



El ambiente
es de todos

Minambiente



Campaña de Monitoreo en el Cesar - ANLA



Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua de la CAS. Fase de planificación y formulación.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM

SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA
GRUPO DE EVALUACIÓN HIDROLÓGICA
Acuerdo 04 Ecopetrol

Fecha entrega: 18/04/2023

2023





Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua de la CAS. Fase de planificación y formulación.

	Versión	Nombre	Cargo	Fecha
Autor(es)	1.0	Laura García Rivas Laura Marcela Lopera Ana Karina Campillo	Contratista IDEAM	18/04/2023
Revisó		Ana Karina Campillo	Contratista IDEAM	18/04/2023
Aprobó		María Costanza Rosero	Coordinadora Grupo Evaluación	18/04/2023



Tabla de Contenidos

Introducción	11
1. Antecedentes	13
2. Metodología para la formulación del PIRMA de la CAS	13
3. Marco de referencia para el PIRMA	14
3.1. Conceptos básicos del monitoreo del recurso hídrico	14
3.1.1. <i>El ciclo hidrológico como base para el monitoreo</i>	15
3.1.2. <i>La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)</i>	16
3.1.3. <i>Monitoreo del agua y del recurso hídrico</i>	17
3.2. Marco normativo de la CAS para el monitoreo del recurso hídrico	19
4. Componente estratégico del PIRMA	24
4.1. Objetivos de monitoreo integral del recurso hídrico en la CAS	31
4.2. Síntesis de la Matriz de Marco Lógico	31
5. Componente programático del PIRMA	33
5.1. Diagnóstico del sistema de monitoreo hidrometeorológico y de calidad de agua superficial de la CAS respecto al diseño de la red regional elaborado por el IDEAM	33
5.1.1. <i>Redes y puntos de monitoreo hidrometeorológico existentes en el área de interés</i>	33
5.1.2. <i>Redes y puntos de monitoreo de calidad existentes en el área de interés</i>	45
5.1.3. <i>Redes y puntos de monitoreo de cantidad y calidad del agua subterránea existentes en el área de interés</i>	49
5.1.4. <i>Diagnóstico del flujo de los datos e información de monitoreo en la CAS</i>	49
5.1.4.1. <i>Diagnóstico del flujo de la información en la CAS</i>	49
5.1.4.2. <i>Diagnóstico del uso de portales web para la divulgación de la información del monitoreo</i>	50
5.2. Diseño de la red hidrometeorológica y de calidad de agua superficial y del agua subterránea de la CAS	53
5.2.1. <i>Diseño de la red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS</i>	53
5.2.1.1. <i>Análisis realizado para el diseño de la red</i>	57
5.2.1.2. <i>Propuesta de red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS</i>	69
5.2.2. <i>Diseño de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial de la CAS</i>	84
5.2.3. <i>Diseño de la red regional de monitoreo de agua subterránea en la CAS</i>	96
5.2.3.1. <i>Priorización de acuíferos en el área de jurisdicción de la CAS</i>	99
5.2.3.2. <i>Propuesta de red de monitoreo regional del agua subterránea en la CAS</i>	107
5.2.3. <i>Gestión de la información de monitoreo del recurso hídrico superficial en la CAS</i>	125



6.	Componente tecnológico del PIRMA.....	132
6.1.	Componente tecnológico para el monitoreo de cantidad de aguas superficiales.....	132
6.1.1.	<i>Componentes estaciones hidrológicas y meteorológicas automáticas</i>	132
6.1.2.	Equipamiento de monitoreo hidrometeorológico complementario.....	136
6.1.3.	Infraestructura de la red	138
6.2.	Componente tecnológico para el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales.....	140
6.2.1.	<i>Nuevas tecnologías para incluir en el Plan de Investigación del PIRMA de la CAS</i>	140
6.2.1.1.	<i>Uso de drones para el monitoreo de calidad de las aguas</i>	140
6.2.1.2.	<i>Imágenes de sensores remotos para la evaluación de la calidad del agua</i>	141
6.2.1.3.	<i>Automatización del monitoreo de la calidad del agua</i>	143
6.2.2.	<i>Equipos para el monitoreo de la calidad del agua</i>	146
6.3.	Componente tecnológico para el monitoreo de las aguas subterráneas.....	147
6.3.1.	<i>Equipos para el monitoreo piezométrico</i>	147
6.3.2.	<i>Equipos para el monitoreo hidrogeoquímico y de calidad</i>	150
6.3.3.	<i>Equipos para el monitoreo isotópico de la precipitación</i>	152
7.	Componente financiero del PIRMA	154
7.1.	Objetivos del Plan de Financiamiento	154
7.2.	Metodología	154
7.3.	Resultados de la Evaluación Financiera	155
7.3.1.	<i>Costos del PIRMA</i>	155
7.3.2.	<i>Costos del resultado 1</i>	157
7.3.3.	<i>Costos del resultado 2</i>	157
7.3.4.	<i>Costos del resultado 3</i>	167
7.3.5.	<i>Costos del resultado 4</i>	168
7.4.	Fuentes de financiamiento del PIRMA.....	168
7.4.1.	<i>Recursos propios</i>	169
7.4.2.	<i>Recursos Decreto 1900 de 2006</i>	171
7.4.3.	<i>Recursos de la Nación</i>	172
7.4.4.	<i>Cooperación internacional</i>	177
7.5.	Estrategia de financiamiento del PIRMA de la CAS.....	179
8.	Estrategias adicionales para la implementación del PIRMA	182
8.1.	Esquema organizacional para el monitoreo integral del agua en la CAS.....	182
8.2.	Diseño plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica.....	183



8.3. Diseño e implementación de la estrategia de comunicación y difusión de los datos de monitoreo	183
CONSIDERACIONES FINALES	185
Anexos.....	187
Anexo 1. Documento de la fase de planificación del PIRMA	187
Anexo 2. Memoria_taller_monitoreo del agua_23_06_2021.....	187
Anexo 3. Memoria_taller_rediseño red hidrometeorológica_22_02_2022	187
Anexo 4. Memoria_taller_validación del diseño red hidrometeorológica.....	187
Anexo 5. Síntesis de los puntos de monitoreo de calidad del agua superficial preexistentes	187
Anexo 6. Estaciones la red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS	187
Anexo 7. Validación de estaciones de la red hidrometeorológica	187
Anexo 8. Formatos monitoreo de cantidad	187
Anexo 9. Diseño de la red de calidad_09_06_2022.....	187
Anexo 10. Soportes Diseño de la red de aguas subterráneas_19_10_2021	187
Anexo 11. Soportes_validación puntos red de aguas subterráneas_24_11_22	187
Anexo 12. Base de datos FUNIAS de los puntos existentes de la red de aguas subterráneas	187
Anexo 13. Análisis previos al diseño de la red pluviométrica de referencia de la CAS	187
Anexo 14. Especificaciones técnicas monitoreo cantidad agua superficial.....	187
Anexo 15. Soportes del componente financiero.....	187
Anexo 16. Detalle del costo de las redes de monitoreo	187
Bibliografía.....	188

Índice de figuras

Figura 1. Hoja de Ruta sintetizada para la construcción del PIRMA de la CAS	14
Figura 2. Esquematación del ciclo hidrológico (UNESCO, 2006).....	15
Figura 3. Tipos de redes de monitoreo según la cobertura y competencia institucional. Fuente: (Vargas, 2001) Tomado de (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021).....	18
Figura 4. Distribución de las estaciones activas de la Red Nacional IDEAM.....	35
Figura 5. Estaciones activas de otras entidades en jurisdicción de la CAS	40
Figura 6. Metodología empleada para el rediseño de la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS en el Convenio entre el MADS y el IDEAM.....	43
Figura 7. Propuesta de rediseño de la red hidrometeorológica de la CAS en el marco del convenio MADS-IDEAM, 2012	44
Figura 8. Puntos de monitoreo de la red de referencia nacional operada por el área operativa 08 del IDEAM. Fuente: IDEAM, 2020	46



Figura 9. Mapa con los puntos de monitoreo de calidad del agua presentes en la jurisdicción de la CAS.	48
Figura 10. Acceso a Servicios de información del Portal web de la CAS Fuente: (CAS, 2021)	51
Figura 11. Ventana del visor geográfico de la CAS.....	51
Figura 12. Ventana del visor geográfico de la CAS.....	53
Figura 13. Estructura piramidal de la OMM para el diseño de redes de monitoreo (OMM, 2020).	54
Figura 14. Elementos para el análisis y rediseño de redes de monitoreo hidrometeorológico. Modificado de (OMM, 2020).	55
Figura 15. Metodología implementada para el diseño de la red.....	56
Figura 16. Priorización de áreas de monitoreo a partir de taller con la CAS.....	58
Figura 17. Segundo taller realizado con la CAS.....	59
Figura 18. Zonas priorizadas en las diferentes subzonas hidrográficas a partir de talleres con las CAS	59
Figura 19. Varianza de la precipitación y la temperatura	61
Figura 20. Distribución altitudinal de las estaciones de precipitación en el área de jurisdicción de la CAS	62
Figura 21. Distribución altitudinal de las estaciones con relación al área	63
Figura 22. Zonificación según el relieve - área de jurisdicción de la CAS.....	64
Figura 23. Radios de acción de la red actual de estaciones de precipitación	66
Figura 24. Taller de validación 1	67
Figura 25. Taller de validación 2.....	68
Figura 26. Taller de validación 3.....	68
Figura 27. Propuesta de diseño para la red de referencia de monitoreo hidrometeorológico de la CAS	69
Figura 28. Diseño de la red hidrometeorológica de referencia CAS	70
Figura 29. Validación en campo de los sitios nuevos de la red hidrometeorológica	73
Figura 30. Proceso de implementación de la red 2023 - 2029.....	78
Figura 31. Estaciones sedimentos Subzonas hidrográficas CAS	81
Figura 32. Procesos de producción de sedimentos SZH río Opón (ENA, 2018).....	82
Figura 33. Procedimiento para el diseño de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.	84
Figura 34. Ubicación de los puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial del PIRMA de la CAS.....	87
Figura 35. Ubicación de los puntos de monitoreo de la red de referencia regional del PIRMA de la CAS.	93
Figura 36. Metodología para la definición de la red de monitoreo de aguas subterráneas.	97
Figura 37. Sistemas acuíferos identificados en la zona de estudio.....	100
Figura 38. Geología del área de estudio (Tomado del SGC planchas 108, y 96).....	105
Figura 39. Modelo Geológico 3D del área de estudio (Fuente: Tomado Ecopetrol, 2021).....	106
Figura 40. Modelo Geológico 3D del área de estudio (Fuente: Tomado y modificado de MEGIA, 2021).....	106
Figura 41. Mapa utilizado para la definición de zonas prioritarias de monitoreo en la jurisdicción de la CAS	109
Figura 42. Procedimiento para la selección de los puntos que conformarán la red de monitoreo de aguas subterráneas para el Acuífero del Valle Medio del Magdalena en jurisdicción de la CAS.....	110



Figura 43. Red de monitoreo regional de aguas subterráneas en la CAS con profundidad de captación inferior a los 40 m.	114
Figura 44. Red de monitoreo regional de aguas subterráneas en la CAS con profundidad de captación entre 40 y 185 m.	117
<i>Figura 45. Distribución espacial de los totalizadores de agua lluvia instalados por Ecopetrol e Ideam</i>	118
Figura 46. Zonas seleccionadas para los diferentes parámetros de calidad del agua subterránea para los puntos con captación de agua menor a los 40 m de profundidad	122
Figura 47. Zonas seleccionadas para los diferentes parámetros de calidad del agua subterránea para los puntos con captación de agua mayor a los 40 m de profundidad	123
Figura 48. Flujo de los datos e información del monitoreo integral del agua en la CAS. Fuente: adaptado de CAM & Herencia Hídrica (2020).....	126
Figura 49. Esquema conceptual para la generación de productos a partir de los datos del monitoreo del agua.....	127
Figura 50. Componentes de las estaciones automáticas (Ejemplo de estación climatológica). Fuente: (IMTA, 2015).....	133
Figura 51. Medios de transmisión de datos. Fuente: (IDEAM & INVEMAR, 2021).....	135
Figura 52. Mira limnimétrica. Fuente: (IDEAM & INVEMAR, 2021)	137
Figura 53. Correntómetro o molinete	137
Figura 54. Perfilador ADCP	138
<i>Figura 55. Síntesis de principales fases para la instalación y funcionamiento de estaciones hidrológicas y meteorológicas</i>	139
Figura 56. Metodología general de correlación de variables de calidad de agua e imágenes satelitales. Fuente: IDEAM & ECOPETROL (2021).....	142
Figura 57. Esquema de una Estación de Alerta Automática de la Red Española. Fuente: MITECO, 2022.....	145
Figura 58. Esquema general de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del agua en el río Cauca con boya de sensores. Fuente: Landazábal, 2017.	146
Figura 59. Totalizador para recolectar agua lluvia	153

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados del PIRMA con sus respectivos indicadores verificables.....	32
Tabla 2. Inventario de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM en jurisdicción CAS.....	34
Tabla 3. Variables monitoreadas actualmente en cada SZH	37
Tabla 4. Beneficios de la integración de redes (IDEAM & UNGRD, 2018)	38
Tabla 5. Estaciones de otras entidades en la jurisdicción de la CAS.....	38
Tabla 6. Estaciones del IDEAM y otras entidades por SZH	39
Tabla 7. Distribución por tipo de estación	41
Tabla 8. Distribución de las estaciones por entidad.....	42
Tabla 9. Puntos de monitoreo de la red de referencia nacional de calidad del agua en el área de jurisdicción de la CAS.	45
Tabla 10. Recuento de puntos de monitoreo por subzonas hidrográficas.....	47
Tabla 11. Número óptimo de estaciones y radio de acción por SZH	65
Tabla 12. Estaciones nuevas y a repotenciar propuestas para la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS	71



Tabla 13. Variables y frecuencia de medición para las diferentes estaciones de la red	73
Tabla 14. Año de implementación de las estaciones	77
Tabla 15. Localización, transporte de sedimentos y rendimiento para las estaciones localizadas en las subzonas hidrográficas de interés. Fuente: ENA, 2018.....	80
Tabla 16. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (km ² por estación) (OMM, 2011).....	83
Tabla 17. Número de estaciones de sedimentos por SZH.....	83
Tabla 18. Puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.....	85
Tabla 19. Coincidencia entre los puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS y los puntos pre-existentes de IDEAM y CAS	88
Tabla 20. Red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.	90
Tabla 21. Documentación necesaria para asegurar la operación de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial.....	95
Tabla 22. Acuíferos identificados en la zona. Fuente: ENA (2014).....	99
Tabla 23. Puntos seleccionados para la red de monitoreo con profundidad de captación inferior a los 40 m.....	112
Tabla 24. Puntos que conforman la red de monitoreo de aguas subterráneas con captación superior a los 40 m de profundidad.	115
Tabla 25. Parámetros a medir en los monitoreos hidrogeoquímicos y de calidad	121
Tabla 26. Parámetros a medir en el laboratorio considerando la actividad potencialmente contaminante asociada	121
Tabla 27. Características principales de algunos instrumentos para la medición de niveles piezométricos.....	148
Tabla 28. Características principales de algunos instrumentos para los monitoreos hidrogeoquímicos y de calidad.....	151
Tabla 29. Costos de los resultados del PIRMA de la CAS.....	156
Tabla 30. Costos anualizados de los resultados del PIRMA (cifras en millones de pesos)	156
Tabla 31. Costos del resultado 1 (MML)	157
Tabla 32. Costos del resultado 2	157
Tabla 33. Costos proyectados a 2023 de los componentes de las estaciones hidrológicas	158
Tabla 34. Costos proyectados a 2023 de los componentes de las estaciones meteorológicas	159
Tabla 35. Costo unitario de los equipos complementarios 2023 para el monitoreo hidrometeorológico	159
Tabla 36. Costos de inversión Anual 2023-2032 (Cifras en millones de \$COP)	159
Tabla 37. Costos unitarios de mantenimiento de la red de monitoreo hidrometeorológico	160
Tabla 38. Costos de operación y mantenimiento anual 2023-2032 (Cifras en millones de \$COP) ..	160
Tabla 39. Costos de personal de la red de monitoreo hidrometeorológico (Cifras en millones de pesos)	160
Tabla 40. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS (Cifras en millones de \$COP)	161
Tabla 41. Costo Anual Red de monitoreo hidrometeorológico.....	161
Tabla 42. Costos de inversión en equipos de la red de referencia regional de la calidad del agua (Cifras en millones de pesos).....	162



Tabla 43. Número de puntos de monitoreo a monitorear cada año de implementación del PIRMA	162
Tabla 44. Valores unitarios de los análisis de laboratorio requeridos. Se muestra el costo de cada monitoreo en cada punto (Cifras en millones de pesos)	163
Tabla 45. Valor anual del total de monitoreos requeridos cada año de acuerdo al diseño de la red de referencia regional de calidad del agua (Cifras en millones de pesos)	163
Tabla 46. Costos de adquisición de insumos para la implementación la red de referencia regional de calidad del agua (Cifras en millones de pesos)	163
Tabla 47. Costos de personal de la red de referencia regional de la calidad del agua (Cifras en millones de pesos)	164
Tabla 48. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de referencia regional de calidad del agua de la CAS (Cifras en millones de \$COP)	164
Tabla 49. Costo de inversión para la compra de equipos para la operación de la red de aguas subterráneas	165
Tabla 50. Costo de inversión para la perforación de pozos, nivelación y pruebas de bombeo en pozos	165
Tabla 51. Costos de operación de la red de aguas subterráneas (cifras en millones de pesos COP)	166
Tabla 53. Costos de personal de la red de referencia regional del agua subterránea (Cifras en millones de pesos COP)	166
Tabla 54. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de referencia regional de aguas subterráneas de la CAS (Cifras en millones de \$COP)	167
Tabla 54. Costo de del Resultado 3-MML	167
Tabla 55. Costo de del Resultado 4-MML	168
Tabla 56. Síntesis del financiamiento por sobretasa ambiental	169
Tabla 57. Síntesis del financiamiento por contribución del sector eléctrico	170
Tabla 58. Síntesis del financiamiento por tasas y derechos administrativos	171
Tabla 59. Síntesis del financiamiento por medio de los recursos del decreto 1900 de 2006	171
Tabla 60. Síntesis del financiamiento por medio de los recursos del presupuesto general de la nación	172
Tabla 61. Síntesis del financiamiento por medio del sistema general de regalías (SGR)	173
Tabla 62. Síntesis del financiamiento por medio del Fondo Nacional Ambiental (FONAM)	177
Tabla 63. Síntesis del financiamiento por medio de cooperación internacional	177
Tabla 64. Costos Programa 3.1.2.3 PGAR asociadas al PIRMA	179
Tabla 65. Costos posibles a financiar con Recursos Propios	180
Tabla 66. Costos posibles a financiar por Gastos de Funcionamiento	180
Tabla 67. Escenario 1 Costos posibles a financiar por Gastos de Inversión (Cifras en millones de pesos)	181
Tabla 68. Escenario 2 Costos posibles a financiar por Gastos de Inversión (Cifras en millones de pesos)	181



GLOSARIO DE SIGLAS

ANLA: autoridad nacional de licencias ambientales

CAM: corporación autónoma regional del alto magdalena

CAS: corporación autónoma regional del Santander

CO: climatológica ordinaria

CP: climatológica principal

CORTOLIMA: corporación autónoma regional del Tolima

COSUDE: cooperación Suiza

CORPOAMAZONIA: corporación autónoma regional del Amazonas

GIRH: Gestión Integral del Recurso Hídrico

IDEAM: instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MML: matriz de marco lógico

LG: Limnigráfica

PG: pluviográfica

PGAR: plan de gestión ambiental regional

PIRMA: Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua

PM: pluviométrica

PNMRH: programa nacional de monitoreo del recurso hídrico

POMCA: plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas

PORH: plan de ordenación del recurso hídrico

SIRH: sistema de información del recurso hídrico

SOMV: sistema de observación, medición y vigilancia

SZH: subzona hidrográfica



Introducción

La Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS) en 2010 establece, dentro de su “Objetivo 3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico” la estrategia 3.3 “Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua”, la cual se orienta a mejorar las prácticas y herramientas de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, como medio para realizar una gestión eficiente del agua y medir el logro de los objetivos y metas de la Política Nacional para la GIRH. Para tal fin se prevén diferentes líneas de acción estratégicas entre las que se encuentra “Formular e implementar el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico (PNMRH).”

Aunque este PNMRH se concibió en el ámbito de la calidad del agua, un análisis posterior determinó que el programa debía ser concebido a nivel del monitoreo integral del agua.

Este programa fue desarrollado por el IDEAM junto con la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá a través del contrato interadministrativo 266 de 2015. Desde ese momento, se han llevado a cabo diferentes reuniones y mesas técnicas al interior del MADS, con el fin de integrar tanto las aguas continentales, como las aguas marino-costeras en el programa nacional. De acuerdo con la última versión del PNMRH de 2021 y su Línea de Acción 3.2. “Implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento de las autoridades ambientales regionales como responsables del monitoreo del recurso hídrico en sus áreas de jurisdicción”, las Autoridades Ambientales Regionales deben formular e implementar sus programas institucionales regionales de monitoreo del agua (PIRMA). Las autoridades ambientales incluyen las Corporaciones Autónomas Regionales y las Unidades Ambientales Urbanas en sus respectivas jurisdicciones (Artículo 17 del Decreto 1640).

El PIRMA se constituye como el documento rector que establece el qué hacer en monitoreo del agua en una región. El PIRMA orienta e integra estrategias y acciones, para mejorar la generación de información y conocimiento para la gestión integral del agua en la jurisdicción de la Autoridad Ambiental en concordancia con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y su Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico.

En este sentido, el PIRMA, busca fortalecer las capacidades regionales para el monitoreo del recurso hídrico, las redes de monitoreo y los procesos de flujo de información, incluyendo la transferencia de información y conocimiento a los actores institucionales, académicos, gremiales y a la población en general, para la adecuada toma de decisiones.

En este sentido, y con el fin de comenzar a implementar actividades del PNMRH relacionadas con el fortalecimiento institucional de las entidades regionales, La Embajada de Suiza en Colombia – Ayuda Humanitaria y Desarrollo Sostenible en el marco del convenio con IDEAM, formuló en 2018 el proyecto “Fortalecimiento del monitoreo de la cantidad y la calidad del agua mediante el desarrollo de un programa institucional regional diseñado con una Autoridad Ambiental Regional y el IDEAM” para el cual la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM fue seleccionada como autoridad ambiental beneficiaria.



Así, desde 2019 y con el acompañamiento de MADS, IDEAM, COSUDE y Herencia Hídrica (operador técnico de COSUDE), la CAM ha realizado la planificación y formulación del PIRMA y, actualmente, está comenzando con la implementación del programa.

Continuando con este proceso de avance en los Programas Institucionales Regionales de Monitoreo del Agua en las autoridades ambientales regionales, se realizó el acompañamiento por parte de IDEAM y Comunica Colombia a Corpoamazonía y por parte de IDEAM y COSUDE a CORTOLIMA y Corpochivor, con el fin de construir una hoja de ruta para la planificación y formulación del PIRMA con base al proceso piloto desarrollado en la CAM. Finalmente, la CDMB avanza en la formulación de su PIRMA.

Bajo este mismo horizonte, en el marco del convenio con Ecopetrol, se busca realizar este tipo de acompañamiento a la Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, por medio del acuerdo AC-4, con el fin de realizar la “Actualización y Seguimiento de la Línea Base Ambiental Hidrológica y de Calidad del Agua Superficial del Valle Medio del Magdalena – VMM”. El acuerdo busca generar el conocimiento sobre el estado y dinámica del recurso hídrico superficial en esta zona del país y evaluar las condiciones de calidad y presión sobre el recurso. Igualmente, tiene como propósito fortalecer las capacidades institucionales de la Corporación Autónoma Regional del Santander (CAS), por medio de la formulación del Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua-PIRMA-.

Para la construcción del PIRMA de la CAS, se establecieron tres fases, teniendo como con base el piloto de la CAM, las cuales se relacionan a continuación:

- **Planificación:** en esta fase se construye el diagnóstico del monitoreo integral del agua para lo cual se realizan diferentes talleres al interior de la corporación como son el taller de análisis de la situación actual y el estado del monitoreo integral del agua, el taller de análisis de actores y el taller de análisis de problemas y alternativas de solución. Adicionalmente, se realizan otros talleres para la construcción final de la Matriz de Marco Lógico y su Plan Operativo que son los principales productos de esta fase. Además, se desarrolla el Sistema de Seguimiento y Evaluación del PIRMA y se estiman los costos asociados a las actividades de la matriz.
- **Formulación:** en esta fase se construye el Programa, documento PIRMA, con sus cuatro componentes: Estratégico, Programático, Tecnológico y Financiero. El programático es el componente más técnico ya que incluye el diseño del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia de las diferentes temáticas identificadas (agua superficial cantidad, agua superficial calidad, aguas subterráneas, sedimentos, etc.), su articulación con el Sistema de Información y la definición de la plataforma de comunicación y difusión de la información asociada con el monitoreo del agua.
- **Implementación:** esta fase será desarrollada con base a lo construido en el PIRMA y su horizonte de tiempo será el indicado en el programa y definido en la fase de planificación.

Bajo este contexto, se presenta documento final como resultado de la fase de planificación y formulación realizadas en el año 2021 y 2022 respectivamente.



1. Antecedentes

El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico -PNMRH en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico, busca orientar e integrar estrategias y acciones en el ámbito nacional y regional, para mejorar la generación de conocimiento e información, que permitan definir el estado, la dinámica y el impacto que pueda tener el recurso hídrico.

Referente a lo anterior, el IDEAM como entidad encargada de implementarlo, ha venido fortalecimiento en los últimos años las acciones necesarias para la generación de información y conocimiento, investigación e innovación, fortalecimiento de las capacidades nacionales y regionales, difusión de la información, y finalmente fortalecimiento institucional y normativo. Dentro de las que se destacan las acciones, mencionadas previamente, de acompañamiento a las autoridades ambientales regionales para la planificación, formulación e implementación de los PIRMA como son CAM, CAS, Corpoamazonía, Corpocaldas, Cortolima, CDMB y Corpochivor.

A la fecha de este informe, se han llevado a cabo diferentes reuniones y los talleres de análisis de capacidad institucional, análisis de actores, análisis de problemas y alternativas de solución, y matriz de marco lógico y hoja de ruta. Todos estos talleres y reuniones se han llevado a cabo con participación de las Subdirecciones de Planeación, Oferta y Autoridad Ambiental de la CAS y los profesionales de IDEAM. Igualmente se cuenta con un diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas, una propuesta inicial de la red hidrometeorológica y una propuesta de sistema de información.

2. Metodología para la formulación del PIRMA de la CAS

Teniendo como referente el proceso de construcción del PIRMA en la CAM como piloto a nivel nacional, el programa para la CAS se está construyendo con la hoja de ruta indicada y considerando las lecciones aprendidas en el proceso de la CAM (Figura 1).



Figura 1. Hoja de Ruta sintetizada para la construcción del PIRMA de la CAS

Así, se han realizado los talleres de análisis de capacidad institucional, análisis de actores, análisis de problemas y alternativas de solución, y matriz de marco lógico y hoja de ruta con el equipo de la CAS. Estos talleres han permitido obtener los insumos necesarios para el diagnóstico del estado del monitoreo integral del agua en la jurisdicción de la corporación, así como la construcción de la Matriz de Marco Lógico (MML) y el Plan Operativo Integrado (POI) de la CAS con su evaluación financiera. Adicionalmente, se ha construido una propuesta de Sistema de Seguimiento y Evaluación (SSE) del PIRMA.

Igualmente cabe mencionar que ya se han desarrollado actividades de la fase de formulación como las propuestas de la red de aguas subterráneas, del sistema de información y de la red hidrometeorológica. Estos insumos han servido para realizar una evaluación financiera del POI más detallada y exhaustiva.

Así se ha concluido con la fase de planificación del PIRMA en la CAS y se ha dado comienzo a la fase de formulación en la que se desarrollarán los componentes estratégico, programático, tecnológico y financiero del programa.

3. Marco de referencia para el PIRMA

Con el fin de establecer las bases conceptuales y normativas para el PIRMA, se realiza una síntesis de los conceptos básicos del monitoreo del recurso hídrico de acuerdo con el PNMRH (MADS & IDEAM, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Por publicar) y el piloto de PIRMA en la CAM (CAM, 2020), así como de la normatividad vigente relacionada con el monitoreo y los programas regionales de monitoreo.

Este marco de referencia sirve como base para el desarrollo del PIRMA desde su fase de planificación.

3.1. Conceptos básicos del monitoreo del recurso hídrico



La implementación del PIRMA requiere del conocimiento previo de unos conceptos básicos, el cual tiene como eje transversal el ciclo hidrológico, incluyendo las posibles interrelaciones que puedan establecerse en los diferentes componentes. Adicionalmente, es necesario considerar otros conceptos y premisas relacionadas con los resultados de capacitación, investigación, comunicación y difusión.

3.1.1. El ciclo hidrológico como base para el monitoreo

El ciclo hidrológico se define como la “sucesión de fases por las que pasa el agua en su movimiento de la atmósfera a la Tierra y en su retorno a la misma: evaporación del agua del suelo, del mar y de las aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o en masas de agua y reevaporación” (OMM, 2012). Se constituye como un modelo básico para entender el funcionamiento de los sistemas hídricos. Las principales variables naturales de los procesos del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y transpiración. Las actividades humanas (localización de asentamientos humanos, industria, ganadería, agricultura, entre otros) pueden alterar los componentes del ciclo natural mediante afectaciones del uso del suelo y a través de la utilización, reutilización y vertido de residuos en los recorridos naturales de los recursos hídricos superficiales y subterráneos (UNESCO, 2006). (Figura 2).

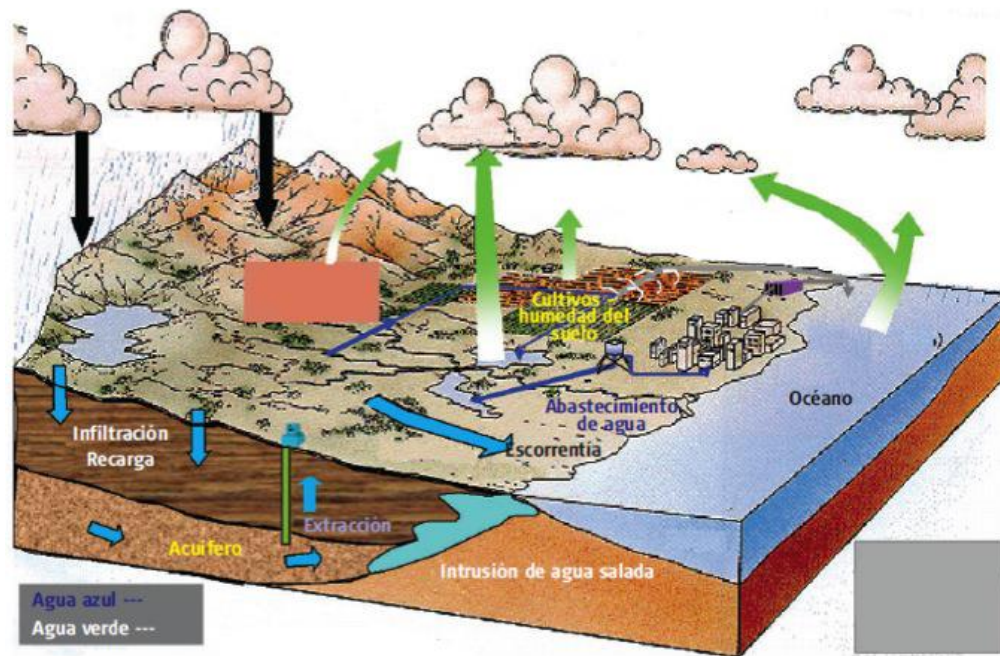


Figura 2. Esquematización del ciclo hidrológico (UNESCO, 2006)

Dentro de los procesos más importantes en el ciclo del agua se encuentran la evaporación, transpiración, precipitación, escorrentía e infiltración. La evaporación corresponde al proceso mediante el cual el agua se incorpora a la atmósfera por acción combinada de las condiciones de presión de vapor y temperatura. Se presenta con mayor intensidad en los océanos, es la principal fuente de agua que ingresa a la atmósfera y proporciona alrededor del 90 % de su humedad (USGS, 2022). La transpiración, a su vez, comprende el agua en fase líquida que incorporan las plantas en sus procesos metabólicos, para luego disponerla en la atmósfera



en forma gaseosa a través de sus estomas. El total de agua que se reincorpora a la atmósfera por estos dos procesos anteriores, se reconoce de manera indistinta como evapotranspiración. Una vez en la atmósfera, el agua se moviliza a su alrededor y se presenta en forma de nubes, que corresponden a la expresión física de la condensación de vapor de agua en forma de gotas microscópicas. Estas gotas, ya en estado líquido, alcanzan su punto a v E de saturación, colisionan, se adhieren y ganan peso hasta producir la precipitación por acción de la gravedad. Este proceso se da con mayor frecuencia en la zona continental que en los océanos, donde es mayor la evaporación, y constituye el principal medio por el cual el agua retorna a la tierra (USGS, 2022). El agua dulce que cae en estado líquido o sólido (nieve, granizo o en forma de condensación, como neblina y rocío) puede escurrir a través de la superficie por quebradas y ríos (escorrentía superficial) hasta llegar al mar, o infiltrarse en el subsuelo para alimentar unidades de roca y sedimento que constituyen acuíferos o sistemas acuíferos en los cuales el agua fluye en respuesta al gradiente hidráulico de la zona saturada (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021).

Los balances y procesos dentro del ciclo hidrológico están determinados por los cambios espaciales y temporales de sus variables, los cuales deben ser objeto de permanente y sistemático monitoreo. Este seguimiento de variables permite reconocer la respuesta hidrológica de las masas de agua a las intervenciones antrópicas, variabilidad y cambio climático y otros factores que afectan sus dinámicas. En otras palabras, se debe propender por un monitoreo integral del agua y los sistemas hídricos para entender su funcionamiento y anticiparse a escenarios no deseados que puedan afectar el abastecimiento, la seguridad alimentaria, la seguridad energética y los servicios ecosistémicos. La integración y coordinación de las actividades de monitoreo de la precipitación, de las aguas superficiales y subterráneas se recomiendan con base en el reconocimiento de que el ciclo hidrológico es la base conceptual para la estrategia del manejo integrado del recurso hídrico (CAM, 2020).

3.1.2. *La Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH)*

En paralelo al ciclo hidrológico, es fundamental tener en cuenta el concepto de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH). Este paradigma, base de la política pública del agua en Colombia, se entiende como "un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la Tierra y otros recursos relacionados" (Global Water Partnership, 2011). Expresado de otra manera, se trata de un proceso de cambio que busca transformar los sistemas insostenibles de desarrollo y gestión de los recursos hídricos sobre la base de promover enfoques intersectoriales y superar la fragmentación en la gestión del agua.

Este propósito lleva implícitos cambios en las formas tradicionales de monitoreo e invita a trabajar nuevos enfoques integrales en donde participen actores institucionales, gremiales y sociales de manera articulada. Supone, además, ampliar y fortalecer los dominios temáticos y los ámbitos de monitoreo incorporando nuevas tecnologías que —con base en la automatización de procesos, el *big data*, los sensores remotos y los modernos enfoques de manejo y gestión de información— fortalecen la confiabilidad de los datos, su oportunidad e interoperabilidad y la información.

Entendido en este contexto, el PIRMA debe permitir el acceso oportuno y la sistematización de datos e información de redes a nivel nacional, regional y local. Esto supone importantes beneficios para la planificación y la administración del recurso hídrico, y para la gobernanza del agua en el área de jurisdicción de la CAM, además de una posibilidad real de anticiparse a eventos climáticos o de tipo antrópico que puedan afectar los



sistemas hídricos del departamento del Huila. Desde luego, los alcances del PIRMA deben estar alineados con las funciones y competencias de la CAM y sus capacidades de interrelacionamiento con otras instituciones, gremios y organizaciones sociales que compartan responsabilidades o intereses en el monitoreo y seguimiento del agua y el recurso hídrico del departamento, así como con la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico, en la cual el acceso a la información y la investigación es un principio esencial.

3.1.3. Monitoreo del agua y del recurso hídrico

Tomando como referente el documento del piloto del PIRMA en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM, 2020), se sintetizan los conceptos relacionados con el monitoreo y se incorporan nuevos conceptos relacionados con los flujos de información.

En términos generales, el monitoreo del agua se entiende como un proceso sistemático, desarrollado en forma científica, que requiere continua supervisión e incluye observaciones, medición directa y remota de variables de cantidad y calidad, y análisis estandarizados de estas variables (Vrba, J & Soblsek, P, 1988). El monitoreo permite, básicamente:

- Colectar, procesar y analizar los datos sobre la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas; se busca reconocer el estado y las tendencias a nivel de predicción hidrológica debidas a procesos naturales e impactos por actividad antrópica en tiempo y espacio.
- Proveer información para el mejoramiento de la planificación, la gestión y el diseño de políticas para la protección y conservación del recurso hídrico.

Además, el monitoreo contribuye al seguimiento de los procesos naturales, a la generación de información, al desarrollo de conocimiento, a la evaluación de la interacción del agua con los demás elementos y procesos de la naturaleza, y a la interpretación de las alteraciones que se generan por las actividades sociales y económicas.

