizar el ciclo del agua, por parte de las Autoridades

Ambientales Competentes y los diferentes institutos de investigación adscritos al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en concordancia con las directrices definidas en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Uno de los componentes que incluye la implementación del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH), está orientado a que las Autoridades Ambientales Competentes promuevan y realicen el monitoreo de sus cuerpos de agua superficiales y subterráneas, teniendo en cuenta las orientaciones definidas en dicho instrumento. Este proceso se realiza mediante el fortalecimiento de la red básica nacional operada por el IDEAM, las redes hidrometeorológicas regionales operadas por las Autoridades ambientales en coordinación con el IDEAM y la Red Nacional de Puntos de Agua Subterránea.

La información que es generada en las redes hidrometeorológicas y de monitoreo de puntos de agua subterránea de las Autoridades Ambientales Competentes y el IDEAM y las demás actividades que se contemplan dentro del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH), debe ser estandarizada y consolidada para que sea accesible como datos base en el Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH).



5

GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS



5. GESTIÓN INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

- 5.1 ANTECEDENTES DE POLÍTICA
- 5.2 POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO
- 5.3 AVANCES DEL SEGUIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO AL AÑO 2010, IDENTIFICADOS EN LA PNGIRH
- 5.4 PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO ASOCIADO A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 5.5 POSTULADOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO (GIRH)
- 5.6 OBJETIVOS DE LA PNGIRH
- 5.7 PROGRAMA NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (PNASUB) 2014
- 5.8 GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS
- 5.9 OTROS DOCUMENTOS IMPORTANTES

5.1. ANTECEDENTES DE POLÍTICA

Uno de los primeros documentos de política en ser expedidos por el Ministerio de Ambiente fue el de “Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua” de 1996. En este documento, el Ministerio definió las bases y los objetivos para manejar la oferta nacional del agua y atender los requerimientos sociales y económicos del desarrollo en términos de cantidad, calidad y distribución espacial y temporal.

Objetivos definidos en los lineamientos de política del año 1996 con respecto a las aguas subterráneas:

- ◆ Proteger acuíferos, humedales y otros reservorios importantes de agua.
- ◆ Complementar el inventario y la evaluación nacional del recurso hídrico superficial y subterráneo, como herramienta para fijar las prioridades que permitan orientar eficientemente los recursos disponibles para el cumplimiento de los objetivos anteriores.
- ◆ Desarrollar el conocimiento y la investigación del recurso y fortalecer un sistema de información multipropósito del agua, integrado al Sistema de Información Ambiental.

Posteriormente, el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010 incorporó por primera vez un componente específico de gestión integrada de recursos hídricos, donde

se propuso la formulación de la Política Nacional para la gestión del recurso hídrico. Como resultado, el Ministerio creó el Grupo de Recurso Hídrico e inició un trabajo interinstitucional con el IDEAM y otras entidades, para desarrollar la Política Hídrica Nacional, incluyendo algunas acciones prioritarias de actualización normativa para la ordenación de cuencas, la administración del recurso y la gestión de información, entre las que se destacan.

- ◆ La creación mediante el Decreto 1323 de 2007 del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH).
- ◆ La creación mediante el Decreto 1324 de 2007 del Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH).
- ◆ La priorización nacional de cuencas a ordenar, mediante la expedición del Decreto 1480 de 2007.
- ◆ La modificación del Decreto 1729 de 2002. (Reglamentación sobre cuencas hidrográficas).
- ◆ El proceso de revisión del Decreto 1594 de 1984. (Usos del agua y residuos líquidos)

5.2 POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) del año 2010 establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.



Figura 51. Marco político. Objetivo general - Específicos - Líneas estratégicas de la PNGIRH.

Con base en diferentes estudios, informes de la Contraloría, con la información disponible en el Ministerio y en el IDEAM y mediante la realización de diferentes talleres de aguas subterráneas en el que se trabajaron temas asociados a la gestión de los recursos hidrogeológicos se logró estructurar un diagnóstico, que sirvió de soporte técnico y línea base para la formulación de la política. Se trabajó con profesionales de las autoridades ambientales y de la academia y se revisaron experiencias exitosas

como, por ejemplo, las de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá y de algunas corporaciones autónomas regionales. La discusión de estos temas fue complementada con los foros realizados en el marco del III Congreso Colombiano de Hidrogeología, organizado por la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos en julio de 2009.

La gestión que se realiza sobre el recurso hídrico (agua subterránea) sobre la cual se elaboró el documento de PNGIRH del año 2010 se dividió en cuatro grandes grupos: planificación, administración, seguimiento y monitoreo y manejo de conflictos relacionados con el agua; de los cuáles se citan los tres primeros:

Planeación. Avances en la planificación de los principales ecosistemas que contienen el recurso hídrico

- 14 corporaciones han realizado algún estudio sobre la oferta hídrica subterránea en sus territorios¹.
- Ninguna cuenta con un inventario actualizado de usuarios del recurso.
- No se han realizado proyecciones sobre la tasa de crecimiento de la demanda según los usos.
- Menos de un 50% de las autoridades ambientales, a la fecha del informe, cuentan con estudios, al menos preliminares, sobre el recurso de aguas subterráneas en su jurisdicción.
- 9 de los estudios cuentan con un nivel de detalle que ha permitido la formulación del plan de manejo ambiental del acuífero, pero dichos estudios llegan a representar, en el mejor de los casos, el 11% del territorio de la autoridad ambiental.

- Se destaca que el Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos, desarrollado por Ingeominas, fue actualizado hasta 1997 y contiene 12.633 registros de información de pozos, aljibes y manantiales de 15 corporaciones.
- El IDEAM hacia el año 2004 diseñó y divulgó un documento preliminar acerca del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Estado de las Aguas Subterráneas (2004) que recomendaba, según el tipo de programa (nacional, regional, local), los objetivos a cumplir, las frecuencias de muestreo, la densidad de puntos de observación, los métodos de muestreo, el diseño de los pozos, los procedimientos analíticos y el almacenamiento de datos.
- Solo la mitad de las autoridades ambientales han efectuado acciones para la protección de las aguas subterráneas y algunas de ellas (CVC, Carsucre, Corpoguajira, Corpourabá, Corpamag, CAM, Carder y CAR) han establecido redes de monitoreo y seguimiento, sin que ello necesariamente haya conducido a contar con un proceso periódico y sistemático.
- Algunas corporaciones (Corantioquia, Corpocesar, Corpoguajira, CVC, Corpoboyacá, Carsucre y CVS) han elaborado modelos para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación, que indican, dentro del área del acuífero estudiado, la susceptibilidad del mismo a la contaminación debido a las actividades económicas que allí se desarrollan.

No obstante lo anterior, en materia de aguas subterráneas, el Sistema Nacional Ambiental aún no cuenta con un trabajo articulado, sinérgico y permanente que le

¹ Contraloría General de la Nación en su "Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2007-2008".

permita al país contar con una cartografía hidrogeológica, la estimación de la oferta y demanda de los recursos hídricos subterráneos, la consolidación de información para realizar seguimiento al estado del recurso y el mantenimiento actualizado de este componente dentro del Sistema de Información Ambiental para Colombia, elementos indispensables para la planificación y manejo integral del recurso.

Administración

- La mayoría de las autoridades ambientales mencionan que cuentan con acuerdos y resoluciones internas para los trámites de exploración y concesión de aguas subterráneas; dichos acuerdos se basan en lo estipulado en el Decreto 1541 de 1978.
- Corpoguajira estimaba que el 90% de las captaciones de agua subterránea que debería operar bajo el marco de una concesión, no tenía este permiso y, por consiguiente, se trata de explotaciones ilegales.
- Carder y Carsucre se encontraban en proceso de legalización de al menos 130 y 1.000 pozos, respectivamente.
- Aún no se cuenta con un inventario actualizado de usuarios que permita determinar la demanda real y los vertimientos puntuales que proporcionaría la información requerida para precisar las relaciones causa-efecto.
- Se siguen construyendo pozos para la explotación de agua subterránea sin que previamente exista un permiso para ello.

- Se otorgan concesiones sin contar con la información necesaria;
- Persiste una baja cobertura en la instalación de medidores de caudal a usuarios y la ocupación de cauces.

Seguimiento y monitoreo

- En integración con las corporaciones autónomas regionales, el IDEAM está formando una red nacional de monitoreo de aguas subterráneas cuyo fin será cuantificar los recursos de agua subterránea del país y generar la línea base necesaria para consolidar proyecciones de estos recursos a mediano y largo plazo; no obstante, existen redes regionales.
- No existe en el país un monitoreo periódico, sistemático y articulado de la calidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas.

5.3. AVANCES DEL SEGUIMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO AL AÑO 2010, IDENTIFICADOS EN LA PNGIRH

Con respecto al seguimiento del recurso hídrico subterráneo, en el año 2010 se identificaron avances importantes en los siguientes temas:

- Bases de datos hidrogeológicas: Las CAR y AAU que tienen bases de datos hidrogeológicas las han diseñado de acuerdo con sus necesidades de información.

- Formatos, formularios y protocolos de aguas subterráneas para toma de datos, registro de información, visitas técnicas, interventorías y solicitudes: Algunas autoridades ambientales tienen sus propios formatos, formularios y protocolos de aguas subterráneas, faltaría compartir esta información para ampliar o complementar información relevante.
- Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas a la contaminación, inventario de fuentes potenciales de contaminación, evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas: Algunas CAR (CVC, Carder, Coralina; Corpoguajira, Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá) cuentan con cartografía de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, el inventario de las fuentes potenciales de contaminación y la evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Estos estudios se han realizado a nivel departamental o en algunas zonas acuíferas (escalas mayores a 1:200.000).
- Implementación de planes de manejo de aguas subterráneas (PMAS): La implementación de los planes de manejo de aguas subterráneas (PMAS) se inició en el año 1998 con el Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS), a través de cooperación del Gobierno británico para el proyecto piloto, y del Organismo Internacional de Energía Atómica para el proyecto de réplica. Contó con la coordinación nacional del MADS con la asistencia técnica de Ingeominas e IDEAM y con Coralina, CVC, Carsucre, CARDER y Corpoguajira como entidades ejecutoras. El resultado del proyecto piloto fue el mejoramiento de los modelos hidrogeológicos conceptuales por medio

de técnicas isotópicas (zonas de recarga y descarga y tiempo de residencia del agua subterránea) y el diseño e implementación de planes de manejo socialmente aceptables, económicamente viables y ambientalmente sostenibles en los acuíferos de San Andrés, en el acuífero aluvial del valle del río Cauca, en el acuífero de Morroa, los acuíferos de Pereira y Dosquebradas y en los acuíferos de Maicao. Durante este proyecto se elaboró la Guía Metodológica para el Manejo Integral de las Aguas Subterráneas en Colombia.

- Respecto a acuíferos transfronterizos Corpoguajira canalizó a través de la Oficina de Asuntos Internacionales del MADS y de la Cancillería, los temas relacionados con el manejo de la cuenca Carraipía-Paraguachón, compartida con la República de Venezuela.
- Implementación de redes de monitoreo de niveles y de calidad química y microbiológica de agua: Algunas CAR están desarrollando dentro del plan de manejo de aguas subterráneas la implementación de esta red de monitoreo. La frecuencia de la toma de datos y los parámetros químicos a analizar dependerán de las características hidrogeológicas de los acuíferos y de las fuentes potenciales de contaminación, y estos deben ser los criterios para que las autoridades ambientales definan su programa de monitoreo. Sobre este tema el IDEAM tiene entre sus compromisos el diseño de una red básica nacional de aguas subterráneas. En esto el IDEAM ha asesorado a algunas CAR y actualmente, para dar cumplimiento al Plan Nacional de Desarrollo 2007-2010, está coordinando con Ingeominas una propuesta sobre inventarios regionales detallados, tanto de la oferta como de los tipos y la intensidad del

uso del recurso, en aquellas regiones donde es indispensable el aprovechamiento de aguas subterráneas.

- Modelación matemática del flujo de aguas subterráneas en régimen permanente: Como una herramienta de gestión se inició en la CVC la modelación del sistema hidrogeológico de la zona sur del departamento del Valle del Cauca, obteniendo una interpretación adecuada del modelo conceptual, las isolíneas de nivel estático, las direcciones y magnitudes de la velocidad de flujo. También Carsucre aplica la herramienta de modelación matemática para otorgar concesiones de agua subterránea para el campo de pozos de Corozal en el acuífero de Morroa.
- Monitoreo de pozos de aguas subterráneas: También se realizan seguimientos a la profundidad de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos, que indican el comportamiento de los acuíferos con relación a la recarga y extracción, a través de estudios piezométricos. Sin embargo, este tipo de monitoreo es poco frecuente y en muchos casos solo se exige, al igual que el de calidad, como requisito para obtener la concesión.

5.4. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO ASOCIADO A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

- En la actualidad se presenta una proliferación de ejecución de proyectos de infraestructura y de desarrollo económico (mineros, petroleros, agrícolas,) en zonas estratégicas para la conservación del recurso hídrico y la protección de cuencas.

- Los grandes asentamientos humanos y los polos de desarrollo industrial, agrícola, pecuario e hidroenergético en el país, se han dado en regiones donde la oferta hídrica es menos favorable, lo que ha generado presiones sobre el recurso y señales preocupantes por los problemas de disponibilidad de agua en algunos municipios y áreas urbanas, en especial, durante periodos con condiciones climáticas extremas, como las épocas secas y aquellas con presencia del fenómeno cálido del Pacífico (El Niño).
- Existe un gran número de usuarios de hecho del recurso hídrico (no legalizados), lo que no permite tener un control y administración adecuados de los cuerpos de agua, desconociéndose los volúmenes de agua captados, el uso dado al recurso y las cargas contaminantes vertidos resultantes.
- Falta de información y de acciones para disminuir vulnerabilidad a los riesgos relacionados con la calidad del recurso.
- Bajo nivel de conocimiento y poca información que apoye la toma de decisiones en la planificación del recurso agua.
- Bajo conocimiento del potencial hidrogeológico del país.
- Insuficiente desarrollo e implementación de los instrumentos de planificación existentes para la gestión integral del recurso hídrico.
- Información insuficiente de los usuarios del recurso hídrico superficial y subterráneo.

- Poca información y conocimiento para el manejo y reglamentación de las aguas subterráneas.
- Necesidad de articular las normas e instrumentos existentes para la gestión integral del recurso hídrico.
- Falta de reglamentación en temas específicos como mares y costas, reúso de aguas residuales tratadas y recarga de acuíferos.
- Necesidad de fortalecer la coordinación entre el MADS y las autoridades ambientales, y de este con los demás ministerios y otras instituciones que a nivel nacional tienen incidencia sobre la gestión del recurso hídrico.

5.5. POSTULADOS DE LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO (GIRH)

En cuanto al diseño de la política, este concepto se materializó a través de la definición del ciclo para la gestión integral del recurso hídrico, este implica un proceso de mejoramiento continuo (Figura 4) en el cual la formulación de la política parte de un diagnóstico del estado y gestión del recurso. Este documento contiene la información de línea base sobre la oferta, la demanda, la calidad, los riesgos sobre el recurso hídrico, así como la información de la gestión sobre el recurso realizada hasta la fecha por las autoridades ambientales; también incluye

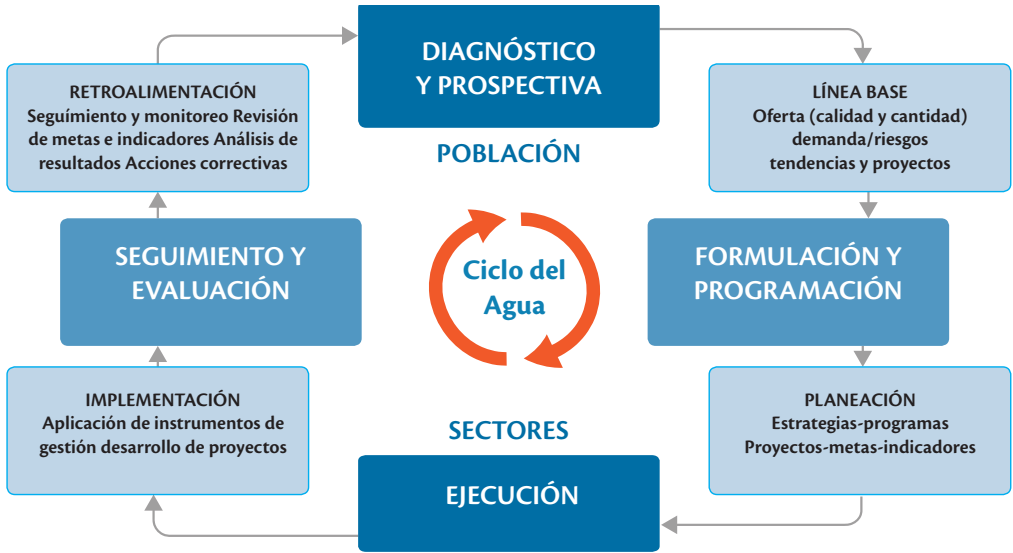


Figura 52. Ciclo de la gestión integral del recurso hídrico.

las proyecciones tendenciales del estado del recurso en los próximos 10 a 15 años.

El ciclo se cierra con evaluación bienal del cumplimiento de los objetivos y metas propuestas en la política y se harán los ajustes en el Plan Hídrico Nacional para asegurar al cabo de 12 años sus logros.