El monitoreo del agua se realiza por medio del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia. Se entiende que el sistema de observación, medición y vigilancia ambiental del componente agua son las acciones, herramientas, métodos, protocolos, tecnologías y procesos implementados por los actores involucrados en el monitoreo y seguimiento al recurso hídrico. Comprende las mediciones en determinado punto del espacio y del tiempo, y se considera como el medio esencial sobre el cual se basan los demás métodos de obtención de la información lo cual resalta la importancia de la red de estaciones hidrológicas y meteorológicas y ambientales relacionadas con el agua (IDEAM, 2006). La otra forma de obtener información es a partir de observaciones por área o por volumen realizadas a partir de sensores remotos (MADS & IDEAM, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Por publicar).

En este sentido el sistema de observación, medición y vigilancia incluye, entre otros, el diseño de la red (puntos), áreas de observación y medición en función de los objetivos de monitoreo (variables, frecuencia, métodos, etc.); así como los mecanismos y protocolos de transmisión; instrumentos y métodos de observación; tratamiento de datos primarios y su ingreso al sistema de información (incluyendo análisis básico y control de calidad). La Red corresponde a la expresión física de la capacidad de observación, medición y vigilancia de las Autoridades ambientales competentes. Es la materialización del Programa de Monitoreo en los niveles nacional y regional por parte de los actores involucrados. Las redes pueden ser de ámbito nacional, regional y local (Figura 3).

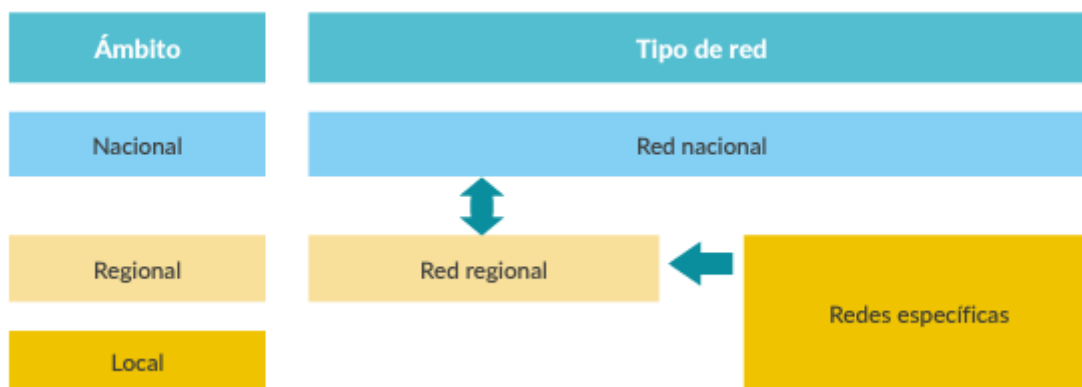


Figura 3. Tipos de redes de monitoreo según la cobertura y competencia institucional. Fuente: (Vargas, 2001) Tomado de (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021)

Las redes nacionales son redes de referencia cuyo objetivo es adquirir los datos representativos sobre las tendencias de largo plazo y las variaciones de las características cuantitativas (agua lluvia, niveles, caudales, sedimentos) y cualitativas (calidad, isotopía) en todo el país, que permitan la definición de políticas y planes de gestión integral del recurso hídrico de aplicación en todo el territorio nacional. Este nivel está en cabeza del MADS, con la participación de sus institutos nacionales adscritos, en especial IDEAM e INVEMAR que tienen que ver con el monitoreo del recurso hídrico. (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021)

Las redes regionales son aquellas redes de referencia operadas por las autoridades ambientales, con cobertura en sus áreas de jurisdicción, las cuales permiten tener información para cuantificar y administrar el recurso hídrico, comprender el estado de su calidad y gestionar su uso eficiente. Este tipo de redes obtienen datos precisos y detallados que pueden ser complementados con los datos básicos de la red nacional. Se consideran las redes hidrológicas, meteorológicas, además de las redes de aguas subterráneas y las redes de monitoreo de calidad del agua con parámetros tanto fisicoquímicos como hidrobiológicos, así como las de los ecosistemas especiales del área de su jurisdicción.

Las redes locales o específicas hacen referencia a aquellas que se encuentran ubicadas en zonas de influencia de proyectos específicos y obedecen a estudios sobre zonas particulares con necesidades de monitoreo puntuales; por lo tanto, son operadas por empresas que manejan proyectos hidroeléctricos, extracción minera o de hidrocarburos, sistemas de abastecimiento, entidades estatales, consultoras, entre otras. Adicionalmente, en esta categoría se agrupan las redes permanentes o transitorias que se ocupan de hacer seguimiento a variables que buscan brindar información sobre situaciones particulares (red de vertimientos, redes de estaciones de servicio, redes de isotopía, entre otras).

Finalmente, como concepto fundamental se encuentra el sistema de información del recurso hídrico, consistente en plataformas de integración tecnológica de información que permitan tener datos consolidados, ordenados, validados y dispuestos en diferentes tipos de reportes o servicios de consulta para convertirlos en información y luego transformarlos en conocimiento. Dichas plataformas tecnológicas o sistemas de información podrán integrar todo un portafolio de servicios de información ajustado a las necesidades, objetivos y propósitos de monitoreo planteados por cada institución competente. De igual forma buscarán la generación de servicios de consolidación, consulta y verificación de datos e información, así como servicios de análisis de información y



servicios de interoperabilidad con otros sistemas de información sobre el agua y el ambiente ((MADS & IDEAM, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Por publicar).

3.2.Marco normativo de la CAS para el monitoreo del recurso hídrico

De acuerdo con el artículo 23 de la Ley 99 de 1993, a las Corporaciones Autónomas Regionales, entre las que se encuentra la CAS, se les ha asignado la competencia de "administrar dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Ambiente" (Congreso de Colombia, 1993).

Entre las funciones —desarrolladas en el artículo 31 de la ley citada—, las que se relacionan a continuación se consideran relevantes y pertinentes para enmarcar las responsabilidades en el fortalecimiento institucional para la mejora del monitoreo integral del agua de la Corporación:

- Ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental definidos por la ley aprobatoria del Plan Nacional de Desarrollo y del Plan Nacional de Inversiones o por el Ministerio del Medio Ambiente
- Ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción.
- Promover y desarrollar la participación comunitaria en actividades y programas de manejo adecuado de los recursos naturales renovables.
- Promover y realizar —en conjunto con los organismos nacionales adscritos y vinculados al Ministerio del Medio Ambiente, y con las entidades de apoyo técnico y científico del Sistema Nacional Ambiental (SINA)— estudios e investigaciones en materia de medio ambiente y recursos naturales renovables.
- Otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que puedan afectar el medio ambiente.
- Otorgar concesiones para el uso de agua superficial y subterránea; fijar en el área de su jurisdicción los límites permisibles de descarga, y prohibir, restringir o regular vertimientos de sustancias causantes de degradación ambiental.
- Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de las actividades de exploración, explotación, transporte, uso y depósito de recursos naturales no renovables.
- Ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de usos del agua; lo cual comprende el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos, líquidos y gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el normal desarrollo sostenible de los recursos naturales renovables.
- Expedir las respectivas licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos.



- Ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción.
- Implantar y operar el Sistema de Información Ambiental en el área de su jurisdicción, de acuerdo con las directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente.
- Realizar actividades de "análisis, seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes".
- Promover y ejecutar programa de abastecimiento de agua a las comunidades indígenas y negras asentadas en el área de su jurisdicción en coordinación con las autoridades competentes.

De igual manera, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) asigna a las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), de manera explícita, el compromiso de monitoreo a través del Decreto 1323 de 2007, que en su artículo 9 ordena que:

Las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos, las creadas por el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Naturales del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial deberán realizar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico en el área de su jurisdicción, para lo cual deberá aplicar los protocolos y estándares establecidos en el SIRH. (MAVDT, 2007)

Además, el Decreto 1640 de 2012, en su artículo 16, establece: "El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico será implementado por el IDEAM y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar) en coordinación con las autoridades ambientales competentes". Y el mismo decreto, en el artículo 17, ordena: "La autoridad ambiental competente implementará en su respectiva jurisdicción, la red regional de monitoreo, con el apoyo del IDEAM e Invemar en el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico" (MADS, 2012)

De esta manera, se hace evidente la pertinencia de que todas las CAR diseñen e implementen programas de monitoreo que, en virtud de la Política Nacional para la Gestión Integral de Recurso Hídrico expedida por el MADS en el 2010, deben acogerse al enfoque integral al que nos hemos referido a lo largo de este capítulo. (MADS, 2010).

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por las Naciones Unidas, el PIRMA de la CAS se enfoca en el ODS 6 "Agua limpia y saneamiento". Dentro de este ODS hay definidas diferentes metas a las que el PIRMA aporta con la generación de conocimiento e información sobre los recursos hídricos, a saber:

- Meta 6.3 Mejorar la calidad del agua, la reutilización segura y eliminar su vertimiento: relacionada con el PIRMA por la implementación de la red regional de referencia de la calidad del agua superficial y la red de referencia regional de las aguas subterráneas.



- Meta 6.4 Aumentar el uso eficiente del agua y asegurar el abastecimiento de agua dulce: relacionada con el PIRMA por la implementación de la red regional de referencia de la calidad del agua superficial y la red de referencia regional de aguas subterráneas.
- Meta 6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos: el PIRMA tiene como marco conceptual la Gestión Integral del Recurso Hídrico, por lo que todo el desarrollo, formulación e implementación del programa se basa en la GIRH.
- Meta 6.6 proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua: el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia diseñado en el PIRMA busca generar el conocimiento y la información que permita, entre otros, identificar, proteger y restaurar los ecosistemas estratégicos.
- Meta 6-B Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento: desde la fase de planificación del PIRMA, en la Matriz de Marco Lógico se establecen actividades de Monitoreo Comunitario Participativo.

El PIRMA se relaciona con otros ODS de forma tangencial pero el foco está en el objetivo ODS 6 y las metas definidas.

En lo relacionado con la normatividad regional, conforme a lo establecido en el artículo 23 de la Ley 99 de 1993, la CAS ha desarrollado su propia normatividad, dentro de la cual se destacan funciones que se relacionan con el monitoreo del agua y el recurso hídrico. Estas funciones están distribuidas en la Subdirección de Planeación y Ordenamiento Ambiental, Subdirección de Autoridad Ambiental y Subdirección de Administración de la Oferta de los RRNN Disponibles.

En este sentido, y de acuerdo con el manual de funciones de la CAS (CAS, 2019), la subdirección de Planeación y Ordenamiento Ambiental está encargada de:

- Conocer el estado de los Recursos Naturales Renovables (RNR) mediante el procesamiento, análisis y proyección de la información de las redes de monitoreo y demás fuentes primarias y secundarias
- Realizar los estudios necesarios de conformidad con la información del monitoreo de los recursos naturales y el análisis de la información agregada de la vigilancia y seguimiento a los RNR
- Conocer y cuantificar la presión antrópica actual y potencial y sus efectos en los RNR y Ecosistemas
- Realizar análisis del riesgo ambiental a partir de la información histórica del conocimiento del estado de los RNR y sus dinámicas
- Realizar los estudios necesarios para la formulación y cofinanciación de programas y proyectos de recuperación, restauración, rehabilitación y conservación del recurso hídrico y de los ecosistemas que intervienen en su regulación
- Consolidar la información de campo primaria disponible en la CAS para formular y actualizar los POMCA's



- Realizar todos los estudios necesarios para ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas
- Realizar los estudios necesarios dentro de la Gestión Integral del Recurso Hídrico

La Subdirección de Autoridad Ambiental tiene las siguientes funciones relacionadas con el monitoreo:

- Dirigir y realizar el seguimiento al cumplimiento de los permisos, concesiones, autorizaciones y licencias otorgados o negados
- Ejecutar el Plan de Vigilancia de los RNR del territorio y seguimiento a los permisos, concesiones, autorizaciones y licencias otorgados o negados
- Ejercer las funciones de control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás RNR
- Ejecutar el plan de monitoreo de los predios adquiridos por la Corporación
- Realizar seguimiento del recurso hídrico en el área de jurisdicción, para lo cual deberán aplicar los protocolos y estándares establecidos en el SIRH como parte del SIA
- Realizar el seguimiento y control ambiental de la calidad del recurso hídrico, de los usos del agua y de los vertimientos

Finalmente, la Subdirección de Administración de la Oferta de los RRNN Disponibles tiene las siguientes funciones:

- Otorgar, negar o restringir los permisos, autorizaciones, concesiones y licencias
- Retroalimentar la planificación ambiental y la vigilancia y seguimiento de los RNR con la información detallada o agregada de los permisos, concesiones, autorizaciones y licencias
- Ejercer las funciones de evaluación ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás RNR
- Dirigir, controlar y supervisar la ejecución, programas y proyectos de desarrollo sostenible y de manejo, aprovechamiento, uso y conservación de los RNR

Adicionalmente, el manual de funciones (CAS, 2019) determina algunas funciones relacionadas con el monitoreo para las sedes regionales de la corporación:

- Coordinar, programar, ejecutar y supervisar las actividades técnicas y las actuaciones administrativas en relación con el uso, aprovechamiento y protección de los RRNN
- Participar en la realización de visitas técnicas ambientales para el otorgamiento o negación de permiso o autorización

Cabe mencionar que estas actividades del manual de funciones son una síntesis donde se han identificado las actividades directamente relacionadas con el monitoreo integral del agua, sin embargo, en el manual se



identifican actividades cuya correcta ejecución depende, en gran medida, de la información obtenida a través del monitoreo.

Adicionalmente, siguiendo las directrices del MADS, la Corporación debe contribuir con las metas globales de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y con las nacionales del Plan Nacional de Desarrollo (Departamento Nacional de Planeación, 2019), para lo cual es condición sine qua non, mantener un monitoreo permanente de los recursos naturales y, de manera particular, del recurso hídrico.

Finalmente, y por ello no menos importante, se relaciona el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH; (MADS & IDEAM, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Por publicar), el cual establece específicamente que las Autoridades Ambientales Regionales deben implementar acciones para consolidar el sistema de observación, medición y vigilancia -SOMV- continua y sistemática del agua (nacional y regional) con oportunidad y calidad al Sistema de información ambiental para Colombia (SIAC) y al Sistema de alertas tempranas (Estrategia 1). Además, se deberá formular y/o fortalecer los programas de monitoreo del recurso hídrico de las entidades competentes en el marco del sistema de observación y medición (Actividad 1.1.2).

El PNMRH establece que “Los programas de monitoreo del agua estarán compuestos por componentes estratégicos, programáticos, tecnológicos y financieros donde se definirán los objetivos y alcances de monitoreo, los diseños de las redes de observación, medición y vigilancia, las áreas de estudio, variables a medir y frecuencias, así como los recursos humanos e infraestructura física y tecnológica necesaria para el monitoreo, de igual forma allí definirán las tecnologías y métodos para la toma de datos, y los costos, fuentes y estrategias de financiamiento para su cumplimiento. Los PIRMA también tendrán en cuenta proyectos de formación y cualificación de personal en aspectos necesarios para la implementación del monitoreo del agua, así como proyectos de investigación necesarios para mejorar el conocimiento del agua en su jurisdicción”.

Igualmente, cabe mencionar que la Estrategia 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico establece que se deberán implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento de las autoridades ambientales regionales como responsables del monitoreo del recurso hídrico en sus áreas de jurisdicción. La meta de esta actividad es que “A diciembre de 2030, el 100% de las redes de monitoreo de las autoridades ambientales han sido implementadas de acuerdo con su Programa regional de monitoreo formulado y en marcha reportando a los usuarios información de referencia, pronósticos y alertas del recurso hídrico” ((MADS & IDEAM, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Por publicar), de donde se deduce que los PIRMA deben incluir, no solo el diseño del SOMV, sino también actividades de fortalecimiento institucional.

Teniendo en cuenta este marco de referencia, se procede a definir el componente estratégico y programático del PIRMA.



4. Componente estratégico del PIRMA

En este capítulo, se desarrolla el componente estratégico que, en esencia, es el pilar fundamental sobre el cual se formula el PIRMA, dado que sienta las bases, premisas y dominios sobre las cuales es posible construir los componentes programático y tecnológico de las actividades del monitoreo. Este capítulo parte de los conceptos básicos necesarios para comprender el componente estratégico planteado, marco normativo por el cual se rige la autoridad ambiental, presentados anteriormente.

El componente estratégico del PIRMA se construyó con los insumos obtenidos de la fase de planificación del PIRMA, incluyendo los talleres de análisis de las capacidades institucionales, análisis de actores, análisis de problemas y alternativas de solución, diseño de la red hidrometeorológica, flujo de la información del monitoreo y construcción del plan de capacitación de monitoreo integral del agua. Todos estos insumos permitieron la definición final de los objetivos y objetos de monitoreo, los cuales constituyen el alcance del componente estratégico.

Este componente define, de manera general, los objetos y los objetivos de monitoreo, lo que equivale a responder preguntas básicas que se pueden resumir así:

- ¿Qué monitorear?
- ¿Por qué monitorear?
- ¿Para qué monitorear?
- ¿Dónde monitorear?

A continuación, se da respuesta a estas preguntas, teniendo en cuenta, el trabajo realizado en la CAM como ejercicio piloto y los talleres realizados durante el año 2021, en la fase de planificación del PIRMA de la CAS.

La primera pregunta se refiere a lo que se debe monitorear en cada componente temático (cantidad aguas superficiales, calidad aguas superficiales, sedimentos, aguas subterráneas). La respuesta a la pregunta conlleva a identificar prioridades de monitoreo a partir de escenarios de diagnóstico, mapas de cartografía temática, actividades económicas y ecosistemas especiales. Se hace necesario definir criterios para la selección de zonas de monitoreo.

A continuación, se relacionan las necesidades de monitoreo identificadas para agua superficial cantidad y calidad, sedimentos y agua subterránea como base para definir las variables objeto de monitoreo.

- *Agua superficial cantidad*

En este componente se identifican necesidades de monitoreo del agua que permitan evaluar:

- Comportamiento y dinámica espaciotemporal de niveles y caudales en corrientes y cuerpos de aguas prioritarios para determinar la cantidad y variabilidad de la oferta, y la disponibilidad de agua superficial.



- Comportamiento de variables hidrológicas y meteorológicas en áreas vulnerables a avenidas torrenciales, crecientes súbitas, inundaciones, sequías y desabastecimiento por eventos extremos.
- Dinámica de variables hidrológicas en ecosistemas especiales objeto de restauración y conservación.
- Comportamiento de niveles y caudales de fuentes abastecedoras para consumo humano.

➤ *Agua superficial calidad*

Este componente supone disponer de información relacionada con:

- Comportamiento de variables fisicoquímicas e hidrobiológicas para evaluar el estado de las fuentes hídricas prioritarias en la jurisdicción de la CAS.
- Afectaciones de la calidad del agua por procesos productivos y extractivos.
- Vertimientos a cuerpos de agua.
- Comportamiento de variables fisicoquímicas e hidrobiológicas en fuentes abastecedoras.

➤ *Sedimentos*

Existe la necesidad de contar con información para:

- Conocer el comportamiento de sedimentos en eventos de inundación lenta, avenidas torrenciales y crecientes súbitas.
- Conocer los procesos de producción de sedimentos en la cuenca, considerando tanto el monitoreo de sedimentos en estaciones, como el monitoreo a partir de imágenes de satélite de erosión en la cuenca.
- Identificar metales pesados en sedimentos.

➤ *Aguas subterráneas*

En este componente es importante contar con información sobre:

- Comportamiento y evolución temporal de los niveles piezométricos.
- Composición fisicoquímica y de calidad del agua subterránea
- Riesgos de los sistemas hidrogeológicos.
- Identificación de sustancias contaminantes generadas por actividad antrópica en los sistemas acuíferos.
- Comportamiento espaciotemporal del flujo de aguas subterráneas.



La segunda pregunta se relaciona con los intereses y beneficios que las operaciones y resultados de monitoreo traen consigo. Tiene que ver con las expectativas de los diferentes usuarios tanto institucionales, como gremiales y sociales, para lo cual se trae a colación, el trabajo desarrollado en el piloto de la CAM. Al final, se esperan beneficios colectivos que favorezcan a todos los usuarios del agua en el departamento, con información confiable y oportuna para la resolución de conflictos ambientales y la generación de acciones y estrategias que propendan por la sostenibilidad del aprovechamiento y conservación del recurso hídrico.

Las operaciones de monitoreo generan beneficios a la sociedad que no suelen ser valorados. Sin embargo, se establece en publicaciones de la OMM y de otros actores que la relación costo-beneficio es de 1 a 6. Con base en evaluaciones económicas realizadas en diferentes partes del mundo (Lazo *et al.*, 2009). En los últimos años, las ventajas tecnológicas de acceso y uso de la información han propiciado beneficios en sectores económicos fundamentales, entre ellos, la agricultura y la seguridad alimentaria, la salud, la energía y la gestión de riesgos y desastres (OMM, 2015).

En términos generales, estos beneficios se pueden agrupar de manera cualitativa en tres ámbitos que se relacionan a continuación (Lazo *et al.*, 2009):

Social:

- Prevención de la pérdida de vidas y de lesiones o enfermedades causadas por desastres naturales.
- Mejora de la información y de los datos para la comunidad científica.
- Preparación en caso de fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos.
- Toma de decisiones sobre mejoras en la ubicación de infraestructuras.
- Prevención de enfermedades asociadas con el agua.
- Evitar costos en inversiones que deberían hacerse en caso de desastres.

Medio ambiental:

- Vigilancia a largo plazo de indicadores básicos del estado y comportamiento del recurso hídrico.
- Minimización de la liberación de sustancias tóxicas y otros contaminantes.
- Gestión de la calidad medio ambiental local.
- Uso eficiente y ahorro de agua.

Económico:

- Prevención de pérdidas de cultivos causadas por sequías o heladas.
- Aumento de la producción y las ventas agrícolas.
- Minimización de costos por eventos extremos.



- Prevención de daños causados a bienes por fenómenos hidrometeorológicos.
- Planificación más eficaz de la producción y suministro de energía.

Ahora bien: además de estos beneficios, la CAS reconoce los propios con base en las condiciones naturales del recurso hídrico y las dinámicas socioeconómicas:

- Una gestión de recurso hídrico basada en información oportuna y confiable del comportamiento de las variables de monitoreo.
- Un seguimiento adecuado de los sistemas hídricos con decisiones informadas para formular acciones de ahorro y uso eficiente del agua.
- Reducción de escenarios de contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneas con base en el conocimiento aportado por un monitoreo integral del recurso hídrico.
- Aprovechamiento eficiente del recurso hídrico subterráneo en condiciones de sequía o disminución de caudales en fuentes abastecedoras de agua superficial.
- Prevención de desastres y gestión adecuada de riesgos.
- Provisión de información sobre disponibilidad del recurso hídrico para beneficio de las comunidades indígenas.
- Costos evitados por disminución de enfermedades asociadas al agua.
- Resolución de conflictos ambientales con base en información confiable y oportuna.

La tercera pregunta está orientada a definir los objetivos del monitoreo, que deben estar vinculados con las funciones y competencias de la Corporación; pero, a la vez, se encamina a promover alianzas estratégicas para compartir responsabilidades en los temas que corresponden a varias instituciones. Al mismo tiempo, estos objetivos deben propiciar la incorporación de los sectores económicos y de las organizaciones sociales para satisfacer los alcances de la GIRH.

En función de las competencias de la corporación y como resultado de los ejercicios participativos desarrollados en la fase de planificación del PIRMA, se reconocen los aspectos o temas que son fortalecidos con un monitoreo integral del agua y del Recurso Hídrico. Estos aspectos vistos desde las perspectivas temáticas permitirán definir los objetivos de monitoreo de la corporación:

Aguas superficiales

- Conocer la disponibilidad y calidad del recurso para asignación de concesiones o derechos de agua.
- Mejorar la gestión y planificación de cuencas abastecedoras.
- Implementar estrategias relacionadas con la *tasa por uso del agua* (TUA) y las *tasas retributivas*.



- Generar insumos para dar respuesta a acciones judiciales o requerimientos de órganos de control.
- Comprender los servicios ecosistémicos asociados con el agua (aprovisionamiento, regulación, control de avenidas, etc.).
- Mitigar riesgos hidrometeorológicos.
- Caracterizar los eventos extremos y sitios priorizados por amenazas hidrometeorológicas que requieren diseño e implementación de Sistemas de Alerta Temprana.
- Realizar la modelación hidrológica para predecir escenarios, eventos e impactos sobre el territorio.
- Generar insumos para las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA); para el diagnóstico, seguimiento y evaluación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA); para los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH); para los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas (PMAM); para el Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA); para el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV), y para el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA).
- Administrar adecuadamente el recurso hídrico.
- Estimar la oferta hídrica disponible considerando el caudal ambiental.
- Gestionar los embalses y cuerpos de agua lénticos.
- Evaluar, controlar y realizar seguimiento ambiental de usos y afectaciones de la calidad del agua.
- Priorizar acciones y recursos financieros en el marco de la GIRH.
- Generar insumos para el acotamiento de ronda hídrica.
- Cumplir metas asociadas a objetivos de calidad y metas de reducción.
- Controlar las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH).
- Otorgar permisos de vertimientos.
- Generar la línea base para la declaratoria y homologación de áreas protegidas.
- Ser un soporte técnico para decisiones y actos administrativos.
- Generar insumos para reglamentación de corrientes.
- Reconocer áreas críticas por contaminación antrópica y fuentes de contaminación.
- Controlar de modo eficiente las estrategias asociadas al ahorro y uso eficiente del agua.



- Formular planes de contingencia ante amenazas de avenidas torrenciales, crecientes súbitas, inundaciones, sequías y desabastecimiento.
- Mitigar las afectaciones a sectores productivos por eventos extremos.
- Reconocer la producción de sedimentos por erosión, deforestación de partes altas de las cuencas y prácticas inadecuadas del uso del suelo.
- Generar información para el diseño de obras hidráulicas para mitigación y reducción del riesgo.
- Generar conocimiento para reconocer la disponibilidad, dinámicas de flujo, evolución geoquímica, condiciones de recarga y regulación, y otros aspectos pertinentes, para la gestión adecuada de ecosistemas especiales (humedales, páramos, bosque seco tropical y bosque altoandino, entre otros).

Aguas subterráneas

- Comprender las condiciones físicas y químicas de los sistemas acuíferos.
- Generar insumos para otorgamiento de concesiones de aguas subterráneas soportadas en información y conocimiento del comportamiento de las aguas subterráneas.
- Gestionar y proteger el recurso hídrico subterráneo.
- Conocer y validar los modelos hidrogeológicos conceptuales para la formulación e implementación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA).
- Conocer los servicios ecosistémicos de aguas subterráneas.
- Establecer los determinantes ambientales asociados al agua subterránea con objeto de protección.
- Generar información para la protección de zonas de recarga.
- Mejorar la delimitación de las zonificaciones de vulnerabilidad intrínseca de acuíferos.
- Reconocer las afectaciones a la calidad de las aguas subterráneas e identificar fuentes de contaminación.
- Conocer las dinámicas de flujo de las aguas subterráneas y de las conexiones hidráulicas para una adecuada gestión del recurso hídrico subterráneo.

Teniendo en cuenta lo anterior, los componentes que se fortalecerían con el monitoreo del agua abarcan aspectos que van desde la evaluación del estado y la dinámica del agua superficial y subterránea hasta los insumos para la toma de decisiones sobre el control y gestión del recurso hídrico. En el marco del PIRMA, se resalta el beneficio de evaluar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico, y la mitigación de riesgos hidrometeorológicos; de igual manera, generar información para otorgamiento de concesiones, y reconocer áreas con gran presión por uso y contaminación del recurso hídrico.



Y respecto a la última pregunta, con este componente se busca definir los sitios o ámbitos geográficos en donde se dispondrá la infraestructura de monitoreo o los sitios de observación y muestreo, de acuerdo con las prioridades establecidas.

De manera preliminar, en los ejercicios participativos se identificaron áreas de monitoreo dentro de la zonificación hidrográfica del departamento de Santander. Esta priorización es diferenciada para cada componente temático en función de las dinámicas de uso y afectación del recurso. De esta manera, se identificaron corrientes tributarias a la corriente principal (río Magdalena) y drenajes de otros órdenes en el modelo hidrográfico del departamento asociados a dinámicas de uso de los sectores agrícola, piscícola, hidroeléctrico, ganadero, minero y petrolero, principalmente. Así mismo, se reconocieron áreas críticas por afectación a la calidad del agua relacionadas con las mismas dinámicas sectoriales.

Las aguas subterráneas están restringidas a los ámbitos geológicos donde hay potencial posibilidad de almacenamiento en unidades roca-sedimento por sus características físicas de porosidad y permeabilidad. Estos ambientes son delimitados en cartografías geológicas e hidrogeológicas del Servicio Geológico Colombiano y empresas consultoras contratadas por la CAS. La priorización de sitios o áreas de monitoreo fue definida por reconocimiento de las posibles afectaciones a sistemas acuíferos relacionadas con contaminantes y vertimientos provenientes, más que todo, de actividades agrícolas, mineras, de turismo y domésticas, fundamentalmente en áreas urbanas y petroleras.

La selección final de puntos de monitoreo se presentará en el componente programático donde, además, se determinan las variables físicas, químicas y biológicas que complementarán el monitoreo nacional que realiza el IDEAM.

La gestión de los recursos hídricos no siempre está regida con criterios técnico-científicos ni es realizada con la información y conocimientos hidrológicos e hidrogeológicos adecuados, a pesar de contar con datos e información referida a las variables asociadas a los procesos del ciclo hidrológico en el conjunto de la sociedad. La pérdida de información y de conocimientos no difundidos o no recolectados de manera adecuada repercute en el planteamiento de actuaciones indebidas, con la concomitante pérdida de recursos económicos que podrían tener una aplicación más ética en un contexto de manejo integrado del recurso hídrico. Una de las razones que necesariamente influye en esta dispersión de conocimiento y esfuerzos es la falta de programas de monitoreo del agua.

El monitoreo del agua permite tener un patrimonio de conocimiento para determinar tanto el impacto sufrido por los sistemas hídricos debido a actividades de origen antrópico como la necesidad de prevenir la degradación del recurso en el futuro; de igual manera, para determinar la eficiencia y eficacia de las acciones y estrategias para la restauración del recurso, y las estrategias para su conservación y aprovechamiento sostenible.

Los resultados de la implementación del monitoreo del estado (cantidad, calidad) y dinámica de las aguas superficiales y subterráneas ayudarán a mejorar su planeamiento, desarrollo, protección y manejo, para anticipar o reducir escenarios de afectación, contaminación y deterioro de estas.

Debido a lo anterior, resulta imperativo determinar el propósito, el alcance, los objetos y los objetivos de monitoreo —consignados en el componente estratégico— que permitan generar información y datos para



evaluar y gestionar de manera correcta el recurso hídrico. Así, el componente estratégico del PIRMA se constituye en la base fundamental del componente programático del PIRMA.

Los objetivos son esenciales para identificar los resultados esperados del monitoreo que deben responder a los requerimientos de información de los diferentes usuarios (planificadores, políticos y tomadores de decisiones, científicos, gremios económicos y público en general). Estos requerimientos no se pueden satisfacer cuando los objetos y los objetivos del monitoreo no están definidos con claridad.

4.1. Objetivos de monitoreo integral del recurso hídrico en la CAS

Con base en lo expuesto a lo largo del componente estratégico, se presentan a continuación el objetivo general y los objetivos específicos del monitoreo del agua de la CAS.

Objetivo general

Soportar la evaluación, planificación del recurso hídrico y la toma de decisiones de la CAS en temas relacionados con la administración y la gestión integral del recurso hídrico a partir de información confiable, oportuna y disponible para los usuarios institucionales, gremiales y sociales.

Objetivos específicos

- Disponer de datos e información de monitoreo del agua para el otorgamiento de permisos, licencias, concesiones, derechos de uso y aprovechamiento del agua y otros instrumentos relacionados con disponibilidad del recurso hídrico.
- Brindar de manera oportuna información validada para el seguimiento, control y vigilancia del estado y dinámica del recurso hídrico en el área de jurisdicción de la CAS.
- Fortalecer los Sistemas de Alerta Temprana relacionados con amenazas hidrológicas (inundación, crecientes súbitas, avenidas torrenciales y sequías) en áreas priorizadas del departamento de Santander.
- Disponer datos e información confiable y oportuna del monitoreo del agua a los usuarios institucionales, gremiales y sociales que la requieran.

4.2. Síntesis de la Matriz de Marco Lógico

Cabe destacar que, entendido en su contexto integral, el Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua (PIRMA) comprende no solo el SOMV, sino que también depende de un talento humano capacitado y entrenado para realizar actividades propias de la operación y mantenimiento; verificación y validación de los datos e información que se produce del monitoreo; y procesamiento, almacenamiento y difusión de estos datos e información. Además, los procedimientos, estándares, protocolos y demás instrumentos técnicos que garantizan la confiabilidad en el muestreo o colecta de los datos son inherentes al SOMV y, por ende, al Programa. El equipo de trabajo debe contar también con un equipamiento portable mínimo y herramientas que



le permitan realizar de manera eficaz y eficiente sus tareas. Estos elementos se desarrollarán en los componente programático y tecnológico. No obstante, esta integralidad ha sido tenido en cuenta desde la construcción de la MML en la fase de planificación del PIRMA como se evidencia en los resultados definidos en la misma.

De acuerdo con el Marco Lógico, como resultado de la fase de planificación del PIRMA, A 2032, la CAS tendrá implementado el PIRMA alineado con el PNMRH y la PNGIRH, que permita contar con la información oportuna, accesible, confiable y sistematizada para propiciar una adecuada toma de decisiones por parte de los actores sociales, gremiales e institucionales que lo requieran. (Anexo 1).

Para lograr este propósito, se establecieron las siguientes cuatro líneas estratégicas o resultados (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del PIRMA con sus respectivos indicadores verificables

Código	Objetivo/Resultados	Indicador Verificable Objetivamente (IVO)
Resultado 1.	A diciembre del 2032, el monitoreo del agua en la jurisdicción de la CAS se realiza de manera integral, sistemática y articulada con actores, soportado en un esquema organizacional con recursos técnicos, humanos y económicos adecuados.	A diciembre de 2032, se han implementado acciones y estrategias articuladas con actores para fortalecer un monitoreo integral que responde a los objetivos alcances del PIRMA.
Resultado 2.	A diciembre del 2032, la CAS ha implementado un sistema de observación medición y vigilancia del agua (SOMV) que cuenta con los procesos y procedimientos que cumplen con los estándares del sistema integrado de gestión (SIG), para generar información suficiente, válida y oportuna que esté disponible en el sistema de información de la CAS y en el SIRH.	A diciembre de 2032, la CAS cuenta con un SOMV y un Sistema de Información en el marco del PIRMA que reporta a los usuarios información de referencia, pronósticos y alertas del recurso hídrico de acuerdo al diseño previo que se realizó del sistema y recibe información de usuarios que realizan monitoreo en el área de jurisdicción.
Resultado 3.	A diciembre del 2032, la CAS tendrá implementado un plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica continua en monitoreo integral del agua, soportado en alianzas con entidades.	A diciembre de 2032, la CAS cuenta con un equipo de trabajo entrenado y capacitado, ambientes de aprendizaje continuo, y proyectos de investigación e innovación que favorecen el monitoreo integral del agua en al área de jurisdicción de la CAS.
Resultado 4.	A diciembre del 2032, la CAS habrá implementado una estrategia de comunicación y difusión de resultados y acciones de monitoreo integral del agua para usuarios internos, actores involucrados y comunidades.	A diciembre de 2032, la CAS ha desarrollado los instrumentos y herramientas de comunicación previstos en su estrategia de comunicación para difundir resultados y novedades del PIRMA a los usuarios internos y externos de su jurisdicción.



Estos resultados constituyen la base de los componentes programático, financiero y tecnológico que se tratarán más adelante.

5. Componente programático del PIRMA

Este componente se enfoca en la forma operativa del monitoreo del agua, con énfasis en los elementos del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia -SOMV- (diseño de redes, frecuencia de monitoreo, variables y protocolos, entre otros) y en la gestión de la información proveniente del monitoreo. Este componente plantea el diseño de las redes de monitoreo, así como los requerimientos del sistema de información para su articulación con el Sistema de Información del Recurso Hídrico, partiendo del diagnóstico de las redes existentes.

5.1. Diagnóstico del sistema de monitoreo hidrometeorológico y de calidad de agua superficial de la CAS respecto al diseño de la red regional elaborado por el IDEAM.

Teniendo en cuenta el alcance y contexto presentado en los capítulos anteriores, se sintetiza la información relacionada con el estado de las redes y, en algunos casos, puntos de monitoreo hidrometeorológico y de calidad del agua superficial en la CAS, abarcando desde un nivel nacional hasta el nivel local.

La información consignada en este capítulo procede del taller realizado el 23 de junio de 2021, entre IDEAM y CAS, con el objeto de conocer el estado del monitoreo de la cantidad y calidad del agua en el área de jurisdicción de la CAS, incluido los flujos de la información proveniente de monitoreo (Anexo 2). Adicionalmente, se complementó con los talleres realizados el 22 de febrero (Anexo 3) y el 23 de marzo (Anexo 4) de 2022.

5.1.1. Redes y puntos de monitoreo hidrometeorológico existentes en el área de interés

De la red nacional IDEAM se identificaron 127 estaciones climatológicas en nueve de diez subzonas hidrográficas y 74 estaciones hidrológicas en ocho de diez subzonas hidrográficas del área de la CAS.

El objetivo general de la red de monitoreo hidrometeorológica, es proporcionar información adecuada sobre las características de las variables que permitan conocer la cantidad del recurso hídrico. En este contexto, se entiende por “características de las variables”, la distribución espacial y los datos cuantitativos de valor central y de varianza de los registros como los promedios y extremos, que definen el comportamiento temporal de las variables.

El estado y la cantidad de estaciones existentes en el área de jurisdicción de la CAS se presentan en la Tabla 2. Es importante destacar que de la red nacional IDEAM, existen estaciones en la jurisdicción CAS instaladas desde el año 1931, contando con 121 estaciones activas y 80 suspendidas; de las 121 estaciones activas, 30 son hidrológicas y 91 son estaciones meteorológicas. A nivel individual, las estaciones más numerosas son las pluviométricas (44 %), seguidas por las limnimétricas (25 %), limnigráficas (12%) y por las climatológicas



ordinarias (10 %). Tanto para las estaciones activas, como suspendidas, se presenta la relación de estaciones de acuerdo con su tecnología. siendo, 24 estaciones activas automáticas con telemetría, una automática sin telemetría y 96 son estaciones convencionales.

Tabla 2. Inventario de las estaciones hidrometeorológicas del IDEAM en jurisdicción CAS

Estaciones Red Nacional - IDEAM en jurisdicción CAS							
Estado	Activas			Suspendidas			Total
Tecnología Categoría	Automática con telemetría	Automática sin telemetría	Convencional	Automática con telemetría	Automática sin telemetría	Convencional	
Agrometeorológica	3	0	0	0	0	0	3
Climática Ordinaria	0	0	13	0	0	5	19
Climática Principal	7	0	2	0	0	1	9
Pluviográfica	0	0	4	0	0	1	5
Pluviométrica	0	0	60	0	0	29	88
Sinóptica Principal	0	0	1	0	0	0	1
Meteorológica especial	1	0	0	0	0	0	1
Estaciones Climatológicas	91			36			127
Limnigráfica	10	1	3	1	0	7	23
Limnimétrica	3	0	13	0	0	36	50
Estaciones Hidrológicas	30			44			74
Total	121			80			201

Teniendo en cuenta lo anterior, y en relación con el área de jurisdicción de la Corporación, en la Tabla 2, se presenta la distribución de estaciones climatológicas activas y suspendidas de la red nacional IDEAM, con sus respectivas categorías y en la Figura 4, las estaciones hidrológicas.

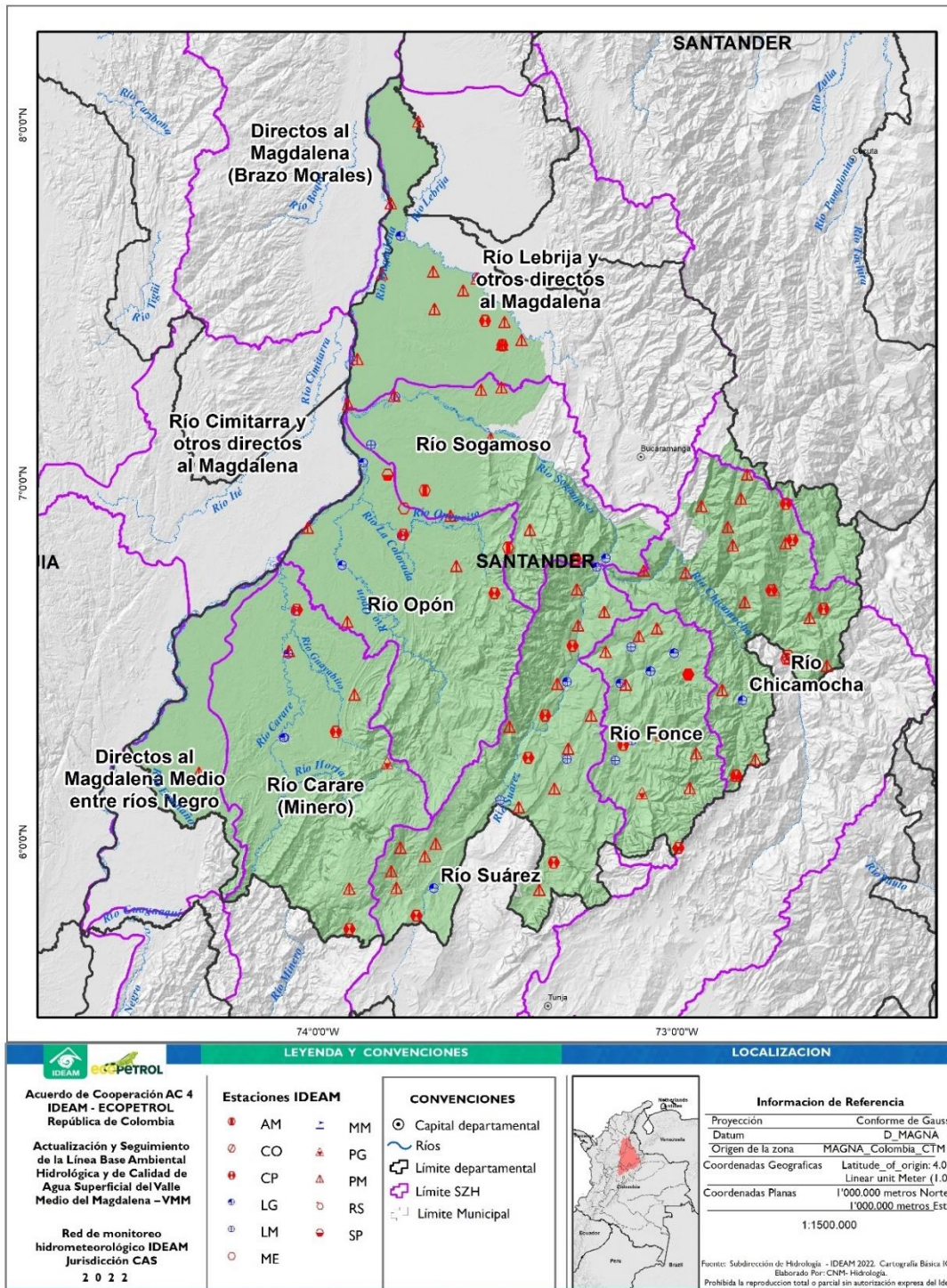


Figura 4. Distribución de las estaciones activas de la Red Nacional IDEAM.



En la Tabla 3, se presenta un resumen de las variables que actualmente están siendo monitoreadas en las diferentes subzonas hidrográficas que hacen parte de la jurisdicción de la CAS. De acuerdo con esta, las SZH que tienen más cobertura en cuanto a variables medidas son las del río Fonce, río Lebrija, río Suárez, río Opón, río Chicamocha y río Sogamoso. En la SZH del río Carare son monitoreadas aproximadamente la mitad de las variables analizadas y en las SZH directos al Magdalena Medio entre ríos Negro y Carare, río Chítaga y río Cobugón solo se mide una o ninguna de las variables analizadas, sin embargo, se debe tener en cuenta que estas SZH presentan un área muy reducida dentro de la jurisdicción de la CAS, en donde se hizo el análisis.



Tabla 3. Variables monitoreadas actualmente en cada SZH

SZH	Nivel*	Nivel**	Precipitación*	Precipitación**	Temperatura*	Temperatura**	Humedad aire*	Humedad aire**	Velocidad y dirección del viento*	Velocidad y dirección del viento**	Evaporación*	brillo solar*	Presión Atmosférica*	Temperatura suelo*	Nubosidad*
2311			X												
2312	X	X	X	X	X	X	X	X							
2314	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
2319	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2401	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2402	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2403	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
2405	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	
3701			X												
3703															

*Datos diarios

**Datos instantáneos

2311: Directos al Magdalena Medio entre Ríos Negro y Carare

2312: Río Carare (Minero)

2314: Río Opón

2319: Río Lebrija

2401: Río Suárez

2402: Río Fonce

2403: Río Chicamocha

2405: Río Sogamoso

3701: Río Chítaga

3703: Río Cobugón - Río Cobaría



La importancia de integrar las redes hidrometeorológicas de diferentes niveles y entidades es que se convierten en un elemento clave para la gestión integral del recurso hídrico en el país, en donde los diferentes usuarios hacen uso de esta información de manera diferencial. Ante el incremento de las necesidades de información hidrometeorológica como insumo básico para soportar la toma de decisiones en múltiples aspectos, desde el desarrollo de modelos productivos, hasta la elaboración de diferentes tipos de pronósticos para diferentes horizontes de tiempo, y usos; los diferentes sectores han desarrollado sus propias redes de monitoreo (UNGRD, 2018). De este modo podemos encontrar redes asociadas a entidades del sector agroindustrial, hidroeléctrico, hidrocarburos, minero, entre otros.

En la Tabla 4 se presentan algunos de los beneficios que puede representar la integración de redes, donde se destacan aquellos asociados a diferentes aspectos como el técnico, tecnológico, económico y socio-ambiental.

Tabla 4. Beneficios de la integración de redes (IDEAM & UNGRD, 2018)

Tipo de beneficio	Detalles
Técnicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecimiento de correlaciones con estaciones de largo periodo 2. Homogenización de series de estaciones
Tecnológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entrenamiento y capacitación de funcionarios y operarios 2. Intercambio y cooperación tecnológica
Económicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducción de costos por rediseño de la red óptima 2. Reducción de costos por distribución de responsabilidades en la instalación y operación de estaciones
Socio-ambientales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad oportuna de datos para la prevención y atención de desastres

Algunos de los factores que pueden dificultar la integración de las redes nacional, regionales y locales es el acceso a la información, la cual puede estar relacionada con una deficiencia en la articulación de las redes de monitoreo existentes, lo cual puede llevar a una descoordinación institucional, duplicidad de esfuerzos, uso y manejo inapropiado de la información y finalmente a la falta de información oportuna (IDEAM & UNGRD, 2018).

Para identificar las estaciones existentes en jurisdicción de la CAS se tuvo como insumo el shape de estaciones de otras entidades. A partir de este y mediante herramientas geomáticas se identificó cuáles estaciones se localizan dentro de la jurisdicción de la CAS, encontrando que en total se reportan 114 estaciones, de las cuales actualmente hay 71 activas, las cuales en su mayoría (73%) son estaciones pluviométricas y en menor medida se presentan estaciones climáticas ordinarias y principales, limnigráficas, limnimétricas, meteorológicas especiales y pluviográficas.

Tabla 5. Estaciones de otras entidades en la jurisdicción de la CAS

Tipo de estación	Activa	Suspendida	Total
Climática Ordinaria	3	9	12
Climática Principal	6	2	8
Limnigráfica	1	0	1
Limnimétrica	6	6	12



Meteorológica Especial	1	1	2
Pluviográfica	2	2	4
Pluviométrica	52	23	75
Total	71	43	114

En la Tabla 6 se presenta la distribución por tipo de las estaciones tanto del IDEAM como de otras entidades, para cada una de las subzonas hidrográficas.

Se observa que las subzonas hidrográficas que tienen mayor cantidad de estaciones de otras entidades son la 2401 (Río Suárez) y 2402 (Río Fonce), con 25 y 20 estaciones respectivamente igualando y superando el número de estaciones del IDEAM, lo cual indica que son cuencas importantes para determinados sectores económicos que requieren un conocimiento más detallado de su estado y sus características hidrometeorológicas. La cuenca del río Sogamoso también cuenta con un número importante de estaciones de otras entidades, con un total de 10. Para las demás subzonas hidrográficas se cuenta con seis estaciones o menos, indicando que son cuencas con menos intervención por parte de los diferentes sectores económicos.

Tabla 6. Estaciones del IDEAM y otras entidades por SZH

Tipo	Entidad	Subzona hidrográfica								
		2311	2312	2314	2319	2401	2402	2403	2405	Total
Agrometeorológica	IDEAM			1			1		1	3
	otras									0
Climática Ordinaria	IDEAM		3	2		4	1	2	1	12
	otras				1	1	1			3
Climática Principal	IDEAM				2	1	2	4		9
	otras					1	3	1	1	6
Limnigráfica	IDEAM		2	3	1	3	3	1	1	14
	otras					1				1
Limnimétrica	IDEAM		2	1	4	2	3	2	2	15
	otras		2	2	1			1		6
Meteorológica Especial	IDEAM			1						1
	otras							1		1
Pluviográfica	IDEAM		1				1	2		4
	otras			1		1				2
Pluviométrica	IDEAM	1	3	3	12	15	7	12	7	60
	otras		1	2		21	16	4	8	52
Sinóptica Principal	IDEAM			1						1
	otras									0
Total IDEAM		1	11	12	19	25	18	21	12	119
Total otras entidades		0	3	5	2	25	20	6	10	71
Total		1	14	17	21	50	38	27	22	190

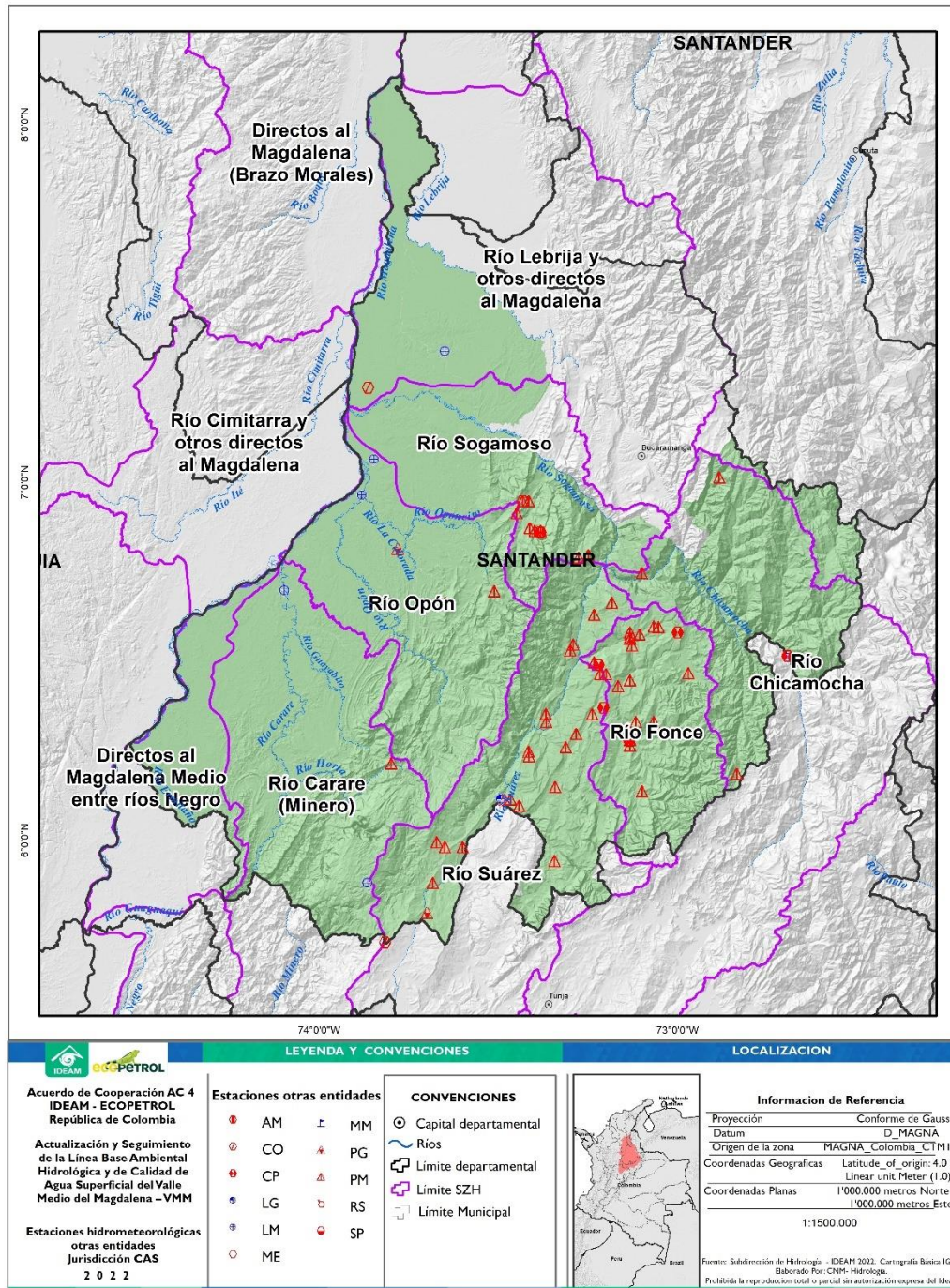


Figura 5. Estaciones activas de otras entidades en jurisdicción de la CAS

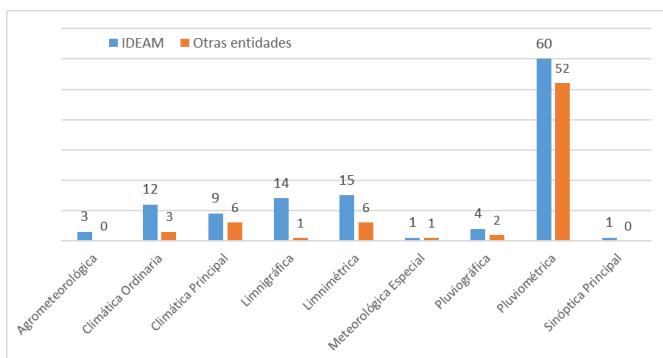
En cuanto a la distribución por tipo de estación, se observa que el mayor número de estaciones corresponde a estaciones pluviométricas, como se mencionó antes. En todos los casos el total de estaciones por tipo del IDEAM superan en número al total de estaciones de otras entidades, a excepción de las estaciones meteorológicas



especiales de las cuales solo hay una tanto para el IDEAM como para otras entidades, que de acuerdo con la Tabla 7 se encuentran en SZH distintas.

Tabla 7. Distribución por tipo de estación

Tipo de estación	IDEAM	Otras entidades
Agrometeorológica	3	0
Climática Ordinaria	13	3
Climática Principal	9	6
Limnigráfica	14	1
Limnimétrica	16	6
Meteorológica Especial	1	1
Pluviográfica	4	2
Pluviométrica	60	52
Sinóptica Principal	1	0
Total	121	71



En la Tabla 8 se presenta la distribución de las estaciones para cada una de las entidades, encontrando que la federación Nacional de cafeteros es la que presenta el mayor número de estaciones en el área de jurisdicción de la CAS con 28 estaciones activas, de las cuales 27 corresponden a estaciones pluviométricas y una estación meteorológica especial.

En segundo lugar, se encuentra Isagen con un total de 22 estaciones, de las cuales 18 son estaciones pluviométricas, dos climáticas principales, una limnigráfica y una limnimétrica. Por otro lado, la compañía colombiana de Tabaco también cuenta con un número importante de estaciones, con siete en total, de las cuales seis son pluviométricas y una es climática ordinaria.

En la zona se encontraron también estaciones de la Asociación Nacional de Navieros, Cenicafé, Empresas públicas de Medellín, Instituto colombiano de energía eléctrica, Ministerio de obras públicas, estaciones particulares y de Autoridades Ambientales como la CAR, la CDMB y Corponor, las cuales presentan entre 1 y 3 estaciones activas.



Tabla 8. Distribución de las estaciones por entidad

Entidad	Asociación Nacional De Navieros	CAR	CDMB	Cenicafé	Compañía Colombiana De Tabaco	Corponor	Empresas Públicas De Medellín E.S.P.	Estaciones Particulares	Federación Nacional De Cafeteros	Instituto Colombiano De Energía Eléctrica	Isagen S.A. E.S.P	Ministerio De Obras Públicas	Total
CO		1			1			1					3
CP				3				1			2		6
LG											1		1
LM	1	1				1				1	1	1	6
ME									1				1
PG		1					1						2
PM			1		6				27		18		52
Total	1	3	1	3	7	1	1	2	28	1	22	1	71

Adicionalmente, como parte del diseño de la red de monitoreo hidrometeorológico en el marco del PIRMA, se hizo una revisión de la propuesta de rediseño obtenida en el desarrollo del convenio del año 2012 entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el IDEAM, el cual se detalla a continuación.

El proyecto “Apoyo al Diseño de la Red Hidrometeorológica en Jurisdicción de las Corporaciones Autónomas Regionales según los Requerimientos de Información establecidos en el marco de la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico y de acuerdo a los Lineamientos establecidos en el Programa Nacional del Monitoreo del Recurso Hídrico Colombia-Fase 1”, se enmarcó en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (PND 2010-2014), la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (PNGIRH) y el Programa Nacional del Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH). Este proyecto fue ejecutado en el marco del Convenio Interadministrativo de Asociación suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM (Convenio 008/2012-MADS; Convenio 004/2012-IDEAM).

En la Figura 6 se presenta la metodología implementada en el marco del convenio para la propuesta de diseño de las redes de las Corporaciones Autónomas regionales, incluida la CAS.

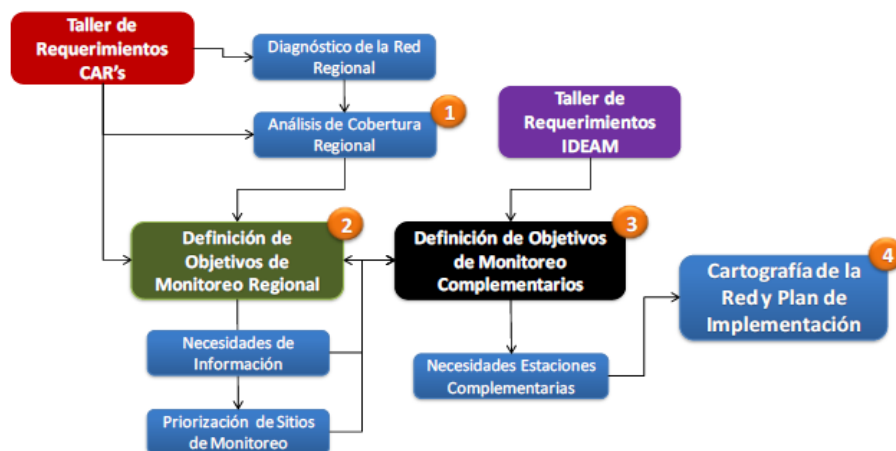


Figura 6. Metodología empleada para el rediseño de la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS en el Convenio entre el MADS y el IDEAM

La red propuesta se presenta en la Figura 7 y consta de un total de 23 estaciones, de las cuales 17 son estaciones a repotenciar y 6 son estaciones nuevas.

Se hizo un análisis comparativo de las estaciones propuestas en este convenio y las estaciones existentes en la actualidad para identificar si alguna de estas ha sido implementada, encontrando que la estación 3 propuesta fue instalada en el año 2017 (LAS MINAS - AUT [2401700091]) sobre el río Suárez, la estación 4 fue repotenciada a una estación Climatológica principal con telemetría (SUSA - AUT [2403500085]), la estación 11 fue repotenciada (SANTA ROSA - AUT [23127060]), la estación 15 fue repotenciada a agrometeorológica automática con telemetría (MOGOTES - AUT [24025090]), la estación 16 fue repotenciada a Climática Principal automática con telemetría, la estación 17 al igual que la estación 18 fueron repotenciada a Agrometeorológica automática con telemetría (SAN VICENTE DE CHUCURI - AUT [24055070]) y la estación 21 fue repotenciada con una estación nueva climática principal con telemetría (MALAGA 2 - AUT [2403500049]).

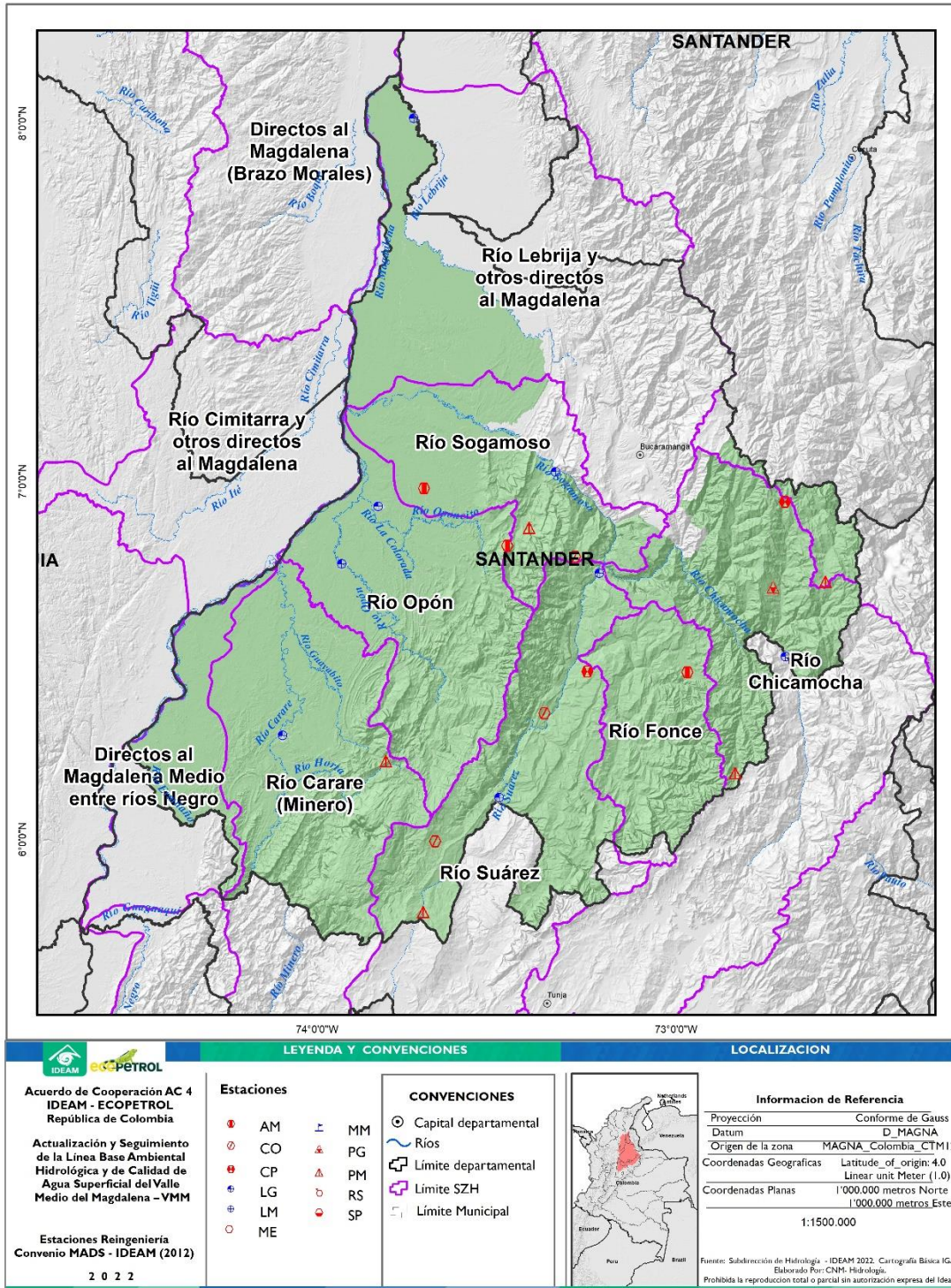


Figura 7. Propuesta de rediseño de la red hidrometeorológica de la CAS en el marco del convenio MADS-IDEAM, 2012

Finalmente, la CAS no cuenta con redes de monitoreo hidrometeorológico ni estaciones.



5.1.2. Redes y puntos de monitoreo de calidad existentes en el área de interés

En la jurisdicción de la CAS se han identificado 568 puntos de monitoreo de calidad del agua, los cuales, en su mayoría, han sido monitoreados de forma puntual desde 2013 hasta la actualidad. Se destacan los puntos de la red nacional de referencia de calidad del agua operada por IDEAM. Esta red nacional consta de 10 puntos (Tabla 9 y Figura 8) que han sido monitoreados con una frecuencia semestral desde 2015 y donde se han monitoreado, al menos, 15 variables de calidad. Adicionalmente, el IDEAM ha monitoreado otros 4 puntos en algunos años a través de convenios.

Tabla 9. Puntos de monitoreo de la red de referencia nacional de calidad del agua en el área de jurisdicción de la CAS.

Código IDEAM	Nombre de la estación	Corriente	Puntos actuales o propuestos
24067020	PUENTE SOGAMOSO - AUT	Sogamoso	Actual
23157030	BARRANCABERMEJA - AUT	Magdalena	Propuesto
23127060	SANTA ROSA - AUT	Carare	Actual
23147020	PUENTE FERROCARRIL	Opon	Actual
24027010	SAN GIL	Fonce	Actual
23197370	SAN RAFAEL	Lebrija	Actual
23147040	AYACUCHO - AUT	La Colorada	Propuesto
24037360	EL JORDAN	Chicamocha	Actual
24017590	PUENTE NACIONAL - AUT	Suarez	Actual
2405700149	EL JUNCAL - AUT	Sogamoso	Propuesto

Fuente: (IDEAM, 2020).

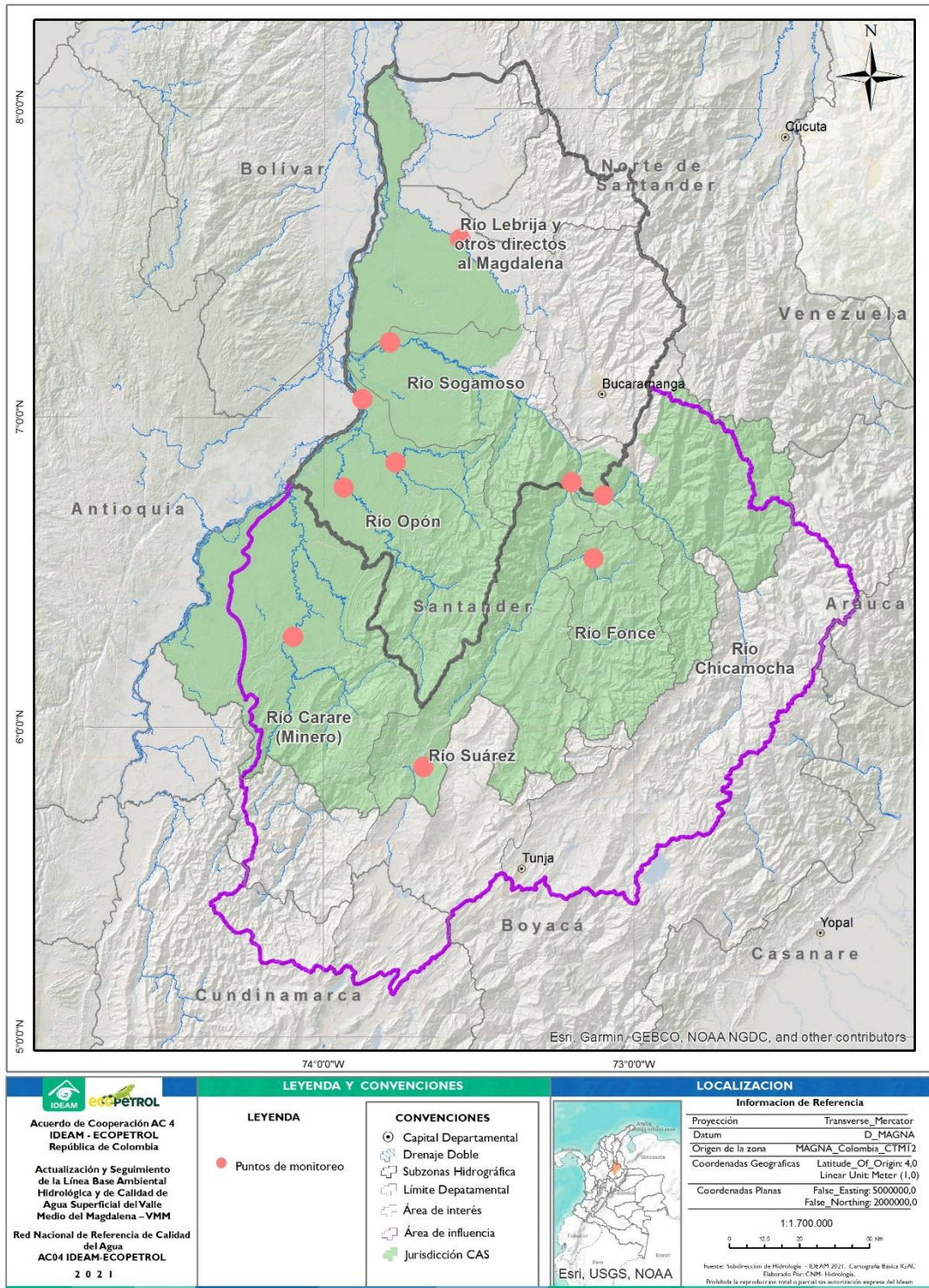


Figura 8. Puntos de monitoreo de la red de referencia nacional operada por el área operativa 08 del IDEAM. Fuente: IDEAM, 2020

La CAS no cuenta con una red regional de calidad del agua, sin embargo, existe información sobre monitoreos relacionados con metas globales de cargas contaminantes e instrumentos de planificación como PORH y



POMCA (CAS, 2014; CAS, 2016; CAS, 2017a; CAS, 2017b; CDMB & CAS, 2018; CDMB, 2019). Esta información consta de monitoreos puntuales realizados para las fases de diagnóstico de los instrumentos de planificación (Anexo 5).

Adicionalmente, existe información de puntos de monitoreo puntuales reportada por la ANLA, de acuerdo con la información suministrada por las licencias ambientales otorgadas.

Todos los puntos de monitoreo de los diferentes operadores mencionados se encuentran compilados y sintetizados en la Figura 9 y en el anexo 5. Como se puede observar en la figura no existen puntos de monitoreo en la Subzona del Río Chitagá. Por otro lado, las subzonas hidrográficas más monitoreadas son Río Lebrija y otros directos al Magdalena y Río Sogamoso con 105 y 212 puntos de monitoreo respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. Recuento de puntos de monitoreo por subzonas hidrográficas.

Subzona Hidrográfica (codificación IDEAM)		Número de puntos de monitoreo
2311	Directos al Magdalena entre Río Negro y Carare	84
2312	Carare (Minero)	50
2314	Opón	74
2319	Río Lebrija y otros directos al Magdalena	105
2320	Directos al Magdalena (Brazo Morales)	2
2401	Río Suárez	14
2402	Río Fonce	24
2403	Río Chicamocha	2
2405	Río Sogamoso	212
2703	Bajo Nechí	1
Total		568

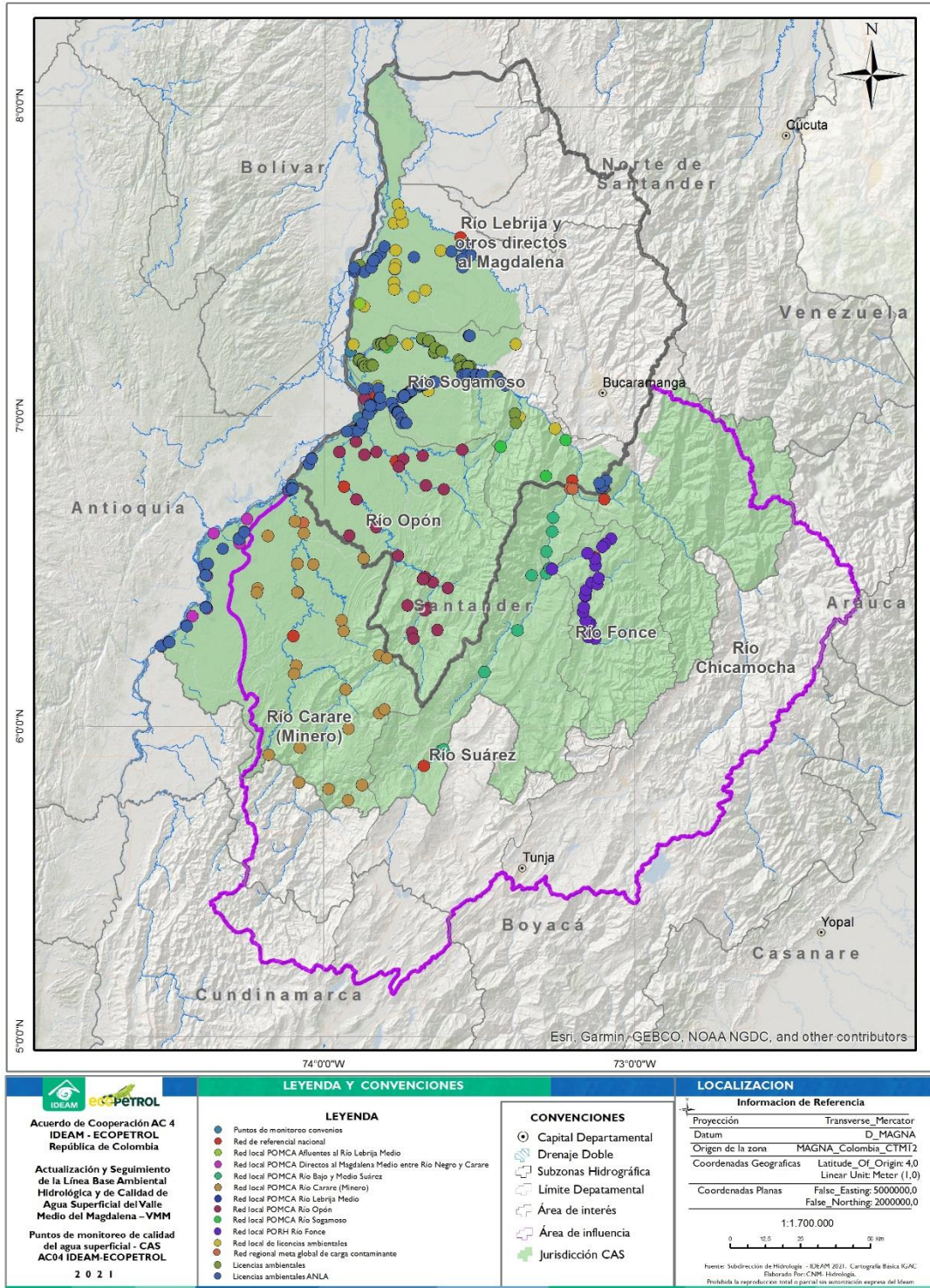


Figura 9. Mapa con los puntos de monitoreo de calidad del agua presentes en la jurisdicción de la CAS.

La información detallada de las variables y frecuencias de monitoreo por cada punto de monitoreo se encuentra en anexos.