Nos encontramos en el quinto año de la política ¿cómo estamos con las metas?

Dentro del Marco conceptual de la Política Nacional para la GIRH establece unas acciones que deben conducir a:

- Asegurar la oferta del recurso
- Optimizar la demanda
- Minimizar la contaminación
- Prevenir los riesgos asociados a la oferta del recurso.

¿Con qué se cuenta para enfrentar la problemática y alcanzar los objetivos de la política?

Dentro del marco normativo e instrumental actual para la gestión integral del recurso hídrico asociada a las aguas subterráneas se dispone de una serie de instrumentos que se agrupan en:

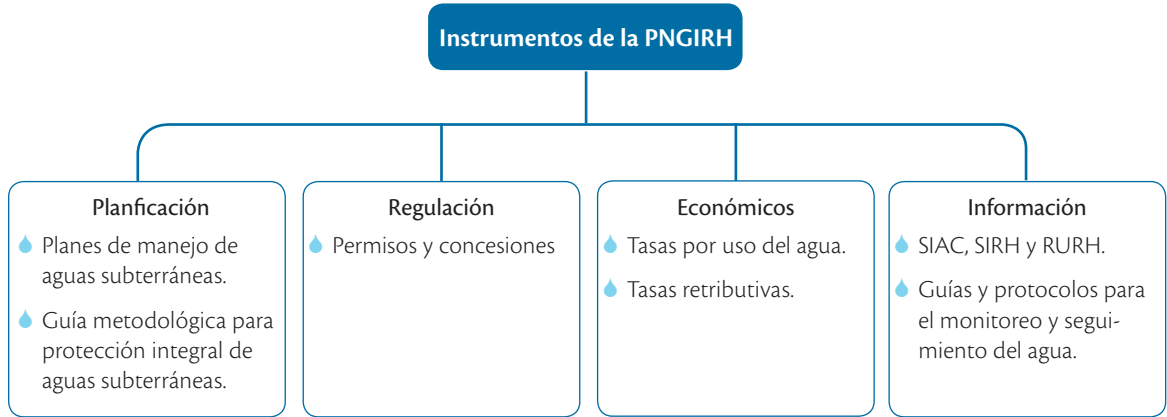


Figura 53. Instrumentos de la PNGRH.

El espacio geográfico o la unidad espacial de gestión donde se va a aplicar la política es la cuenca hidrográfica. En este espacio confluyen los tres actores clave para la gestión integral del recurso hídrico: población, autoridad ambiental y entes territoriales.

En la ordenación coherente de las cuencas hidrográficas, que siga los lineamientos de la Política Nacional para la GIRH, se ha estructurado un modelo espacial que comprende las siguientes escalas:

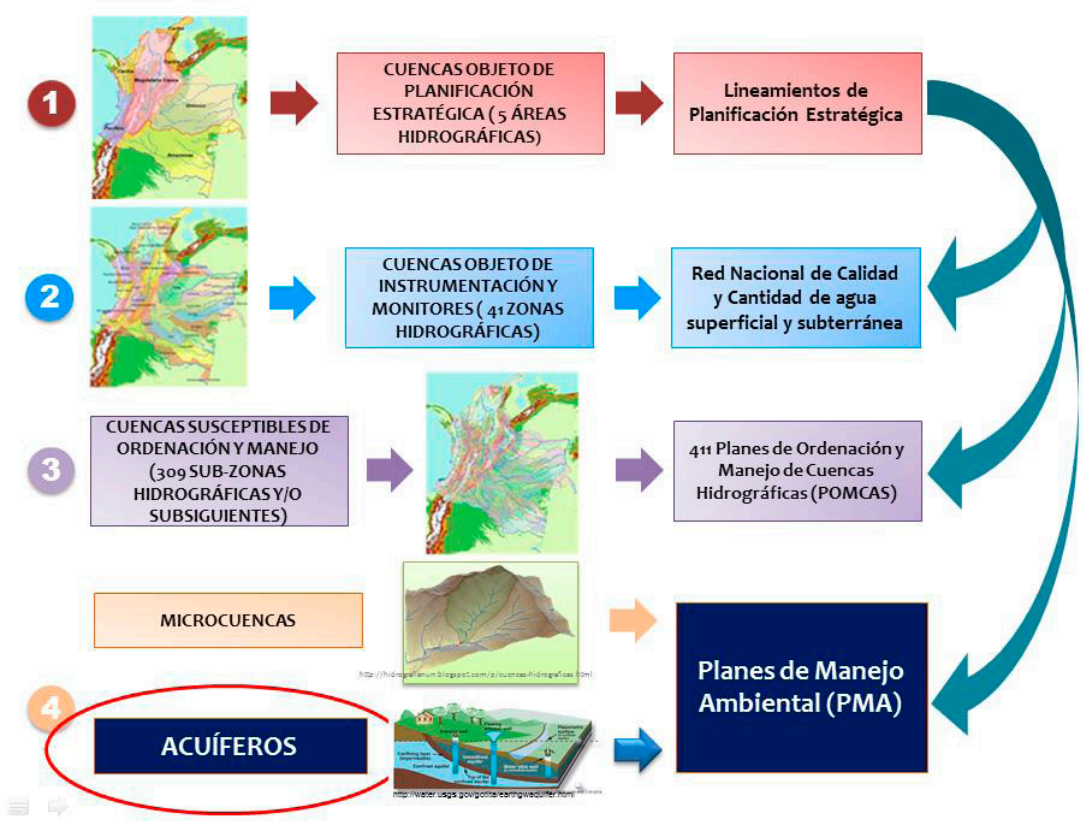


Figura 54. Estructura para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.

Cuencas y acuíferos objeto de plan de manejo ambiental: Corresponden a las cuencas de orden inferior a las subzonas hidrográficas, así como a los acuíferos prioritarios, las cuales serán objeto de planes de manejo específicos para resolver sus principales problemáticas de acuerdo a sus particularidades locales, siempre en el marco del cumplimiento de los objetivos de la Política Nacional para la GIRH. Esta acción se adelantará principalmente a una escala 1:10.000 para aguas superficiales y 1:25.000 para aguas subterráneas.

Como se observa para el caso de aguas subterráneas se destaca su importancia en los lineamientos de planificación estratégica, en el fortalecimiento de la red nacional de calidad y cantidad de agua subterránea y superficial, en el establecimiento de cuencas objeto de ordenación y manejo, para finalmente establecer los acuíferos prioritarios con sus planes de manejo específicos en una escala de 1:25.000.

5.6. OBJETIVOS DE LA PNGIRH

La PNGIRH plantea los siguientes objetivos:

Objetivo general

Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los

ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

Objetivos específicos:

- ◆ **Objetivo 1. Oferta:** Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
- ◆ **Objetivo 2. Demanda:** Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
- ◆ **Objetivo 3. Calidad:** Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
- ◆ **Objetivo 4. Riesgo:** Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.
- ◆ **Objetivo 5. Fortalecimiento institucional:** Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico.
- ◆ **Objetivo 6. Gobernabilidad:** Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico.

En relación con las aguas subterráneas para el cumplimiento de cada uno de estos objetivos, se presentan unas estrategias y líneas de acción estratégicas que las desarrollan.

◆ **Objetivo 1. Oferta**

Estrategia 1.1. Conocimiento: Profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas) de aguas subterráneas en el país.

Estrategia 1.2 Planificación: Formular e implementar los planes de manejo de acuíferos priorizados definidos en el Plan Hídrico Nacional, que no estén dentro de uno de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas priorizados en el Plan Hídrico Nacional.

Estrategia 1.3 Conservación: Promover y apoyar procesos nacionales, regionales y locales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, a través de acciones como la formulación e implementación de planes de manejo cuando haya lugar.

◆ **Objetivo 2. Demanda**

Estrategia 2.1 Caracterización y cuantificación de la demanda del agua en cuencas priorizadas: Realizar inventarios y registros de usuarios (legales y por legalizar) del recurso hídrico, a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional, en relación con las aguas superficiales, subterráneas y marino costeras.

◆ • **Objetivo 3. Calidad**

Estrategia 3.3 Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua: Articular y optimizar las redes y los programas de monitoreo regional del recurso hídrico

superficial, subterráneo y marino costero, mediante acciones como la integración de redes de monitoreo, el establecimiento de reglamentos y protocolos de monitoreo de la calidad del recurso hídrico, entre otras.

◆ **Objetivo 4. Riesgo**

Estrategia 4.1 Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica: Desarrollar y aplicar la ordenación, reglamentación y el registro de usuarios en las cuencas priorizadas en el Plan Hídrico Nacional y hacer seguimiento a sus obligaciones.

Estrategia 4.2 Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación: Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y la disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), programas de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), en los planes de manejo de aguas subterráneas y en los planes de manejo de los otros ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica.

◆ **Objetivo 5. Fortalecimiento institucional**

Estrategia 5.1 Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico: Articular y coordinar entre el MADS y las autoridades ambientales, las acciones que tengan incidencia sobre el recurso hídrico, con otros ministerios y con los entes territoriales.

- » Implementar programas de legalización de los usuarios de hecho del recurso hídrico.
 - » Implementar el registro de usuarios del recurso hídrico (RURH) (Decreto 1324 de 2007).
- plementar protocolos, guías y cajas de herramientas para su correcta aplicación.

 - » Establecer y aplicar criterios y estándares de calidad del recurso hídrico para usos con necesidad de reglamentación, tales como las aguas marino costeras, recarga de acuíferos y reúso de aguas residuales tratadas.

Estrategia 5.2 Formación, investigación y gestión de la información

- » Formular e implementar el plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico.
- » Implementar el sistema de información del recurso hídrico (Decreto 1323 de 2007).

Estrategia 5.3 Revisión normativa y articulación con otras políticas

- » Integrar, armonizar y optimizar la normativa relativa a la gestión integral del recurso hídrico, y diseñar e im-

 Objetivo 6. Gobernabilidad

Estrategia 6.1 Participación

- » Desarrollar e implementar esquemas de gestión comunitaria local hacia el uso y manejo responsable del agua.

En la siguiente tabla, se presentan las diferentes estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégicas asociadas al agua subterránea, la cuales hacen parte de la PNGIRH.

Tabla 20. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico: objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción

Estrategias	Meta general	Indicador	Líneas de acción estratégicas
1.1. Conocimiento	Se conoce la oferta del 100% de las cuencas hidrográficas y de los acuíferos priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Número acuíferos priorizados con información/número total de acuíferos priorizados en el Plan Hídrico Nacional	1.1.2 Profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas) de los principales acuíferos del país.

(sigue...)

(pasa...)

Estrategias	Meta general	Indicador	Líneas de acción estratégicas
1.2 Planificación	Se han formulado e implementado el 100% de los planes de manejo en los acuíferos priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Número de planes de manejo de acuíferos en implementación/número acuíferos priorizados	1.2.4 Formular e implementar los planes de manejo de acuíferos priorizados definidos en el Plan Hídrico Nacional, que no estén dentro de uno de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas priorizados en el Plan Hídrico Nacional.
1.3 Conservación	Se conserva como mínimo el 80% del área de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica que han sido priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Número de ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica con plan de manejo en implementación/número total de ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica priorizados en el Plan Hídrico Nacional	1.3.1 Promover y apoyar procesos nacionales, regionales y locales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, a través de acciones como la formulación e implementación de planes de manejo cuando haya lugar.
2.1 Caracterización y cuantificación de la demanda del agua en cuencas priorizadas	Se han cuantificado y se miden como mínimo el 60% de los consumos de agua total y por tipo de usuarios en las cuencas priorizadas por las autoridades ambientales en el Plan Hídrico Nacional.	Consumo sectorial anual de agua en m³/unidad de PIB sectorial	2.1.1 Realizar inventarios y registros de usuarios (legales y por legalizar) del recurso hídrico, a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional, en relación con las aguas superficiales, subterráneas y marino costeras.
3.3 Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua	Se ha consolidado y se encuentra al 100% en operación, la red de monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional.	Número de fuentes monitoreadas/número de fuentes priorizadas en el Plan Hídrico Nacional.	3.3.1 Formular e implementar el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico.

(sigue...)

(pasa...)

Estrategias	Meta general	Indicador	Líneas de acción estratégicas
4.1 Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica.	Se ha generado y divulgado información y conocimiento sobre riesgos que afectan la Oferta y disponibilidad hídrica en el 100% de las entidades con competencia en la prevención y atención de riesgos asociados a la oferta hídrica.	Número entidades que han generado y divulgado información y conocimiento sobre los riesgos relacionados con la oferta y disponibilidad hídrica/número total de entidades con competencia en la prevención y atención de riesgos asociados a la oferta hídrica.	4.1.3 Sistematizar la información relacionada con los riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica, y divulgarla a la comunidad para que los conozca y los prevenga.
4.2 Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación	Se ha incorporado e implementado la gestión del riesgo asociado a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en el 100% de los instrumentos de planificación priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Número de instrumentos de planificación ambiental, sectorial y territorial que han incorporado la gestión del riesgo sobre la oferta y la disponibilidad hídrica/ número de instrumentos de planificación priorizados en el Plan Hídrico Nacional	4.2.3 Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y a la disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), programas de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), planes de manejo de aguas subterráneas y planes de manejo de los otros ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica.
5.1. Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico	Se ha disminuido al 50% el porcentaje de usuarios del recurso hídrico por legalizar en las cuencas priorizadas en el Plan Hídrico Nacional.	Porcentaje de usuarios por legalizar en las cuencas prioritarias definidas en el Plan Hídrico Nacional	5.1.3 Implementar programas de legalización de los usuarios de hecho del recurso hídrico.
	Se ha implementado la reglamentación de corrientes en el 100% de los cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Número de cuerpos de agua con reglamentación de corrientes/número de cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional	5.1.6 Implementar el registro de usuarios del recurso hídrico (Decreto 1324 de 2007).

(sigue...)

(pasa...)

Estrategias	Meta general	Indicador	Líneas de acción estratégicas
5.2. Formación, investigación y gestión de la información	Se ha implementado el 100% de los programas del plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico, y los aplicativos del sistema de información del recurso hídrico.	Número de aplicativos del sistema de información del recurso hídrico que han sido implementados/número de aplicativos del sistema de información del recurso hídrico priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	5.2.2 Implementar el Sistema de Información del Recurso Hídrico (Decreto 1323 de 2007).
5.3. Revisión normativa y articulación con otras políticas	Se ha revistado y ajustado en lo pertinente, el 100% de la normativa relacionada con la gestión integral del recurso hídrico que ha sido priorizada en el Plan Hídrico Nacional, y se cuenta con protocolos, guías y cajas de herramientas para su implementación por parte de las autoridades ambientales.	Número de normas priorizadas en el Plan Hídrico que han sido revisadas y/o articuladas y que además cuentan con protocolos y cajas de herramientas / número de total de normas priorizadas.	5.3.3 Establecer y aplicar criterios y estándares de calidad del recurso hídrico para usos con necesidad de reglamentación, tales como las aguas marino costeras, recarga de acuíferos y reúso de aguas residuales tratadas.
6.1 Participación	Se ha implementado, en al menos el 50% de los procesos de ordenación y manejo de cuencas priorizadas en formulación y/o implementación, el Consejo de Cuenca, como mecanismo para la participación efectiva de los usuarios en la planeación, administración, vigilancia y monitoreo del recurso hídrico.	Número de Consejos de Cuenca implementados / número total de procesos de ordenación y manejo de cuencas priorizadas en formulación y/o implementación a nivel nacional.	6.1.5 Desarrollar e implementar esquemas de gestión comunitaria local hacia un uso y manejo responsable del agua.

5.7. PROGRAMA NACIONAL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (PNASUB) 2014

Durante el año 2012 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en conjunto con el IDEAM y mediante el acompañamiento de un Comité Técnico Nacional (Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio, Minas y Energía, las CAR, Universidades, empresas privadas y la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos), formuló el Programa Nacional de Aguas Subterráneas, instrumento de articulación institucional en el que se plantean las acciones y estrategias en los niveles nacional y regional para la gestión y evaluación integrada de las aguas subterráneas en Colombia.

Estas acciones y estrategias están enmarcadas en los siguientes ejes temáticos: i) Conocimiento e investigación, ii) Fortalecimiento institucional, iii) Sistema de información en Hidrogeología y iv) Manejo y aprovechamiento, estos serán implementados por las entidades del SINA.

El Programa Nacional de Aguas Subterráneas se está implementando a través de un proyecto piloto en dos zonas de la Orinoquía colombiana, este tiene como propósito definir estrategias y acciones integrales e interinstitucionales que apunten a la resolución de las problemáticas y conflictividades del recurso hídrico en la región, con las siguientes fases planteadas para las vigencias 2015, 2016 y 2017:

- ◆ Fase I: Formulación de acciones y estrategias para la evaluación y gestión integrada del agua subterránea.