5.1.3. Redes y puntos de monitoreo de cantidad y calidad del agua subterránea existentes en el área de interés

La corporación no cuenta con una red de monitoreo de cantidad y calidad del agua subterránea.

5.1.4. Diagnóstico del flujo de los datos e información de monitoreo en la CAS

La gestión de información en el marco del monitoreo del agua obedece a un proceso en el que se busca asegurar que la información generada por diferentes procesos e instrumentos cuentan con calidad y completitud definidas. Es decir, que las tareas de consolidación de datos obtenidos en las estaciones y puntos de monitoreo se capturan y se reciben adecuadamente en un sistema o estructura de datos, cuentan con su validación, difusión y utilización para la toma de decisiones.

El proceso de gestión de información inicia con tareas formales de planificación de la recolección de datos con una visión o propósito, ya sea desde estaciones hidrometeorológicas (niveles, precipitación, temperatura, etc), campañas de levantamiento de información en campo (datos de usuarios del agua, datos de calidad, aforos), entre otros, para proceder al ingreso de datos en un sistema, el cual a su vez se apoya en una o varias bases de datos. Seguidamente es posible disponer la información con valor agregado a manera de reportes o informes y facilitar mecanismos de consulta por diferentes filtros.

Para el análisis general del proceso de gestión de la información que realiza la corporación, se parte de un diagnóstico del flujo de la información en la corporación.

5.1.4.1. Diagnóstico del flujo de la información en la CAS

Es importante tener en cuenta que las CAS no tiene una red de monitoreo propia, como se mencionó en capítulos anteriores. De acuerdo con los talleres realizados en el mes de julio de 2021 con los profesionales de la corporación, se conoció que la Subdirección de Autoridad Ambiental adelanta monitoreos particulares puntuales como soporte a los permisos de captación y vertimiento con el apoyo de un laboratorio particular externo. Estas mismas labores las desarrolla la Subdirección de Oferta en el marco de los requerimientos de información particular para adelantar el cálculo de la tasa retributiva. Paralelamente la Subdirección de Planeación realiza monitoreos puntuales en el marco de los instrumentos de planificación como el Plan de Ordenación y Manejo de Cuenca Hidrográfica (POMCA) y el Plan de Ordenación del Recurso Hídrico (PORH).

De acuerdo con afirmaciones realizadas en uno de los talleres con los funcionarios de la corporación; se informó al IDEAM que los monitoreos en la CAS se realizan cada vez que los trámites administrativos lo requieran, (procesos, seguimiento de tasas retributivas, seguimiento ambiental). El único monitoreo que se realiza de manera permanente por la CAS, es el monitoreo del río Fonce. Es necesario fortalecer la sistematización de la información y no están dispuestos para consulta general del público.

Según la información consolidada para el análisis de los datos en el marco del proceso de diagnóstico de los sistemas de monitoreo de las CAS; se pudo establecer que la corporación ha cargado desde el año 2018 a



mayo de 2021, un total de 26312 registros en el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH). De igual forma, del análisis de las diferentes fuentes de información, se puede afirmar que el SIRH es la única plataforma tecnológica en la que la corporación almacena directamente algunos de los datos relativos a la gestión del recurso hídrico en la región.

5.1.4.2. Diagnóstico del uso de portales web para la divulgación de la información del monitoreo

El portal institucional de la CAS cuenta con un menú de navegación que da acceso a 6 temáticas principales (inicio, quiénes somos, trámites y servicios, contratación, servicios de información y sala de redacción); cada una de ellas con información organizada jerárquicamente por temas principales. Al portal web se accede en la siguiente dirección <http://cas.gov.co/index.php>.

De esta revisión se concluye que el portal web responde a la normativa general del estado en la presentación de la estructura administrativa, financiera y funcional de la entidad, comunicando aspectos generales de contratación, gestión y ejecución. Sin embargo, el portal carece de presentación de datos de interés temático, técnico y de información ambiental relevantes de la jurisdicción. Si bien existe una opción de menú principal “Servicios de información”, en general los pocos datos asociados a temáticas ambientales presentados se encuentran en rutas complejas para la ubicación de la información e inmersos en documentos técnicos en formato pdf, limitando de esta forma el acceso a la información de manera ágil y oportuna (Figura 10).

Es escasa la información asociada al monitoreo de los recursos hídricos; se encuentran algunas definiciones, datos e información geográfica dispersa en el portal, sin estar organizada por temáticas o de manera jerárquica en un portal específico. El acceso a estos pequeños registros de información es difícil, la navegación no es eficiente y la información encontrada es mínima.



Figura 10. Acceso a Servicios de información del Portal web de la CAS Fuente: (CAS, 2021)

Se resalta, además, que la corporación manifiesta hacer la publicación de datos y ofrece un inventario de los mismos, pero éstos no son accesibles, pues no ofrecen un enlace o instrucciones para su consulta. Este es un aspecto en el que el PIRMA recomienda avanzar, pues este será el canal central para la construcción de servicios de información.

Adicionalmente, la corporación dispone de un visor geográfico abierto al público (disponible en <http://sig.cas.gov.co/>), que presenta sobre un mapa base de OpenStreetMap; la capa político administrativa de la jurisdicción (Figura 11).



Figura 11. Ventana del visor geográfico de la CAS



En cuanto a sus funcionalidades, el visor dispone de un menú básico de herramientas que permite cargar puntos de GPS en formato GPX, búsqueda de coordenadas y las herramientas de dibujo básicas de geometrías tipo polígono, línea y punto; siendo estas las herramientas mínimas para la exploración adecuada de la información.

Con relación al contenido; el visor presenta 27 capas de información geográfica de diferentes temas de interés general. La disposición de la información no obedece a ninguna estructura jerárquica o temática evidente.

Se resalta la disposición de capas de drenajes sencillos y dobles, corrientes codificadas, se presentan puntos de vertimientos de agua, pero únicamente para San Gil, con datos del predio, y las coordenadas geográficas. El visor no cuenta con información de puntos de monitoreo, estaciones hidrológicas, o puntos de agua subterránea. No se identifica información del metadato de la capa, que permita a un usuario conocer sobre la construcción de la capa y su estado de actualización.

Relativo a estos aspectos es importante conocer cómo se gestiona la información geográfica, si la CAS cuenta con una GDB estructurada, y si existen procedimientos para la generación de productos geográficos.

En general el visor permite a cualquier usuario tener una vista general de algunas variables ambientales. Con relación a la información hidrológica temática de interés, se presentan 5 capas; drenaje doble, drenaje sencillo, corrientes codificadas, complejos de humedales y vertimientos; de las 27 capas geográficas que se pueden consultar en el visor; esta última es la que tiene relación con los Sistemas de Observación, Monitoreo y Vigilancia (SOMV).

La corporación también tiene otro visor geográfico que opera sobre la plataforma de ESRI de mapas en línea; el cual se puede consultar en la siguiente dirección, <https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=6a64b5da594f48c6b7615a2e4610236d>.

Aunque el acceso al visor es libre, los enlaces no se encuentran disponibles para consulta en el portal web.

Las funcionalidades de este visor son más limitadas, se reducen a realizar zoom in y zoom out a los datos desplegados únicamente.

Con relación al contenido, se presentan 5 capas de información geográfica que no presentan una clasificación jerárquica o temática evidente; las capas son: vertimientos, concesiones de agua, municipios, áreas protegidas y veredas cada uno de ellos presentes en la jurisdicción de la CAS (Figura 12).

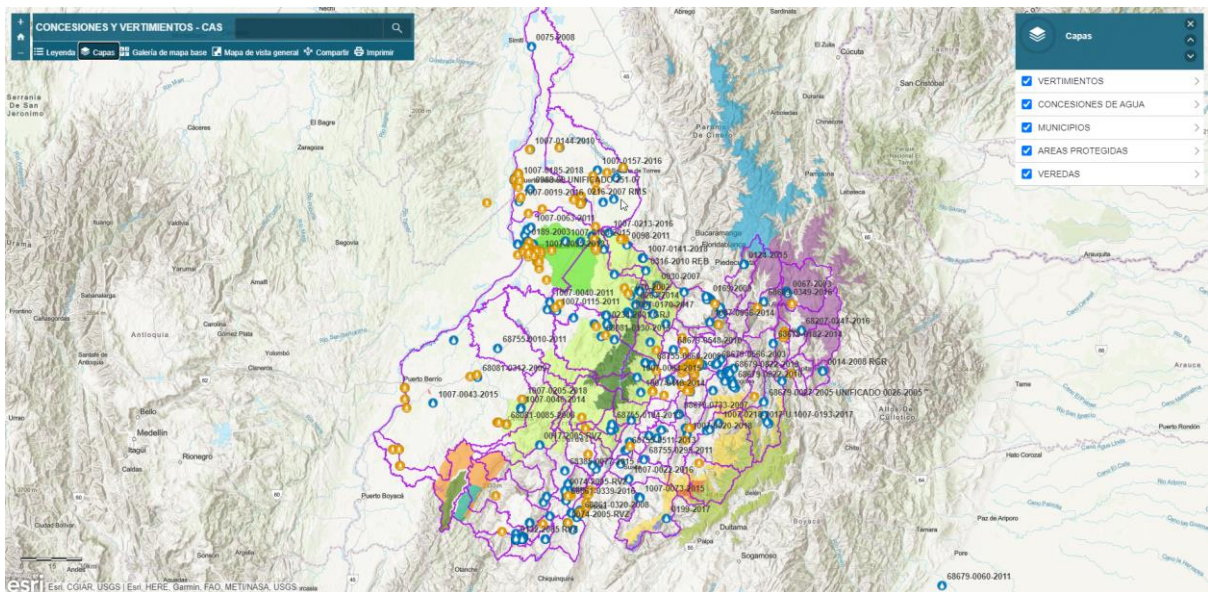


Figura 12. Ventana del visor geográfico de la CAS

Un aspecto positivo de este visor es la velocidad de despliegue de la información y la consulta rápida de los atributos. Vale la pena que la corporación explore las posibilidades que puede ofrecer esta herramienta para la publicación de información de interés.

5.2. Diseño de la red hidrometeorológica y de calidad de agua superficial y del agua subterránea de la CAS

A continuación, se presenta los diseños de las redes de referencia regionales y su proceso metodológico, comenzando por la red hidrometeorológica, continuando con la red de calidad del agua superficial y finalizando por la red de aguas subterráneas (cantidad y calidad).

5.2.1. Diseño de la red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS

Las redes de monitoreo hidrometeorológico son una herramienta primordial para el conocimiento del recurso hídrico y su adecuada gestión. En este numeral se presenta el diseño de la red hidrometeorológica de referencia de la CAS, para lo cual se han desarrollado diversas actividades basadas en herramientas para el análisis cuantitativo de la información y herramientas basadas en conocimiento experto.

Para el diseño de la red hidrometeorológica del PIRMA de la CAS se tuvo en cuenta la estructura piramidal propuesta por la Organización Meteorológica Mundial para el diseño de redes de monitoreo (Figura 13).

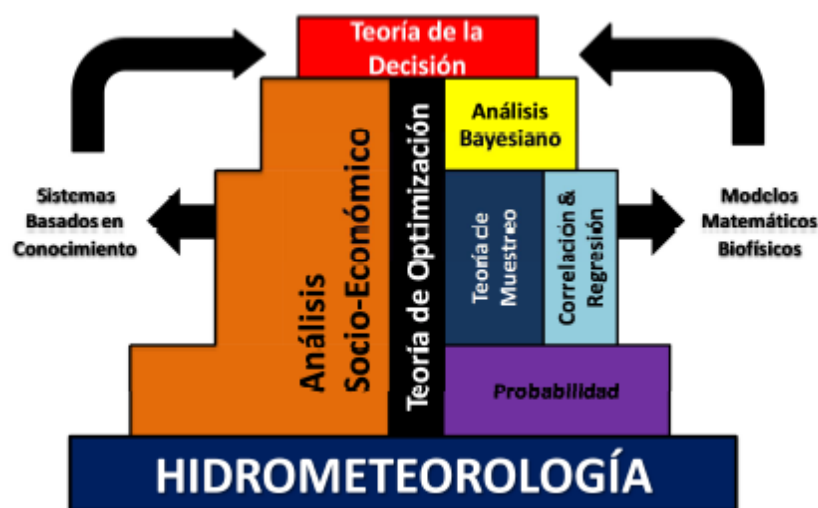


Figura 13. Estructura piramidal de la OMM para el diseño de redes de monitoreo (OMM, 2020).

Como se observa en la figura anterior, la base de la pirámide es el conocimiento de la hidrometeorología en la zona de interés. Si no se conocen a fondo las características del área en que se establecerá la red, hay pocas posibilidades de que la red resultante genere información de manera eficaz y responda a las necesidades de información.

Este conocimiento puede estar almacenado en términos de información cuantitativa y de información basada en el conocimiento de las características socio-económicas de la zona.

El lado derecho de la pirámide hace referencia al conocimiento en términos de información cuantitativa, que puede analizarse mediante herramientas matemáticas y estadísticas. Por otro lado, el lado izquierdo representa el contexto socio-económico, el cual es de gran importancia en el diseño de redes, ya que define los usos de la información y también las posibilidades de su adquisición. Las herramientas para este tipo de abordajes constituyen los denominados sistemas basados en conocimiento o sistemas expertos.

Si bien las herramientas matemáticas y estadísticas con frecuencia permiten realizar análisis más precisos para soportar la toma de decisiones relativamente simples, las herramientas del enfoque de los sistemas expertos permiten abordar situaciones cada vez más complejas, como lo es la gestión de los recursos hídricos. Es así como estos dos enfoques, articulados por la teoría de optimización son necesariamente complementarios para la generación de criterios de optimización de redes de monitoreo hidrometeorológicos.

En lo alto de la pirámide está la teoría de la decisión, que es un mecanismo formal para integrar todos los componentes subyacentes (IDEAM & MADS, 2012) (OMM, 2020).

Por otro lado, la OMM propone una serie de elementos a tener en cuenta a la hora de diseñar u optimizar una red de monitoreo hidrometeorológico (Figura 14).

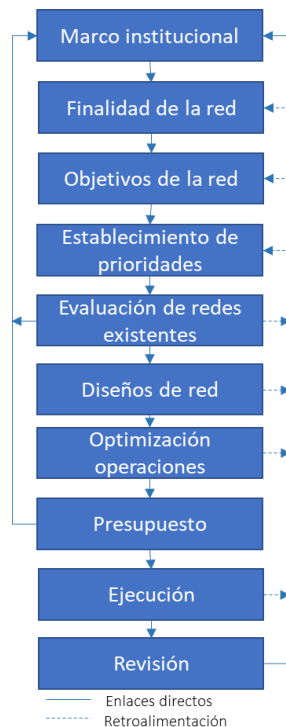


Figura 14. Elementos para el análisis y rediseño de redes de monitoreo hidrometeorológico. Modificado de (OMM, 2020).

Marco institucional: Es importante definir e identificar los roles de todas las organizaciones que actúan en diversas vertientes de la gestión de recursos hídricos, y particularmente sus responsabilidades legislativas con el objetivo de mejorar los enlaces de comunicación entre esas organizaciones y conseguir la coordinación e integración de las redes de recopilación de datos.

Finalidad de la red: Identificar los fines a que responderá la red, en términos de usuarios y de aplicaciones de los datos. Estos pueden variar tanto en el tiempo, como en el espacio. Es también necesario identificar posibles necesidades futuras, e incorporarlas en el diseño.

Objetivos de la red: Con base en la finalidad de la red, puede establecerse un objetivo o conjunto de objetivos en términos de la información necesaria.

Establecimiento de prioridades: Si hubiera más de un objetivo, se debe establecer una serie de prioridades con miras a una evaluación posterior.

Evaluación de las redes existentes: Es importante recopilar e interpretar la información sobre las redes existentes, con el fin de determinar si las redes actuales cumplen los objetivos.

Diseño de la red: En función de la información disponible y de los objetivos definidos, se debe aplicar la técnica o técnicas de diseño de red más apropiadas.

Optimización de las operaciones: Los procedimientos operacionales representan una parte considerable del costo de la recopilación de datos. Algunos factores en ese sentido son los tipos de instrumentos, la frecuencia de las visitas a las estaciones, o la estructura de los desplazamientos al lugar de observación.



Presupuesto: En base a la red y a los procedimientos operacionales identificados, será posible establecer el costo de utilización de la red.

Implementación: La implementación de una red rediseñada se debe realizar de manera planificada. En particular, se deben contemplar unos horizontes de planificación a corto y largo plazo.

Revisión: Dado que algunos de estos componentes son variables que evolucionan con el tiempo, podría ser necesario un reexamen atendiendo a la situación de algunos de ellos (por ejemplo, cambios de usuario o de aplicación, o cambios presupuestales). Un proceso de revisión continuo será esencial si se desea estar preparado frente a tales cambios, para lo cual se deberá atender lo dispuesto en el Sistema de Seguimiento y Evaluación del PIRMA.

Teniendo en cuenta esta referencia conceptual, se definió la metodología para diseñar la red (Figura 15).

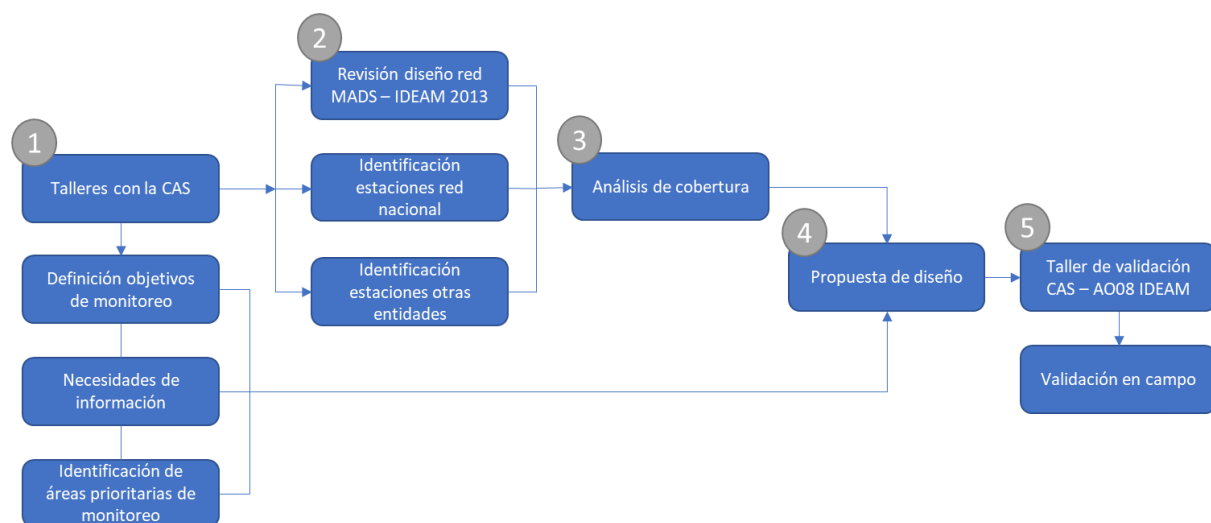


Figura 15. Metodología implementada para el diseño de la red

Durante la primera etapa se realizaron talleres con la Corporación para la identificación de objetivos de monitoreo, necesidades de información y priorización de áreas para el monitoreo hidrometeorológico. También se realizó un diagnóstico del estado actual del monitoreo en el área de jurisdicción de la CAS, identificando las estaciones activas del IDEAM y de otras entidades; adicionalmente, se hizo una revisión de la propuesta de diseño de red resultado del convenio IDEAM-MADS No 008 de 2012 y un análisis comparativo de la red actual frente a dicha propuesta.

Posteriormente, a partir de la identificación de las estaciones actuales, se realizó un análisis de cobertura de las estaciones para identificar zonas con déficit de información. A partir de este análisis y de los resultados obtenidos en los talleres con la CAS, se realizó el diseño de la red de monitoreo hidrometeorológico de referencia de la CAS y finalmente se llevó a cabo una validación de este diseño a partir de talleres con la Corporación, el área operativa 08 y la Subdirección de Hidrología del IDEAM, además de visitas en campo para verificar que los sitios propuestos cumplieran con las condiciones para la instalación de las diferentes estaciones.



5.2.1.1. Análisis realizado para el diseño de la red

Para el diseño de la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS se llevaron a cabo diferentes análisis para la identificación de sitios que requirieran la instalación de nuevas estaciones o la repotenciación¹ de estaciones existentes, partiendo de los objetivos de monitoreo:

Objetivo general:

Disponer de información que permita estimar y hacer seguimiento a la oferta y disponibilidad hídrica en la jurisdicción de la CAS

Objetivo específico:

- Generar información para determinar la oferta y disponibilidad del agua superficial en corrientes y cuerpos de agua priorizados
- Soportar con información oportuna los procesos de otorgamiento de concesiones y demás permisos ambientales.
- Generar información para el seguimiento de condiciones hidrológicas extremas en cuencas priorizadas

A continuación, se describen dichos análisis, para los cuales se tuvo como principal insumo el diagnóstico realizado de las estaciones existentes en jurisdicción de la CAS, según lo descrito en el numeral anterior.

- **Identificación de áreas prioritarias de monitoreo con base en el conocimiento experto de funcionarios de la CAS**

Se realizaron dos talleres con la Corporación con el objetivo de identificar sus objetivos y zonas prioritarias de monitoreo, teniendo en cuenta el conocimiento experto de los funcionarios con relación a la región, accesos, ocurrencia de eventos, etc, y de este modo garantizar que la red propuesta esté acorde con estas necesidades de información.

Durante el primer taller realizado, se definieron tres temáticas a ser tenidas en cuenta como criterio para la identificación de zonas prioritarias de monitoreo: Alertas tempranas, oferta y datos para estimar la demanda hídrica.

De este modo, a partir de mapas con cartografía base de cada una de las subzonas hidrográficas que hacen parte de la jurisdicción de la CAS, se identificaron polígonos asociados a zonas en las que se presenta ocurrencia de eventos amenazantes como inundaciones, avenidas torrenciales, movimientos en masa, entre otros eventos de tipo hidrometeorológico. Adicionalmente, se identificaron polígonos relacionados con zonas de abastecimiento y zonas en las que se presenta actividad agroindustrial (Figura 16).

¹ Estaciones existentes de tipo convencional que se propone sean automatizadas

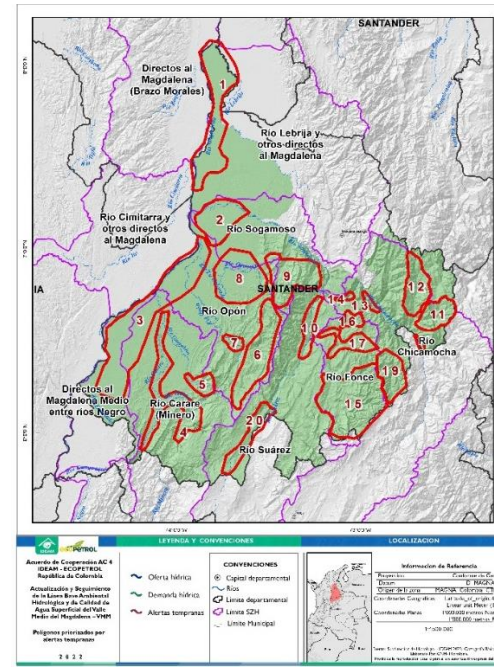
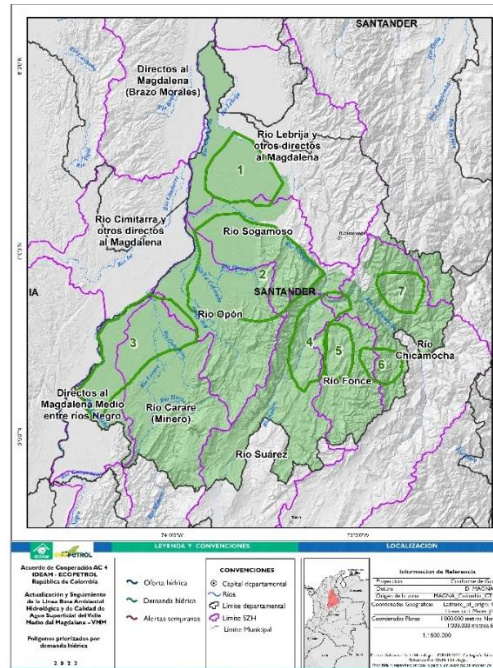
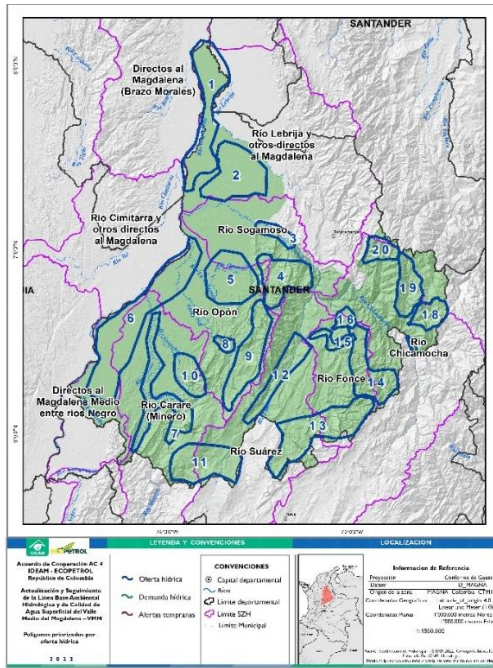


Figura 16. Priorización de áreas de monitoreo a partir de taller con la CAS



Posteriormente, se realizó un segundo taller con la CAS en el cual se validaron los polígonos identificados previamente y se hizo un análisis por subzona hidrográfica, teniendo en cuenta las estaciones existentes de la red nacional e identificando en cada uno de los polígonos definidos, cuál era la cobertura de monitoreo. A partir de este análisis, se identificaron los polígonos que tenían una adecuada cobertura de monitoreo y aquellos que requerían la instalación de nuevas estaciones o la repotenciación de estaciones existentes.



Figura 17. Segundo taller realizado con la CAS

A partir de estos talleres se identificaron sitios prioritarios de monitoreo en cada una de las subzonas hidrográficas (Figura 18), los cuales fueron el principal insumo para el diseño de la red.

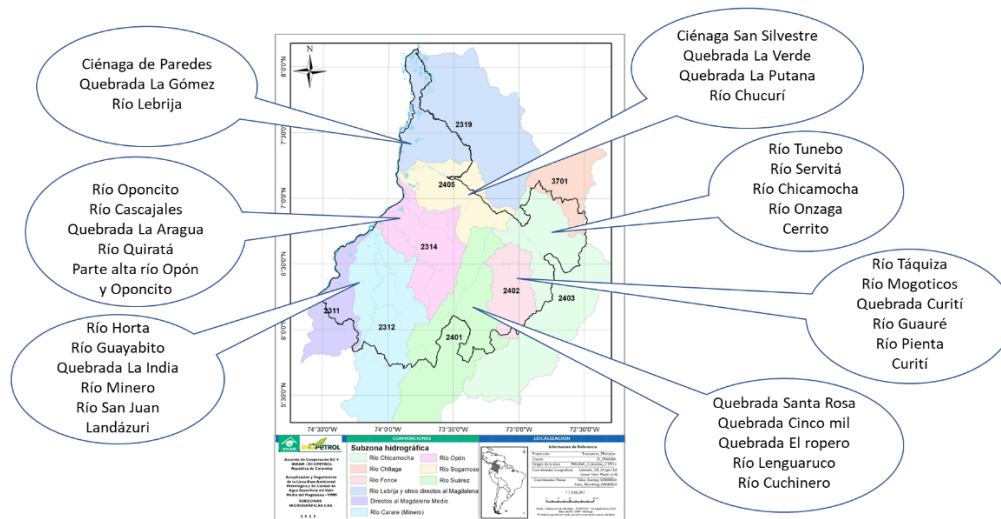


Figura 18. Zonas priorizadas en las diferentes subzonas hidrográficas a partir de talleres con las CAS

- **Análisis de la cobertura de las estaciones de la red Nacional para las variables precipitación y temperatura a partir del estimador geoestadístico de kriging**

Como parte de los análisis realizados como insumo para la definición de la red de monitoreo, se analizó la cobertura de información de las estaciones existentes de la red nacional.



El análisis se orientó a la precipitación, teniendo en cuenta que es el parámetro de mayor variabilidad y, en consecuencia, los métodos desarrollados para su análisis estadístico son válidos para series con mayor estabilidad en la media y con menor varianza.

Adicionalmente, se realizó el mismo análisis para una variable con mayor estabilidad como lo es la temperatura.

Para este análisis se implementó el estimador geoestadístico de kriging ordinario, el cual presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de medición reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie y no solo tienen la capacidad de producir una superficie de predicción, sino que también proporciona alguna medida de certeza o precisión de las predicciones. Este método se utiliza para la optimización de redes, indicando aquellos sitios en los que se debería agregar nuevos puntos de monitoreo de forma que se minimice la varianza del error de la estimación de una variable (Briceño, Herrera, & Júnez, 2011) (CAM, 2020).

De este modo, se obtuvo el campo de varianzas asociado a la interpolación realizada con las estaciones convencionales de precipitación (108 estaciones) y temperatura (31 estaciones) durante el periodo comprendido entre enero de 1980 y diciembre de 2020. Estos mapas fueron normalizados con valores de cero a cien, donde valores altos de la varianza representan una mayor dispersión de los datos y, por ende, mayor falta de información. El análisis se realizó con las estaciones convencionales, ya que son las que presentan series históricas de mayor longitud, sin embargo, posteriormente, se identificó si en las zonas con mayor varianza existen estaciones automáticas que pudieran suplir el déficit de información identificado a partir de las estaciones convencionales.

En la Figura 19 se presenta el campo obtenido de varianzas para la precipitación, donde se observa que, para esta variable, las zonas correspondientes a la cuenca alta y media del río Opón y gran parte de la cuenca del río Carare Minero y directos al Magdalena son las que presentan un mayor déficit de información indicando la necesidad de instalar estaciones nuevas para la medición de la precipitación. Además, no se observan estaciones automáticas en las zonas de mayor varianza.

Por otro lado, para la temperatura se observa que las zonas que presentan mayores valores de varianza corresponden a parte de la subzona hidrográfica del río Carare y directos al Magdalena y la parte norte del río Lebrija cerca de su desembocadura sobre el río Magdalena, sin embargo, en esta zona cerca al límite con los departamentos de Cesar y Bolívar, existen dos estaciones automática con telemetría que miden la variable temperatura (AGUACHICA - AUT [23195240] y CANELOS - AUT [23205050]), las cuales podrían suplir este déficit de información por parte de las estaciones convencionales.

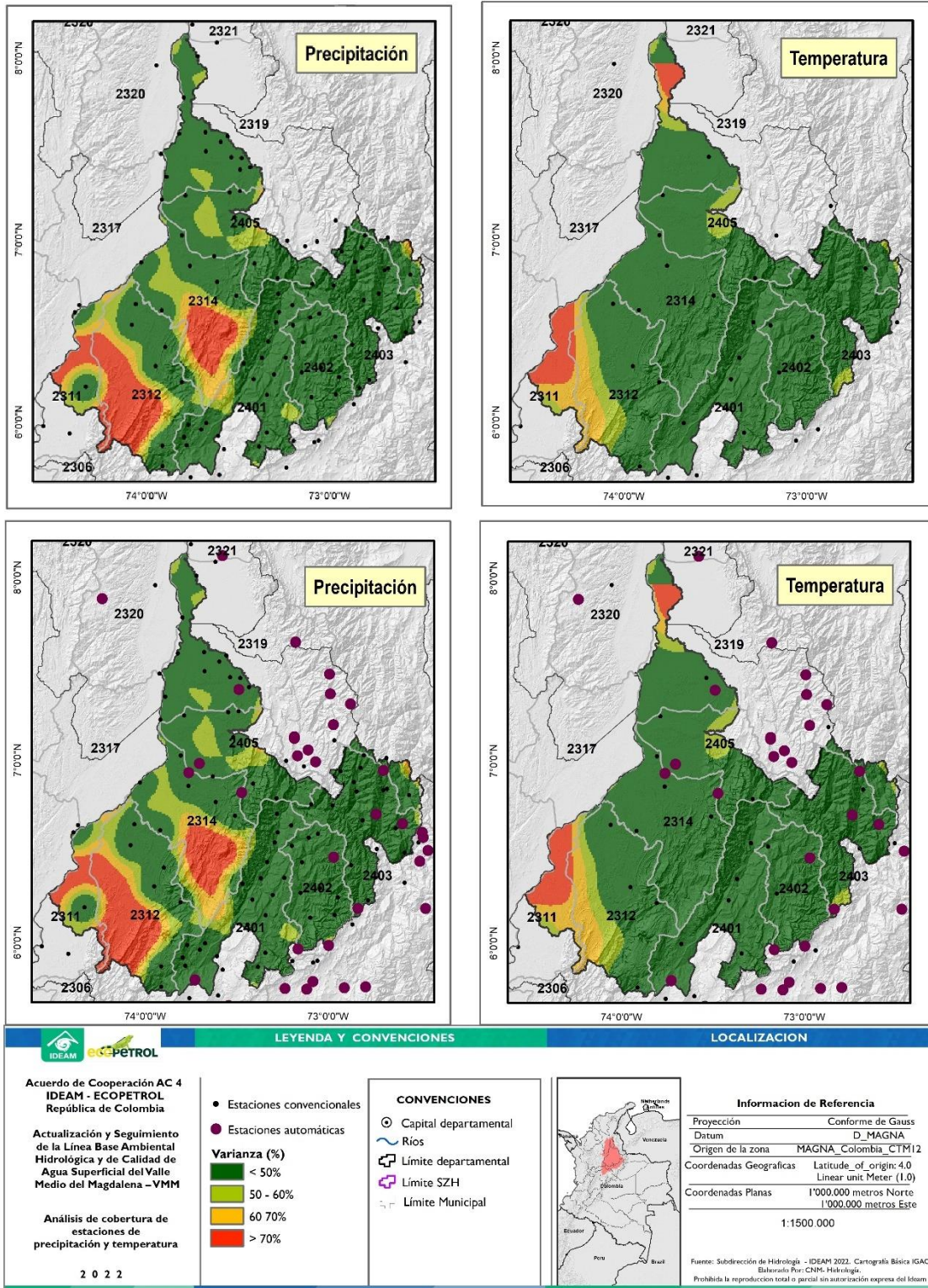


Figura 19. Varianza de la precipitación y la temperatura



- Distribución vertical de las estaciones de precipitación

Para conocer la distribución altitudinal de las estaciones pluviométricas localizadas en jurisdicción de la CAS, se obtuvo la distribución hipsométrica a partir de un DEM con resolución de 12 metros proporcionado por Ecopetrol (Figura 20).

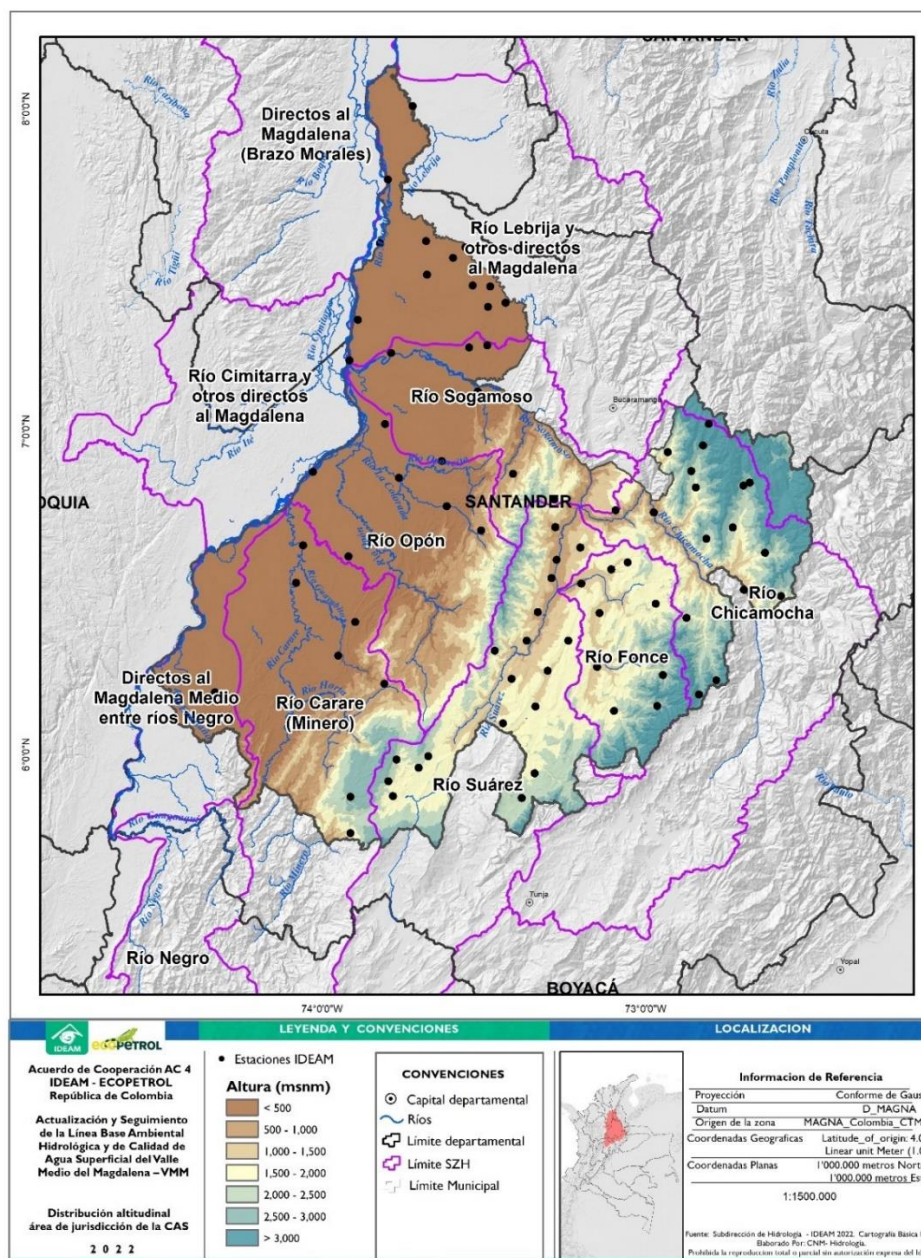


Figura 20. Distribución altitudinal de las estaciones de precipitación en el área de jurisdicción de la CAS



A partir del DEM reclasificado por rangos de altura, se obtuvo el área superficial asociada a cada uno de estos rangos y posteriormente, se obtuvo la altitud a la que está ubicada cada una de las estaciones y se clasificaron según los rangos de clasificación del DEM.

En la Figura 21 se observa la distribución porcentual de las estaciones con relación al área asociada a cada rango de alturas, donde se puede evidenciar que en general existe una distribución representativa de las estaciones para todos los rangos de altura, a excepción de aquellas localizadas a más de 3000 msnm, las cuales únicamente representan el 2% del total de estaciones de precipitación, mientras que en este rango se localiza aproximadamente el 7% del área en jurisdicción de la CAS.

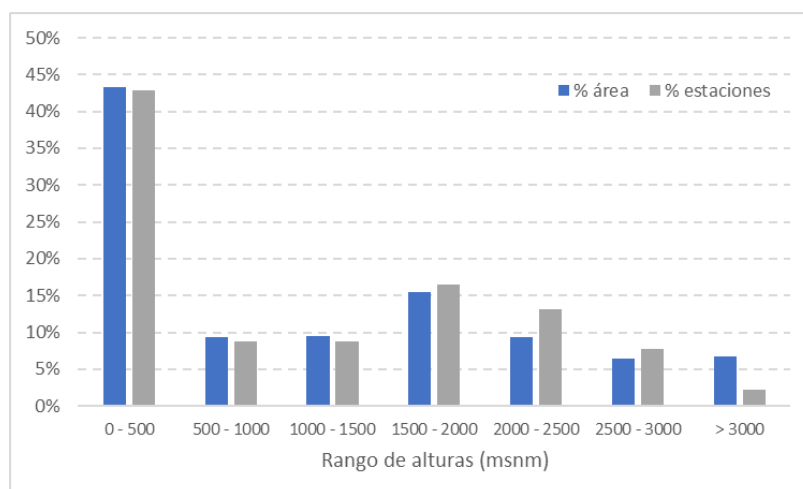


Figura 21. Distribución altitudinal de las estaciones con relación al área

- **Zonificación del área de estudio según el relieve**

Teniendo en cuenta la alta variabilidad del relieve en el área de jurisdicción de la CAS, se identificaron dos zonas con características similares para realizar el análisis de correlación espacial entre las estaciones de precipitación. De este modo, se identifica una zona montañosa con mayor pendiente, correspondiente a la parte oriental del área de estudio y una zona de planicie con pendientes más bajas, correspondiente a la parte norte y occidental del área de estudio que drena directamente hacia el río Magdalena.

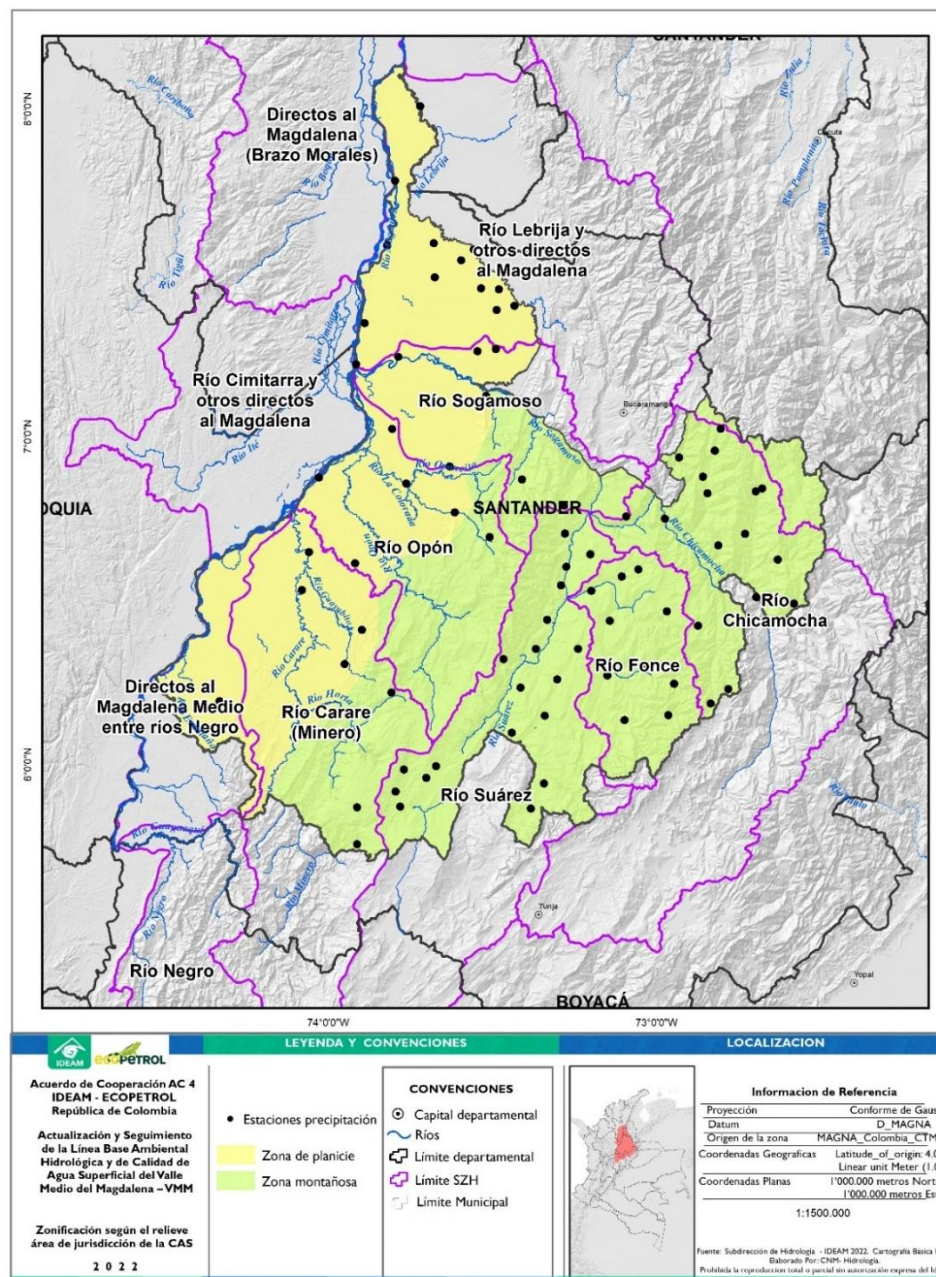


Figura 22. Zonificación según el relieve - área de jurisdicción de la CAS

- **Función de correlación espacial para la variable precipitación**

Se implementó la metodología de Kagan para definir el número óptimo y los radios de acción para las estaciones de precipitación en cada subzona hidrográfica y para las dos zonas definidas en el numeral anterior según el relieve. Para este fin en primer lugar se obtuvieron las matrices de correlación de las series de precipitación



mensual para cada una de las estaciones localizadas en cada una de las zonas definidas dentro del área de jurisdicción de la CAS, utilizando las herramientas de Rstudio.

Posteriormente se obtuvieron las matrices de distancia entre todas las estaciones analizadas, utilizando la herramienta Point distance de ArcGIS, por medio de la cual se puede obtener la distancia en kilómetros desde cada estación hasta cada una de las demás estaciones localizadas en el área de interés.

Finalmente, se organizaron los datos obtenidos a partir de las matrices de correlación y distancia, de modo que cada correlación entre dos estaciones determinadas tuviera asociada la distancia entre las mismas. A partir de estos datos se obtuvieron los gráficos de dispersión y las líneas de tendencia. A partir de las funciones de correlación, se obtienen los parámetros requeridos para la determinación del número óptimo de estaciones y los radios de acción (Para mayor detalle del procedimiento Ver Anexo 13).

Tabla 11. Número óptimo de estaciones y radio de acción por SZH

SZH	Número de estaciones		Radio de acción (km)
	Actual IDEAM	Óptimo	
Río Opón y Carare	15	13 - 23	26 - 19
Río Lebrija y Sogamoso	23	13 - 25	20 - 15
Río Chicamocha	20	13 - 23	16 - 12
Río Suárez	20	9 - 16	21 - 16
Río Fonce	12	12 - 22	14 - 10

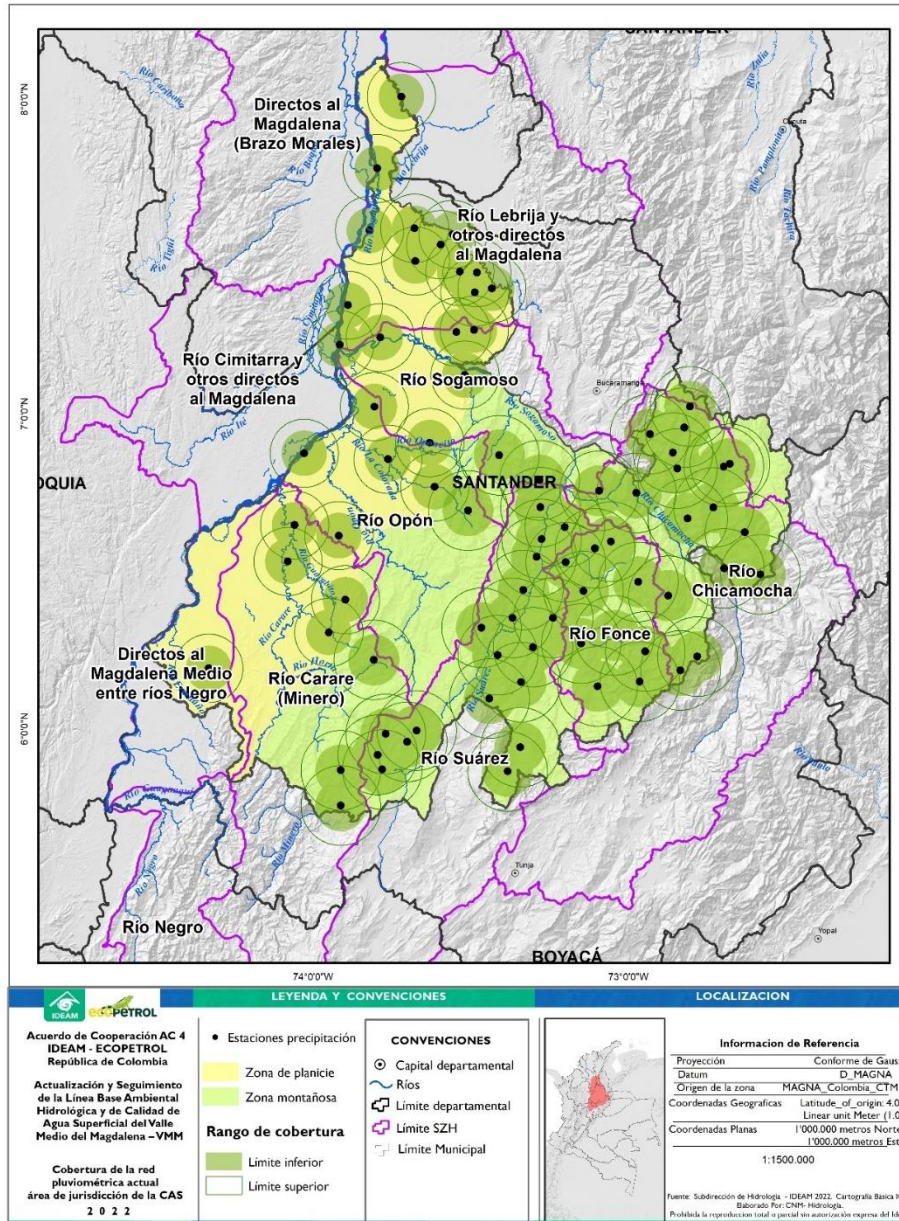


Figura 23. Radios de acción de la red actual de estaciones de precipitación

De acuerdo con los resultados, se encontró que al analizar las estaciones por unidad fisiográfica (zona de planicie y zona de montaña) o por subzona hidrográfica, en ambos casos el número de estaciones actual se encuentra dentro del rango definido como óptimo, sin embargo, al analizar la distribución de las estaciones en el mapa con sus respectivos rangos de acción, se evidencia que hay regiones en las subzonas hidrográficas de los ríos Opón y Carare que no cuentan con una cobertura de estaciones adecuada.



- **Validación de la propuesta de diseño**

Durante la etapa de formulación del PIRMA se desarrollaron talleres de validación tanto de la metodología implementada como del diseño de la red, incluyendo los análisis y ajustes adicionales realizados durante esta fase.

- Taller febrero de 2022: Se realizó un taller virtual con los funcionarios y contratistas de la CAS, área operativa 08 y Subdirección de Hidrología del IDEAM. En este espacio se presentó la metodología implementada para el diseño de la red, actividades realizadas en la fase de planificación y la propuesta de trabajo para la fase de formulación con relación al diseño de la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS.

Adicionalmente, se identificaron fortalezas de la metodología empleada y actividades faltantes, a través de un ejercicio participativo.

Fortalezas identificadas en la metodología que se ha implementado

Mentimeter

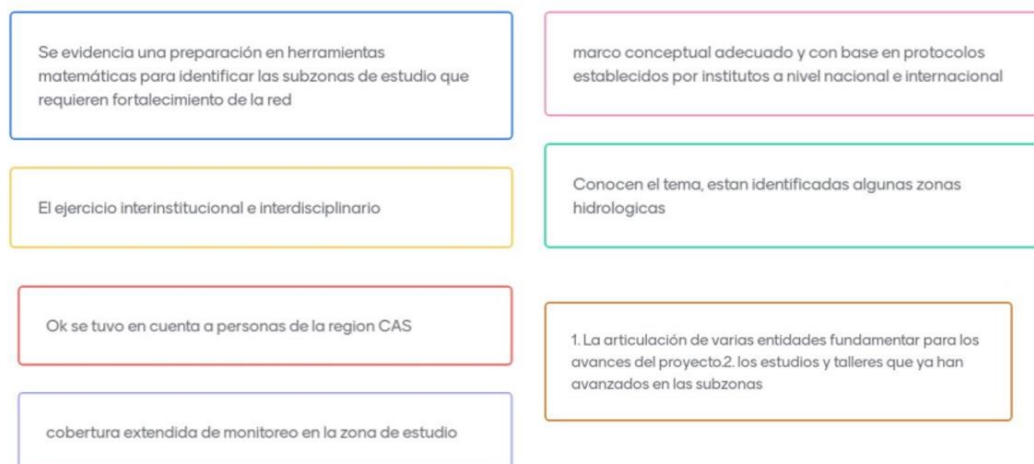


Figura 24. Taller de validación 1

- Taller marzo de 2022: Se realizó un segundo taller virtual con los funcionarios y contratistas de la CAS, área operativa 08 y Subdirección de Hidrología del IDEAM con el objetivo de “Validar el diseño de la red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS”. En este se hizo una presentación detallada de la propuesta de diseño para cada subzona hidrográfica y se recibieron comentarios al respecto, que posteriormente fueron insumo para realizar los ajustes pertinentes.



Figura 25. Taller de validación 2

- Taller junio de 2022: Se realizó un taller presencial en las instalaciones de la CAS, con funcionarios y contratistas, en el cual se presentó nuevamente el diseño de la red y los diferentes componentes del PIRMA. Adicionalmente, se realizó un ejercicio por grupos en el cual se validaron las estaciones que previamente habían sido priorizadas por alertas tempranas.

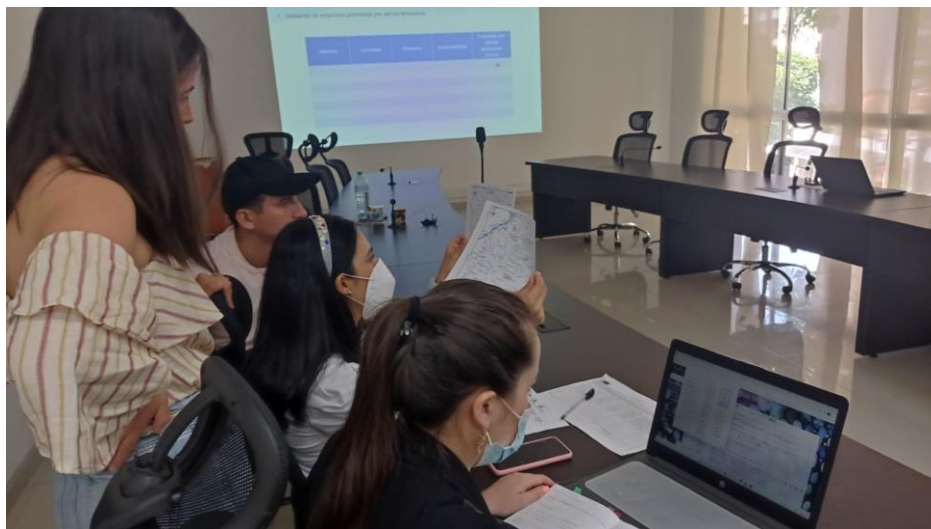


Figura 26. Taller de validación 3



5.2.1.2 Propuesta de red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS

Teniendo en cuenta la metodología planteada y las diferentes actividades descritas anteriormente, se plantea el diseño de red presentado en las Figura 27 y Figura 28.



Figura 27. Propuesta de diseño para la red de referencia de monitoreo hidrometeorológico de la CAS

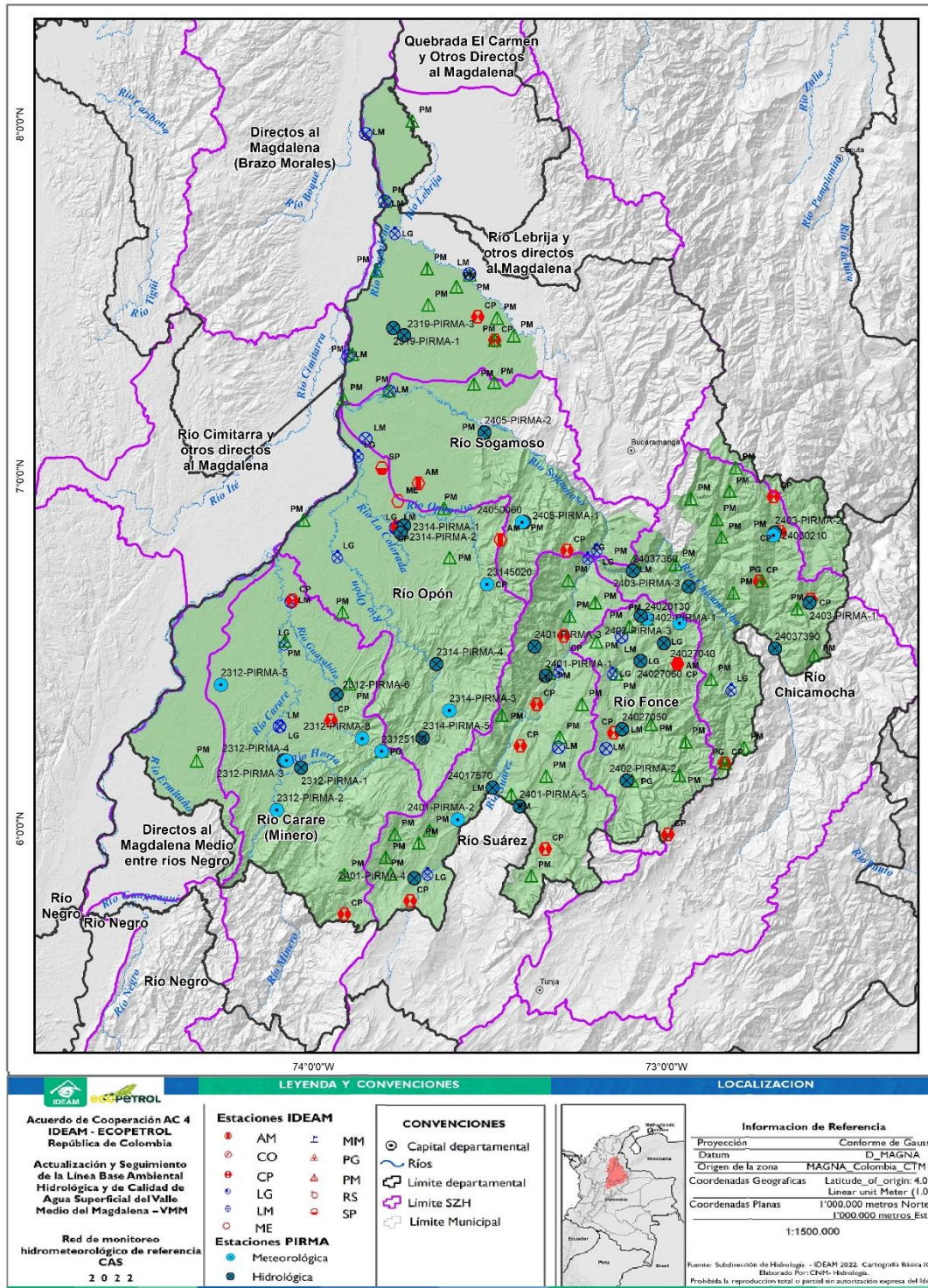


Figura 28. Diseño de la red hidrometeorológica de referencia CAS

En la Tabla 12 se presenta el listado de estaciones propuestas, indicando para cada una el tipo de estación, nombre, subzona hidrográfica a la cual pertenece, ID asignado para las estaciones nuevas, código IDEAM para



las estaciones existentes, estrategia (nueva o a repotenciar²), objetivo de monitoreo y coordenadas con sistema de referencia Magna Colombia Bogotá.

Tabla 12. Estaciones nuevas y a repotenciar propuestas para la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS

Tipo	Nombre	SZH	ID	Estrategia	Objetivo	Coordenada x	Coordenada y
Hidrológica	La india	Carare	2312-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	1002071,97	1175886,49
Hidrológica	Río Horta	Carare	2312-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1026511,22	1175998,08
Meteorológica	Río Minero parte alta	Carare	2312-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	996943,58	1161226,19
Meteorológica	La India	Carare	2312-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	999366,28	1176754,27
Meteorológica	San Juan	Carare	2312-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	979316,52	1200507,17
Hidrológica	Río Guayabito	Carare	2312-PIRMA-6	Nueva	Seguimiento	1014920,15	1189779,65
Meteorológica	Landázuri	Carare	23125130	Repotenciar	Alertas tempranas	1029272,06	1179721,12
Meteorológica	Kilómetro 15	Carare	2312-PIRMA-8	Nueva	Alertas tempranas	1023677,05	1183766,81
Hidrológica	Carcasí	Chicamocha	2403-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1164000,42	1226670,05
Hidrológica	Río Servitá	Chicamocha	2403-PIRMA-2	Nueva	Alertas tempranas	1153076,42	1248712,67
Meteorológica	Cerrito	Chicamocha	24030210	Repotenciar	Alertas tempranas	1152606,16	1247883,73
Hidrológica	Cepita Aratocha Pte. San Miguel	Chicamocha	2403-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	1126090,23	1231618,00
Hidrológica	El Jordán	Chicamocha	24037360	Repotenciar	Seguimiento	1108541,41	1236539,52
Hidrológica	Capitanejo	Chicamocha	24037390	Repotenciar	Seguimiento	1153192,15	1212221,92
Hidrológica	Puente Llano	Fonce	24027050	Repotenciar	Alertas tempranas	1105282,19	1186842,75
Meteorológica	Curití 2	Fonce	24020130	Repotenciar	Seguimiento	1112964,54	1221513,61
Hidrológica	Quebradas Curití + Ficaleña	Fonce	2402-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1111055,73	1222485,47
Hidrológica	Puente Cabra	Fonce	24027040	Repotenciar	Alertas tempranas	1118346,39	1213879,79
Hidrológica	El Encino	Fonce	2402-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	1106745,22	1170652,76
Meteorológica	Pitiguao	Fonce	2402-PIRMA-3	Nueva	Alertas tempranas	1123177,91	1220176,53
Hidrológica	Ciénaga de Paredes	Lebrija	2319-PRIMA-1	Nueva	Seguimiento	1033092,07	1312681,80
Hidrológica	Quebrada la Gómez	Lebrija	2319-PRIMA-3	Nueva	Seguimiento	1036597,06	1310347,44
Hidrológica	Río Oponcito	Opón	2314-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1036681,79	1250690,05
Hidrológica	Río Cascajales	Opón	2314-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	1036226,59	1247555,25
Meteorológica	Santa Helena de Opón	Opón	2314-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	1047690,96	1206882,47
Hidrológica	La Aragua Santa Helena de Opón	Opón	2314-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	1049560,93	1205382,32
Hidrológica	Río Quiratá borrascoso	Opón	2314-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	1042731,64	1183930,39
Meteorológica	El Carmen	Opón	23145020	Repotenciar	Seguimiento	1062753,592	1232286,45

² Estaciones existentes de la red nacional de tipo convencional que se está proponiendo automatizar



Tipo	Nombre	SZH	ID	Estrategia	Objetivo	Coordenada x	Coordenada y
Meteorológica	El Guamo	Opón	2314-PIRMA-6	Nueva	Seguimiento	1041473,805	1216283,59
Hidrológica	San Vicente	Sogamoso	2405-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1074255,13	1252115,34
Meteorológica	San Vicente	Sogamoso	24050060	Repotenciar	Seguimiento	1073691,48	1251793,59
Hidrológica	Quebrada La Putana	Sogamoso	2405-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	1061845,97	1279950,79
Hidrológica	Quebrada Santa Rosa	Suarez	2401-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	1081165,94	1203492,25
Hidrológica	San Benito	Suarez	24017570	Repotenciar	Seguimiento	1064670,63	1168354,52
Meteorológica	Guepsa - Chipatá	Suarez	2401-PIRMA-2	Nueva	Alertas tempranas	1048965,60	1162048,79
Hidrológica	Quebrada Cinco mil	Suarez	2401-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	1085786,65	1209254,15
Hidrológica	Rio Cuchinero	Suarez	2401-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	1040122,88	1139839,89
Hidrológica	Río Lenguaruco	Suarez	2401-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	1073128,72	1162486,46

- **Validación en campo de los sitios propuestos**

De acuerdo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial - OMM, una vez completada la fase de diseño y establecida la ubicación de los puntos de recopilación de datos, atendiendo a los requisitos operacionales se debe seleccionar el emplazamiento más adecuado que cumpla los requisitos en materia de instrumentación (Organización Meteorológica Mundial, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una validación en campo durante los meses de mayo, agosto y septiembre de 2022, en la cual se visitaron los sitios propuestos con el objetivo de verificar las condiciones de acceso y características de los sitios que garanticen la correcta instalación de las estaciones. Teniendo en cuenta que para la propuesta de rediseño de la red se tiene estaciones nuevas y estaciones a repotenciar (estaciones existentes de la red nacional), se realizó la validación en campo únicamente para las estaciones nuevas, haciendo especial énfasis en las estaciones hidrológicas, para las cuales se verificaron las siguientes condiciones (Anexo 7):

- ✓ La sección debe estar situada en un tramo recto de la corriente.
- ✓ El tramo de río debe ser unitario y sin cauce mayor inundable.
- ✓ En lo posible la sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la medición de niveles máximos.
- ✓ La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme.
- ✓ Se deben evadir áreas de aguas muertas y contracorrientes o remolinos.
- ✓ El lecho del río debe ser de geometría regular y cauce estable, tanto en perfil longitudinal como transversal y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.).
- ✓ Se deben evitar los lechos fangosos.
- ✓ No deben existir confluencias cercanas a las desembocaduras, las cuales pueden producir remanso.
- ✓ El sitio seleccionado debe encontrarse cerca de un centro poblado y ser de fácil acceso para el observador seleccionado en caso de ser una estación convencional.
- ✓ Debe contar con facilidades de acceso para los medios de transporte disponibles.



- ✓ Posibilidad de acceder al sitio en niveles altos de la corriente.
- ✓ La sección debe coincidir en lo posible con la sección de aforos.



Figura 29. Validación en campo de los sitios nuevos de la red hidrometeorológica

De manera general, los sitios visitados cumplieron con las características y condiciones requeridas para el establecimiento de una nueva estación. Para los casos en los cuales el sitio propuesto previamente, no cumplía con las condiciones en campo, se identificaron nuevos sitios más adecuados ya sea aguas arriba o aguas abajo dependiendo del propósito de la estación (Para mayor detalle ver anexo 7). Es importante destacar, que una vez se vaya a realizar la instalación de las diferentes estaciones, se debe verificar con mayor detalle las condiciones técnicas para la instalación de la infraestructura de la red.

- **Variables y frecuencias de monitoreo**

Las variables y frecuencias de monitoreo para las diferentes estaciones se presentan en la Tabla 13, la cual se basa en la estructura de monitoreo planteada por el IDEAM, de tal forma que las variables que se monitorean están acordes con el tipo de estación. Las frecuencias se establecen según la tecnología y el propósito de monitoreo establecidos para cada estación.

Tabla 13. Variables y frecuencia de medición para las diferentes estaciones de la red

Tipo estación	Variable medida	Frecuencia	Unidad de medida
Pluviométrica convencional	Precipitación	24 h	mm
Pluviográfica convencional	Precipitación	Continua	mm*
Pluviométrica automática	Precipitación	Configurable <1 h	mm
Climatológica convencional	Temperatura	7,13, 19 h	°C
	Recorrido viento	24 h	m
	Brillo solar	24 h	Horas sol
	Precipitación	24 h	mm
	Temperatura - Humedad	Continua	°C - %**
	Precipitación	Continua	mm*
Climatológica automática	Temperatura	Configurable <1 h	°C
	Precipitación	Configurable <1 h	mm
	Dirección y velocidad viento	Configurable <1 h	m/s



	Humedad	Configurable <1 h	%
	Presión atmosférica	Configurable <1 h	hPa
	Radiación global	Configurable <1 h	W/m ²
Limnimétrica convencional	Nivel	@ 12 h	m
Limnigráfica automática	Nivel	Configurable <1 h	mt
	Precipitación	Configurable <1 h	mm

- **Equipamiento hidrometría**

Como complemento a las mediciones desarrolladas por los sensores instalados en cada una de las estaciones, es necesario establecer el programa de visitas, el levantamiento de información hidrométrica y las mediciones específicas que se realizan en las corrientes, a fin de establecer la caracterización física de las secciones transversales donde se encuentran emplazadas las estaciones hidrológicas. El desarrollo de estas mediciones permitirá hacer seguimiento continuo a variables que se derivan a partir de los datos monitoreados a diario en la estación; específicamente, el nivel de la corriente.

La construcción de la curva nivel-caudal o curva de gastos constituye la razón de ser de la hidrometría y de las mediciones; bajo consideraciones específicas, la curva permite el seguimiento continuo al comportamiento del volumen de agua que cruza por la sección transversal definida, y en la misma resolución temporal con que se toman las mediciones de nivel en cada estación. Asimismo, es necesario georreferenciar la cota cero y las cotas de desbordamiento de cada estación y hacer seguimiento a los posibles cambios en las secciones donde se localicen las estaciones.

En este sentido, es importante contar con el equipamiento necesario para efectuar las mediciones de campo descritas. Así, en el marco de la implementación del PIRMA, se hace necesaria la adquisición de los siguientes equipos: correntómetro y perfilador (ADCP) para medición de caudales, equipo de topografía para levantamiento de secciones, computador portátil para descargue de la información, además de implementar la configuración de equipos y estaciones y herramientas varias para el mantenimiento de equipos e infraestructura.

- **Documentación**

En cuanto a la información que se obtenga de las estaciones de la red, se debe definir el procedimiento para la validación, procesamiento primario, actualización, procesamiento secundario, y extracción y salida de datos. Se recomienda adquirir sistemas abiertos y modulares (programables y configurables por el usuario), y con formatos de salida estándar (XML, ASCII formateado, CSV) para eliminar la dependencia de los proveedores, lo que podría encarecer en el futuro los precios de las actualizaciones y repuestos, y además limita la instalación de nuevos sensores.

Para adelantar el proceso de captura de información y datos de estaciones convencionales y automáticas es pertinente que se sigan los procedimientos y formatos definidos en el *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua* (IDEAM & INVEMAR, 2021) y la *Guía de prácticas hidrológicas Volumen 1 OMM-N° 168* (OMM, 2020).



A continuación, se mencionan los formatos a tener en cuenta para el monitoreo de cantidad. (para mayor detalle ver Anexo 8).

- ✓ Formato diario de observaciones meteorológicas
- ✓ Libreta para observaciones mensuales de niveles, temperaturas del agua y muestreo de sedimentos en suspensión
- ✓ Lecturas fluviométricas y temperaturas diarias
- ✓ Formato cartera de nivelación
- ✓ Formato cartera de aforos
- ✓ Aforo y cálculo de caudal (m^3/s)
- ✓ Formato de recolección de datos e información de medidas sobre la superficie del glaciar
- ✓ Formato muestras diarias de sedimentos
- ✓ Formato resumen de medición detallada de materiales en suspensión
- ✓ Formato medición detallada de sedimentos en suspensión
- ✓ Formato aforo de sedimentos en suspensión
- ✓ Formato aforo integrado líquido y sólido con bolsa plegable
- ✓ Formato aforo de sedimentos en suspensión bolsa plegable
- ✓ Formato aforo por suspensión y cálculo de caudal (m^3/s)
- ✓ Formato captura de datos en campo para agua superficial
- ✓ Formato plan de muestreo
- ✓ Formato ficha descriptiva de estaciones de muestreo
- ✓ Formato lista de chequeo para el monitoreo del recurso hídrico

Finalmente, se mencionan algunas de las recomendaciones de la OMM con relación a la recopilación y documentación de la información:

- ✓ Se debe cumplir con un calendario adecuado de inspecciones y actividades de mantenimiento que asegure la continuidad y fiabilidad de los datos, así como una serie de mediciones y calibraciones de comprobación que aseguren permanentemente la exactitud necesaria de los datos.
- ✓ Toda estación permanente debe tener un identificador único, que servirá para denotar todos los datos e informaciones pertinentes de la estación.
- ✓ Normalmente, la información debe incluir el nombre de la estación y los datos de su ubicación, el tipo de estación, las estaciones asociadas, entidad operadora y propietarias, los datos de elevación, la frecuencia de observación, los períodos de utilización, e información sobre el equipo instalado. Deberían incluirse además datos relativos al tipo de estación.
- ✓ Debe elaborarse un archivo histórico con información detallada sobre las operaciones de cada estación.
- ✓ Se debe contar con un mapa que relacione el emplazamiento con las carreteras, autopistas y núcleos urbanos. El mapa, junto con el plano esquemático de la estación y sus alrededores, debe proporcionar una información completa sobre el lugar.



- ✓ La frecuencia y regularidad de las lecturas de instrumentos y, por consiguiente, de las visitas al emplazamiento deben determinarse atendiendo a la utilización prevista de los datos, y deben ser adecuadas para definir las observaciones a lo largo del tiempo. Las visitas a la estación se efectuarán con fines de observación, o para la recopilación de datos y el mantenimiento del emplazamiento.
- ✓ Para las estaciones convencionales se debe capacitar a los observadores en la toma y captura de datos. Los observadores estarán provistos de cuadernos de notas y/o diarios de la estación en los que registrarán las observaciones originales a medida que las obtienen. Debe disponerse también de formularios que permitan al observador preparar un informe periódico de las observaciones, según las necesidades.
- ✓ Para las estaciones automáticas, cuando se realicen visitas para la recolección de datos o mantenimiento, se deben verificar registros independientes asociados a miras limnimétricas o pluviómetros en caso de existir. Además, se deben documentar comentarios específicamente relativos al dispositivo de registro, en particular su estado, la observación en curso, fecha y hora.

- **Hoja de ruta para la implementación de la red de cantidad de aguas superficiales**

La implementación de las nuevas estaciones de la red propuesta en el marco del PIRMA tiene en cuenta la articulación de las entidades que generan información hidrometeorológica dentro de la jurisdicción de la CAS; esto, con el ánimo de establecer mecanismos de complementariedad y corresponsabilidad en la generación de la información. De este modo, la inversión que efectúe la Corporación en el marco del PIRMA será realizada de manera efectiva, y solo en los sitios o zonas en donde es indispensable; de esta manera, se evitan redundancias de información o duplicidad de inversiones. Por ello, el foco de monitoreo debe estar en las zonas en donde no se cuenta con ningún tipo de medición y en donde se considera prioritario en el marco de los análisis realizados.

En este sentido, de acuerdo con la identificación de estaciones existentes, se encontró que, de las estaciones propuestas para la red, las siguientes ya cuentan con estaciones automáticas pertenecientes a otras entidades: Capitanejo en la SZH del río Chicamocha, San Benito en la SZH del río Suárez, Curití 2 en la SZH del río Fonce, San Vicente (meteorológica) en la SZH del río Sogamoso y El Carmen en la subzona hidrográfica del río Opón. Por tal razón, para estas estaciones los esfuerzos deben enfocarse en el establecimiento de acuerdos que permitan contar con la información de estas estaciones e incorporarla a la red regional de monitoreo.

Asimismo, es necesario establecer con el IDEAM los acuerdos que sean necesarios para contar con la información generada en su red dentro de la jurisdicción de la Corporación. Lo anterior, en vista de que la línea base del monitoreo y los propios análisis incluidos en este documento tienen como fundamento la información histórica existente en esta red y teniendo en cuenta los beneficios y la importancia de articular las diferentes redes de monitoreo, y su desarrollo a partir de las diferentes escalas de responsabilidades, desde el nivel nacional hasta niveles regionales y locales.