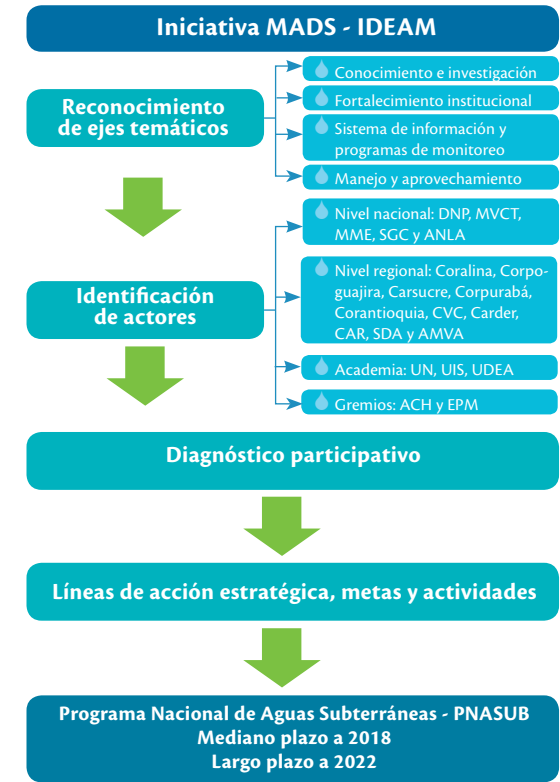


Figura 55. Esquema general Programa Nacional de Aguas Subterráneas.

- ◆ Fase II: Construcción e implementación de acciones y estrategias para la evaluación y monitoreo de las aguas subterráneas
- ◆ Fase III: Implementación de herramientas e instrumentos para gestión del agua subterránea.

Diagnóstico participativo sobre la evaluación y gestión del agua subterránea en Colombia

En función de la política nacional para la gestión del recurso hídrico y el Estudio Nacional del Agua del año 2010, se identificaron y complementaron las problemáticas descritas anteriormente alrededor de cuatro ejes temáticos:

◆ 1. Conocimiento e investigación

- » Escaso conocimiento sobre los sistemas acuíferos estratégicos a nivel local, regional, nacional y transfronterizo, en términos de oferta, demanda, calidad y riesgo por contaminación o desabastecimiento.
- » Insuficientes mecanismos para compartir la información técnica y las investigaciones en materia de aguas subterráneas, como bancos de buenas prácticas y de proyectos relacionados con el tema.
- » Falta de mecanismos o medios que permitan tener acceso a información, estudios, experiencias piloto, documentos técnicos y publicaciones generados por las diferentes entidades con funciones y competencias en la temática de agua subterránea a nivel nacional e internacional.
- » Escasa investigación sobre aspectos específicos en hidrogeología.
- » Inexistencia de programas de formación permanente en hidrogeología a nivel técnico, profesional y de posgrado.

◆ 2. Fortalecimiento institucional

- » Deficiente capacidad institucional para la adecuada gestión de los recursos hídricos subterráneos en térmi-

nos de recurso humano suficiente, capacitado y con dedicación exclusiva, logística adecuada para labores de evaluación, monitoreo, seguimiento y control, y asignación de recursos económicos para financiación de proyectos de conocimiento, evaluación, protección y conservación de los recursos hídricos subterráneos.

- » Deficiente coordinación institucional de las entidades con funciones y competencias en evaluación, seguimiento, control y gestión de las aguas subterráneas.

◆ 3. Sistema de información y programas de monitoreo del recurso hídrico subterráneo

- » Insuficiente formulación, implementación o fortalecimiento de programas regionales de monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas, siguiendo protocolos y estándares definidos por entidades competentes.
- » Insuficiente articulación técnica y operativa de las bases de datos y sistemas de información geográfica existentes en las diferentes entidades con el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) que permita conocer su estado a nivel nacional y regional.

◆ 4. Manejo y aprovechamiento

- » Deficiente articulación entre los diferentes instrumentos de planificación del recurso hídrico con los de ordenamiento territorial.
- » Necesidad de marco normativo que abarque temas específicos relacionados con la evaluación y gestión de aguas subterráneas (acuíferos en zonas urbanas, perímetros de protección de captaciones, contaminación por agentes específicos, calidad del agua para

recarga artificial, remediación de acuíferos contaminados, gestión de acuíferos transfronterizos, manejo de aguas subterráneas en obras civiles y mineras, y riesgo por agotamiento, entre otros).

- » Escasa implementación de mecanismos de divulgación, participación, educación y de resolución de conflictos en torno a las aguas subterráneas.

Los datos usados para la consolidación del inventario de puntos de agua subterránea para el territorio nacional provienen de fuentes dispersas, levantados en diferentes periodos de tiempo y con cobertura parcial referida al área de estudio específico. Aun considerando las limitaciones de información existente, el inventario preliminar constituye un referente de línea base para la identificación de las áreas de mayor explotación de aguas subterráneas, usos y características de captación.

En consecuencia, el inventario nacional de puntos de agua y los volúmenes de agua reportados en este documento, deben ser actualizados y consolidados a través del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH), con registros administrativos que cumplan todos los requisitos para el acopio y transferencia de datos, así como la implementación del Formulario Único Nacional de Inventario de Aguas Subterráneas (FUNIAS) como instrumento de captura de información básica.

Resultados esperados del Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB)

1. Se contará con estrategias orientadas hacia la ampliación y consolidación del conocimiento hidrogeológico

co de sistemas acuíferos priorizados y el fomento de la formación permanente a nivel técnico, tecnológico y de posgrado en la temática.

2. Se implementarán estrategias de fortalecimiento institucional para la gestión integral de las aguas subterráneas en sistemas acuíferos de importancia nacional y regional.
3. Se contará con estrategias para la gestión integrada de las aguas subterráneas soportadas en programas nacionales y regionales de monitoreo de sistemas acuíferos, articulados al SIRH.
4. Se contará con estrategias para la promoción de planes de manejo ambiental de acuíferos de importancia nacional y regional apoyados en procesos de participación y resolución de conflictos

5.8. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS

En cumplimiento del Decreto 1640 de 2012, mediante el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, fue formulada la Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos, con el objeto de establecer directrices y orientaciones técnicas y metodológicas para la formulación de los planes de manejo ambiental de los sistemas acuíferos que sean priorizados por las autoridades ambientales competentes en su jurisdicción.

La guía aborda, en primera instancia, los antecedentes, el marco conceptual y normativo en torno a la gestión

de los recursos hídricos subterráneos y, posteriormente, desarrolla cada una de las fases del plan de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), resaltando el objetivo, alcance e información necesaria para adelantar cada fase, y propuestas metodológicas en los casos en que aplica. Finalmente, como anexos se presentan la última versión del Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) y casos de estudio en los que se destacan algunos resultados de la implementación de planes de manejo ambiental de acuíferos en diferentes regiones del país.

Acuíferos objeto del plan de manejo ambiental y responsables

El Decreto 1640 de 2012, en su Artículo 62, establece que “en aquellos acuíferos que no hagan parte de un plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica, la autoridad ambiental competente elaborará el plan de manejo ambiental de acuíferos, previa selección y priorización del mismo, cuando se prevean como mínimo una de las siguientes condiciones, en relación con oferta, demanda, calidad hídrica, riesgo y gobernabilidad:

- » Agotamiento o contaminación del agua subterránea de conformidad con lo establecido en el artículo 152 del Decreto Ley 2811 de 1974 reglamentado por los artículos 121 y 166 del Decreto 1541 de 1978 o la norma que los modifique o sustituya.

- » Cuando el agua subterránea sea la única o principal fuente de abastecimiento para consumo humano.
- » Cuando por sus características hidrogeológicas el acuífero sea estratégico para el desarrollo socioeconómico de una región.
- » Cuando existan conflictos por el uso del agua subterránea.
- » Cuando se requiera que el acuífero sea la fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial, debido a riesgos antrópicos o naturales.

El Decreto 1640 de 2012, en su artículo 61, define que es responsabilidad de las autoridades ambientales competentes, formular los respectivos planes de manejo ambiental de acuíferos priorizados en su jurisdicción.

Marco metodológico

Los planes de manejo ambiental de acuíferos se desarrollarán teniendo en cuenta las siguientes fases:

Aprestamiento. Es la fase en la cual se conforma el equipo técnico necesario para realizar y acompañar la formulación e implementación del plan, se definen el plan de trabajo, la estrategia de socialización y participación y la logística requerida.

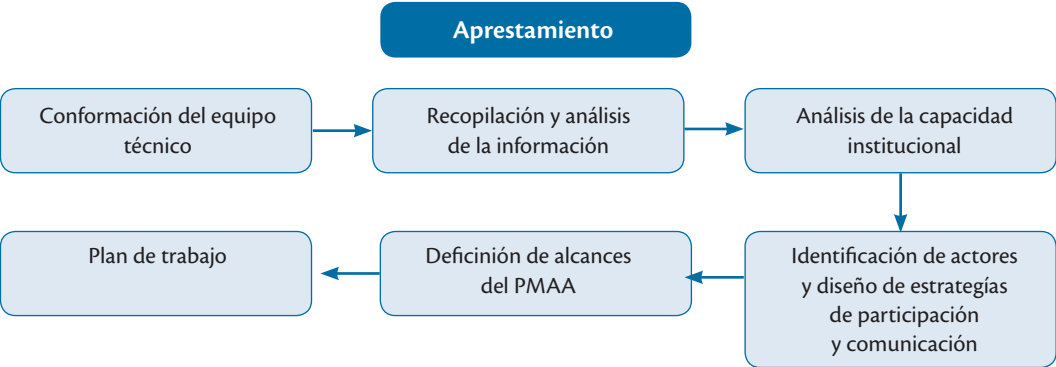


Figura 56. Esquema fase de aprestamiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.

Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Las actividades importantes dentro de esta etapa se destacan:

- » Recopilación y análisis de información secundaria.
- » Sistema de Información Geográfica.

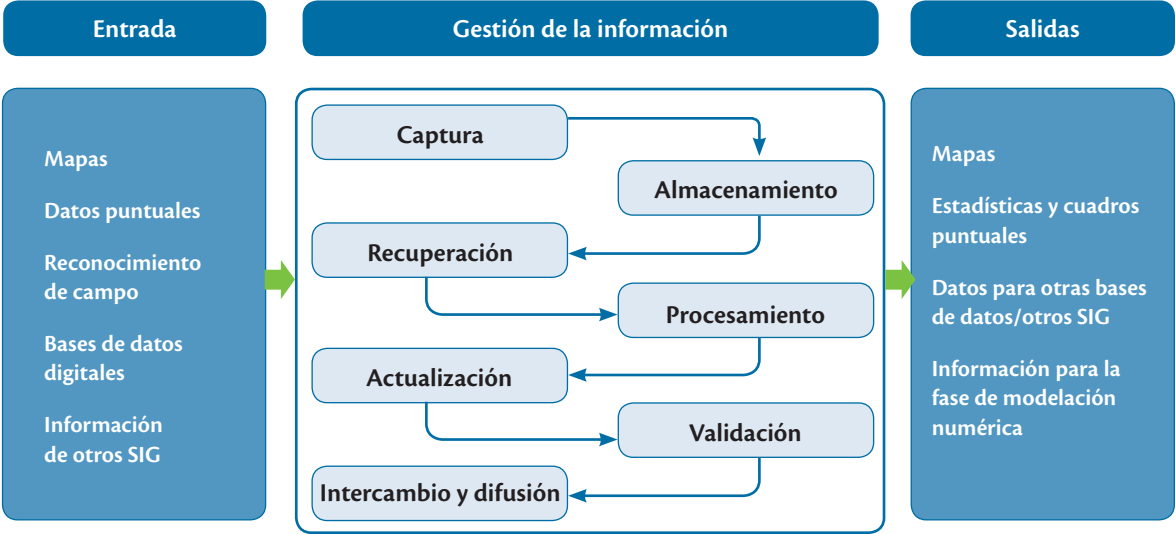


Figura 57. Propuesta de manejo y procesamiento de datos en el sistema de información geográfica.

Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

» Identificación de actores y sectores claves, estrategia de participación y comunicación

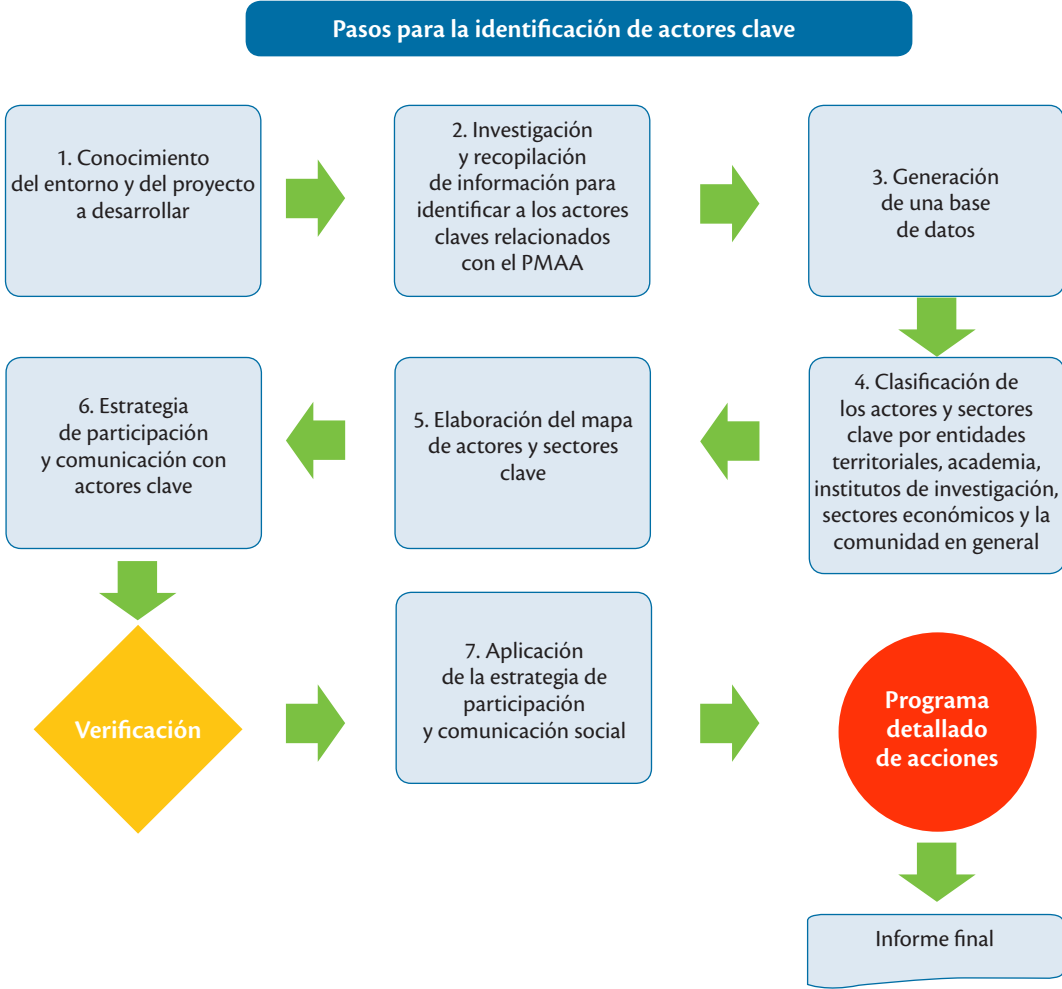


Figura 58. Pasos para la identificación, clasificación y categorización de actores y sectores clave.

Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Diagnóstico. Es la fase en la cual se elabora o actualiza la línea base de oferta y demanda de agua subterránea, se identifican los conflictos y problemáticas, se realizan el análisis de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y, la identificación y análisis de riesgos de las fuentes potenciales de contaminación, entre otros aspectos.

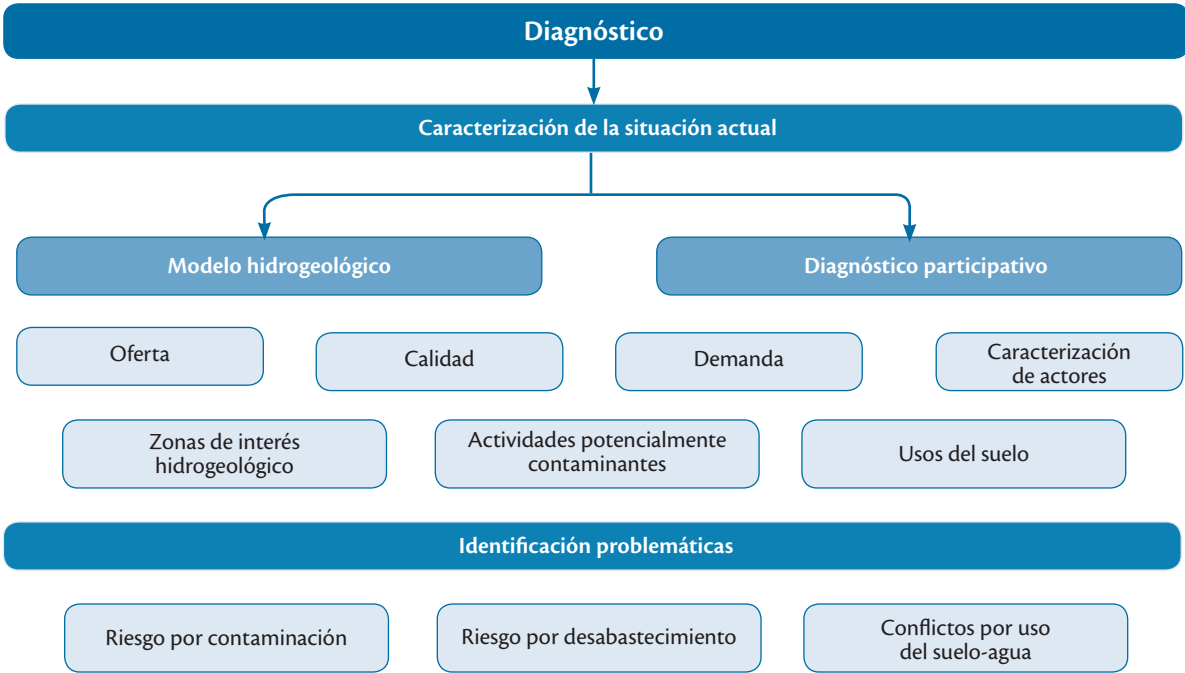


Figura 59. Esquema fase de diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.
Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Modelo hidrogeológico conceptual: Un modelo hidrogeológico es una representación descriptiva y gráfica de un sistema acuífero que incorpora una interpretación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y su interrelación con sistemas asociados (ríos, lagos, ecosistemas, mar), de tal manera que se reducen el problema físico y el dominio del acuífero a una versión simplificada de la realidad.