De acuerdo con el diseño establecido y la priorización de las estaciones, se propone implementar en primera instancia las estaciones de alertas tempranas. Por ello se priorizan ocho estaciones que se deben instalar



durante el primer año de inversión del PIRMA y posteriormente se instalarán las demás estaciones de manera progresiva, durante el plazo de implementación del programa. Para las estaciones existentes de otras entidades, se propone establecer los acuerdos de acceso a la información durante el primer año.

En la Tabla 14 y Figura 30 se presenta la propuesta de implementación de las estaciones de la red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS.

Tabla 14. Año de implementación de las estaciones

Tipo	Nombre	SZH	ID	ESTRATEGIA	Objetivo	Año implementación
Hidrológica	La india	Carare	2312-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	3
Hidrológica	Río Horta	Carare	2312-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	3
Meteorológica	Río Minero parte alta	Carare	2312-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	3
Meteorológica	La India	Carare	2312-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	3
Meteorológica	San Juan	Carare	2312-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	3
Hidrológica	Río Guayabito	Carare	2312-PIRMA-6	Nueva	Seguimiento	3
Meteorológica	Landázuri	Carare	23125130	Repotenciar	Alertas tempranas	1
Meteorológica	Kilómetro 15	Carare	2312-PIRMA-8	Nueva	Alertas tempranas	1
Hidrológica	Carcasí	Chicamocha	2403-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	5
Hidrológica	Río Servitá	Chicamocha	2403-PIRMA-2	Nueva	Alertas tempranas	1
Meteorológica	Cerrito	Chicamocha	24030210	Repotenciar	Alertas tempranas	2
Hidrológica	Cepita Aratocha Pte. San Miguel	Chicamocha	2403-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	5
Hidrológica	El Jordán	Chicamocha	24037360	Repotenciar	Seguimiento	5
Hidrológica	Capitanejo	Chicamocha	24037390	Repotenciar	Seguimiento	1
Hidrológica	Puente Llano	Fonce	24027050	Repotenciar	Alertas tempranas	1
Meteorológica	Curití 2	Fonce	24020130	Repotenciar	Seguimiento	1
Hidrológica	Quebradas Curití + Ficalaña	Fonce	2402-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	2
Hidrológica	Puente Cabra	Fonce	24027040	Repotenciar	Alertas tempranas	1
Hidrológica	El Encino	Fonce	2402-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	2
Meteorológica	Pitiguao	Fonce	2402-PIRMA-3	Nueva	Alertas tempranas	1
Hidrológica	Ciénaga de Paredes	Lebrija	2319-PRIMA-1	Nueva	Seguimiento	6
Hidrológica	Quebrada la Gómez	Lebrija	2319-PRIMA-3	Nueva	Seguimiento	6
Hidrológica	Río Oponcito	Opón	2314-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	4
Hidrológica	Río Cascajales	Opón	2314-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	4
Meteorológica	Santa Helena de Opón	Opón	2314-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	4
Hidrológica	La Aragua Santa Helena de Opón	Opón	2314-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	4



Tipo	Nombre	SZH	ID	ESTRATEGIA	Objetivo	Año implementación
Hidrológica	Río Quirará borrascoso	Opón	2314-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	4
Meteorológica	El Carmen	Opón	23145020	Repotenciar	Seguimiento	1
Meteorológica	El Guamo	Opón	2314-PIRMA-6	Nueva	Seguimiento	4
Meteorológica	San Vicente	Sogamoso	24050060	Repotenciar	Seguimiento	1
Hidrológica	San Vicente	Sogamoso	2405-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	7
Hidrológica	Quebrada La Putana	Sogamoso	2405-PIRMA-2	Nueva	Seguimiento	7
Hidrológica	Quebrada Santa Rosa	Suarez	2401-PIRMA-1	Nueva	Seguimiento	2
Hidrológica	San Benito	Suarez	24017570	Repotenciar	Seguimiento	1
Meteorológica	Guepsa - Chipatá	Suarez	2401-PIRMA-2	Nueva	Alertas tempranas	1
Hidrológica	Quebrada Cinco mil	Suarez	2401-PIRMA-3	Nueva	Seguimiento	2
Hidrológica	Río Cuchinero	Suarez	2401-PIRMA-4	Nueva	Seguimiento	2
Hidrológica	Río Lenguaruco	Suarez	2401-PIRMA-5	Nueva	Seguimiento	2

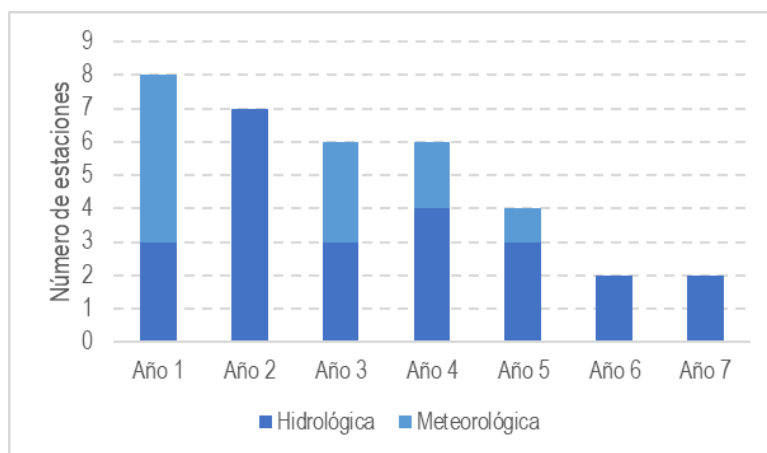


Figura 30. Proceso de implementación de la red 2023 - 2029

Para la implementación y puesta en marcha de la red, se recomienda tener en cuenta los siguientes documentos técnicos:

- ✓ La *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*, de la Organización Meteorológica Mundial, en donde se detallan la mayoría de instrumentos, sistemas y técnicas utilizados regularmente, desde los más sencillos hasta los más complejos y sofisticados (OMM, 2017b).
- ✓ La *Guía de Prácticas hidrológicas de la OMM - De la medición a la información hidrológica*, donde se presentan los diferentes métodos para el monitoreo de variables hidrometeorológicas y los lineamientos para el tratamiento de los datos recolectados (OMM, 2020).



- ✓ El *Protocolo de monitoreo del agua*, que se constituye como una guía de procedimientos para un monitoreo representativo del recurso hídrico para las instituciones y usuarios; considera los ciclos y procesos del agua en la naturaleza, sus manifestaciones y relaciones, y está dirigido a las instituciones con responsabilidad directa en el monitoreo del agua y del recurso hídrico a nivel nacional, regional y local (IDEAM & INVEMAR, 2021).
- ✓ *Métodos para elaborar curvas de calibración en cauces aluviales* (IDEAM).

- **Red de monitoreo de sedimentos**

Una de las redes específicas que con mayor facilidad puede ser interoperable con la red regional de monitoreo hidrometeorológico es la red de sedimentos.

Para el caso de monitoreo de cantidad de sedimentos se consideró el documento técnico "Análisis de la red de sedimentos del IDEAM" (Montoya, 2018), realizado en el marco del proceso de elaboración del *Estudio Nacional del Agua 2018* (IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2018).

En este documento se hizo una referenciación de aspectos conceptuales y metodológicos con relación al monitoreo de sedimentos y posteriormente se realizó un análisis del estado actual de la red de monitoreo de sedimentos en Colombia para cada una de las áreas y zonas hidrográficas del país, identificando de este modo fortalezas y debilidades de la red actual del IDEAM, y priorizando acciones tendientes a la optimización de esta en el corto, mediano y largo plazo.

Para las zonas hidrográficas del Medio Magdalena y Sogamoso, se encontró que existe una buena cobertura de monitoreo de sedimentos de acuerdo con los siguientes criterios de evaluación definidos:

- ✓ Zonas monitoreadas y zonas que carecen de medición y monitoreo de sedimentos, y su relación con los procesos de producción de sedimentos (erosión hídrica, movimientos en masa, explotación de oro en aluviones).
- ✓ Tipo y frecuencia de medida según las condiciones ambientales de las cuencas y corrientes.
- ✓ Gobernanza de la red, definiendo diferentes actores responsables de las estaciones de medición.

En general, se observa una adecuada distribución espacial de las estaciones, sin redundancia espacial. Cabe mencionar que la subzona hidrográfica del Río Fonce es la que presenta el mayor número de estaciones de sedimentos, lo cual permite efectuar pruebas de modelos hidrológicos y sedimentológicos.

En las estaciones de la zona hidrográfica Sogamoso se está midiendo tanto la concentración diaria y el transporte de sedimentos y todas las subzonas están cubiertas por al menos dos estaciones de medición de sedimentos.

En la Tabla 15 se presenta el listado de las estaciones que se localizan en las subzonas hidrográficas de interés para la CAS, con su respectiva localización. Adicionalmente, se presentan los valores de transporte medio de sedimentos y rendimiento reportados en el ENA – 2018.



Tabla 15. Localización, transporte de sedimentos y rendimiento para las estaciones localizadas en las subzonas hidrográficas de interés. Fuente: ENA, 2018

Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	Subzona hidrográfica	Corriente	Transporte medio anual multianual (kt/año)	Rendimiento (kt/año*km ²)
23127020	PUERTO ARAUJO - AUT [23127020]	92	6,525556	-74,085833	Río Carare	Carare	14606,17	2,71
23127070	ANGUSTIAS LAS [23127070]	190	6,166667	-74,100000	Río Carare	Minero	5116,30	1,52
23127010	BORBUR [23127010]	457	5,649389	-74,055028	Río Carare	Minero	4453,53	2,85
23127060	SANTA ROSA [23127060]	154	6,291944	-74,098333	Río Carare	Carare	11566,98	2,36
24037040	GUICAN [24037040]	2827	6,453972	-72,403056	Río Chicamocha	Nevado	87,33	0,54
24037390	CAPITANEJO [24037390]	1160	6,513208	-72,695453	Río Chicamocha	Chicamocha	8346,91	1,35
24037130	LA REFORMA [24037130]	2523	5,748833	-73,189889	Río Chicamocha	Chicamocha	8,45	0,01
24037030	PALO EL [24037030]	2600	5,681722	-73,231139	Río Chicamocha	Tuta	3,75	0,01
24037360	EL JORDAN - AUT [24037360]	480	6,749722	-73,096667	Río Chicamocha	Chicamocha	18070,08	1,92
24027030	NEMIZAUQUE [24027030]	1308	6,229444	-73,171667	Río Fonce	Pienta	28,53	0,05
24027050	PUENTE LLANO [24027050]	1280	6,285	-73,126111	Río Fonce	Taquiza	68,90	0,11
24027070	MERIDA [24027070]	1201	6,444722	-73,158333	Río Fonce	Fonce	224,77	0,15
24027060	PUENTE ARCO [24027060]	1223	6,478611	-73,073611	Río Fonce	Monchía	10,31	0,06
24027040	PUENTE CABRA [24027040]	1700	6,529167	-73,007778	Río Fonce	Mogoticos	19,42	0,11
24027010	SAN GIL - AUT [24027010]	1113	6,546667	-73,128056	Río Fonce	Fonce	418,47	0,20
23187280	SITIO NUEVO [23187280]	58	7,784	-73,801917	Río Lebrija	Magdalena	20512,27	0,31
23197370	SAN RAFAEL [23197370]	78	7,578056	-73,560556	Río Lebrija	Lebrija	2607,06	0,60
23197290	CAFE MADRID [23197290]	600	7,166333	-73,146444	Río Lebrija	Lebrija	299,39	0,24
24067010	TABLAZO EL [24067010]	192	7,038889	-73,340833	Río Sogamoso	Sogamoso	11852,79	0,58
24057050	PUENTE COMUNA [24057050]	300	6,991667	-73,378056	Río Sogamoso	Chucurí	73,96	0,19
24017640	CEIBA LA [24017640]	724	6,448889	-73,306944	Río Suárez	Suárez	1438,30	0,20
24017830	SUTAMARCHAN [24017830]	2500	5,618389	-73,612861	Río Suárez	Sutamarchán	18,85	0,05
24017820	BOCATOMA [24017820]	2150	5,68	-73,485	Río Suárez	Cane	1,02	0,01
24017570	SAN BENITO - AUT [24017570]	145	6,118333	-73,493333	Río Suárez	Suárez	1041,06	0,19
24017590	PUENTE NACIONAL - AUT [24017590]	1650	5,872778	-73,677778	Río Suárez	Suárez	340,38	0,15
23147020	PUENTE FERROCARRIL [23147020]	90	6,773611	-73,935000	Río Opón	Opón	1870,19	1,08

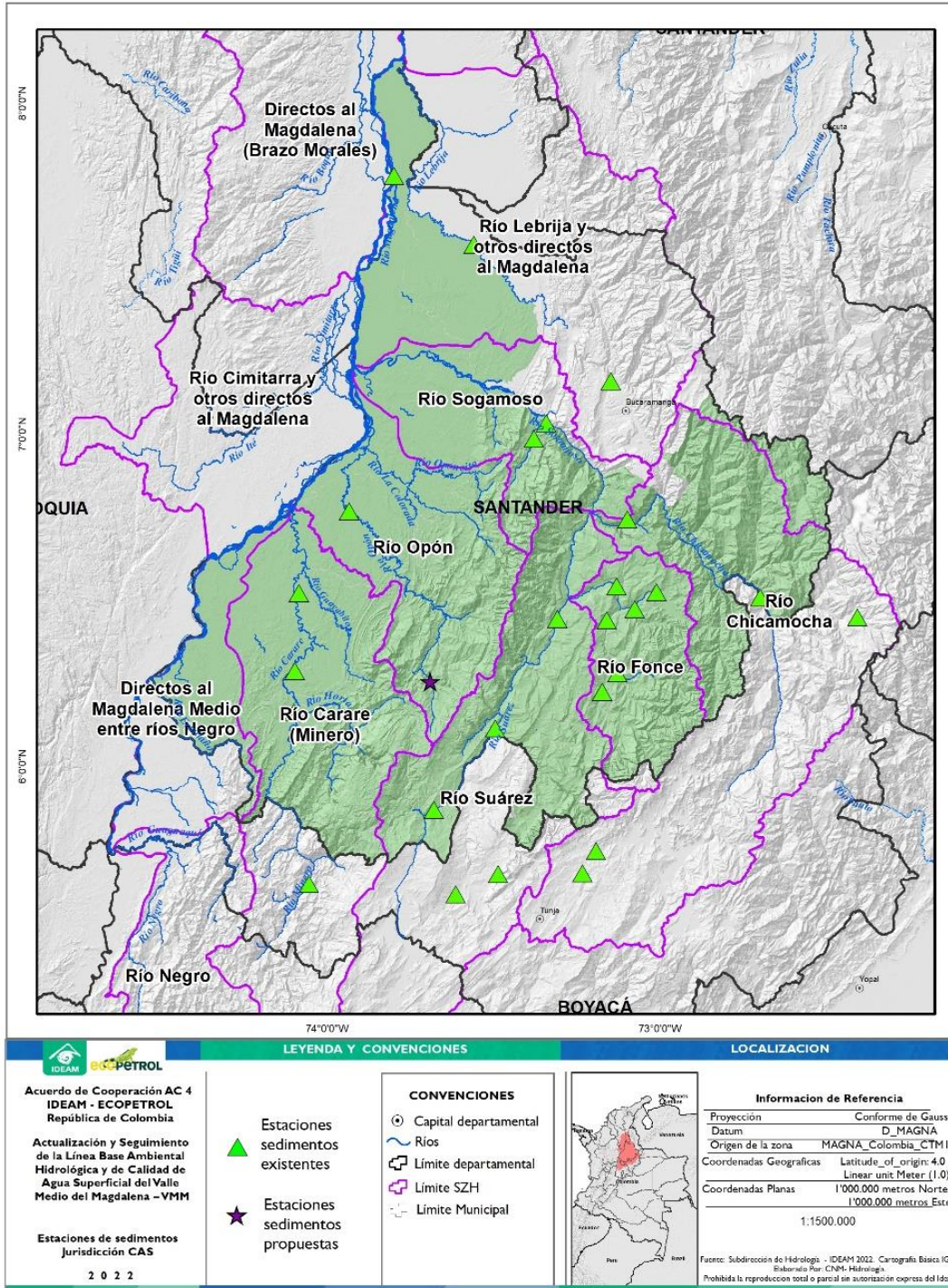


Figura 31. Estaciones sedimentos Subzonas hidrográficas CAS

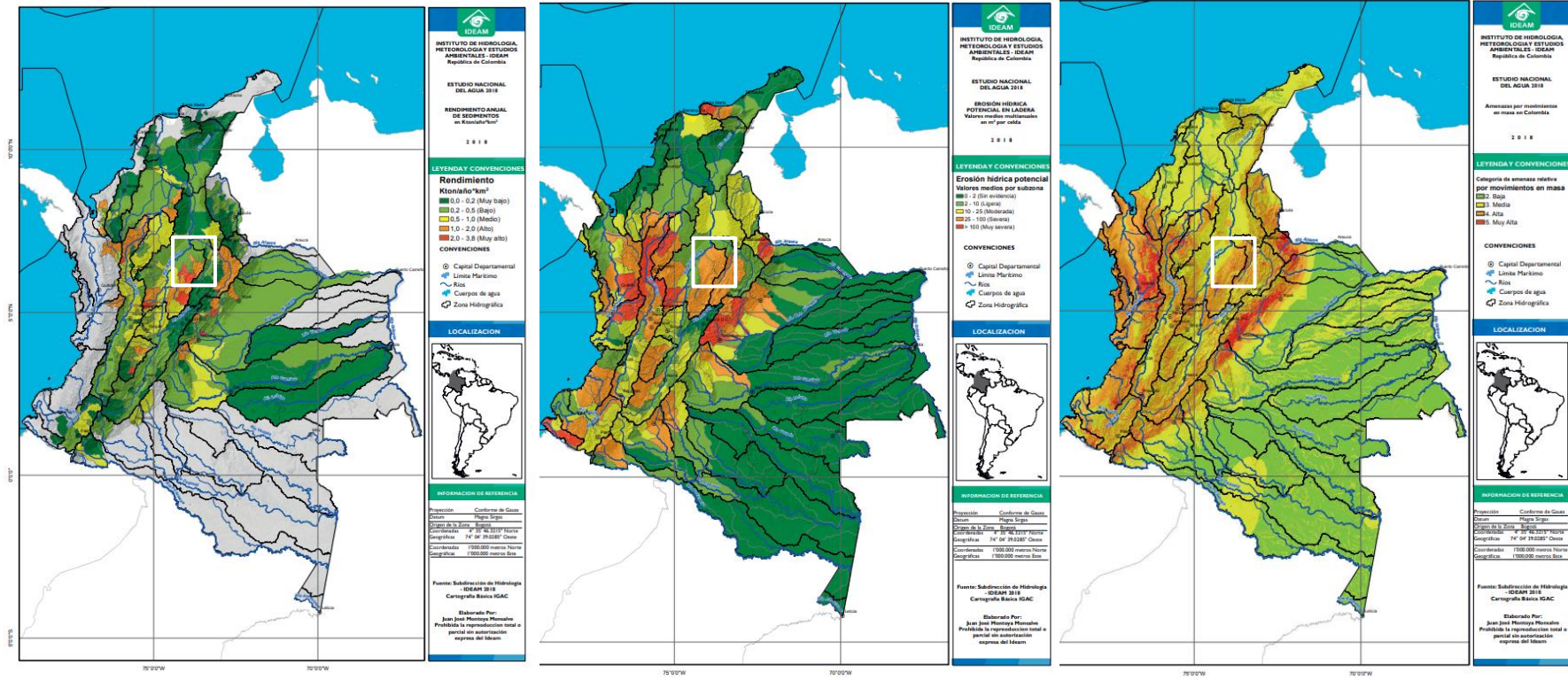


Figura 32. Procesos de producción de sedimentos SZH río Opón (ENA, 2018)



De acuerdo con el estudio (Montoya, 2018), con relación a la optimización de la Red de Sedimentos Nacional, no se identifica la necesidad de instalar estaciones nuevas en las subzonas hidrográficas de análisis. Adicionalmente, de acuerdo con las recomendaciones de la OMM y las áreas respectivas para cada una de las subzonas hidrográficas de interés, se encontró que en todos los casos se cumple con el número mínimo de estaciones recomendadas para el monitoreo de sedimentos (Tabla 16 y Tabla 17).

Tabla 16. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (km² por estación) (OMM, 2011)

Unidad fisiográfica	Precipitación		Evaporación	Flujo fluvial	Sedimentos	Calidad del agua
	No registradoras	Registradoras				
Costa	900	9 000	50 000	2 750	18 300	55 000
Montaña	250	2 500	50 000	1 000	6 700	20 000
Planicie interior	575	5 750	5 000	1 875	12 500	37 500
Montes/ondulaciones	575	5 750	50 000	1 875	12 500	47 500
Islas pequeñas	25	250	50 000	300	2 000	6 000
Áreas urbanas	–	10 a 20	–	–	–	–
Polos/tierras áridas	10 000	100 000	100 000	20 000	200 000	200 000

Tabla 17. Número de estaciones de sedimentos por SZH

Zona hidrográfica	Subzona hidrográfica	Estaciones recomendadas OMM	Estaciones sedimentos IDEAM
Medio Magdalena	Río Carare (minero)	1	3
Medio Magdalena	Río Opón	1	1
Medio Magdalena	Río Lebrija y otros directos al Magdalena	2	3
Sogamoso	Río Suárez	2	5
Sogamoso	Río Fonce	1	6
Sogamoso	Río Chicamocha	2	5
Sogamoso	Río Sogamoso	1	2

Específicamente para la CAS, se recomienda tener en cuenta las estaciones existentes del IDEAM y adicionar una estación en la parte alta de la subzona hidrográfica del río Opón, en la cual según lo reportado en el ENA 2018, se presenta un alto rendimiento de sedimentos, alta erosión potencial y amenaza alta por movimientos en masa (Figura 32) por lo cual se considera relevante para complementar el monitoreo de sedimentos de la subzona hidrográfica. Esta estación es coincidente con la estación hidrológica propuesta 2314-PIRMA-5 (Río Quiratá Borrascoso).



5.2.2. Diseño de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial de la CAS

Para el diseño de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS se llevó a cabo un procedimiento (Figura 33) basado en la identificación de los objetivos de monitoreo de la red de acuerdo con las funciones y actividades de la CAS. Con base al objetivo general y los objetivos específicos definidos, se realizó la ubicación de los puntos de monitoreo, de los cuales se identifican los impactos para la definición de variables a monitorear. Finalmente se define la frecuencia de monitoreo, teniendo en cuenta el objetivo de la red y la información histórica con la que se cuenta en cada punto.

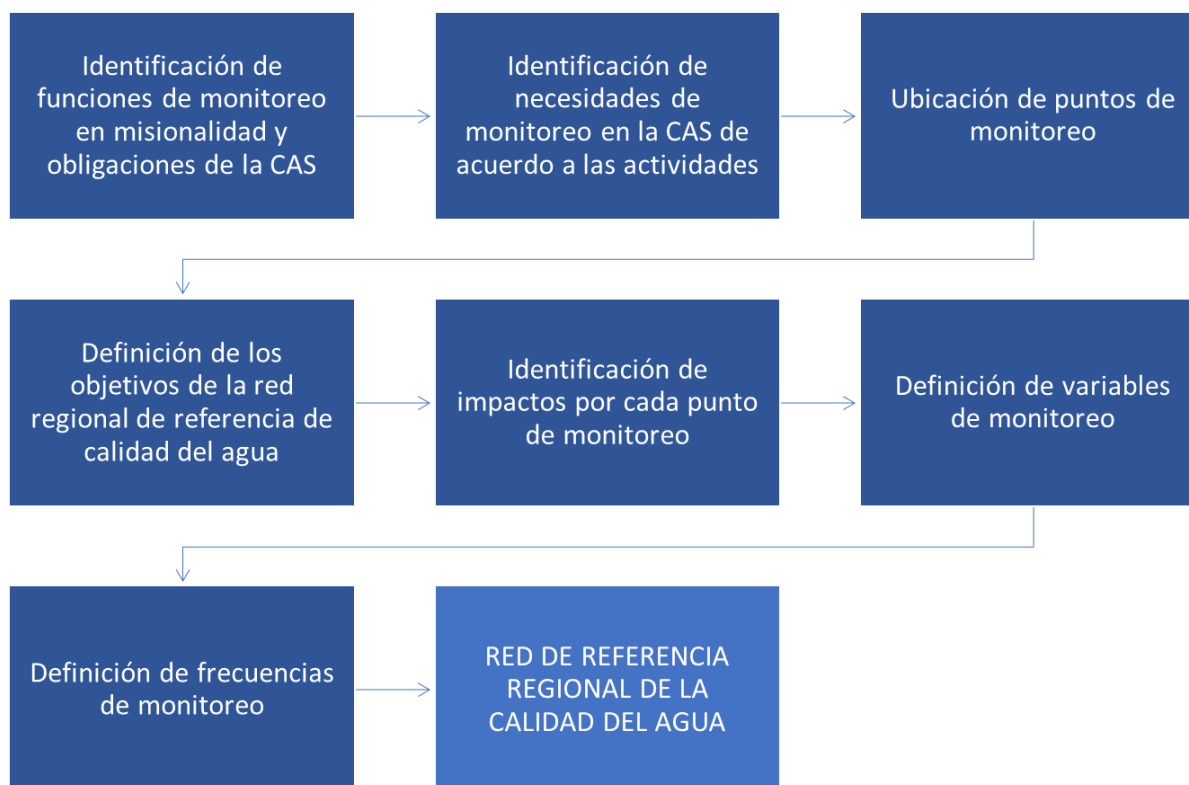


Figura 33. Procedimiento para el diseño de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.

Todas las etapas del proceso de diseño de esta red se llevaron a cabo en talleres con los funcionarios y contratistas de la CAS, donde se obtuvieron los insumos necesarios.

Los objetivos de monitoreo definidos son los siguientes:

Objetivo general:

Generación de información y conocimiento sobre la calidad del agua de las principales corrientes hídricas en la jurisdicción de la CAS

Objetivos específicos:



- Disponer información que permita evaluar el estado de la calidad de las fuentes hídricas en la jurisdicción de la CAS.
- Identificar afectaciones de la calidad el agua por procesos productivos y de explotación.
- Aportar información oportuna que oriente el otorgamiento de licencias y permisos ambientales

A partir de esta definición de objetivos basada en la misionalidad y las actividades de las diferentes subdirecciones de la CAS, se definieron 39 puntos de monitoreo ubicados en las principales corrientes hídricas de la jurisdicción en el marco del taller realizado el 9 de junio de 2022 (anexo 9).

A continuación, se relacionan los puntos de monitoreo definidos, así como su justificación. (Tabla 18 y Figura 34)

Tabla 18. Puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.

ID		Coordenada N	Coordenada W	SZH	Corriente	Objetivo
1	Los Chorros	7°41'37,85"	73° 45' 36,03"	Lebrija	Lebrija	Seguimiento
2	Provincia	7°25'14,97"	73° 25' 49,29"	Lebrija	Lebrija	Seguimiento
3	La Gómez aguas abajo	7° 24' 9,34"	73° 44' 47,11"	Lebrija	Quebrada La Gómez	Seguimiento
4	La Gómez aguas arriba	7°23'4,60"	73°32'59,58"	Lebrija	Quebrada La Gómez	Referencia
5	Desembocadura Lebrija	8° 7'51,67"	73°46'23,25"	Lebrija	Lebrija Desembocadura	Seguimiento
6	San Pablo	7°28'45,49"	73°54'23,18"	Lebrija	San Pablo	Seguimiento
7	Quebrada La Trece	7°18'59,42"	73°46'46,01"	Lebrija	Quebrada La Trece	Seguimiento
8	Juncal	6° 47' 36,30"	73° 11' 56,22"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
9	Aguas arriba embalse	7° 1'43,97"	73° 13' 56,48"	Sogamoso	Sogamoso	Referencia
10	Aguas abajo embalse	7° 6'20,52"	73°24'58,29"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
11	Puente Sogamoso	7° 14' 35,25"	73° 47' 13,87"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
12	Desembocadura Sogamoso	7°12'31,06"	73°54'59,01"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
13	Río Quiratá	6° 13' 40,34"	73° 40' 46,79"	Opón	Río Quiratá	Seguimiento
14	Río Cascajales	6° 46' 42,19"	73° 40' 16"	Opón	Río Cascajales	Seguimiento
15	Río Oponcito	6° 53' 30,61"	73° 40' 30,6"	Opón	Río Oponcito	Seguimiento
16	Puente Ferrocarril	6° 46' 22,96"	73° 56' 18,74"	Opón	Opón	Seguimiento
17	Ayacucho	6°51'22,38"	73°46'9,62"	Opón		Seguimiento



ID		Coordenada N	Coordenada W	SZH	Corriente	Objetivo
18	Desembocadura Carare	6° 46' 12,65"	74° 6' 31,16"	Carare	Carare	Seguimiento
19	Río Minero	5° 53' 9,89"	74° 6' 36,37"	Carare	Río Minero	Seguimiento
20	Santa Rosa	6° 17' 33,21"	74° 5' 42,26"	Carare	Carare	Seguimiento
21	Río Guayabito	6° 23' 7,27"	73° 56' 8,76"	Carare	Río Guayabito	Seguimiento
22	Río Horta	6° 10' 36,01"	74° 2' 14,45"	Carare	Río Horta	Seguimiento
23	Caño Negro aguas arriba	6°24'48,82"	74°21'1,55"	2311	Caño Negro	Referencia
24	Caño Negro aguas abajo	6°29'14,85"	74°22'52,55"	2311	Caño Negro	Seguimiento
25	Güepsa	5°59'13,81"	73°35'28,82"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
26	Río Suárez aguas arriba	6°10'38,20"	73°28'56,64"	Suárez	Río Suárez	Referencia
27	Oibita	6° 15' 38,13"	73° 19' 21,07"	Suárez	Río Oibita	Seguimiento
28	Río Suárez Barichara	6°37'23,70"	73°16'0,27"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
29	Puente Nacional	5°52'22,31"	73°40'40,45"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
30	Playita	6° 18' 12,95"	73° 8' 36,42"	Fonce	Río Fonce	Seguimiento
31	Nemizaque	6°13'46,00"	73°10'18,00"	Fonce	Río Pienta	Seguimiento
32	Mogoticos	6° 28' 48"	73° 6' 39,40"	Fonce	Quebrada Mogoticos	Seguimiento
33	Quebrada Curití	6°36'24,85"	73° 4'23,50"	Fonce	Quebrada Curití	Referencia
34	Fonce San Gil	6°33'32,80"	73° 9'25,18"	Fonce	Río Fonce	Seguimiento
35	Capitanejo	6° 30' 46,41"	72° 41' 33,42"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento
36	Desembocadura Servitá	6°34'19,12"	72°43'38,11"	Chicamocha	Río Servitá	Seguimiento
37	Servitá Cerrito	6°50'36,27"	72° 41' 32,77"	Chicamocha	Río Servitá	Seguimiento
38	Chicamocha Cepitá	6° 45' 7,25"	72° 58' 52,83"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento
39	Jordán	6° 44' 0,04"	73° 5' 44,10"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento

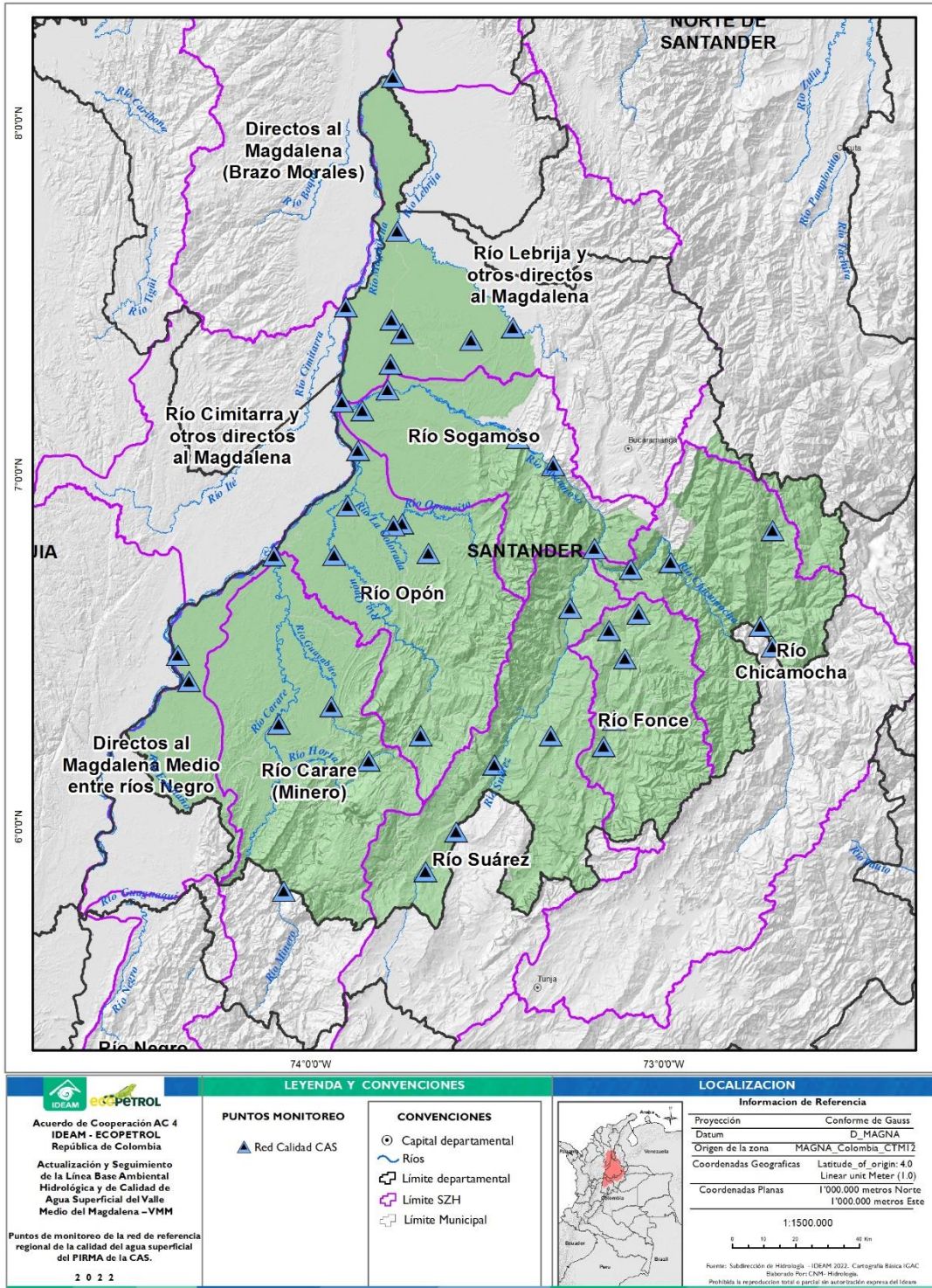


Figura 34. Ubicación de los puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial del PIRMA de la CAS.



Posteriormente se realizó el cruce de la ubicación de estos puntos de monitoreo con los puntos pre-existentes en la jurisdicción obteniéndose las siguientes coincidencias:

Tabla 19. Coincidencia entre los puntos de monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS y los puntos pre-existentes de IDEAM y CAS

ID	Estación IDEAM	Punto monitoreo de la CAS	Estación HM PIRMA*
1	Los Chorros	--	--
2	Provincia	--	--
3	La Gómez aguas abajo	--	2319-PIRMA-3
4	La Gómez aguas arriba	--	--
5	Desembocadura Lebrija	Lebrija Aguachica_Desembocadura río Lebrija	--
6	San Pablo	23207040-San Pablo	--
7	Quebrada La Trece	--	--
8	Juncal	2405700149-Juncal	--
9	Aguas arriba embalse	--	18- Río Sogamoso - límite San Mateo POMCA Sogamoso
10	Aguas abajo embalse	--	Metros después del embalse de Topocoro (monitoreo 2021)
11	Puente Sogamoso	24067020 - Puente Sogamoso	--
12	Desembocadura Sogamoso	Sogamoso_Puerto Wilches_desembocadura del río Sogamoso	--
13	Río Quiratá	--	2314-PIRMA-5
14	Río Cascajales	--	23.Río Cascajales (Posterior a entrega Río Sucio) POMCA Opón
15	Río Oponcito	--	2314-PIRMA-1
16	Puente Ferrocarril	23147020-Puente Ferrocarril	--
17	Ayacucho	23147040-Ayacucho	--
18	Desembocadura Carare	CARARE_SAN_PUERTO PARRA_CARARE DESEMBOCADURA	--
19	Río Minero	--	31.Río Carare (Minero) POMCA Carare (Minero)
20	Santa Rosa	23127060 - Santa Rosa	--
21	Río Guayabito	--	8.Río Carare (Minero) POMCA Carare (Minero)
22	Río Horta	--	2312-PIRMA-1



ID	Estación IDEAM	Punto monitoreo de la CAS	Estación HM PIRMA*
23	Caño Negro aguas arriba	--	--
24	Caño Negro aguas abajo	Desembocadura al Magdalena POMCA Directos al Magdalena Medio entre Río Negro y Carare	--
25	Güepsa	--	--
26	Río Suárez aguas arriba	P14 CAS Suárez POMCA Río Bajo y Medio Suárez	--
27	Oibita	--	--
28	Río Suárez Barichara	P9 CAS Suárez POMCA Río Bajo y Medio Suárez	--
29	Puente Nacional	24017590-Puente Nacional	--
30	Playita	--	RF-11 PORH Río Fonce
31	Nemizaque	NEMIZAQUE [24027030]	--
32	Mogoticos	--	RM-01 PORH Río Fonce
33	Quebrada Curití	--	QCU-02 PORH Río Fonce
34	Fonce San Gil	--	RF-02 PORH Río Fonce
35	Capitanejo	24037390-Capitanejo	--
36	Desembocadura Servitá	--	--
37	Servitá Cerrito	--	2403-PIRMA-2
38	Chicamocha Cepitá	--	2403-PIRMA-3
39	Jordán	23037360-Jordán	--

*Estación hidrometeorológica en el marco del PIRMA

Estas coincidencias entre puntos propuestos y puntos ya existentes permiten tener un histórico de datos de las estaciones que permiten mejorar el conocimiento de la calidad del agua, así como identificar puntos nuevos que deben ser validados en campo.

Finalmente, se llevó a cabo el reconocimiento en campo de las estaciones nuevas, es decir, aquellas que no eran coincidentes con estaciones de la red nacional de IDEAM o con puntos monitoreados previamente en el marco de los instrumentos de planificación de la Corporación.

Así se realizó el ajuste de ubicación de los siguientes puntos:

- Punto 14. Río Cascajales: se realiza la reubicación del punto por encontrarse mejores condiciones para el monitoreo en el nuevo punto propuesto y para hacerlo coincidente con la estación de la red hidrometeorológica del PIRMA.



- Punto 15. Río Oponcito: se realiza la reubicación del punto por encontrarse mejores condiciones para el monitoreo en el nuevo punto propuesto y para hacerlo coincidente con la estación de la red hidrometeorológica del PIRMA.
- Punto 22. Cimitarra. Río Guayabito: se realiza la reubicación del punto por encontrarse mejores condiciones para el monitoreo en el nuevo punto propuesto
- Punto 38. Chicamocha. Cepitá: se realiza la reubicación del punto por encontrarse mejores condiciones para el monitoreo en el nuevo punto propuesto y para hacerlo coincidente con la estación de la red hidrometeorológica del PIRMA.

Finalmente, se elimina de la red propuesta el punto 38 Desembocadura Servitá por no encontrarse condiciones para el monitoreo de calidad en el punto propuesto o en las proximidades de la desembocadura del río Servitá al Río Chicamocha.

En conclusión, la red regional de referencia de la calidad del agua del PIRMA de la CAS se compone de 38 puntos de monitoreo que se indican en la Tabla 20.

Tabla 20. Red de referencia regional de la calidad del agua del PIRMA de la CAS.

ID	Coordenada N	Coordenada W	SZH	Corriente	Objetivo	
1	Los Chorros	7°41'37,85"	73° 45' 36,03"	Lebrija	Lebrija	Seguimiento
2	Provincia	7°25'14,97"	73° 25' 49,29"	Lebrija	Lebrija	Seguimiento
3	La Gómez aguas abajo	7° 24' 9,34"	73° 44' 47,11"	Lebrija	Quebrada La Gómez	Seguimiento
4	La Gómez aguas arriba	7°23'4,60"	73°32'59,58"	Lebrija	Quebrada La Gómez	Referencia
5	Desembocadura Lebrija	8° 7'51,67"	73°46'23,25"	Lebrija	Lebrija Desembocadura	Seguimiento
6	San Pablo	7°28'45,49"	73°54'23,18"	Lebrija	San Pablo	Seguimiento
7	Quebrada La Trece	7°18'59,42"	73°46'46,01"	Lebrija	Quebrada La Trece	Seguimiento
8	Juncal	6° 47' 36,30"	73° 11' 56,22"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
9	Aguas arriba embalse	7° 1'43,97"	73° 13' 56,48"	Sogamoso	Sogamoso	Referencia
10	Aguas abajo embalse	7° 6'20,52"	73°24'58,29"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
11	Puente Sogamoso	7° 14' 35,25"	73° 47' 13,87"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento
12	Desembocadura Sogamoso	7°12'31,06"	73°54'59,01"	Sogamoso	Sogamoso	Seguimiento



ID		Coordenada N	Coordenada W	SZH	Corriente	Objetivo
13	Río Quirará	6° 13' 40,34"	73° 40' 46,79"	Opón	Río Quirará	Seguimiento
14	Río Cascajales	6°48'15.85"	73°43'30.16"	Opón	Río Cascajales	Seguimiento
15	Río Oponcito	6°53'30.61"	73°40'30.61"	Opón	Río Oponcito	Seguimiento
16	Puente Ferrocarril	6° 46' 22,96"	73° 56' 18,74"	Opón	Opón	Seguimiento
17	Ayacucho	6°51'22,38"	73°46'9,62"	Opón		Seguimiento
18	Desembocadura Carare	6° 46' 12,65"	74° 6' 31,16"	Carare	Carare	Seguimiento
19	Río Minero	5° 53' 9,89"	74° 6' 36,37"	Carare	Río Minero	Seguimiento
20	Santa Rosa	6° 17' 33,21"	74° 5' 42,26"	Carare	Carare	Seguimiento
21	Río Guayabito	6°23'7.04"	73°56'8.89"	Carare	Río Guayabito	Seguimiento
22	Río Horta	6° 10' 36,01"	74° 2' 14,45"	Carare	Río Horta	Seguimiento
23	Caño Negro aguas arriba	6°24'48,82"	74°21'1,55"	2311	Caño Negro	Referencia
24	Caño Negro aguas abajo	6°29'14,85"	74°22'52,55"	2311	Caño Negro	Seguimiento
25	Güepsa	5°59'13,81"	73°35'28,82"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
26	Río Suárez aguas arriba	6°10'38,20"	73°28'56,64"	Suárez	Río Suárez	Referencia
27	Oibita	6° 15' 38,13"	73° 19' 21,07"	Suárez	Río Oibita	Seguimiento
28	Río Suárez Barichara	6°37'23,70"	73°16'0,27"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
29	Puente Nacional	5°52'22,31"	73°40'40,45"	Suárez	Río Suárez	Seguimiento
30	Playita	6° 18' 12,95"	73° 8' 36,42"	Fonce	Río Fonce	Seguimiento
31	Nemizaque	6°13'46,00"	73°10'18,00"	Fonce	Río Pienta	Seguimiento
32	Mogoticos	6° 28' 48"	73° 6' 39,40"	Fonce	Quebrada Mogoticos	Seguimiento
33	Quebrada Curití	6°36'24,85"	73° 4'23,50"	Fonce	Quebrada Curití	Referencia
34	Fonce San Gil	6°33'32,80"	73° 9'25,18"	Fonce	Río Fonce	Seguimiento
35	Capitanejo	6° 30' 46,41"	72° 41' 33,42"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento
36	Servitá Cerrito	6°50'36,27"	72° 41' 32,77"	Chicamocha	Río Servitá	Seguimiento
37	Chicamocha Cepitá	6°41'22.03"	72°56'14.53"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento



ID		Coordenada N	Coordenada W	SZH	Corriente	Objetivo
38	Jordán	6° 44' 0,04"	73° 5' 44,10"	Chicamocha	Río Chicamocha	Seguimiento

A continuación, se muestra la espacialización de las estaciones que conforman la red de referencia regional de la calidad del agua superficial del PIRMA de la CAS (Figura 35).

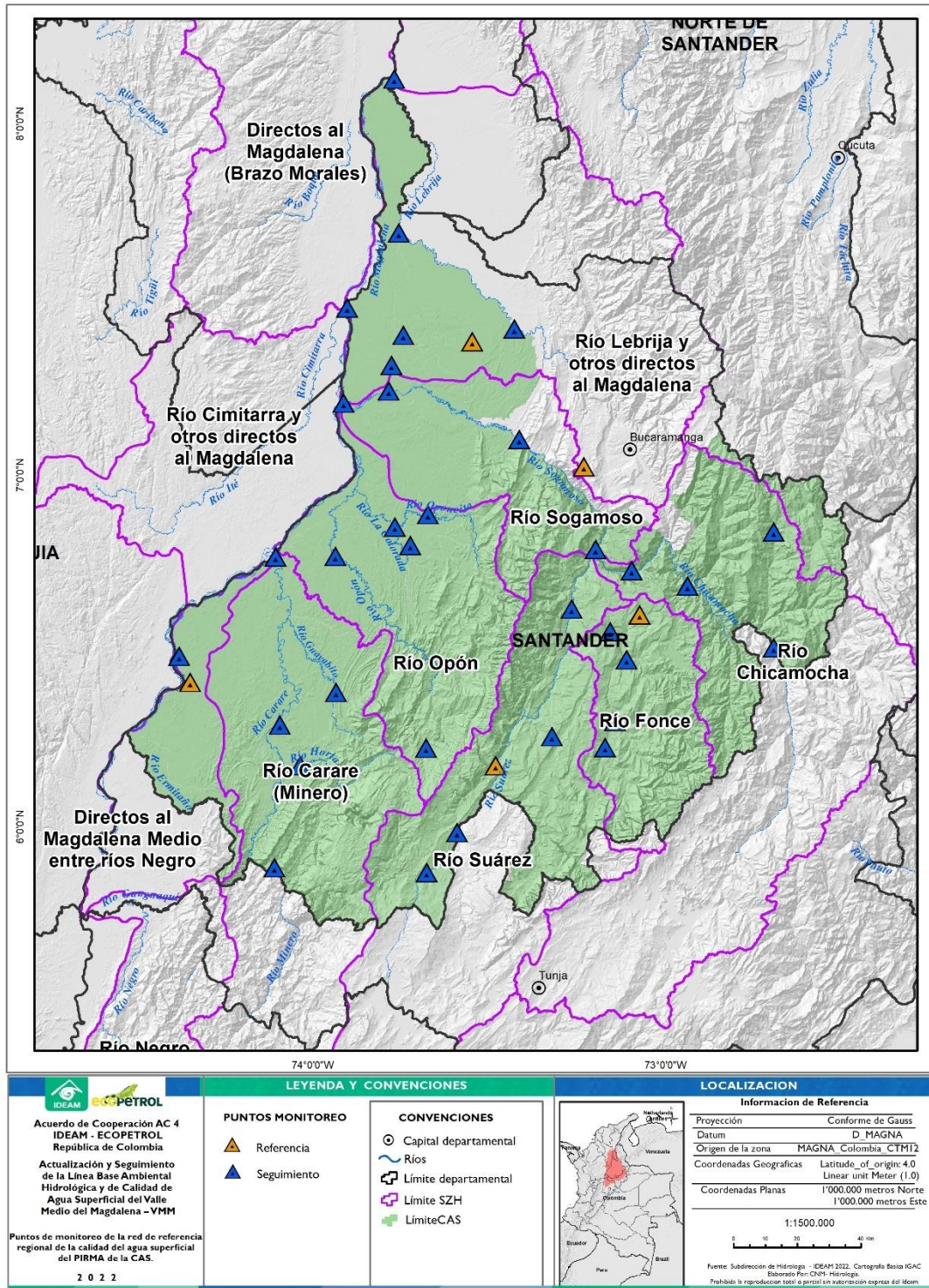


Figura 35. Ubicación de los puntos de monitoreo de la red de referencia regional del PIRMA de la CAS.



Variables de monitoreo

Se han definido unas variables básicas que deben ser monitoreadas en todos los puntos, a saber: temperatura, conductividad, turbidez, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total, caudal, macroinvertebrados bentónicos, perifiton, dureza, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, sulfatos, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, nitritos, ortofosfatos y carbono orgánico total.

Adicionalmente, se definen una serie de variables complementarias que se definen en base a los impactos presentes en el área de influencia de cada punto de monitoreo. Dado que se observan impactos similares en todos los puntos de monitoreo definidos, estas variables serán, igualmente, monitoreadas en los 38 puntos de la red de monitoreo:

- Coliformes totales
- Coliformes termotolerantes
- Tensoactivos
- SAAM
- Grasas y aceites
- Plaguicidas Organoclorados
- Plaguicidas Organofosforados
- Metales pesados
- Hidrocarburos totales

Finalmente, se incluyen las variables de calidad en sedimentos Metales biodisponibles en sedimentos y mercurio total en todas las estaciones de la red, con el fin de incluir la temática de sedimentos en la red.

Frecuencia de monitoreo

Finalmente, para completar el diseño de la red de referencia regional se establece una frecuencia de monitoreo de 4 veces al año siendo un monitoreo en época seca, uno en época de lluvias y dos en las épocas de transición. Esta frecuencia de monitoreo se establece de acuerdo con las recomendaciones del Protocolo de Monitoreo del Agua (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021). Esta frecuencia de monitoreo permite obtener una línea base que favorece el conocimiento de las corrientes hídricas en la jurisdicción de la CAS. Esta frecuencia de monitoreo podrá ser disminuida una vez se realicen suficientes monitoreos para permitir el análisis comparativo temporal de las variables. En cualquier caso, el monitoreo en la época seca se deberá realizar dado que dichas condiciones hidrológicas condicionan la calidad del agua por el aumento de la concentración debido a la disminución del caudal.

Equipamiento mínimo

Actualmente la CAS realiza el monitoreo de calidad del agua superficial a través de la contratación de laboratorios acreditados por el IDEAM, situación que previsiblemente no cambiará en el corto- mediano plazo. Es por ello, que los equipos necesarios para la operación de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial del PIRMA de la CAS son los equipos de medición de variables in situ, a saber:



- medidor de pH
- oxímetro o implementos para medir oxígeno en campo: Winkler
- conductímetro
- sistema de posicionamiento global (GPS).

Los tres primeros equipos pueden ser sustituidos por una sonda multiparamétrica con sensores de pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.

Estos equipos serán necesarios para el acompañamiento y el control de calidad de los monitoreos que realice la corporación. Igualmente, se debe seguir realizando la contratación de laboratorios que estén acreditados por el IDEAM para las variables de esta red.

Documentación

Con el fin de asegurar la calidad de los datos obtenidos del monitoreo, en primer lugar, se requiere de la disponibilidad de formatos, procedimientos, metodologías y protocolos tanto para la fase de campo como para el posterior análisis de laboratorio. Aunque la CAS realice la contratación de laboratorios acreditados, es recomendable que cuente con estos formatos, procedimientos y metodologías que aseguren la comparabilidad de la información entre las diferentes campañas de monitoreo que realice en el marco del PIRMA. A continuación, se enumeran los documentos mínimos necesarios que deben ser desarrollados e implementados e incluidos en el Sistema de Gestión de la CAS.

Tabla 21. Documentación necesaria para asegurar la operación de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial.

Tipo de documentación necesaria	Especificación de la temática de la documentación	Objetivo del documento	Información mínima
Formatos	Formato de captura de datos en campo	Asegurar la sistematización de los mismos datos en campo para realizar el control y seguimiento de los cambios y la comparabilidad entre puntos.	Condiciones meteorológicas del momento del muestreo, análisis hidromorfológico del sitio, anotaciones sobre contaminación aparente, parámetros <i>in situ</i>
	Formato de diligenciamiento de análisis de laboratorio	Asegurar la sistematización de la captura de datos en laboratorio y el seguimiento del proceso de digitación.	Calibración de los equipos de datos obtenidos en laboratorio.
	Formato de cadena de custodia	Asegurar el seguimiento de la cadena de custodia de las muestras tomadas en campo	Responsable de cada paso en la cadena de custodia.
	Metodología de toma de datos <i>in situ</i>	Asegurar la confiabilidad de los datos tomados en campo	Protocolo de toma de datos <i>in situ</i> , incluida la calibración de los equipos
	Metodología de toma de	Asegurar la correcta toma de muestras fisicoquímicas, así	Protocolo de toma de muestras (puntual, integrada y compuesta)



Metodologías	muestras fisicoquímicas	como que, independiente del operario, se realice la misma metodología	
	Metodología de toma de muestras microbiológicas	Asegurar la correcta toma de muestras microbiológicas, así como que, independiente del operario, se realice la misma metodología	Protocolo de toma de muestras microbiológicas
	Metodología de toma de muestras hidrobiológicas	Asegurar la correcta toma de muestras hidrobiológicas, así como que, independiente del operario, se realice la misma metodología	Protocolo de toma de muestras hidrobiológicas
	Metodología de medición de caudal	Asegurar la correcta medición de caudal, así como que, independientemente del operario, se realice la misma metodología	Protocolo de medición de caudal a través de caudalímetro, correntómetro y ADCP.
	Metodología de tratamiento de los datos	Asegurar que los datos ingresados al sistema de información sean confiables	Especificaciones del tipo de análisis, de los datos para el control de calidad. Procedimientos de validación.

Todos los formatos y metodologías indicados en la Tabla 21 serán elaborados con base en el Protocolo de Monitoreo del Agua (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021). El desarrollo de esta documentación se considera prioritario para la CAS, dado que no cuenta con formatos, metodologías y protocolos que aseguren la calidad, confiabilidad y control de calidad de los datos del monitoreo de la calidad del agua.

5.2.3. Diseño de la red regional de monitoreo de agua subterránea en la CAS

El punto de partida para realizar el diseño de la red de monitoreo de agua subterránea, para el área de Jurisdicción de la CAS, consistió en recopilar la información del conocimiento previo en términos hidrogeológicos en la región, referente a la geología, el modelo hidrogeológico conceptual construido a la fecha, los puntos de agua subterránea que existen y la información detallada de los mismos (diseño de captaciones, profundidad, ubicación geográfica, fotografías, datos de accesibilidad, entre otros), información de los monitoreos hidrogeológicos realizados en cantidad y calidad, superficies piezométricas construidas, concesiones de agua subterránea, puntos legalizados, expedientes de aguas subterráneas, información cartográfica de la zona y toda información adicional que pueda ser de utilidad.

Se propuso a la Corporación establecer una red primaria o piloto con el objetivo de aportar el conocimiento científico necesario para entender el estado y dinámica del recurso del agua subterránea en la región. Esta red se puede expandir según sea necesario y en la medida que se disponga de recursos y de personal para su debida operación.

A mediano plazo, la Corporación podrá incorporar una red secundaria o terciaria la cual permitirá evaluar y controlar el impacto de riesgos específicos al agua subterránea. Estas redes pueden estar relacionadas entre ellas.



En el diagrama de la Figura 36 se presenta la metodología propuesta para la definición de la red de monitoreo.

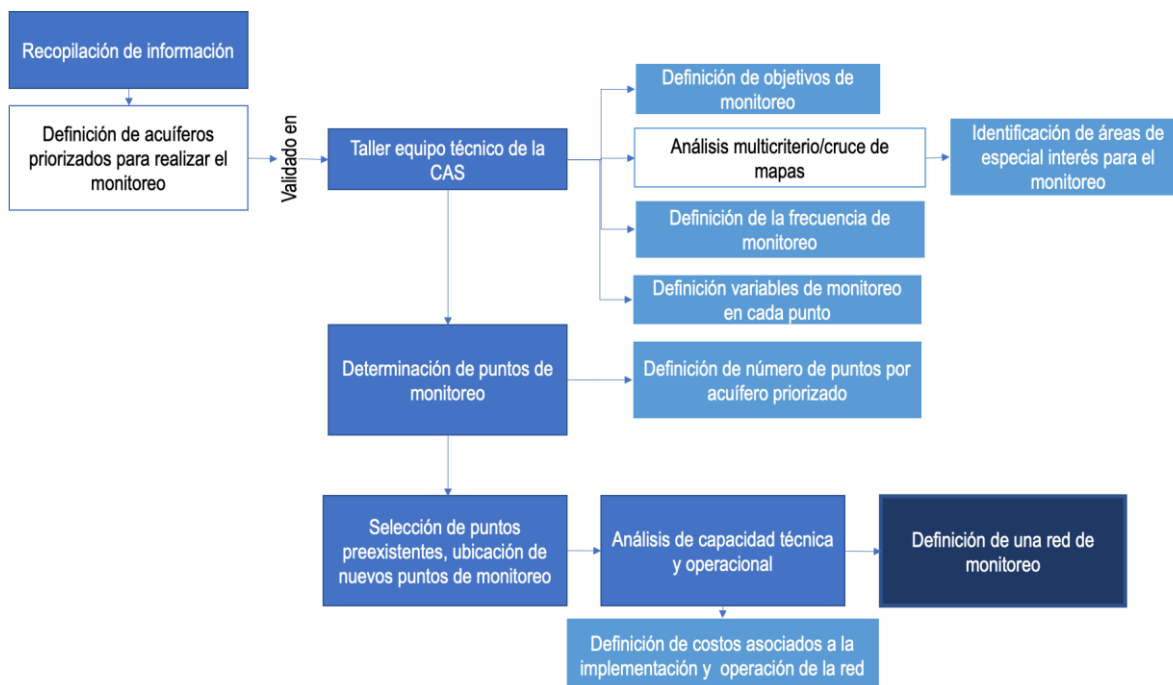


Figura 36. Metodología para la definición de la red de monitoreo de aguas subterráneas.

El punto de partida para la definición de la red de monitoreo de aguas subterráneas es la revisión de información disponible. A partir del análisis de esta y teniendo como base el modelo geológico existente para cada uno de los acuíferos de la zona de estudio, se realizó una priorización para establecer las necesidades de monitoreo y definir los sistemas hidrogeológicos para los cuales se diseñaría la red (Anexo 10). La CAS no cuenta con monitoreo de aguas subterráneas. Se sostuvo una reunión con la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) durante el mes de octubre de 2022, de la cual se infirió que la red de regionalización de la ANLA obedece a una red local, con miras a realizar seguimiento y vigilancia a las actividades particulares de exploración y explotación de hidrocarburos. Por lo tanto, esta red no se tendrá en cuenta en el marco del PIRMA, pero se advierte que debe existir una articulación constante entre ambas redes.

Esta priorización fue validada con los funcionarios de la CAS, mediante un taller realizado el 19 de octubre de 2021 (anexo 11). Además, en este taller se concertaron los objetivos de monitoreo hidrogeológico, la identificación de zonas de especial interés para realizarlo, la frecuencia de medición y las variables que se medirán en esta red y sus diferentes componentes (piezométrico, hidrogeoquímico, de calidad e isotópico).

Posteriormente, partiendo de estos resultados del taller y considerando la información disponible, se definieron los puntos que conformarán la red de monitoreo, en caso de ser necesario la propuesta considera la construcción de un conjunto de pozos de observación (piezómetros), además de uso y adecuación de pozos abandonados y de extracción.

En el caso de los puntos existentes debe considerarse el estado actual en el que se encuentran las captaciones de agua subterránea, teniendo en cuenta varios aspectos:



- las características de construcción de las captaciones existentes: solo se tendrá en cuenta la información de pozos en los que se cuente con información de al menos profundidad y unidad acuífera captada. En lo posible se debe contar con la información del diseño de la captación.
- la distribución espacial de los sitios existentes, comparándola con la escala del cuerpo de agua subterráneo: se procuró que los puntos tuvieran una representatividad suficiente para caracterizar el acuífero priorizado.
- puntos asociados a direcciones de flujo subterráneo (si estas direcciones es posible definir las o inferirlas a partir de la información disponible).
- condiciones de acceso al punto de agua favorables y de seguridad de la zona donde se encuentra la unidad acuífera priorizada. Este punto deberá confirmarse posterior al diseño propuesto por parte de los funcionarios de la CAS, mediante salidas de campo. En estos sitios deberá considerarse la existencia de predios que faciliten la logística de instalación, vigilancia y monitoreo; se tiene en cuenta que exista un fácil acceso a ellos y se gestione el permiso respectivo para realizar los monitoreos.
- también se deberá tener en cuenta que los puntos seleccionados que ya se encuentran construidos solo están muestreando una sola unidad acuífera. Para este caso se propone que la CAS realice una verificación en campo de los puntos seleccionados y a partir de ello se identifique el estado en el que estos se encuentran, verificando la posición de las rejillas instaladas en los pozos y piezómetros, mediante la inspección con videocámaras.

Para el caso de la medición de los niveles piezométricos se debe considerar que será necesaria la nivelación topográfica de precisión de los puntos que la conformarían.

Para el caso de la red hidrogeoquímica se consideraron puntos que permitieran la validación del flujo del agua subterránea, incluyendo al menos 3 puntos por línea de flujo que sean representativos de la posible zona de recarga, tránsito y descarga.

Para definir la red de monitoreo de calidad de agua subterránea se realizó un análisis conjunto con los funcionarios de la CAS donde se definieron las zonas prioritarias de monitoreo. Para ello fue necesario consultar mapas de uso del suelo y recopilar información sobre actividades potencialmente contaminantes asociadas a fuentes antrópicas que se realizan sobre el acuífero priorizado.

Paralelamente a la definición de los puntos que conformarán la red de monitoreo, se analizaron las capacidades técnicas y operacionales con las que cuenta la CAS para su implementación y operación en el tiempo.

Igualmente se realizó una propuesta de equipos necesarios para el propósito de monitoreo (sondas de nivel, multiparamétricos, divers, bailers, bombas de succión, GPS de precisión, cinta métrica, entre otros).

A continuación, se detallan cada uno de los pasos descritos en la metodología.

Se realizó una búsqueda de información, con el fin de contar con la evaluación geológica e hidrogeológica de base, que permitiera reconocer las unidades acuíferas de la zona de estudio, así como un compilado de los puntos de agua disponibles.



5.2.3.1. Priorización de acuíferos en el área de jurisdicción de la CAS

De acuerdo con información presentada en el Estudio Nacional del Agua para la zona de estudio se identificaron los sistemas acuíferos listados en la Tabla 22, en la Figura 37 se presenta su distribución espacial en la zona de estudio.

Tabla 22. Acuíferos identificados en la zona. Fuente: ENA (2014).

Sistema acuífero	Código	Unidades hidrogeológicas	Tipos de acuífero
Valle Medio del Magdalena	SAM1.1	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	Libres, semiconfinados a confinados y kársticos
Abanico de Aguachica	SAM1.3	Depósitos coluviales Serranía los Motilones, Acuífero depósito fluvial del río Magdalena, Acuífero depósito coluvial de Aguachica (Qc) y Acuífero Abanico de Aguachica (NgQp)	Libres a semiconfinados
San Gil-Barichara	SAM 4.1	Formación Silgará Formación Los Santos Formación Rosablanca Formación Tablazo Formación Simití	Kársticos
Bucaramanga-Piedecuesta	SAM 4.2	Acuífero Bucaramanga	Libre
Duitama-Sogamoso	SAM 4.4	Acuíferos de las formaciones Cucho (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)	Libres, semiconfinados a confinados
Ubaté-Chiquinquirá	SAM 4.5	Acuíferos de depósitos fluviolacustre y Acuífero Formación Regadera	Semiconfinados a confinados
Tablazo	SAM 4.7	Acuífero Tablazo y Rosablanca	Kársticos



Conejo	SAM 4.8	Acuífero Conejo	Confinado
Mesa de los Santos	SAM 4.10	Acuíferos de la formación los Santos (miembros superior e inferior),	Kárstico

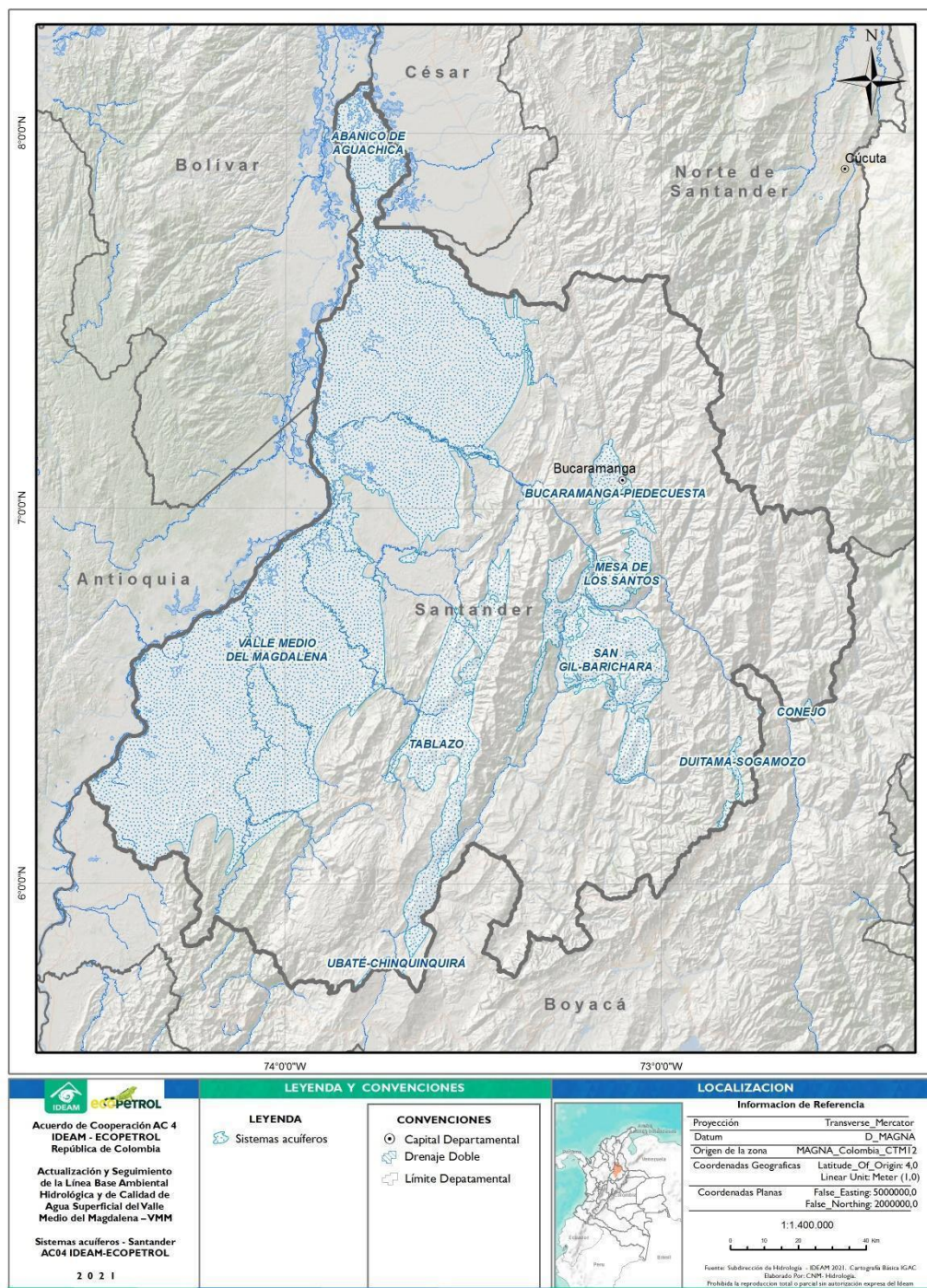


Figura 37. Sistemas acuíferos identificados en la zona de estudio



Los criterios utilizados en la priorización de los acuíferos para el diseño de la red de monitoreo fueron los siguientes: i) que el sistema acuífero cuente con información del modelo hidrogeológico conceptual o modelo geológico básico, ii) que se cuente con información de puntos de agua en la zona para el acuífero seleccionado, iii) el desarrollo de actividades económicas de especial importancia sobre el acuífero, considerando los riesgos de contaminación del recurso hídrico subterráneo, iv) necesidades de abastecimiento actuales y futuras, y v) las necesidades de conocimiento y monitoreo con las que cuenta la corporación.

De acuerdo con la información recopilada, para el único sistema acuífero con el se cuenta con información del modelo hidrogeológico es el acuífero del Valle Medio del Magdalena. También fue mencionado por parte de la CAS la existencia de un Plan de Manejo Ambiental de Acuífero para el Sistema Acuífero de Mesa de los Santos, sin embargo, a la fecha no se ha recibido el documento que soporta este estudio.

Además, sobre el acuífero del Valle Medio del Magdalena se realizan actividades de especial importancia que podrían generar un impacto sobre el recurso hídrico subterráneo. Estas actividades son la explotación petrolera, cultivos de grandes dimensiones como el de palma de aceite y caucho, así como la implementación en un futuro de la explotación de yacimientos no convencionales. Igualmente, por parte de la CAS se resaltó la necesidad de monitoreo de los acuíferos sobre los cuales se realizaba explotación petrolera.

Teniendo en cuenta estos aspectos, se priorizó el Acuífero del Valle Medio del Magdalena (identificado como el SAM 1.1) para el diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas, esto fue validado y aprobado por funcionarios de la CAS en el taller realizado el 19 de octubre para el diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas (Fotografía 1). Los soportes de este taller se encuentran consignados en el anexo 11.

La información contenida en este capítulo proviene del producto “Documento Línea Base General Ambiental en los componentes de aguas superficiales y subterráneas articulados” generado por el IDEAM en el marco de un convenio de cooperación entre ANH e IDEAM (IDEAM & ANH, Documento Línea Base General Ambiental en los componentes de aguas superficiales y subterráneas articulados, 2022).

La cuenca del VMM, es una cuenca intramontana, que está limitada al Oriente por la Cordillera Oriental, al occidente por la Cordillera Central, al sur por la Falla de Ibagué y al Norte por la Falla del Espíritu Santo. Dicha cuenca está asociada a la parte media por donde divaga el Río Magdalena, que es la corriente superficial más importante del país, y que ha contribuido de manera significativa al desarrollo agropecuario del país y al crecimiento de las comunidades asentadas a lo largo de este.

Desde el punto de vista geológico, la cuenca del VMM inició como una zona distensiva extensional desde el Jurásico hasta el Cretácico tardío donde se depositó una espesa secuencia de sedimentos de origen marino y que corresponden hoy en día a la principal fuente generadora de hidrocarburos. Durante el Paleoceno y Eoceno temprano, la sedimentación de la cuenca empieza a cambiar debido al levantamiento de la Cordillera Central y posteriormente de la Cordillera Oriental, dando origen a una espesa capa de rocas de origen continental a transicional; a su vez el levantamiento de las cordilleras Oriental y Central, generó una serie de esfuerzos compresionales que dieron origen a una serie de fallas de gran extensión, y que plegaron todas las rocas preexistentes lo que aunado al tipo de rocas ya formadas (lutitas ricas en materia orgánica, areniscas de grano variable y niveles de arcillas), favorece las condiciones óptimas para la generación y entrapamiento de hidrocarburos en dicha cuenca.



Como se mencionó anteriormente, durante el levantamiento de la Cordillera Central se generó gran aporte de sedimentos de las partes altas hacia lo que se conoce hoy como VMM. Este aporte a lo largo del tiempo geológico dio origen a dos unidades geológicas importantes desde el punto de vista hidrogeológico, reconocidas como Grupo Mesa y el Grupo Real.

Desde el punto de vista hidrogeológico el área de interés cuenta con dos unidades hidrogeológicas de importancia regional: la primera corresponde a los acuíferos del Grupo Real y la segunda a los depósitos cuaternarios principalmente asociados a la sedimentación del Río Magdalena y Río Sogamoso. La contribución a la investigación de la caracterización y potencial hidrogeológico de estas dos unidades ha estado a cargo principalmente del Servicio Geológico Colombiano (SGC), aunque se han desarrollado trabajos de tipo hidrogeológico de manera puntual e independiente dentro de los estudios ambientales llevados a cabo por las diferentes operadoras que trabajan en la zona en cumplimiento de la normatividad ambiental que los acoge.

El SGC en 2019 llevó a cabo el estudio “Modelo Hidrogeológico Conceptual Valle Medio del Magdalena planchas 108 y 119 Puerto Wilches, Barrancabermeja, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí, donde se hizo una revisión de la geología de un área del VMM para actualizar el modelo geológico, así mismo se realizaron actividades de campo de prospección geofísica, hidroquímica, e inventario de puntos de agua que dieron como resultado la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual.

Paralelamente la Universidad Nacional de Colombia a través de un convenio con COLCIENCIAS está llevando a cabo un estudio en un área mucho mayor a la que tomó el SGC, pero con objetivos similares, y que es, la de desarrollar un Modelo Hidrogeológico Conceptual siguiendo una metodología similar a la del SGC, esto es realizando actividades de campo de prospección geofísica, hidroquímica, isotopía e inventario de puntos de agua.

Por último, ECOPETROL ha realizado estudios hidrogeológicos detallados a nivel local (dentro del área de influencia de los prospectos Kale y Platero) basados en geología de campo, registros de pozos de hidrocarburos existentes, y algunas pruebas en pozos en proceso de abandono.

Como resumen y basados en la información disponible a la fecha se puede concluir que el área cuenta con suficiente información de tipo geológico a nivel de superficie y a nivel de subsuelo, ahora desde el punto de vista hidrogeológico se tiene información que nos permite definir dos unidades hidrogeológicas de importancia regional que son el Grupo Real que se estima tiene las mayores reservas de agua subterránea en la zona y que en el futuro pueden ser una fuente principal de abastecimiento para los municipios del área y Depósitos cuaternarios que es la unidad de la cual se abastecen a nivel rural las comunidades de la zona.

A pesar de la información existente y los esfuerzos hechos a la fecha, aún se requieren estudios concluyentes que permitan definir un Modelo Hidrogeológico Conceptual 3D, ya que a la fecha, no se conoce de forma clara: espesores de las unidades acuíferas en el subsuelo, características geohidráulicas (porosidad, transmisividad, conductividad hidráulica etc) de las unidades en profundidad, ya que se cuentan con muy poco datos y la información reportada corresponde solo a los niveles más cercanos a la superficie, variaciones laterales de las unidades acuíferas, características hidroquímicas e isotópicas, caudales de explotación y calidad del agua de las diferentes unidades acuíferas en profundidad, sellos que podrían existir entre unidades acuíferas, cálculo de la recarga real sobre los acuíferos del área, relaciones entre los cauces superficiales y las unidades acuíferas someras.



En general, las Unidades Litoestratigráficas representativas del Valle Medio del Magdalena, que cuentan con algún tipo de estudio geológico, desde su parte inferior son: Formación Mugrosa, Formación Colorado, Grupo real y Depósitos del Cuaternario. Basados en las tres fuentes consultadas (SGC, MEGIA y ECP), algunas Unidades Litoestratigráficas, aunque presentan diferencias en el nombre que las referencia, su descripción geológica mantiene cierta similitud entre sí.

Las Unidades Litoestratigráficas que se describen a continuación son nombradas en las tres fuentes bibliográficas citadas y descritas como sigue a continuación.