El modelo hidrogeológico conceptual resulta del análisis e integración de la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrológica, hidroquímica e hidráulica de aguas subterráneas, y deberá permitir la identificación y caracterización de los sistemas acuíferos y de las unidades impermeables o con limitadas posibilidades de flujo subterráneo, la distribución de los puntos de agua, la dirección regionales de flujo, las condiciones de recarga y descarga, las características hidrogeoquímicas y parámetros hidráulicos, como se ilustra en la Figura 8.

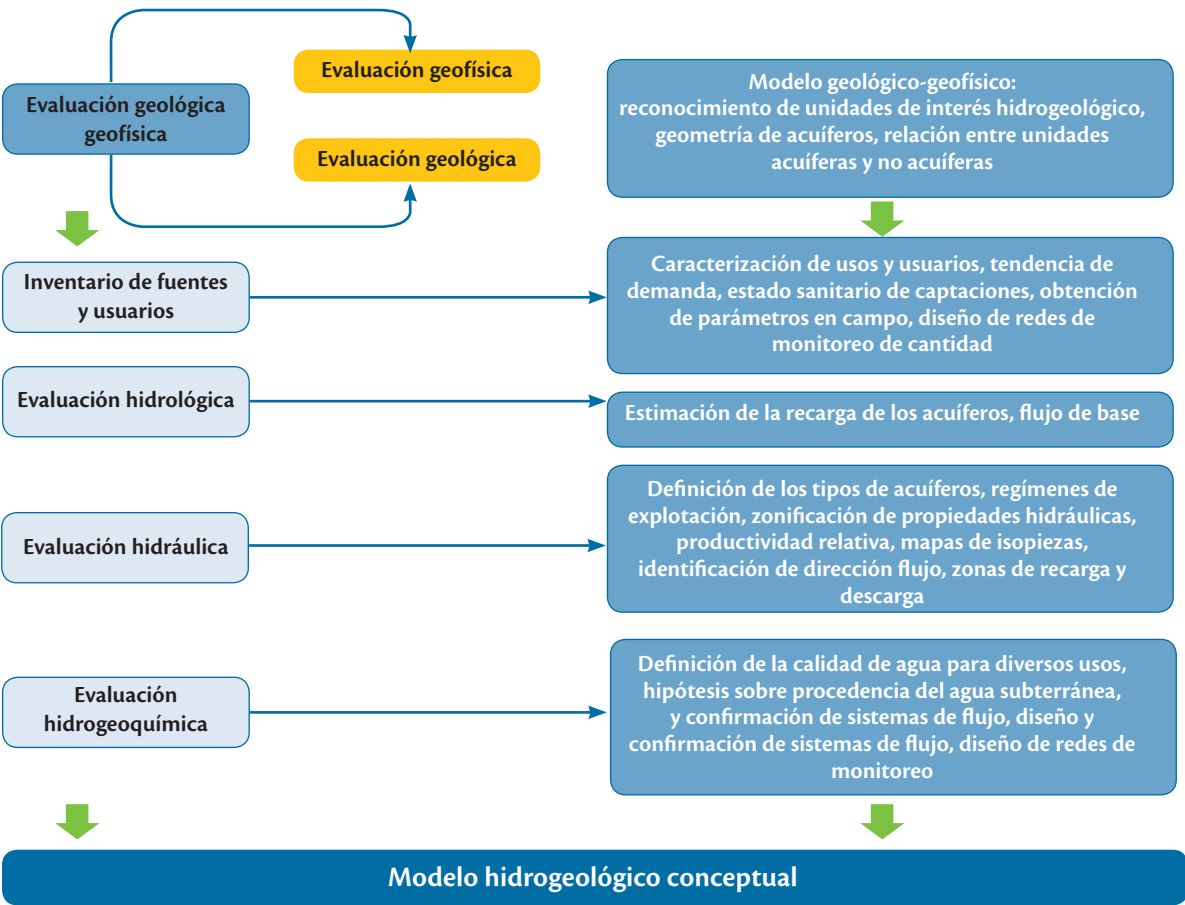


Figura 60. Diagrama de flujo para la construcción modelo hidrogeológico conceptual.
Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Como resultado de la fase de diagnóstico se deberán determinar las áreas que revisten una especial importancia hidrogeológica y que, por lo tanto, serán objeto de establecimiento de medidas de manejo específicas o de estrategias de protección diferenciales. Entre las posibles áreas de especial importancia hidrogeológica se encuentran las zonas de recarga prioritaria, las áreas con mayor vulnerabilidad a la contaminación, los perímetros de protección de captaciones para abastecimiento público, entre otros.

Identificación de las problemáticas sobre el acuífero

A pesar de que existen muchas problemáticas asociadas con el recurso hídrico subterráneo, en este ítem, con especial énfasis, se desarrollarán las siguientes:

- » Riesgos de contaminación y de agotamiento de las aguas subterráneas.
- » Riesgo por agotamiento.
- » Conflictos por usos del suelo en zonas de interés hidrogeológico.

Formulación. En esta fase se definen las medidas a implementar y los proyectos y actividades a ejecutar, con el fin de solucionar la problemática identificada en el diagnóstico, estableciendo el cronograma de ejecución, los costos y responsables.

Un ejemplo de uso de indicadores ambientales en Colombia es el desarrollado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) que define indicadores de presión sobre el recurso hídrico subterráneo (Figura 61).

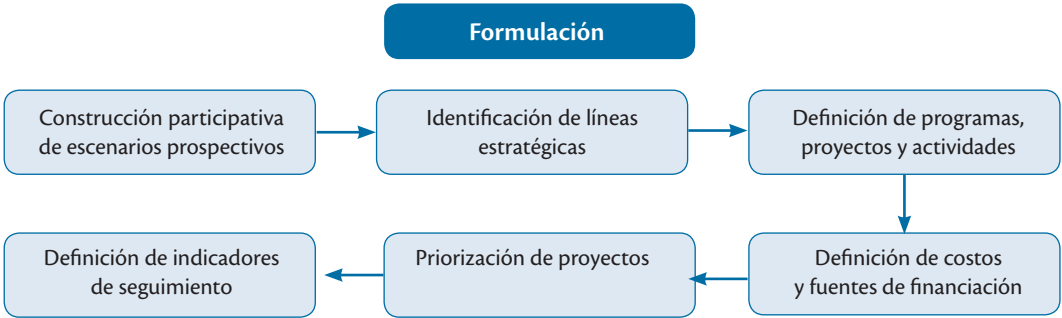


Figura 61. Esquema fase de formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos. Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

SITUACIÓN AMBIENTAL	INDICADORES PRIMARIOS								INDICADORES SECUNDARIOS	ZONA		Frecuencia (Años)
	Nivel del agua	HCO ₋₃	OD	pH	COD	NO ₋₃	Cl ⁻	SO ₋₄		Saturada -Zs	No Saturada - ZNS	
Cambio en el nivel del agua	X								Descarga de manatales	X		0.6
Disminución de caudales	X								Descenso en el nivel de bombeo	X		1.0
Impacto urbano		X			X	X	X	X	Compuestos nitrogenados salventes, metales,etc.	X	X	0.6
Impacto agrícola					X	X			K, Na, Po ₄ , compuestos nitrogenados, pesticidas	X	X	0.6
Impacto industrial		X			X			X	SDT, CE, metales, solventes, DQO, etc.	X	X	0.6
Estado Redox			X			X			Fe ² , HS, sulfatos, compuestos nitrogenados	X	X	0.6
Uso de la tierra/cambio forestal						X	X		ⁿ/ₒ salinidad, C13 y C14	X	X	2.0
Neutralización del ácido		X		X					Al, Ca	X	X	0.6
Salinidad							X		Mg/Cl, O ¹⁸ , H ² , (SDT,Cl Na)	X	X	0.6
Cambio en la recarga, clima	X						X		O ¹⁸ , H ²	X	X	5.0

Figura 62. Indicadores para aguas subterráneas del Valle del Cauca. Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Ejecución. Se desarrollan las medidas, proyectos y actividades conforme a lo dispuesto en la fase de formulación.

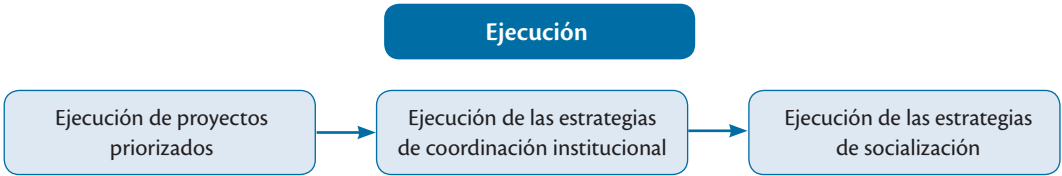


Figura 63. Esquema fase de aprestamiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.
Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Seguimiento y evaluación. Es la fase en la cual se realizan el seguimiento y la evaluación del plan, conforme a las metas e indicadores planteados, con el objeto de definir los ajustes a que haya lugar.

Para el seguimiento del PMAA se deben contemplar los siguientes aspectos:

- » Revisión del cumplimiento de los planes operativo y de acción del PMAA.
- » Revisión a la ejecución de programas y proyectos propuestos: cronograma y presupuesto.
- » Revisión de los logros de los objetivos propuestos: evaluación de indicadores.
- » Implementación o ajuste de las estrategias propuestas.

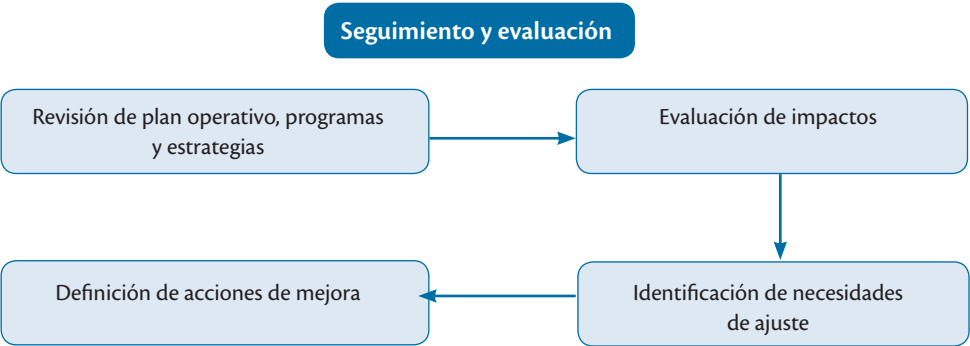


Figura 64. Esquema fase de seguimiento del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.
Fuente: guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos.

Finalmente en la *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos* se resaltan algunas experiencias de gestión de aguas subterráneas obtenidas en el marco del Proyecto Piloto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS), el cual se desarrolló con aporte de la Cooperación Internacional del Reino Unido y con la participación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Ingeominas, CVC y Coralina, donde se integraron aspectos técnicos, sociales, económicos, ambientales y legales de las aguas subterráneas, además de la participación activa de actores relacionados con este recurso. Posteriormente, y como réplica del PPIAS, Colombia participó del proyecto regional de cooperación técnica del OIEA (RLA/8/031), que tuvo como propósito contribuir al mejoramiento del conocimiento hidrogeológico mediante la utilización de las técnicas isotópicas y convencionales con el fin de mejorar la gestión de los recursos hídricos subterráneos.

Este proyecto contó con la asesoría técnica y la coordinación nacional del Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas y tuvo como entidades ejecutoras a las Corporaciones Autónomas Regionales, Carder, Carsucre, Corpoguajira y CVC.

5.9. OTROS DOCUMENTOS IMPORTANTES

Lineamientos conceptuales y metodológicos para las evaluaciones regionales del agua - 2013

Este documento se constituye en una guía conceptual y metodológica para desarrollar el proceso de evaluación permanente del agua en las regiones con cortes periódicos, documentados en estudios regionales del agua, que

dan cuenta del estado y dinámica del agua como insumo técnico para planificación ambiental, territorial y toma de decisiones en la región.

Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico

El Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) es el instrumento de planificación que permite en ejercicio de la autoridad ambiental, intervenir de manera sistémica los cuerpos de agua para garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de dichos cuerpos de agua. La *Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico* contiene los lineamientos básicos con los que las AAC llegarán a consolidar la propuesta programática y el plan de monitoreo y seguimiento con horizonte mínimo de diez años a lo largo de los cuales se buscará mejorar la disponibilidad y la calidad del recurso.

Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), por medio de esta guía técnica, establece los criterios, procedimientos y metodologías para orientar a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible en la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, con ello responde a la necesidad de incorporar los lineamientos y directrices de la política nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico (PNGIRH) (2010), en relación con la estructura de planificación de cuencas hidrográficas y a lo establecido en el Decreto 1640 de agosto de 2012.

PRÁCTICA
PROCEDIMIENTO
DE CAPTURA DE
INFORMACIÓN
DE AGUAS
SUBTERRÁNEAS
EN EL SIRH





6.	PRÁCTICA PROCEDIMIENTO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SIRH
6.1.	ESQUEMA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN
6.2.	INGRESO AL SISTEMA
6.3.	IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE HÍDRICA
6.4	REGISTRO DE USUARIOS
6.5	REGISTRO DEL PREDIO
6.6	REGISTRO DE LA CONCESIÓN
6.7	REGISTRO DE LA CAPTACIÓN
6.7.1	REGISTRO DEL USO DE LA CAPATACIÓN
6.7.2	REGISTRO DE INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PUNTO DE AGUA SUBTERRÁNEA
6.7.3	REGISTRO DE MEDICIONES DE CALIDAD ASOCIADAS A LA CAPTACIÓN
6.8	CONSULTAR
6.8.1	CONSULTAR USUARIOS Y PREDIOS
6.8.2	CAPTACIONES SUBTERRÁNEAS
6.8.3	VALIDACION DE INFORMACIÓN

Objetivo

Conocer el formulario de captura de información de registro de usuarios del recurso hídrico en el SIRH, en lo relacionado con una captación subterránea e información técnica del punto.

Actividades

- » Registrar en el formulario de captura de información de registro de usuarios del recurso hídrico en el SIRH, una concesión de aguas subterráneas con la información técnica del punto.
- » Identificar las dificultades u oportunidades presentadas para alimentar el SIRH.

Materiales

Para adelantar el ejercicio práctico, usted deberá tener:

- » Un expediente de una concesión de aguas subterráneas.
- » Información general del sistema acuífero.
- » Información técnica del punto de agua subterránea.

Insumos

- » Manual del usuario para el registro de la información en el SIRH.
- » Manual del usuario del observatorio del agua en el SIRH.

Resultados

Reporte de usuario de acceso al sistema: “NOMBRE_DE_SU_ENTIDAD1”

Reporte en PDF de la información general ingresada al sistema, a través de la consulta referenciada en el numeral 10.2. CONSULTAR USUARIOS Y PREDIOS, del presente documento.

Análisis de las dificultades u oportunidades presentadas, para el registro de la información de usuario, predio, concesión, captación subterránea e información técnica del punto.

Link de acceso Ambiente de pruebas

- » <http://181.225.72.35:8230/Sirh/faces/dashBoard.jspx>
- » Usuario: “**NOMBRE_DE_SU_ENTIDAD1**”. Ejemplo: CVC1; CORNARE1; CRC1
- » Clave: pentasoft

PRÁCTICA PROCEDIMIENTO DE CAPTURA DE INFORMACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL SIRH

A continuación se realiza una descripción paso a paso para el desarrollo del ejercicio de registro de información de la concesión de aguas y datos técnicos del punto de agua subterránea.

6.1 ESQUEMA DE REGISTRO DE INFORMACIÓN

El esquema de registro de información en el SIRH obedece al ingreso de una serie de atributos mínimos del formulario de registro de usuarios del recurso hídrico (RURH) que alimenta el módulo de oferta, demanda y calidad del observatorio del agua, en los cuales se incluye la captura de información relacionada con:

- 1. Identificación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas
- 2. Usuarios con concesión de aguas superficial y subterránea

- 3. Usuarios con permiso de vertimientos a fuentes hídricas superficiales
- 4. Usuarios con captación superficial y subterránea sin resolución y/o puntos identificados
- 5. Información técnica de los puntos de agua subterránea – Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS).
- 6. Puntos de monitoreo asociados a una captación superficial
- 7. Puntos de monitoreo asociados a un vertimiento
- 8. Puntos de monitoreo asociados a una fuente hídrica superficial
- 9. Puntos de monitoreo asociados a un punto de agua subterránea

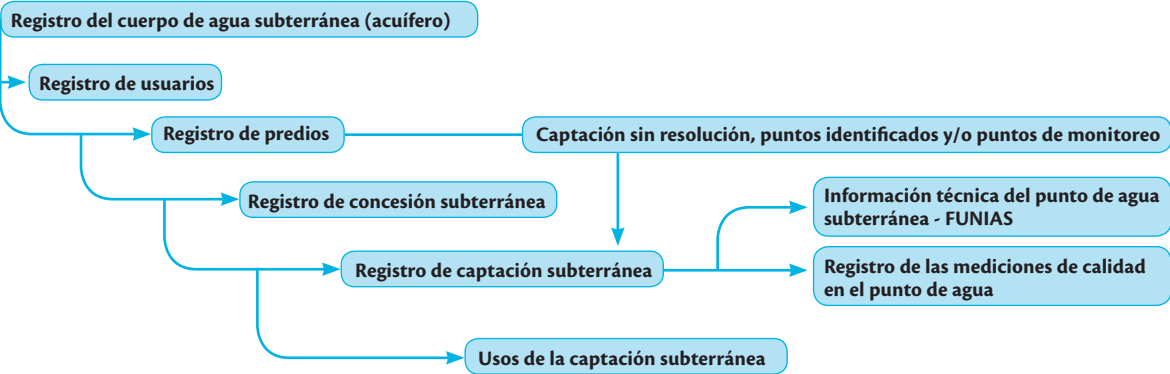


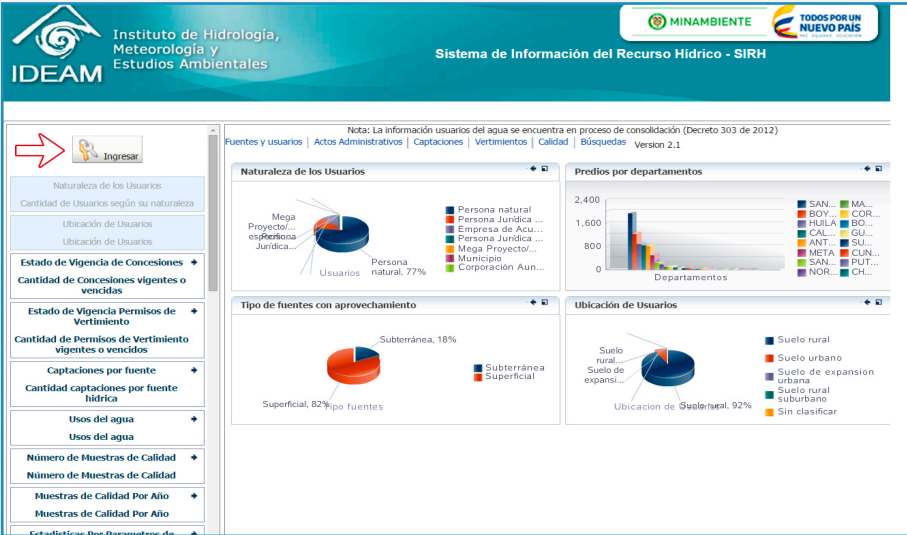
Figura 65. Esquema general de registro de información subterránea en el SIRH.

6.2 INGRESO AL SISTEMA

Para ingresar al sistema en el ambiente de pruebas, debe acceder a la siguiente URL, la cual solicita el usuario y contraseña mencionados previamente:

- » <http://181.225.72.35:8230/Sirh/faces/dashBoard.jspx>
- » Usuario: “NOMBRE_DE_SU_ENTIDAD1”. Ejemplo: CVC1; CORNARE1; CRC1
- » Clave: pentasoft

Dé clic en el botón “Ingresar” que se encuentra al costado izquierdo de la página y acceda digitando la contraseña y usuario.



El sistema le presenta una serie de componentes de acceso, a través de un menú de opciones:



Entre dichas opciones, se encuentran las siguientes a nivel general:

- » Opciones generales: permite consultar cifras, cambiar clave y salir del sistema.
- » Administración: permite verificar la información registrada con los atributos faltantes en el ingreso de información.
- » Usuarios del agua: establece el formulario de captura de información de usuarios del agua, predio, concesiones, captaciones, usos, permisos de vertimiento y vertimientos.
- » Fuentes: presenta el formulario de captura de información de fuentes hídricas e identificación de cuencas hidrográficas.
- » Calidad: establece el formulario de captura de información relacionada con mediciones de los puntos de monitoreo asociados a una fuente hídrica superficial y permite consultar los puntos de monitoreo de la Red de calidad del IDEAM.

6.3 IDENTIFICACIÓN DE LA FUENTE HÍDRICA

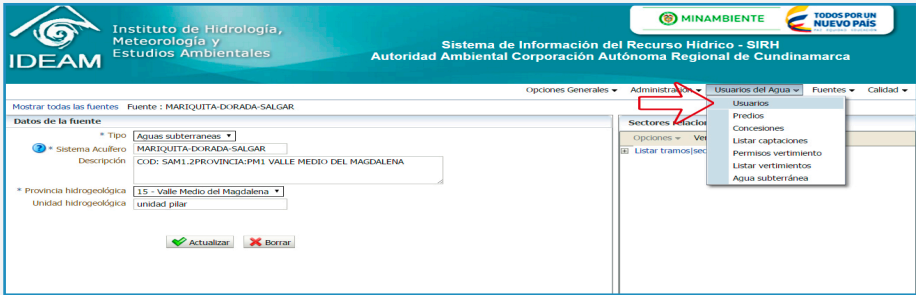
El primer paso para ingresar la información de aguas subterráneas en el SIRH es la identificación de la fuente hídrica, es decir, registro del sistema acuífero del cual se está realizando uso y aprovechamiento del recurso hídrico.



El sistema le solicitará la información relacionada con el nombre del sistema acuífero, descripción general, provincia y unidad hidrogeológica.

6.4 REGISTRO DE USUARIOS

Para el registro de la información relacionada con el usuario, dé clic sobre el menú de opciones – usuarios del agua y usuarios.



Luego dé clic en opciones y adicionar.



Una vez habilitado el formulario para dar inicio al registro de la información, debe identificar el tipo de persona, es decir, indicar si es una persona natural, jurídica privada, jurídica pública, municipio, corporación autónoma regional, empresa de acueducto/prestador del servicio y/o megaproyecto o proyectos específicos.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▼Administración ▼Usuarios del Agua ▼Fuentes ▼Calidad ▼

Adicionar Usuario Del Agua Paso 1 - Tipo de Usuario

Seleccione el tipo de usuario e ingrese el tipo y número de identificación del Usuario

* Tipo de Usuario

Seleccione

* Tipo Identificación

Seleccione

* Número de Identificación

Corporación Autónoma Regional
Empresa de Acueducto/Prestadora del servicio
Mega Proyecto/proyectos específicos
Municipio
Persona Jurídica Privada
Persona Jurídica Publica
Persona natural

Siguiente

Luego proceda a ingresar los datos del usuario, tales como nombre, apellidos, dirección de correspondencia, departamento y municipio de correspondencia, número de teléfono y *e-mail*.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Todos los usuarios Usuario: NANCY DAVEIBA GONZALEZ BOJACA

Opciones Generales ▼Administración ▼Usuarios del Agua ▼Fuentes ▼Calidad ▼

Detalle del Usuario

* Tipo Identificación

Cédula de Ciudadanía ▼

* Número de Identificación

1070750061

* Nombres

NANCY DAVEIBA

* Apellidos

GONZALEZ BOJACA

* Dirección

FINCA EL PROGRESO DE LA VERDE

* Departamento

CUNDINAMARCA ▼

* Municipio

PANDI ▼

Teléfono

3132775739

Email

Actualizar

Borrar

Predios Relacionados

Opciones ▼Ver ▼

Predio Lote No 3

Concesiones

Permisos de vertimiento

Práctica procedimiento de captura de información de aguas subterráneas en el SIRH  ::149::

6.5 REGISTRO DEL PREDIO

Posteriormente al ingreso de la información del usuario, debe registrar la información del predio beneficiado del uso y aprovechamiento del recurso hídrico. Allí se solicita la información del nombre del sitio, dirección, matrícula inmobiliaria, cédula catastral y coordenadas del predio en Sistema de Referencia Magna Sirgas.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Todos los usuarios Usuario: NANCY DAVEIBA GONZALEZ BOJACA

Opciones Generales ▼Administración ▼Usuarios del Agua ▼Fuentes ▼Calidad ▼

Detalle del Usuario

* Tipo Identificación

Cédula de Ciudadanía ▼

* Número de Identificación

1070750061

* Nombres

NANCY DAVEIBA

* Apellidos

GONZALEZ BOJACA

* Dirección

FINCA EL PROGRESO DE LA VERDE

* Departamento

CUNDINAMARCA ▼

* Municipio

PANDI ▼

Teléfono

3132775739

Email

Actualizar

Borrar

Predios Relacionados

Opciones ▼Ver ▼

Adicionar Predio

Concesiones

Permisos de vertimiento

En dado caso, de que el lugar beneficiado del aprovechamiento del recurso hídrico esté asociado a más de un predio y/o un polígono, el sistema le deshabilitará la opción de la georreferenciación y cédula catastral. Esto se asocia a tipo de usuarios como: Empresa de acueducto/Prestador del servicio, Megaproyecto/Proyectos específicos y/o Municipio.

Todos los usuarios Usuario: NANCY DAVEIBA Predio : Lote No 3

Opciones Generales ▼Administración ▼Usuarios del Agua ▼Fuentes ▼Calidad ▼

Detalle Predio

* Nombre

LOTE No 3

* Dirección

VEREDA BUENOS AIRES BAJOS

* Departamento

CUNDINAMARCA ▼

* Municipio

PANDI ▼

* Cédula catastral

200010209000.00

* Matrícula inmobiliaria

* Clasificación del suelo

Suelo rural ▼

Area (Ha)

Sistema de referencia

Sistema GRS 1980 Magna Sirgas ▼

* Altitud

1942

Latitud

Grados 4 Minutos 14 Segundos

Longitud

Grados -74 Minutos 31 Segundos

Observaciones

Actualizar

Borrar

Concesiones y Permisos de vertimiento

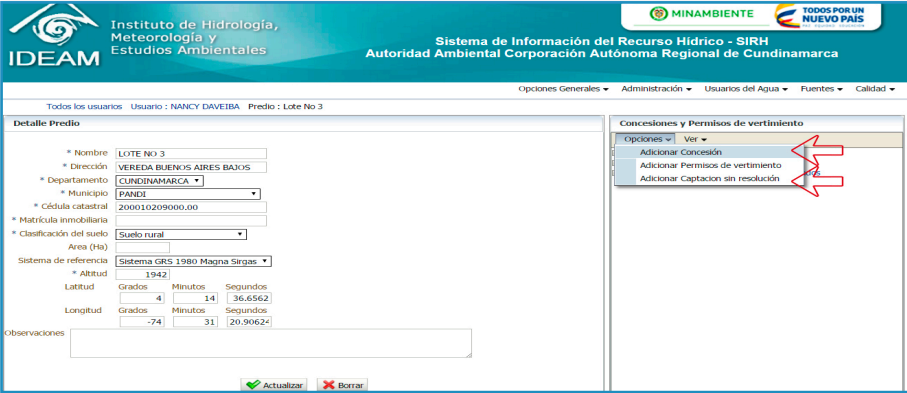
Opciones ▼Ver ▼

Concesiones

Permisos de vertimiento

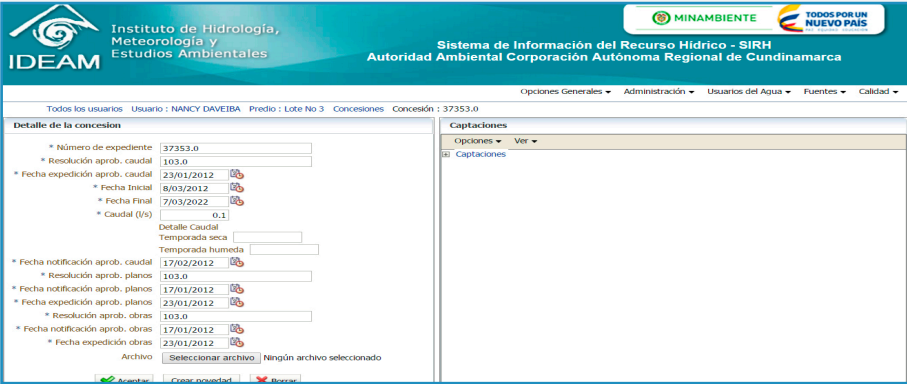
Captaciones sin resolución/Puntos identificados

Una vez registrada la información del predio, el sistema le permitirá crear una concesión de aguas, para aquellos casos en los cuales se cuente con el acto administrativo que otorga el permiso; pero si contrario a esto, no se tiene el acto administrativo pero se cuenta con la identificación de la captación, podrá dar la opción de captación sin resolución y/o punto inventariado.



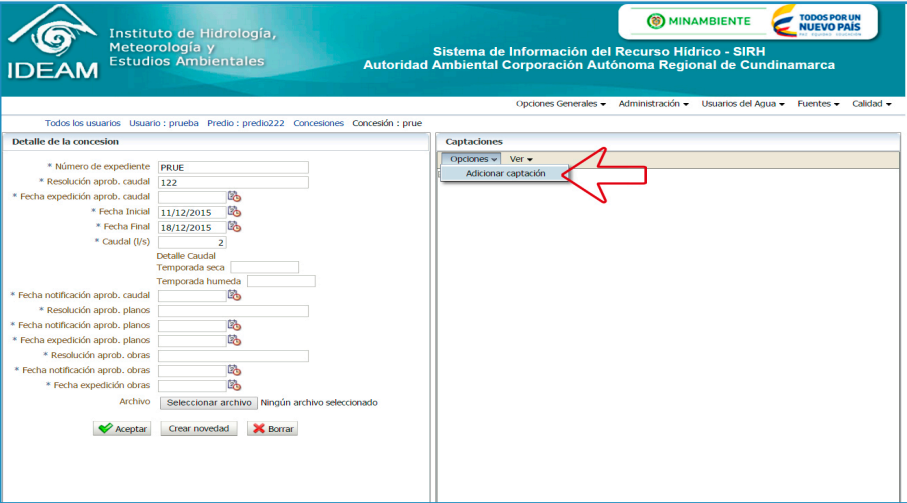
6.6 REGISTRO DE LA CONCESIÓN

Si seleccionó la opción de concesión de aguas, el sistema le habilitará el formulario de captura de información del detalle de la concesión, relacionado con el número del expediente, los actos administrativos requeridos en la normativa, el caudal concesionado (opcional: temporada seca y/o húmeda) y vigencias.



6.7 REGISTRO DE LA CAPTACIÓN

Para agregar una captación, ingrese al formulario de la concesión que otorgó su permiso de uso y dé clic en el menú “Opciones”, “Adicionar captación” que se encuentra en el panel derecho. El sistema le presentará una serie de formularios, a través de un asistente que guiará el diligenciamiento de la información.



IMPORTANTE:

Para registrar una captación de agua subterránea, usted debió haber registrado el **Sistema acuífero**, a través del menú “Fuentes”.

Si no lo ha hecho, regrese a la sección “Fuentes hídricas”, este dato es indispensable. De otra manera no podrá finalizar el proceso.

En general, el formulario de registro de una captación está compuesto por las siguientes secciones:

Ubicación del punto de agua subterránea, dentro de la zonificación hidrográfica nacional y nombre del sistema acuífero registrado previamente por el menú “Fuentes”.

Datos de la captación

Datos básicos

Fuente subterranea

?

*

Área

Magdalena Cauca

*

Zona

Alto Magdalena

*

Subzona

Río Bogotá

*

Sistema Acuífero

UBATE-CHINQUINQUIRA

Localización de la captación a nivel de departamento, municipio, centro poblado, tipo de punto (aljibe, manantial o pozo), identificador del punto de acuerdo con la codificación establecida internamente en la entidad e indicar si pertenece a la red nacional de monitoreo en coordinación con el IDEAM.

Ubicación

*

Departamento

BOGOTÁ D.C.

*

Municipio

BOGOTÁ D.C.

*

Tipo Centro poblado

Cabecera municipal

Nombre centro poblado

Tipo punto

Manantial

*

Identificador del punto

33

Pertenece a la Red nacional de monitoreo

Si

No

Características del sistema de abastecimiento, en donde se relaciona los componentes del sistema y el método de extracción.

Componentes del sistema de abastecimiento

Componentes del sistema de abastecimiento

Conduccion

Planta de portabilización

Red de distribución

Tanque de almacenamiento

Método de extracción

BOMBA CENTRIFUGA

BOMBA CENTRIFUGA

BOMBA DE PISTON

BOMBA EJE VERTICAL

BOMBA SUMERGIBLE

COMPRESOR

MANUAL

MOLINO DE VIENTO

MOTOBOMBA

NINGUNO

otro

SURGENCIA NATURAL

Tiene sistema medición

Si

No

Estado de la captación

Seleccione

Datos de funcionamiento, medición y caudal de diseño de la captación.

Descripción

Tiene sistema medición

Si

No

Estado de la captación

Seleccione

Tiene continuidad en el servicio?

Seleccione

Tiene servidumbre?

Si

No

Caudal de diseño (l/s)

Localización a nivel de coordenadas geográficas con Sistema de Referencia Magna Sirgas.

Georreferenciación

* Sistema de referencia

Sistema GRS 1980 Magna Sirgas

Latitud

* Grados

8

* Minutos

8

* Segundos

8

Longitud

* Grados

-78

* Minutos

8

* Segundos

8

Descripción de acceso al punto

* Altitud

8

* Descripción

8

Actualizar

Borrar

6.7.1. REGISTRO DEL USO DE LA CAPTACIÓN

Una vez registrada la información de la captación, el sistema le habilitará varias opciones para ingresar: uso de la captación, información técnica del punto de agua subterránea, consultar la información del FUNIAS relacionada y/o ingresar los datos asociados a las mediciones de los puntos de monitoreo en dicha captación.



**Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales**

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▾
Administración ▾
Usuarios del Agua ▾
Fuentes ▾
Calidad ▾

Todos los usuarios Usuario : prueba Predio : predio222 Concesión : true Captaciones Captación : Fuente subterránea

Estado de la captación Seleccione ▾

Tiene continuidad en el servicio? Seleccione ▾

Tiene servidumbre? SI

No

Caudal de diseño (l/s)

Usos relacionados

Opciones ▾ Ver ▾

Adicionar uso

Adicionar información técnica

Ver funlas relacionados

Adicionar calidad

Georreferenciación

* Sistema de referencia Sistema GRS 1980 Magna Sirgas ▾

Latitud * Grados 8

Longitud * Grados -78

* Minutos 8

* Segundos 8

Descripción de acceso al punto

* Altitud 8

* Descripción

Para el primer caso, se relacionará el formulario de captura de información de uso, allí podrá dar opción “Adicionar uso”, para indicar las generalidades asociadas al consumo según las condiciones para cada uso:

- Uso doméstico: se solicita el caudal asignado para este uso, número de personas permanentes y transitorias, y el número de días en el que se hace el aprovechamiento.

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

IDEAM

MINAMBIENTE

TODOS POR UN
NUEVO PAÍS

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Opciones Generales ▾Administración ▾Usuarios del Agua ▾Fuentes ▾Calidad ▾

Todos los usuarios Usuario : prueba Predio : predio222 Concesión : prue Captación : Fuente subteranea

Uso

Tipo uso

Abastecimiento / Consumo humano y Doméstico ▾

Caudal asignado (l/s)

Número de personas permanentes

Número de personas transitorias

Aprovechamiento (día/mes)

Siguiente

- Uso pecuario y agrícola: para estos dos usos el sistema de comporta de forma equivalente solicitando el tipo y número de animales, y el caudal asignado.



IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



MINAMBIENTE

Ministerio del Medio Ambiente



**TODO POR UN
NUEVO PAÍS**

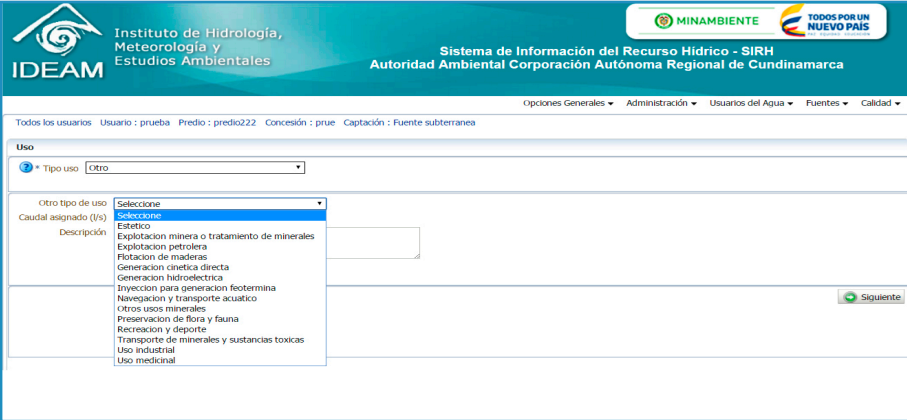
CONSEJO DE ESTADOS

- Uso agrícola: se solicita el tipo de cultivo, caudal asignado, producción en toneladas al año, eficiencia del sistema de riego y el área del cultivo.



The screenshot shows the 'Uso' form in the SIRH system. The 'Tipo uso' is set to 'Agrícola'. The form includes fields for 'Tipo de cultivo', 'Caudal asignado (l/s)', 'Producción (Toneladas/año)', 'Eficiencia sistema de riego (%)', and 'Area (Ha)'. A 'Siguiente' button is at the bottom right.

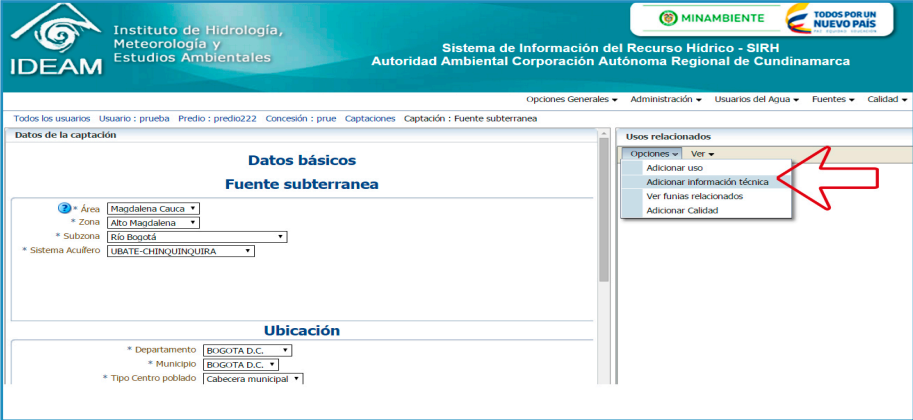
- Otro uso: en la lista de otros usos aparecen aquellos definidos en el Decreto 3930 de 2010 y 1541 de 1978, para lo cual se solicitará el caudal asignado y una descripción de la actividad.



The screenshot shows the 'Uso' form in the SIRH system. The 'Tipo uso' is set to 'Otro'. A dropdown menu is open, showing a list of other uses such as 'Estético', 'Explotación minera o tratamiento de minerales', 'Explotación petrolera', etc. The 'Caudal asignado (l/s)' and 'Descripción' fields are visible. A 'Siguiente' button is at the bottom right.

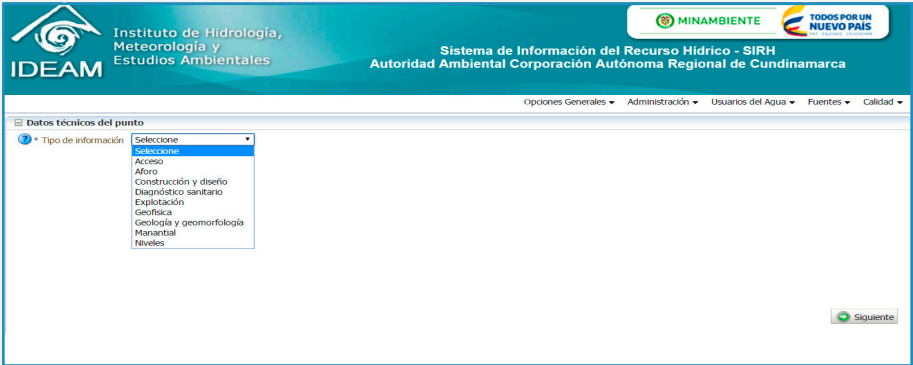
6.7.2. REGISTRO DE INFORMACIÓN TÉCNICA DEL PUNTO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Luego de ingresar la información referente a los usos de la captación, el sistema le permitirá registrar los datos asociados a las características técnicas del punto de agua subterránea:



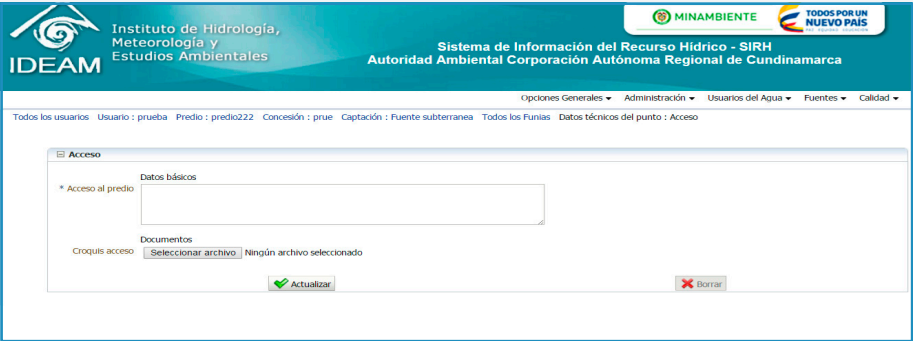
The screenshot shows the 'Datos de la captación' form in the SIRH system. The 'Tipo de captación' is set to 'Fuente subterránea'. The form includes fields for 'Area', 'Zona', 'Subzona', 'Sistema Acuífero', 'Departamento', 'Municipio', and 'Tipo Centro poblado'. A 'Siguiente' button is at the bottom right. A red arrow points to the 'Usos relacionados' sidebar on the right.

Esta información corresponde a la requerida en el Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS), la cual está compuesta por varios componentes (para mayor compresión, ver archivo adjunto Instructivo_formulario_inventario Agua Subterránea.pdf)



The screenshot shows the 'Datos técnicos del punto' form in the SIRH system. The 'Tipo de información' is set to 'Selección'. The form includes fields for 'Acceso', 'Alfaro', 'Construcción y diseño', 'Diagnóstico sanitario', 'Explotación', 'Geofísica', 'Geología y geomorfología', 'Manantial', and 'Niveles'. A 'Siguiente' button is at the bottom right.

Acceso (aplica para manantiales, pozos y aljibes): le permitirá ingresar la información relacionada con el acceso al lugar y podrá adjuntar un croquis en archivo PDF.



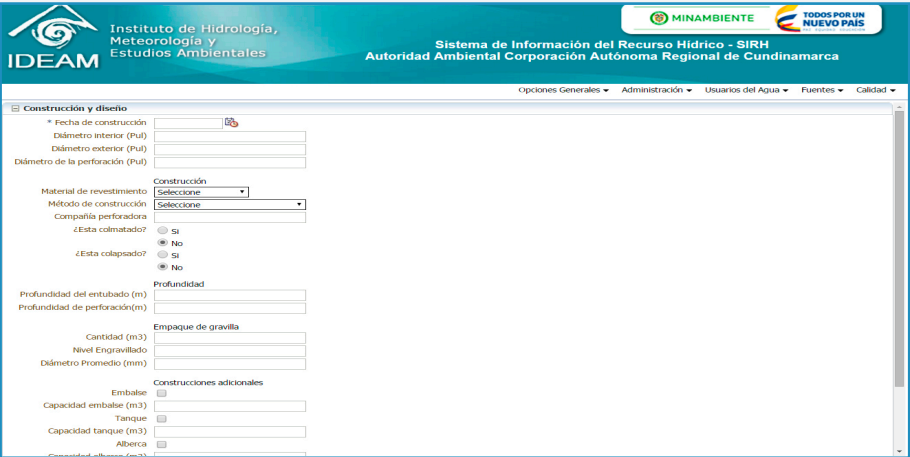
The screenshot shows the 'Acceso' form within the SIRH system. The header includes the IDEAM logo and the system name. The breadcrumb trail indicates the user is in 'Acceso'. The form has two main sections: 'Datos básicos' with a text input field for 'Acceso al predio', and 'Documentos' with a 'Seleccionar archivo' button and a status 'Ningún archivo seleccionado'. There are 'Actualizar' and 'Borrar' buttons at the bottom.

Aforo (aplica para manantiales, pozos y aljibes): solicita información relacionada con método medida de caudal (estimado, macromedidor, manómetro, micromedidor, micromolinet, entre otros), volumen sistema de almacenamiento, tiempo de llenado y caudal estimado.



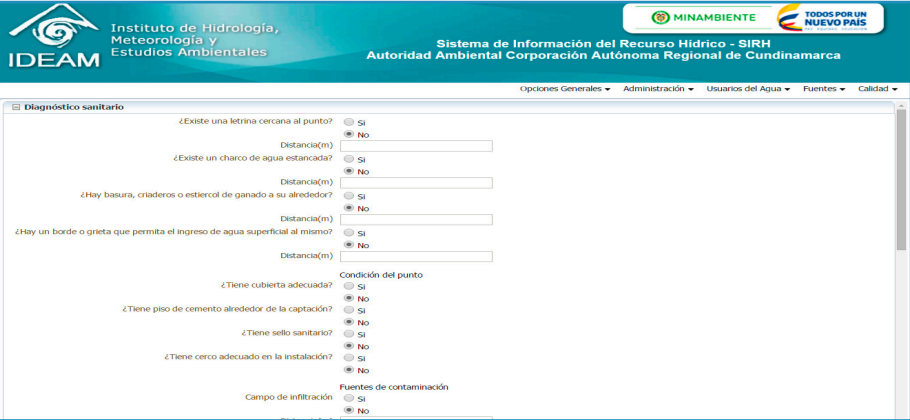
The screenshot shows the 'Aforo' form. It includes a 'Datos básicos' section with a dropdown for 'Método medida caudal' and input fields for 'Volumen sistema de almacenamiento (m3)', 'Tiempo de llenado (min)', and 'Caudal estimado (l/s)'. The 'Documentos' section has a 'Seleccionar archivo' button and a status 'Ningún archivo seleccionado'. 'Actualizar' and 'Borrar' buttons are at the bottom.

Construcción y diseño (aplica para pozos y aljibes): se presenta el formulario con campos de fecha de construcción, diámetros, materiales empleados, nombre de la compañía perforadora, profundidad, especificaciones del empaque de gravilla, construcciones adicionales y cargue de archivo del diseño del pozo o aljibe en formato PDF.



The screenshot shows the 'Construcción y diseño' form. It contains multiple sections: 'Fecha de construcción' (date picker), 'Diámetro interior (Pul)', 'Diámetro exterior (Pul)', 'Diámetro de la perforación (Pul)', 'Material de revestimiento' (dropdown), 'Método de construcción' (dropdown), 'Compañía perforadora' (text), and several yes/no questions about casing and collapse. It also includes fields for 'Profundidad del entubado (m)', 'Profundidad de perforación (m)', 'Cantidad (m3)', 'Nivel Engravillado', 'Diámetro Promedio (mm)', 'Empaque de gravilla', and 'Construcciones adicionales' with checkboxes for 'Embase', 'Capacidad embalse (m3)', 'Tanque', 'Capacidad tanque (m3)', and 'Alberca'.

Diagnóstico sanitario (aplica para manantiales, pozos y aljibes): permite vincular información de las fuentes del punto de agua subterránea con el detalle de distancia.



The screenshot shows the 'Diagnóstico sanitario' form. It consists of a series of yes/no questions with distance input fields: '¿Existe una letrina cercana al punto?', '¿Existe un charco de agua estancada?', '¿Hay basura, criaderos o estiércol de ganado a su alrededor?', and '¿Hay un borde o grieta que permita el ingreso de agua superficial al mismo?'. It also includes questions about the condition of the point: '¿Tiene cubierta adecuada?', '¿Tiene piso de cemento alrededor de la captación?', '¿Tiene sello sanitario?', and '¿Tiene cerco adecuado en la instalación?'. Finally, it asks about 'Fuentes de contaminación' with options for 'Campo de infiltración'.

Explotación (aplica para pozos y aljibes): presenta el formulario de captura de información relacionada con el método de explotación, tipo de energía empleada, datos de la bomba, tubería descarga y presenta la opción de cargar archivos en formato PDF relacionados con prueba de bombeo, filtros y foto del pozo.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▼ Administración ▼ Usuarios del Agua ▼ Fuentes ▼ Calidad ▼

Todos los usuarios

Usuario : prueba

Predio : predio222

Concesión : prue

Captación : Fuente subterranea

Todos los Funnias

Datos técnicos del punto : Explotación

Explotación

Datos básicos

* Método de explotación

Seleccione ▼

* Tipo de energía

Seleccione ▼

Datos de la bomba

Clase

Modelo

Potencia (HP)

Profundidad succión (mt)

Tubería descarga

Diámetro (pulg)

Longitud (m)

Material

Documentos

Prueba bombeo

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Filtros

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Foto del pozo

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Actualizar

Borrar

Geofísica (aplica para pozos y aljibes): permite vincular los datos básicos de la medida, equipo utilizado, el tipo de registro, compañía ejecutora, resistividad al lodo, temperatura, profundidad y calidad del registro.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▼ Administración ▼ Usuarios del Agua ▼ Fuentes ▼ Calidad ▼

Todos los usuarios

Usuario : prueba

Predio : predio222

Concesión : prue

Captación : Fuente subterranea

Todos los Funnias

Datos técnicos del punto : Explotación

Geofísica

Datos básicos

* Fecha de la medida

Equipo utilizado

Tipo registro

Seleccione ▼

Compañía ejecutora

Resistividad al lodo (Ohm/m)

Temperatura Lodo (°C)

Profundidad del Registro (m)

Calidad del Registro

Registro geofísico (Capas acuíferas)

Documento

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Siguiente

Borrar

Geología y geomorfología (aplica para manantiales, pozos y aljibes): permite el ingreso de la información básica de localización topográfica, unidad geológica y la geoforma.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▼ Administración ▼ Usuarios del Agua ▼ Fuentes ▼ Calidad ▼

Todos los usuarios

Usuario : prueba

Predio : predio222

Concesión : prue

Captación : Fuente subterranea

Todos los Funnias

Datos técnicos del punto : Explotación

Geología y geomorfología

Datos básicos

Localización topográfica

Seleccione ▼

Unidad geológica

Características geomorfológicas

* Geoforma

Seleccione ▼

Descripción de litología

Registro o columna litológica

Documento

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Siguiente

Borrar

Manantial (aplica para manantiales): ingrese la información correspondiente al tipo de manantial (filtración, goteo, otro), permanencia (estacional, intermitente, otro), medio de surgencia (contacto, diaclasas, rasgo kárstico, otro) y observaciones requeridas.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones Generales ▼ Administración ▼ Usuarios del Agua ▼ Fuentes ▼ Calidad ▼

Todos los usuarios

Usuario : prueba

Predio : predio222

Concesión : prue

Captación : Fuente subterranea

Todos los Funnias

Datos técnicos del punto : Explotación

Manantial

Datos básicos

* Tipo

Seleccione ▼

* Permanencia

Seleccione ▼

* Medio de surgencia

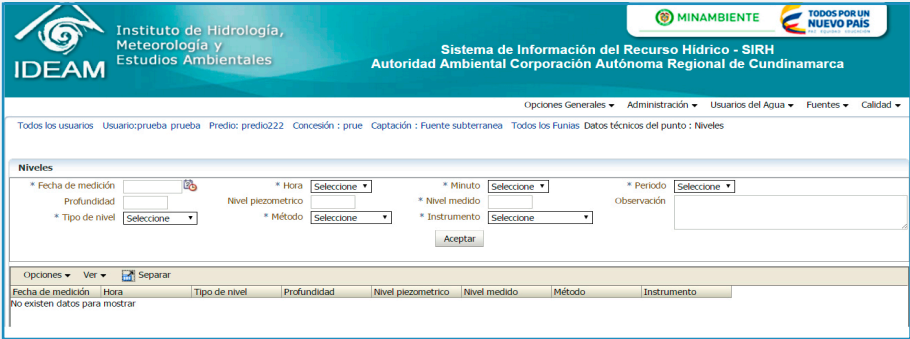
Seleccione ▼

Observaciones

Actualizar

Borrar

Niveles (aplica para pozos y aljibes): ingrese la información de fecha, hora de medición, profundidad, nivel piezométrico, nivel medido, tipo de nivel, método e instrumento empleado y de la opción “Aceptar”.

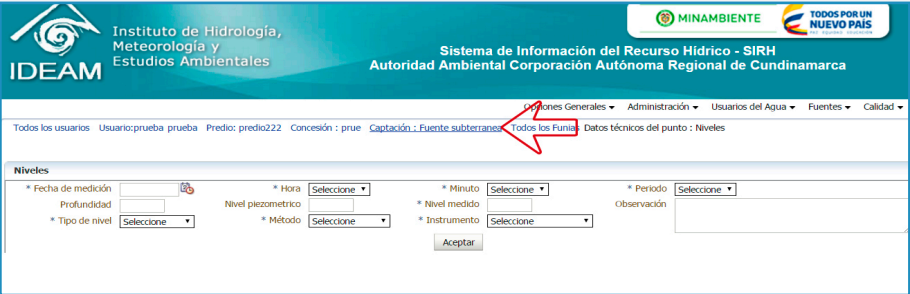


Ingrese las mediciones de niveles que sean necesarias. En caso de requerir editar los registros, seleccione el registro ingresado y en el menú “opciones” seleccione “consultar/editar”:



6.7.3. REGISTRO DE MEDICIONES DE CALIDAD ASOCIADAS A LA CAPTACIÓN

Con el menú superior de navegación, vuelva al formulario de registro de la captación:



Una vez en dicho formulario, seleccione “opciones” y, entonces, “adicionar calidad”:



El sistema le presentará el formulario general del punto de monitoreo, solicitando el nombre y tipo de punto (ocasional, periódico, única muestra).

The screenshot shows the 'Adicionar Punto de monitoreo' form in the IDEAM SIRH system. The header includes the IDEAM logo and the text 'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales' and 'Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH'. The form is divided into two main sections: 'Datos del Punto de monitoreo' and 'Localización del Punto de monitoreo'. The 'Datos del Punto de monitoreo' section contains fields for 'Nombre del punto' (PUNTO_CAPTACION_7030937_1), 'Tipo de punto' (Selecione), and 'Ubicación del punto' (En la captación). The 'Localización del Punto de monitoreo' section contains a table with fields for 'Departamento' (BOGOTÁ D.C.), 'Municipio' (BOGOTÁ D.C.), 'Área' (Magdalena Cauca), 'Zona' (Alto Magdalena), 'Subzona' (Río Bogotá), 'Fuente' (UBATE-CHINQUINQUIRA), and 'Tramo/Sector' (UBATE-CHINQUINQUIRA).

Luego aparecerá la información general del punto de monitoreo asociado a la captación, para poder vincular las muestras a través del menú opciones:

The screenshot shows the 'Detalle del Punto de monitoreo' form in the IDEAM SIRH system. The header includes the IDEAM logo and the text 'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales' and 'Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH'. The form is divided into two main sections: 'Datos del Punto de monitoreo' and 'Georreferenciación del Punto'. The 'Datos del Punto de monitoreo' section contains fields for 'Nombre del punto' (PUNTO_CAPTACION_7030937_1), 'Tipo de punto' (Única muestra), 'Ubicación del punto' (En la captación), 'Departamento' (BOGOTÁ D.C.), 'Municipio' (BOGOTÁ D.C.), 'Área' (Magdalena Cauca), 'Zona' (Alto Magdalena), 'Subzona' (Río Bogotá), 'Fuente' (UBATE-CHINQUINQUIRA), and 'Tramo/Sector' (UBATE-CHINQUINQUIRA). The 'Georreferenciación del Punto' section contains fields for 'Sistema de referencia' (Sistema GRS 1980 Magna Sirgas), 'Latitud' (Grados, Minutos, Segundos), and 'Longitud' (Grados, Minutos, Segundos). A red arrow points to the 'Adicionar Muestra' button in the 'Muestras Relacionadas' section.

El formulario de captura de información de las muestras está asociado al identificador de la muestra, tipo de muestra (simple, compuesta, integrada) y el nombre del laboratorio:

The screenshot shows the 'Adicionar Muestra' form in the IDEAM SIRH system. The header includes the IDEAM logo and the text 'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales' and 'Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH'. The form is divided into two main sections: 'Datos de la Muestra' and 'Laboratorio'. The 'Datos de la Muestra' section contains fields for 'Identificador de la Muestra' (empty), 'Tipo de Muestra' (Selecione), and 'Nombre del Laboratorio' (Selecione). The 'Laboratorio' section contains a list of laboratories: ACUAMBIENTE LTDA., ACUAMBIENTE LTDA., ACUATEST S.A., ACUAZUL LTDA., ADA & LIMITADA, AIR CLEAN SYSTEMS S.A., AIRE VERDE LTDA., ALBIO S.A.S., AMBIELAB LIMITADA, AMBIENTEC INGENIEROS SAS, AMBIENTE Y GESTIÓN S.A.S., AMBITEST LTDA., ANALISIS AMBIENTAL LTDA., ANALIZAR LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO LTDA., ANALTEC LABORATORIOS, ANASCOL S.A.S., ANTEK S.A., AQI CONSULTORES AMBIENTALES, and AQUALIM - SQR CONSTRUCCIONES & CONSULTORÍAS LTDA.

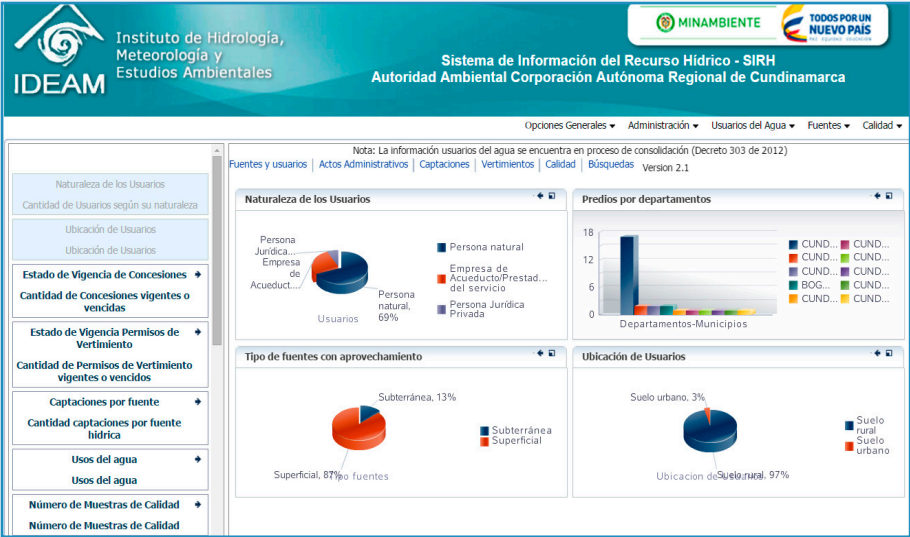
Por último se presenta el formulario de parámetros fisicoquímicos que podrán ser vinculados al sistema, seleccionando las opciones de parámetro, unidad de medida, signo, valor, método de determinación y límite de detección. Allí se registra mediante la opción “adicionar”, para todos los parámetros que registrar. Luego se da clic en finalizar para guardar finalmente la información.

The screenshot shows the 'Adicionar Parámetros Físicoquímicos' form in the IDEAM SIRH system. The header includes the IDEAM logo and the text 'Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales' and 'Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH'. The form is divided into two main sections: 'Parámetros Físicoquímicos' and 'Finalizar'. The 'Parámetros Físicoquímicos' section contains a table with columns for 'Parámetro', 'Signo', 'Método de determinación', 'Límite de detección', and 'Acreditado'. The 'Finalizar' section contains a green 'Finalizar' button.

6.8. CONSULTAS

CIFRAS:

Esta versión del SIRH ofrece opciones de consulta desde su página inicial, donde se presenta una amplia posibilidad de cifras que dan cuenta del estado de los usuarios del agua en la jurisdicción de una autoridad ambiental. En el gráfico a continuación se presenta el conjunto de recuadros que permiten ver cifras de interés.



Las categorías disponibles son:

Usuarios y predios: permite conocer el número de usuarios registrados en el sistema.

Actos administrativos: permite ver el estado de vigencia de concesiones y permisos de vertimiento.

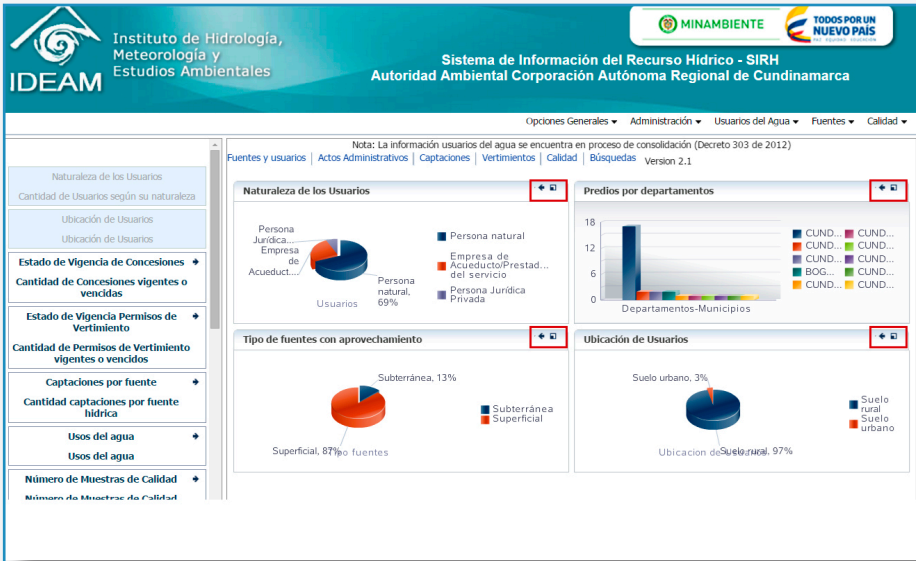
Captaciones: permite conocer el número de captaciones inventariadas por región y por fuente.

Vertimientos: permite conocer el número de vertimientos inventariados por región y por fuente.

Parámetros de calidad: permite ver el comportamiento de un parámetro durante el tiempo en un determinado punto de monitoreo.

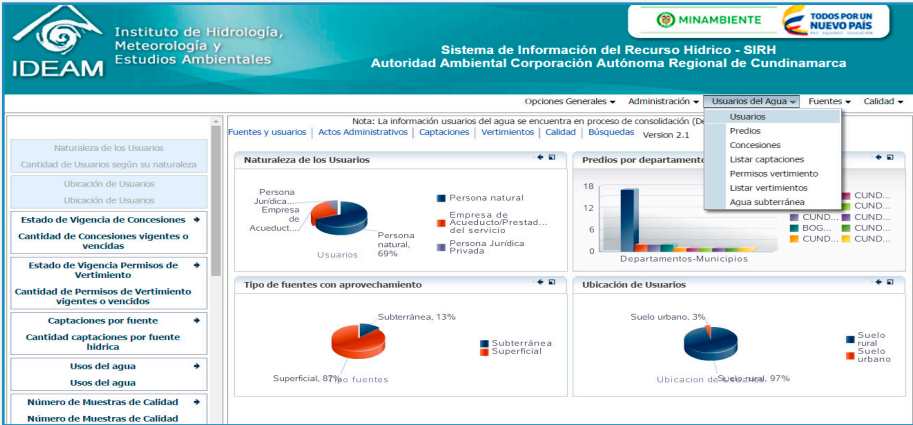
Muestras: permite ver cómo se han realizado campañas de monitoreo de calidad en un fuente para un año determinado

Para ampliar el tamaño de una cifra y leer mejor las cifras graficadas, dé clic en la esquina superior derecha de cada recuadro:



6.8.1. CONSULTAR USUARIOS Y PREDIOS

Dé clic en el menú “Usuarios del agua”, opción “Usuarios o Predios”. El sistema le presentará una tabla de resultados en la cual debe seleccionar el nombre del usuario y el nombre del predio para obtener un reporte en PDF. Adicionalmente, la información de usuarios y predios, se comportan como enlaces y permiten ingresar a la información de interés.



Seleccione el usuario y a través del menú “opciones” dé clic sobre imprimir/exportar. El sistema le presentará un reporte en PDF que deberá ser remitido como soporte del desarrollo de la actividad.



The screenshot shows the 'Busquedas de usuarios del agua' search results table. The table has columns for 'Identificación', 'Apellidos', 'Nombres', 'Departamento', 'Municipio', 'Dirección', 'Teléfono', and 'Email'. A red box highlights the 'Opciones' menu, which includes 'Adicionar', 'Consultar / Editar', 'Imprimir / Exportar', and 'Ver errores'. The table lists various users, including 'MARIA CECILIA GONZALEZ CEPEDA' (highlighted in red) and 'JAIINE MORA MORALES'.

6.8.2. CAPTACIONES SUBTERRÁNEAS

Dé clic en el menú “Usuarios del agua”, opción “Agua Subterránea”. El sistema le presentará una tabla de resultados con el nombre del usuario, el nombre del predio y el número del expediente. Estos atributos se comportan como enlaces y permiten ingresar a la información de interés.



INSTITUTO DE HIDROLOGIA,
METEOROLOGIA Y ESTUDIOS

Sistema de Información del Recurso Hídrico

Registro de Usuarios del Agua

Información del Usuario

NIT. 830.000.602-5

Calle 25D N.96B-70 ,

Tel. (+57)(1)3 52 71 60

www.ideam.gov.co

Información del usuario

Identificación	Nombre	Apellido
Cédula de Ciudadanía - 28475217	MARIA CECILIA	GONZALEZ CEPEDA
Dirección	Teléfono	Tipo de Usuario
Finca la florida-vereda calandaima	3107663920	Persona natural
Actividad CIU		Email

Predio La Florida

Cédula Catastral	Matrícula Catastral	Tipo de suelo	
00-01-0015-0028000	null	Suelo rural	
Dirección		Departamento	Municipio
Vereda Calandaima, Vereda San José		CUNDINAMARCA	TIBACUY
Sistema de Referencia	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Sistema GRS 1980 Magna	4º20'26"	-74º28'35"	1.513
Observaciones			



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones GeneralesAdministraciónUsuarios del AguaFuentesCalidad

Captaciones subterráneas

DepartamentoSeleccióne

MunicipioSeleccióne

UsoSeleccióne

ÁreaSeleccióne

ZonaSeleccióne

SubzonaSeleccióne

FuenteSeleccióne

Provincia hidrogeológicaSeleccióne

OpcionesVerSeparar

Número	Usuario	Predio	Cédula catastral	Número de expediente	Tipo captación	Tipo punto	Provincia hidrogeológica	Pertenece a la Red nacional	Latitud	Longitud
1	prueba prueba	predio222	1000	prue	Fuente subterránea	Manantial		Si	8° 8' 8.0"	-78° 8' 8.0"

El sistema le permitirá exportar la información en Excel:



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones GeneralesAdministraciónUsuarios del AguaFuentesCalidad

Captaciones subterráneas

DepartamentoSeleccióne

MunicipioSeleccióne

UsoSeleccióne

ÁreaSeleccióne

ZonaSeleccióne

SubzonaSeleccióne

FuenteSeleccióne

Provincia hidrogeológicaSeleccióne

OpcionesVerSeparar

Imprimir / Exportar

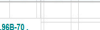
Buscar

Número	Usuario	Predio	Cédula catastral	Número de expediente	Tipo captación	Tipo punto	Provincia hidrogeológica	Pertenece a la Red nacional	Latitud	Longitud
1	prueba prueba	predio222	1000	prue	Fuente subterránea	Manantial		Si	8° 8' 8.0"	-78° 8' 8.0"



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico
Registro de Usuarios del Agua
Captaciones Subterráneas



Opciones GeneralesAdministraciónUsuarios del AguaFuentesCalidad

Captaciones subterráneas

DepartamentoSeleccióne

MunicipioSeleccióne

UsoSeleccióne

ÁreaSeleccióne

ZonaSeleccióne

SubzonaSeleccióne

FuenteSeleccióne

Provincia hidrogeológicaSeleccióne

OpcionesVerSeparar

Número	Usuario	Predio	Cédula catastral	Número de expediente	Tipo captación	Tipo punto	Provincia hidrogeológica	Pertenece a la Red nacional	Latitud	Longitud
1	prueba prueba	predio222	1000	prue	Fuente subterránea	Manantial		Si	8° 8' 8.0"	-78° 8' 8.0"

6.8.3. VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN

Con el fin de facilitar el control de información registrada en el sistema por parte de la autoridad ambiental competente, usted podrá consultar a través de la opción “Administración”, “Validación de Información”:



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca



Opciones GeneralesAdministraciónUsuarios del AguaFuentesCalidad

Captaciones subterráneas

DepartamentoSeleccióne

MunicipioSeleccióne

UsoSeleccióne

ÁreaSeleccióne

ZonaSeleccióne

SubzonaSeleccióne

FuenteSeleccióne

Provincia hidrogeológicaSeleccióne

OpcionesVerSeparar

Bandeja de Entrada RUA

Validación de Información

Número	Usuario	Predio	Cédula catastral	Número de expediente	Tipo captación	Tipo punto	Provincia hidrogeológica	Pertenece a la Red nacional	Latitud	Longitud
1	prueba prueba	predio222	1000	prue	Fuente subterránea	Manantial		Si	8° 8' 8.0"	-78° 8' 8.0"

El reporte le permitirá tener el valor total de registros de usuarios, predios, concesiones y permisos de vertimiento, así como el registro de error y su porcentaje. En este sentido, se tiene la posibilidad de visualizar la información que presenta error para su respectiva verificación.

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Sistema de Información del Recurso Hídrico - SIRH
Autoridad Ambiental Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

MINAMBIENTE

Opciones Generales ▼ Administración ▼ Usuarios del Agua ▼ Fuentes ▼ Calidad ▼

Totales de Errores/requerimiento de ajuste

Categoría	Título	Total Registros	Registros Error	Porcentaje Error
Fuentes	Fuentes sin información de longitud en los tramos	73	40	54.0 %
Fuentes	Fuentes sin delimitación de tramos	73	30	41.0 %
Usuarios del Agua	Usuarios sin información de dirección de correspon...	29	0	0.0 %
Usuarios del Agua	Usuarios de naturaleza jurídica sin información de r...	9	0	0.0 %
Usuarios del Agua	Usuarios sin predios asociados	29	0	0.0 %
Predios	Predios sin matrícula inmobiliaria	29	21	72.0 %
Predios	Predios sin información sobre Clasificación del Suelo	29	0	0.0 %
Predios	Predios sin información de coordenadas geográficas	29	9	31.0 %
Predios	Predios sin información de actos administrativos as...	29	0	0.0 %
Concesiones	Concesiones sin información de resolución de aprob...	29	3	10.0 %
Concesiones	Concesiones sin información de resolución de aprob...	29	4	13.0 %
Concesiones	Concesiones sin información de captaciones asociadas	29	1	3.0 %
Concesiones	Concesiones sin información de caudal concesionado	29	0	0.0 %
Captaciones	Captaciones sin información de oferta total de la fu...	29	13	44.0 %
Captaciones	Captaciones sin información de oferta disponible de...	29	29	100.0 %
Captaciones	Captaciones sin información de caudal de diseño	29	3	10.0 %
Captaciones	Captaciones sin información de usos	29	2	6.0 %
Permisos de verti...	Permisos sin información sobre Resolución Inicio Tr...	1	1	100.0 %
Permisos de verti...	Permisos de vertimiento asociadas a empresas de s...	0	0	0.0 %
Permisos de verti...	Permisos sin información de resolución de aprobaci...	1	0	0.0 %
Permisos de verti...	Permisos sin información de resolución de aprobación...	1	1	100.0 %
Permisos de verti...	Permisos de vertimiento sin asociar vertimientos	1	0	0.0 %
Permisos de verti...	Permisos de vertimiento sin información de caudal ...	1	0	0.0 %
Vertimientos	Vertimientos sin información de caudal de diseño d...	1	0	0.0 %
Calidad	Puntos de monitoreo sin información de muestras a...	13	5	38.0 %
Calidad	Muestras de calidad de agua sin información de ca...	10	0	0.0 %
Calidad	Muestras de calidad de agua sin información de par...	10	0	0.0 %

Detalle Errores/requerimiento de ajuste

Fila	USUARIO	PREDIO	NUM_EXPEDIENTE
1	ASOCIACION DE P...	PARCELACION RI...	22318.0
2	COMITÉ ADMINIS...	SAN LUIS LA SOLE...	6129.0
3	JOSE RAUL CRUZ ...	parte resultante lo...	25784.0
4	NATIVIDAD ROME...	Los Puentes	36258.0
5	CESAR IGNACIO M...	Piedra Grande	36282.0
6	luisa senteno	finca la esperanza	e450
7	prueba prueba	predio222	prue
8	INVERSIONES MA...	URBANIZACIÓN C...	7802.0
9	JORGE DINAEL PI...	BELLAVISTA	31521.0
10	LUZ ANGELA DIAZ...	El Mirador	36785.0
11	HUMBERTO CHAV...	La reserva	29907.0
12	ANA MARIA Y MAR...	el retiro	22630.0
13	NANCY DAVEIBA G...	Lote No 3	37353.0
14	ASOCIACIÓN DE U...	EL CRUCERO- EL ...	5620.0
15	NORMA LUCIA AN...	andalucia	27044.0
16	ADRIANA ROCIO ...	Parcela 23 A	36698.0
17	ACUALCOS E.S.P-...	LA FORTUNA	1982.0
18	MAGDALENA BRAS...	ARANQUEZ Y LA S...	25730.0
19	MARTHA CECILIA ...	FINCA VILLA MAR...	26344.0
20	J.A.C VEREDA SEC...	LA CHUCUA	25938.0
21	J.A.C VEREDA LA ...	VEREDA LA RAMADA	3056.0
22	ANGELA VARGAS ...	BOSQUE DE MARIA	35562.0
23	FABIO ALBERTO C...	Lote	39021.0
24	JAIME LOPEZ	33Lote 5	36589.0
25	J.A.C VEREDA FRA...	LA ALSACIA	27982.0
26	J.A.C VEREDA LOS...	PALO GRANDE	10252.0
27	DANIEL ANDRES S...	Potosi	29401.0
28	MARIA CECILIA G...	La Florida	36587.0

Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA). (2008). Isótopos Ambientales en el ciclo hidrológico. IHP-V N° 32, AIEA. 588 pp.

Appelo, C. y Postma, D. (1993). *Geochemistry, Ground-water and Pollution*. Balkema, 536 p.

Benítez, A. (1963). *Captación de aguas subterráneas. Dossat*. Madrid, p. 137.

Betancur, T. (2008). *Una aproximación al conocimiento de un sistema acuifero tropical*. Caso de estudio: El Bajo Cauca Antioqueño. Trabajo de tesis para optar el título de doctorado. Universidad de Antioquia, Medellín, 227 p.

Campillo, A. (2012). *Orígenes de la recarga de los acuíferos del valle de Aburrá: Enfoque geoquímico e isotópico*. Informe para optar título de máster de Investigación Agua y Medio Ambiente. Universidad Montpel-lier II. 53 p.

Carrillo, J., Cardona, A., Huizar, R y Graniel, E. (2007). Response of the interaction between groundwater and

other components of the environment in Mexico. *Environmental Geology*.

Custodio, E. y Llamas M. (2001). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona. 2 Vol. 1-2350 (2ª. Ed.).

Freeze, R.A. y Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. (Pren-tice-Hall, Englewood USA).

Foster, S., Garduño, H., Kemper, K., Tuinhof, A., Nanni, M. y Dumars, C. (2006). *Protección de la calidad del agua subterránea definición de estrategias y establecimiento de prioridades*. Banco Mundial. 6 p.

Geotec (1988). Mapa Geológico de Colombia, Escala 1:1.200.000, Bogotá.

Herczeg y Edmundo. (2001). Inorganic ions as tracers. Enviromental tracersin subsufa hydrology. *Kluwer Academia Publishers*, Boston. Pp 31-78.

Huguett, A. et ál. (1989). Mapa hidrogeológico de Co-lombia. Escala 1:2.500.000. Memoria explicativa. [Publi-cación especial]. Bogotá: Ingeominas.

IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM (2013). *Aguas subterráneas en Colombia: una visión general*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

Ingeominas (1989). Mapa Hidrogeológico de Colombia. Escala 1:2.500.000. Bogotá.

Ingeominas (2004). *Programa de exploración de aguas subterráneas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas. 42 p.

Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (1995). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Recuperado en <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/lib43.htm> [3 de septiembre de 2011].

ITGE. (1971). Programa Nacional de Investigación Minera. Mapa hidrogeológico de España. Escala 1:50.000. from http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/libro31/pdf/lib31/1_int.pdf

ITGE (1987). Mapa de normas de explotación de acuíferos. Escala 1:50000. Madrid. Recuperado en http://aguas.igme.es/igme/publica/libros2_TH/libro31/pdf/lib31/1_int.pdf [23 de octubre de 2012]

Keith D. y Mays L. (2005). *Groundwater Hydrology*. Third Edition. Jhon Wiley and Sons, Inc. 636 p.

Meinzer, O. (1923). The occurrence of ground water in the United States with a Discussion of Principles. *Geological Water-Supply Paper* 489. 321 p.

Mazor, E. (2004). Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology. Marcel Decker. New York. 453 p.

Scientific Sotfware Group (1998). AquaChem Description. Recuperado en http://www.ground-watermodels.com/products/aquachem_details/aquachem_details.html [2 de junio de 2013].

OMM. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Suiza. 460 p.

Tóth, J. (1995). Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *Hydrogeology Journal*, 3(4): 4-16.

UPME (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión: utilización de la energía geotérmica documento descriptivo. Bogotá. 50 p.

Unesco. (2006). 2º Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del Mundo: “El agua una responsabilidad compartida”. Disponible en: www.unesdoc.unesco.org/images0014/001144409s.pdf

Vargas, N. O. (2001). Mapa Hidrogeológico de Colombia. Escala 1:1.200.000. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Vélez, M. (2011). *Hidráulica de Aguas Subterráneas*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Escuela de Geociencia y Medio Ambiente. Tercera Edición. 404 p.

USGS (2015). Disponible en: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>. Recuperado el 5 de agosto de 2015.

ANH. (2007). Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Bounderies an Petrolueum Geology, a New Proposal. 91 p.

Ecopetrol (1998). *Opportunities for hydrocarbon exploration and production in Colombia*. Bogotá.

Etayo, F., D. Barrero, y otros (1983). Mapa de Terrenos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas, 14(1):235.

Geotec (1988): Mapa Geológico de Colombia, Escala 1:1.200.000, Bogotá.

IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM (2013). *Aguas Subterráneas en Colombia: una visión general*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales.

Ingeominas (2004). *Programa de exploración de aguas subterráneas*. Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). 42 p.

Vargas, N. O. (2001). Mapa Hidrogeológico de Colombia. Escala 1:1.200.000. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D. C.

Carder. (2007). *Plan de manejo integrado de aguas subterráneas en Pereira*. Pereira.

Carder. (2013). *Aspectos generales de aguas subterráneas. Modelos Conceptual Acuífero Pereira y Dosquebradas*. Presentación para la Red Básica Nacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas.

Celedón, E. (octubre de 2013). Monitoreo y gestión del agua. *Vertiente 14:* (2-7). Revista de la ALHSUD, capítulo chileno.

Coralina (junio de 2013). *Red de monitoreo del recurso hídrico*. Presentación para la Red Básica Nacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas.

Coralina (s. f.). *Plan de manejo de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés 2000-2009*. San Andrés Isla.

CVC. (2013a). *Seguimiento y monitoreo del recurso hídrico subterráneo en el departamento del Valle del Cauca*. Red Básica Nacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas.

CVC. (2013b). *Red de monitoreo de fuentes potenciales de contaminación*. Presentacion para Red Básica Nacional de Monitoreo de Aguas Subterráneas.

European Communities. (2007). *WFD CIS Document No. 15. Guidance on groundwater monitoring*. Luxemburgo.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). *Protección de la calidad del agua subterránea*. Washington D.C: Banco Munidal-Groundwater manan-
gement advisory team (GW-MATE).

Fretwell, B., Short, R., & Sutton, J. (2006). *Guidance on the desing and installation of groundwater quality monitoring points*. Bristol: Environment agency UK.

(2000). *Guidelines on monitoring and assessment of transboundary groundwaters*. Lelystad: UN/ECE Task Force on Monitoring & Assessment.

Haener, P. (octubre de 2013). Cómo mejorar la gestión de datos del agua. *Vertiente* - Revista de la ALHSUD capítulo chileno, pp. 16-20.

IDEAM (2014 SP). *Protocolo de monitoreo del agua subterránea*. Bogotá, D. C, Colombia: IDEAM.

IGRAC (2006). *Guideline on: Groundwater monitoring for general reference purposes*. Utrecht: International Groundwater Resources Assessment Centre/IGRAC.

Musikar, R. (2002). Redes caulitativas de seguimiento de las aguas subterráneas. *Groundwater and Human Development*.

Páez, G. I. (2004). *Las aguas subterráneas, importancia y perspectivas en el Valle del Cauca*. Cali, Colombia.

Páez, G. I. (2009). El monitoreo de las aguas subterráneas frente al cambio climático en el Valle del Cauca (Colom-

bia). En Agua (2009): La gestión integrada del recurso hídrico frente al cambio climático. Cali.

Páez, G. I. (2013). (D. T. CVC, Ed.) Obtenido de http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/tecnicana-agua-para-riego-gipo-2013.pdf

Páez, G. I., & Medina, G. (2006). Hidrogeoquímica e isotopia de los acuíferos en la zona sur del departamento del Valle del Cauca (Colombia). Cali: CVC. Obtenido de http://www.cvc.gov.co/portal/images/CVC/Recurso_Hidrico/agua_subterranea/calidad_de_agua/Hidrogeoquimica%20e%20isotopia%20de%20los%20acuíferos%20en%20la%20zona%20sur%20del%20departamento%20del%20Valle%20del%20Cauca%20Colombia.pdf

Peralta, F. (octubre de 2013). Juntas de vigilancia y comunidades de aguas subterráneas. *Vertiente - Revista de la ALHSUD capítulo Chileno. Edición 14*, 38-39.

Quintana, C. F. (2008). *Estrategias y métodos de monitoreo de aguas subterráneas. Curso de aguas subterráneas*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.

Taylor, C. J., & Alley, W. M. (2002). *Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data (Vol. 1217)*. Denver: Geological Survey (USGS).

Uil, H., Van Geer, F., Gehrels, J., & Kloosterman, F. (1999). *State of the art on monitoring and assessment of groundwaters*. Delf, Holanda: UN/ECE Task Force on Monitoring & Assessment.

UNAL (2010). *Modelación del acuífero San Andrés Islas. Proyecto INAP-Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Facultad de Minas.

Vargas, N. O. (2001). *Propuesta para la formulación, diseño e implementación de la Red Básica Nacional de seguimiento y muestreo de aguas subterráneas*. Bogotá, D. C: IDEAM.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D. C.; Viceministerio de Ambiente, Dirección de Ecosistemas, Grupo de Recurso Hídrico.

Programa Nacional de Aguas Subterráneas (PNASUB) (2014). *Un camino estratégico para la gestión de un recurso invisible*. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Vélez Otálvaro, María Victoria, Otálvaro Hoyos, Doris Liliana, Navarro Cuervo, Luz Francy. *Guía metodológica*

para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014.

IDEAM (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*, Bogotá, D. C. (Colombia). Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, noviembre de 2013, Bogotá, D. C., Colombia.

IDEAM (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua*. Bogotá, D. C. 276 pp.

Buitrago Aguirre, Claudia Liliana, Hernández Atilano, Esnedy, Brijaldo Flechas, Nubia Jazmín et ál. (2014). *Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico*. Pineda González Claudia Patricia (Directora). Minambiente. - Dirección Integral del Recurso Hídrico; Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 58 p.



www.imprenta.gov.co
PBX (0571) 457 80 00
Carrera 66 No. 24-09
Bogotá, D. C., Colombia