- Formación Mugrosa (P3m). Se encuentra en contacto discordante con el grupo Real, estas rocas presentan un alto grado de fracturamiento y diaclasamiento; está compuesta en su parte inferior por arenitas gris verdosa, de grano grueso a fino, mal seleccionadas con intercalaciones de lodolitas grises a azulosas, los clastos son subredondeados a subangulares, esféricos y se encuentran en una matriz arcillosa producto de la alteración de los feldespatos, la composición de sus clastos es esencialmente de cuarzo, feldespatos y micas, la parte media se compone de shales moteados con algunas intercalaciones de arenisca y en la parte superior una secuencia de lodolitas moteadas con contenido fosilífero.
- Formación Colorado (P3N1c). Unidad ubicada en el Eoceno Superior - Oligoceno. Se compone en la parte inferior de arcillolitas de color pardo a rojizo, intercaladas con areniscas de grano fino a grueso, areniscas conglomeráticas y matriz arcillosa, compuesta de cuarzo y chert, con estratificación cruzada; en la parte superior de arcillolitas de color gris a negra con contenido de carbón, presentando una apariencia moteada; son masivas, compactas, con grietas de desecación y yeso laminar.
- Grupo Mesa (N2Q1m). Esta unidad sólo descrita, se encuentra en contacto discordante infrayaciendo el grupo Real y es similar en su litología al mismo, con areniscas cuarzosas de grano fino a grueso, intercalada con conglomerados en la base. En la parte media se encuentra arcillolita y en la parte superior conglomerados polimícticos, moderadamente seleccionados de 5 a 30 cm, tamaño guijarros, de composición cuarzoarenita principalmente y matriz arena feldespática.
- Grupo Real (N1r). Compuesta de conglomerados de chert negro, cuarzo de tamaño guijarros y areniscas en su base, le siguen intercalaciones de lodolitas con areniscas de tamaño guijarros, de color gris amarillentos, con estratificación cruzada; y continuando hacia el tope, paquetes de areniscas intercalados con arcillolitas. Tiene una característica importante y es la presencia de hornblenda y magnetita en algunos niveles de arenitas.
- Depósito Meseta de San Rafael (QMsr). Presenta diferentes niveles de gravas y areniscas, bien redondeados y de buena selección, con matriz areno-arcillosa, de color gris amarillento.
- Depósito Fluvio lacustre (Qfl). Los depósitos cuaternarios fluvio-lacustres, están asociados a zonas de inundación antiguas del Río Magdalena y ciénagas. Es un material no consolidado, de tamaño fino, constituido principalmente por arcillas grises y limos, lodos con alto contenido de materia orgánica, arenas de grano fino y restos de vegetales que se desarrollan en ambientes de baja energía.



- Depósitos de Terraza Alta (Qat). Descritos en el Modelo Hidrogeológico Valle Medio Del Magdalena éstos representan una de las de mayor importancia, debido a su gran extensión. Se encuentran en contacto discordante sobre depósitos del grupo Real y los depósitos aluviales recientes., se compone de una capa de guijos y guijarros de 5 cm a 25 cm de rocas ígneas y sedimentarias, selección buena a moderada, redondeado a subredondeado, dentro de una matriz arenosa, matriz soportado, una segunda capa media de cuarzoarenitas maduras, bien seleccionadas, redondeado, matriz arcillosa y óxidos de hierro; la capa 3 son conglomerados monomícticos, matriz soportados, redondeados a subredondeados y moderadamente seleccionados.
- Aluvión (Qal). Se componen de depósitos inconsolidados de limos, arenas de grano medio a fino y muy fino, gravas de cantos redondeados a subredondeados, con selección moderada.

La distribución regional de estas formaciones se presenta en la Figura 38.

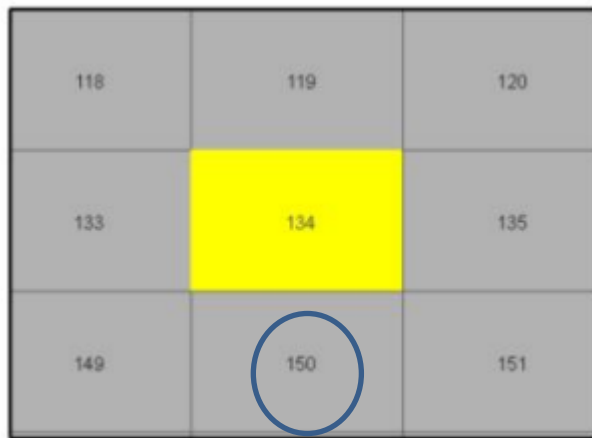
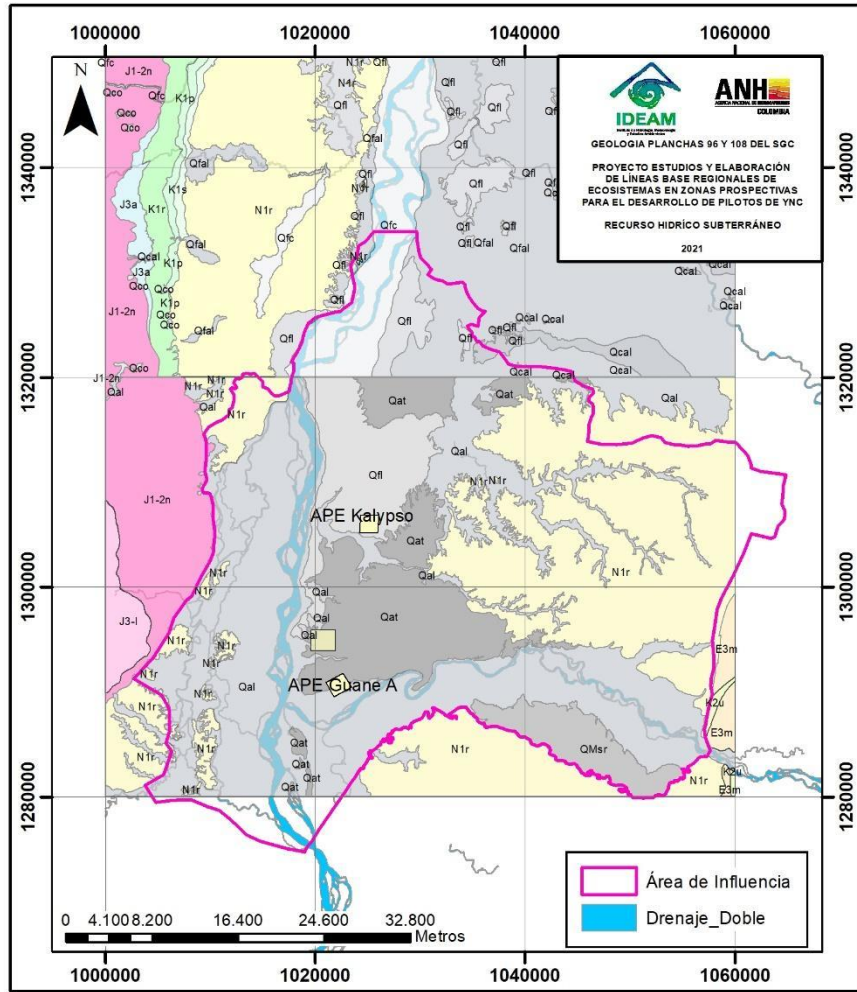


Figura 38. Geología del área de estudio (Tomado del SGC planchas 108, y 96).

A nivel de profundidad sólo dos autores de las fuentes que fueron consultadas (ECOPETROL y Grupo MEGIA) han desarrollado un modelo geológico 3D. En el caso de ECOPETROL (2021) el modelo 3D se hizo en el área



de influencia del prospecto Kalé basados en información geofísica como fue, líneas sísmicas y registros de pozos. El modelo incluyó dos secciones litológicas en sentido E-W y NNE-SSW donde se puede observar como el Grupo Real se va haciendo más grueso hacia el Norte y en sentido NE (Figura 39)

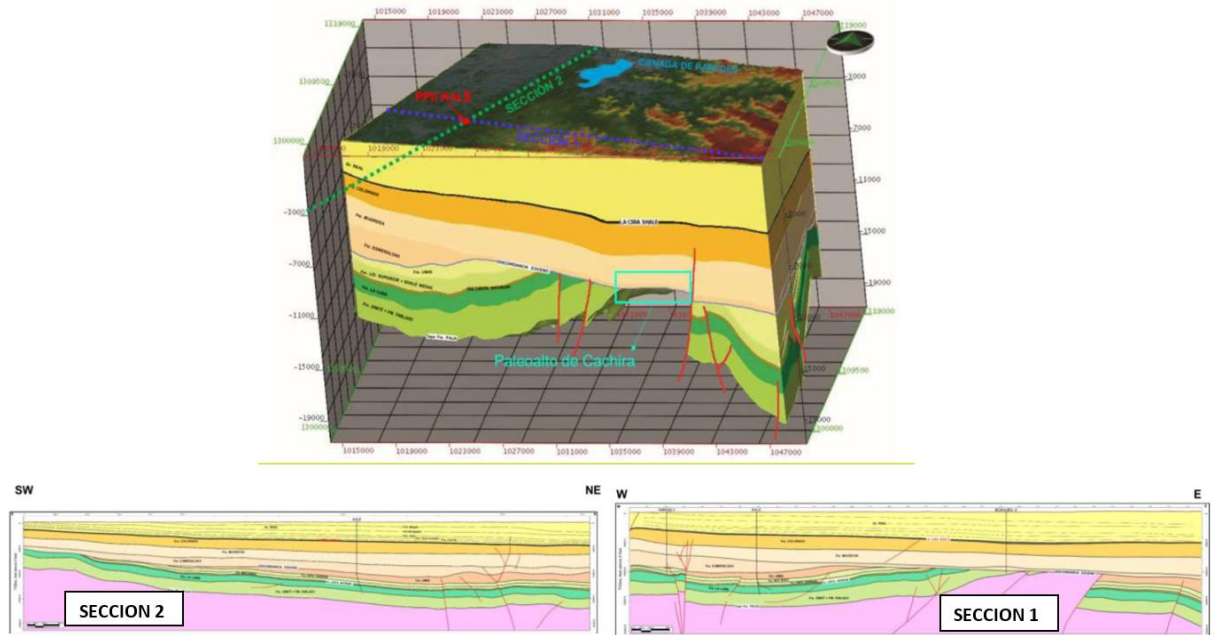


Figura 39. Modelo Geológico 3D del área de estudio (Fuente: Tomado Ecopetrol, 2021).

Por su parte con la información obtenida del proyecto MEGIA, se elaboró un modelo 3D de la geología dentro del área de estudio (Figura 40), ya que el área de trabajo del proyecto MEGIA es mucho más grande tanto hacia el sur como hacia el norte. Debido al tamaño del área este modelo presenta un detalle menor que el modelo presentado por ECOPETROL el cual es un modelo local.

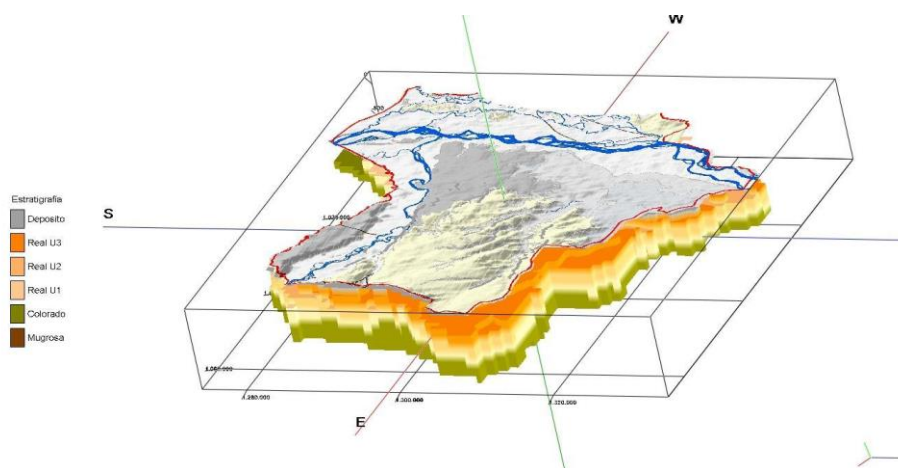


Figura 40. Modelo Geológico 3D del área de estudio (Fuente: Tomado y modificado de MEGIA, 2021).



5.2.3.2. Propuesta de red de monitoreo regional del agua subterránea en la CAS

El objetivo de la red de aguas subterráneas corresponde a conocer con fines de planificación y gestión ambiental, el estado natural y el comportamiento general del agua subterránea de los sistemas acuíferos del área de jurisdicción de la CAS.

Este objetivo se desarrolla a través de los siguientes seis objetivos específicos:

- generar insumos para consolidar el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero priorizado.
- determinar el comportamiento y las tendencias en cantidad y calidad de las aguas subterráneas.
- aportar información para los escenarios de vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en el departamento.
- realizar control y seguimiento al estado y dinámica de las aguas subterráneas priorizadas en el Departamento.
- obtener información adecuada para la toma de decisiones por parte de la Corporación.
- mantener informados a los usuarios y a la comunidad en general sobre el estado, disponibilidad y el aprovechamiento de las aguas subterráneas, con información confiable y oportuna.

Para realizar el análisis de las zonas prioritarias de monitoreo de aguas subterráneas con el fin de definir las actividades y zonas que están sometidas a presiones por actividades antrópicas fue desarrollado un taller con los funcionarios de la CAS el 19 de octubre de 2021. Este taller permitió identificar algunas actividades de interés en la región que podrían eventualmente condicionar el funcionamiento del acuífero en términos de calidad y cantidad del agua. Durante este taller y teniendo como base el mapa presentado en la se lograron identificar las siguientes actividades:

- Cultivos de palma: se desarrollan en los municipios de Puerto Wilches, Barrancabermeja, Simacota y San Vicente.
- Cultivos de arroz: se desarrollan en los municipios de Puerto Wilches y Sabana de Torres.
- Ganadería: Cimitarra, Puerto Wilches.
- Ganadería de búfalos: Puerto Wilches.
- Extractoras de palma: Sabana de Torres, Puerto Wilches
- Cultivos de cítricos: Cimitarra y Puerto Parra.
- Minería de oro: Lebrija



Además, se destaca la existencia de rellenos sanitarios en Barrancabermeja y Cimitarra, problemas con los sistemas de alcantarillado en Puerto Parra y una planta de residuos peligrosos situada en Barrancabermeja (Figura 41). Igualmente se manifestó la necesidad de contar con puntos de monitoreo asociado a los proyectos Kale y Platero.

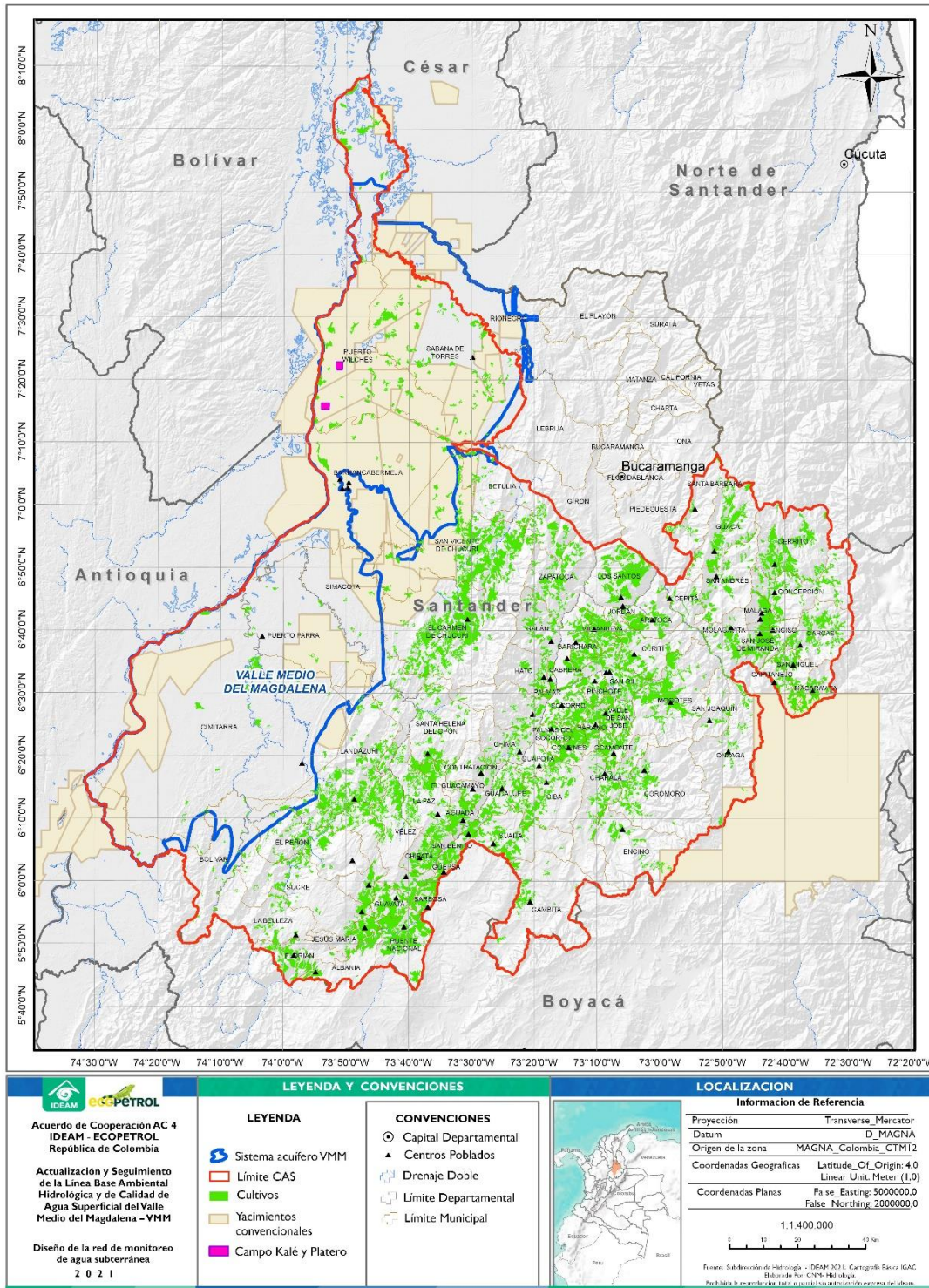


Figura 41. Mapa utilizado para la definición de zonas prioritarias de monitoreo en la jurisdicción de la CAS

Teniendo en cuenta esta información se podrán identificar además los parámetros que en términos de hidrogeoquímica y calidad deberán considerarse dentro de la red de monitoreo de aguas subterráneas.



Por otro lado, con el fin de identificar los diseños de las captaciones para la selección de los puntos de la red, durante la visita realizada a la CAS del 18 al 23 de octubre, se revisaron un total 31 expedientes de concesiones de aguas subterráneas sobre los municipios que se encuentran asociados al acuífero del Valle Medio del Magdalena. En estos expedientes se identificaron algunos Sondeos Eléctricos Verticales SEV, pruebas hidráulicas, análisis de laboratorio de agua subterránea, y diseño de la captación. De estos expedientes, 17 cuentan con diseño de la captación, sin embargo, se tienen inconsistencias con las coordenadas presentadas en los mismos, por lo que se recomienda a la CAS realizar una inspección posterior de las captaciones.

Para la selección de puntos que conformarán la red de monitoreo de aguas subterráneas se definieron los siguientes criterios:

- Puntos donde se contó información de la profundidad de la captación.
- Puntos donde se tuviera conocimiento de la unidad acuífera captada.
- Puntos con diseño de la captación para identificar la ubicación de los filtros.
- Puntos que contarán con la posibilidad de realizar mediciones de nivel estático
- Puntos que se encuentren sobre zonas priorizadas de monitoreo.

El procedimiento seguido para la definición de los puntos se resume en la Figura 42.

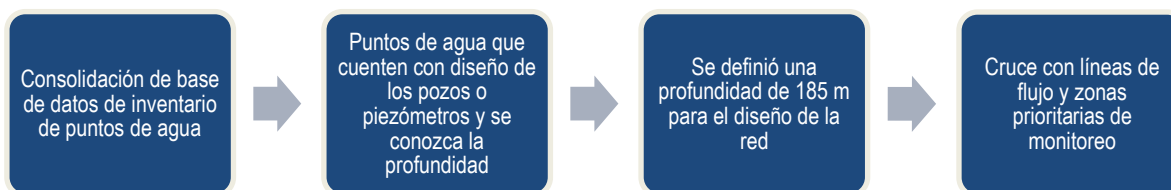


Figura 42. Procedimiento para la selección de los puntos que conformarán la red de monitoreo de aguas subterráneas para el Acuífero del Valle Medio del Magdalena en jurisdicción de la CAS.

En cuanto a la selección de puntos que conforman la red de monitoreo de aguas subterráneas, un punto de partida lo constituyó el inventario de puntos de agua que fue construido por profesionales del equipo técnico a partir de las bases de datos del Servicio Geológico Colombiano, el Hidrovisor de la Universidad Nacional y el proyecto MEGIA. A la fecha de este informe, para el acuífero del Valle Medio del Magdalena se contó con un inventario de puntos de agua de 7.113 captaciones, de los cuales 1.962 puntos cuentan con información de la profundidad acuífera captada (1.181 aljibes, 70 manantiales, 454 pozos, 237 pozos de monitoreo y 20 puntos adicionales como ciénagas).

Teniendo en cuenta la información disponible y en reuniones técnicas con el equipo de trabajo para consolidar esta red, se definió una profundidad de 185 m para el diseño de la red, considerando que se captarán principalmente la Formación Bagre del Grupo Real y los depósitos aluviales. Contrastando esto con algunos cortes elaborados en el proyecto MEGIA y ubicados principalmente en el norte de la zona de estudio se encontró



que efectivamente se lograba captar principalmente los depósitos aluviales. Sin embargo, se resalta la necesidad de contar con un modelo hidrogeológico conceptual validado con perforaciones y que permitan definir espesores de niveles acuíferos y caracterización hidroestratigráfica e hidrogeológica para afianzar los diseños de la red de monitoreo. Por el momento, el alcance de la red de monitoreo aquí presentada está orientado a la generación de información y monitoreo para validar las hipótesis sobre flujo y estado del agua subterránea.

En la zona sur de la zona de estudio se estableció como hipótesis, una tendencia general en sentido sureste-noroeste para el flujo subterráneo, considerando la topografía y que el río Magdalena captaría el flujo base proveniente de las aguas subterráneas, esta suposición razonable deberá ser corroborada a partir de la ejecución de los diferentes monitoreos.

En la medida que se obtienen datos del monitoreo, la Autoridad Ambiental deberá consolidar el modelo hidrogeológico conceptual y así, realizar los cambios en la red, en caso de ser necesario.

Para la parte sur de la zona de estudio no se cuenta con esta información y por esto se plantea la red como una red exploratoria que permita aportar en la construcción del modelo hidrogeológico conceptual de este acuífero. Posteriormente, se contrastaron los puntos que tenían información de profundidad con las líneas de flujo definidas para este acuífero en la zona norte, considerando información procedente del proyecto MEGIA.

Igualmente se consideraron las zonas prioritarias de monitoreo definidas tal y como se explica en el siguiente numeral, con el fin de tener estos aspectos en cuenta principalmente para la selección de puntos para la red de calidad.

Para definir la red de monitoreo se consideraron puntos de agua con subterránea con profundidad inferior a los 40 metros, que captarán los primeros horizontes de los depósitos aluviales y del Grupo Reral y en los cuales se prevé flujos más recientes y puntos con un mayor impacto por el cambio en los usos del suelo y actividades antrópicas que se desarrollan en superficie; y captaciones con profundidades superiores a los 40 metros y que captarán sistemas de flujo de aguas con mayores tiempos de residencia en el acuífero. Esta diferenciación se realizó también, con el fin de evaluar la continuidad hidráulica de estos depósitos. Será necesario realizar perforaciones exploratorias con recuperación de núcleo en la zona de estudio, con el fin de reforzar los datos que provienen del monitoreo.

- *Puntos de monitoreo con profundidad de captación inferior a 40 metros.*

Para este nivel y como se mencionó anteriormente se obtuvieron unas direcciones de flujo que permitieron ubicar los puntos de monitoreo, siguiendo las directrices mencionadas anteriormente. Se buscaba también que los puntos a los cuales se asociaba una línea de flujo o con los cuales se pretende validar la misma, tuvieran una profundidad similar que respondiera a los cambios tanto en cantidad como en calidad en esta zona del acuífero.

Se definieron en total 38 puntos de agua para este nivel que se presentan en la Figura 43. De estos 38 puntos, se cuenta con 34 puntos existentes, los 4 restantes se deberán construir posteriormente por la CAS para completar la red de monitoreo. La distribución espacial de los puntos existentes y los puntos por construir se presenta en la Tabla 23.



Tabla 23. Puntos seleccionados para la red de monitoreo con profundidad de captación inferior a los 40 m.

Identificador	Fuente	Tipo de punto de agua	Formación geológica	Profundidad de captación (m)	X (m)	Y (m)	Localización	Observaciones
SAM1.1.1	SGC	Aljibe	Qal	4,4	1.033.430	1.297.471	Norte	
SAM1.1.2	SGC	Aljibe	Qal	3,8	1.053.806	1.287.457	Norte	
SAM1.1.3	SGC	Aljibe	N1r	10,0	1.034.450	1.276.913	Centro	Buscar en campo otro punto que esté sobre el Grupo Real
SAM1.1.4	SGC	Aljibe	N1r	19,0	1.046.015	1.271.544	Norte	
SAM1.1.5	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo	N1r	38,0	1.050.414	1.306.942	Norte	
SAM1.1.6	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo	N1r	32,0	1.041.994	1.315.218	Norte	
SAM1.1.7	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo	Qal	35,0	1.063.262	1.317.750	Norte	2024
SAM1.1.8	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	5,0	1.023.857	1.306.837	Norte	
SAM1.1.9	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	4,1	1.027.670	1.302.440	Norte	
SAM1.1.10	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	5,0	1.045.555	1.293.063	Norte	
SAM1.1.11	BD_MEGIA	Pozo	N1r	19,0	1.054.213	1.301.074	Norte	
SAM1.1.12	BD_MEGIA	Pozo	N1r	17,0	1.056.761	1.295.706	Norte	
SAM1.1.13	BD_MEGIA	Pozo	Qal	18,0	1.065.583	1.302.268	Norte	2024
SAM1.1.14	BD_MEGIA	Pozo de monitoreo	Qal	4,6	1.020.399	1.309.953	Norte	
SAM1.1.15	BD_MEGIA	Pozo	Qal	12,0	1.029.345	1.330.509	Norte	
SAM1.1.16	BD_MEGIA	Pozo	Qal	23,0	1.042.111	1.323.450	Norte	2024
SAM1.1.17	BD_MEGIA	Pozo de monitoreo	N1r	27,0	1.058.523	1.308.731	Norte	2024
SAM1.1.18	BD_MEGIA	Pozo	Qal	18,0	1.031.327	1.334.702	Norte	2024
SAM1.1.19	BD_MEGIA	Pozo	Qal	20,0	966.311	1.190.168	Sur	
SAM1.1.20	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	5,0	993.412	1.207.535	Sur	
SAM1.1.21	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	6,0	1.025.716	1.222.215	Centro	



Identificador	Fuente	Tipo de punto de agua	Formación geológica	Profundidad de captación (m)	X (m)	Y (m)	Localización	Observaciones
SAM1.1.22	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	4,3	1.017.329	1.229.955	Centro	
SAM1.1.23	BD_MEGIA	Aljibe	N1r	6,0	1.026.580	1.251.478	Centro	
SAM1.1.24	BD_MEGIA	Aljibe	N1r	4,0	1.029.700	1.244.400	Centro	
SAM1.1.25	BD_MEGIA	Aljibe	N1r	14,0	1.031.228	1.280.787	Centro	
SAM1.1.26	BD_MEGIA	Pozo	Qal	12,0	1.019.660	1.287.463	Norte	
SAM1.1.27	BD_MEGIA	Aljibe	N1r	13,0	1.025.160	1.284.002	Norte	
SAM1.1.28	BD_MEGIA	Aljibe	N1r	6,0	1.050.654	1.278.372	Norte	
SAM1.1.29	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	6,0	1.017.740	1.296.458	Norte	
SAM1.1.30	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	6,0	1.025.758	1.292.191	Norte	
SAM1.1.31	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	7,0	1.035.707	1.287.459	Norte	
SAM1.1.32	BD_MEGIA	Pozo	Qal	25,0	1.048.817	1.329.753	Norte	2024
SAM1.1.33	BD_MEGIA	Pozo	Qal	20,0	1.057.821	1.323.337	Norte	2024
SAM1.1.34	BD_MEGIA	Aljibe	Qal	15,0	1.030.956	1.341.371	Norte	2024
SAM1.1.35	PUNTO NUEVO	Piezómetro a construir	Qal	40	979.702	1.224.108	Sur	
SAM1.1.36	PUNTO NUEVO	Piezómetro a construir	Qal	40	1.011.716	1.195.533	Sur	
SAM1.1.37	PUNTO NUEVO	Piezómetro a construir	Qal	40	1.006.160	1.242.100	Centro	
SAM1.1.38	PUNTO NUEVO	Piezómetro a construir	Qal	40	1.019.654	1.259.298	Centro	

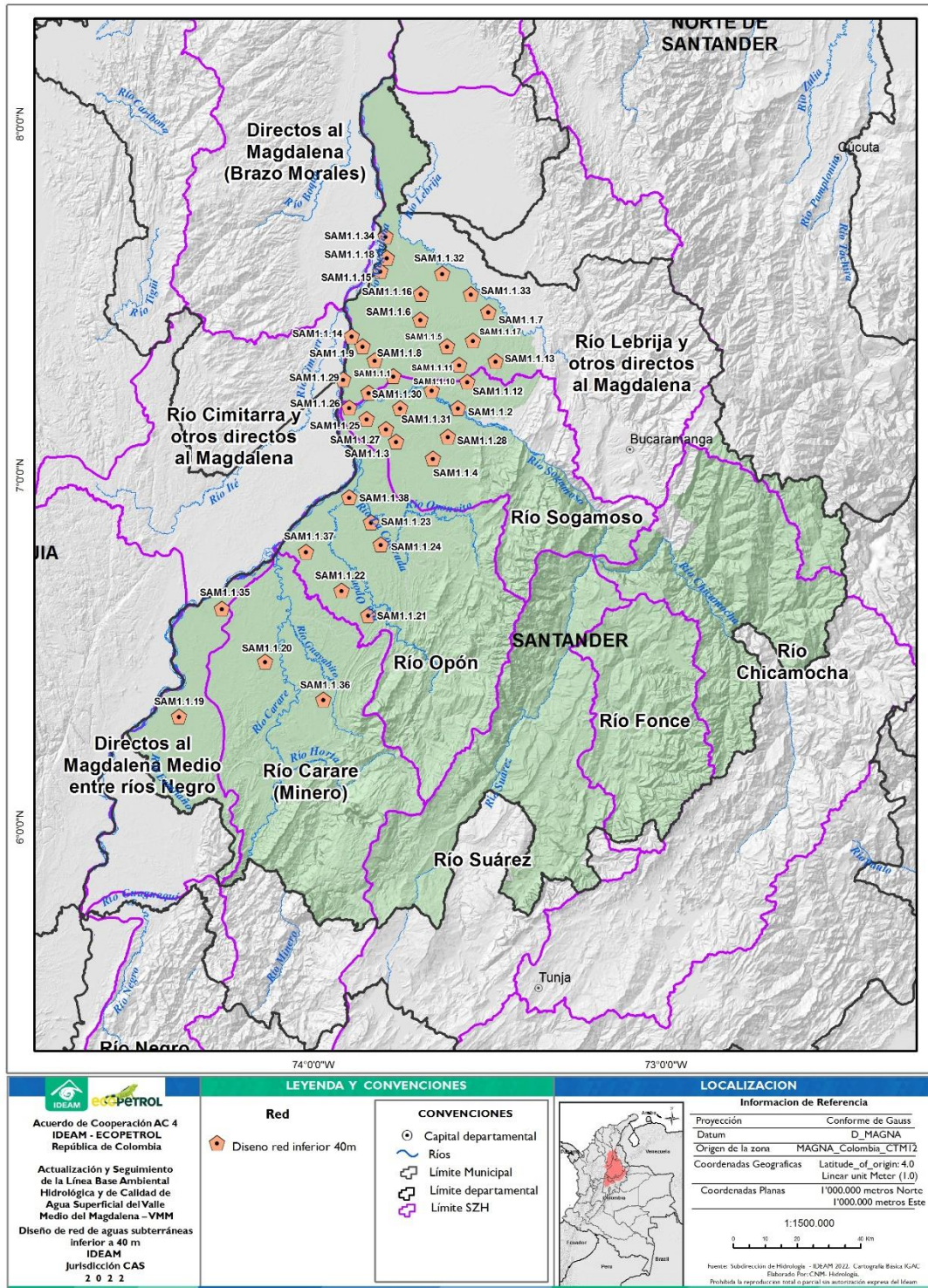


Figura 43. Red de monitoreo regional de aguas subterráneas en la CAS con profundidad de captación inferior a los 40 m.



- Puntos de monitoreo con profundidad de captación superior a 40 metros.

En este caso fueron definidos 36 puntos de agua (19 pozos y 17 pozos de monitoreo) (Figura 44). Para estas profundidades se cuenta con 21 puntos existentes y se planteó la construcción de 15 nuevos puntos.

Igualmente se buscaba que estos puntos coincidieran espacialmente con los definidos para los puntos con profundidad de captación inferior a los 40 m, lo cual permitiría observar los cambios en profundidad en los niveles, en la hidrogeoquímica, la calidad y la isotopía.

Tabla 24. Puntos que conforman la red de monitoreo de aguas subterráneas con captación superior a los 40 m de profundidad.

Identificador	Fuente	Tipo de punto de agua	Formación geológica	Profundidad de captación (m)	Uso actual	X (m)	Y (m)	Localización
SAM1.1.39	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo	N1r	60	No registra	1.050.532	1.278.832	Norte
SAM1.1.40	BD_MEGIA	Pozo de monitoreo	Qal	71	No registra	1.022.897	1.308.552	Norte
SAM1.1.41	BD_MEGIA	Pozo	Qal	80	Abastecimiento público	1.028.301	1.291.369	Norte
SAM1.1.42	BD_MEGIA	Pozo	Qal	75	Agrícola	1.034.154	1.341.572	Norte
SAM1.1.43	BD_MEGIA	Pozo	Qal	72	Abastecimiento público	1.035.467	1.312.342	Norte
SAM1.1.44	BD_MEGIA	Pozo	Qal	73	No registra	1.044.155	1.330.758	Norte
SAM1.1.45	BD_MEGIA	Pozo	Qal	72	Doméstico	1.053.602	1.321.698	Norte
SAM1.1.46	BD_MEGIA	Pozo	N1r	78	Doméstico	1.056.754	1.264.495	Norte
SAM1.1.47	BD_MEGIA	Pozo profundo	Qal	76,5	Uso industrial	1.068.070	1.307.970	Norte
SAM1.1.48	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo profundo	N1r	80	No registra	1.041.849	1.297.196	Norte
SAM1.1.49	ISOTOPOS-MEGIA	Pozo profundo	Qal	100	No registra	1.038.152	1.287.918	Norte
SAM1.1.50	SGC	Pozo	Qal	52	No registra	1.048.118	1.291.004	Norte
SAM1.1.51	SGC	Pozo	N1r	60	No registra	1.030.808	1.281.609	Norte
SAM1.1.52	SGC	Pozo	N1r	90	No registra	1.033.872	1.301.696	Norte
SAM1.1.53	SGC	Pozo	N1r	56	No registra	1.047.631	1.304.703	Norte
SAM1.1.54	SGC	Pozo	N1r	70	No registra	1.056.494	1.299.994	Norte
SAM1.1.55	SGC	Pozo	Qal	84	No registra	1.053.144	1.283.970	Norte
SAM1.1.56	SGC	Pozo	N1r	71	No registra	1.048.487	1.272.950	Norte



Identificador	Fuente	Tipo de punto de agua	Formación geológica	Profundidad de captación (m)	Uso actual	X (m)	Y (m)	Localización
SAM1.1.57		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.017.892	1.285.975	Norte
SAM1.1.58		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.018.249	1.295.513	Norte
SAM1.1.59	BD_MEGIA	Pozo	Tmm	100	Doméstico	965.752	1.212.349	Sur
SAM1.1.60	BD_MEGIA	Pozo	Tmm	80	Abastecimiento Público	1.014.304	1.226.347	Centro
SAM1.1.61	BD_MEGIA	Pozo	Qal	70	Abastecimiento Público	1.022.044	1.237.019	Centro
SAM1.1.62	BD_MEGIA	Piezómetro	N1r	43	Doméstico	1.031.250	1.244.966	Centro
SAM1.1.63		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.017.006	1.256.643	Centro
SAM1.1.64		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.031.981	1.225.913	Centro
SAM1.1.65		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.006.663	1.252.747	Centro
SAM1.1.66		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.001.028	1.239.564	Centro
SAM1.1.67		Piezómetro	N1r	100	N/A	984.085	1.195.433	Sur
SAM1.1.68		Piezómetro	N1r	100	N/A	1.003.399	1.182.733	Sur
SAM1.1.69		Piezómetro	Qal	100	N/A	960.801	1.189.348	Sur
SAM1.1.70		Piezómetro	Qal	100	N/A	970.855	1.178.764	Sur
SAM1.1.71		Piezómetro	N1r	100	N/A	978.682	1.168.623	Sur
SAM1.1.72		Piezómetro	Qal	100	N/A	986.946	1.231.164	Sur
SAM1.1.73		Piezómetro	Qal	100	N/A	998.074	1.210.184	Sur
SAM1.1.74		Piezómetro	Qal	100	N/A	1.014.346	1.199.468	Sur

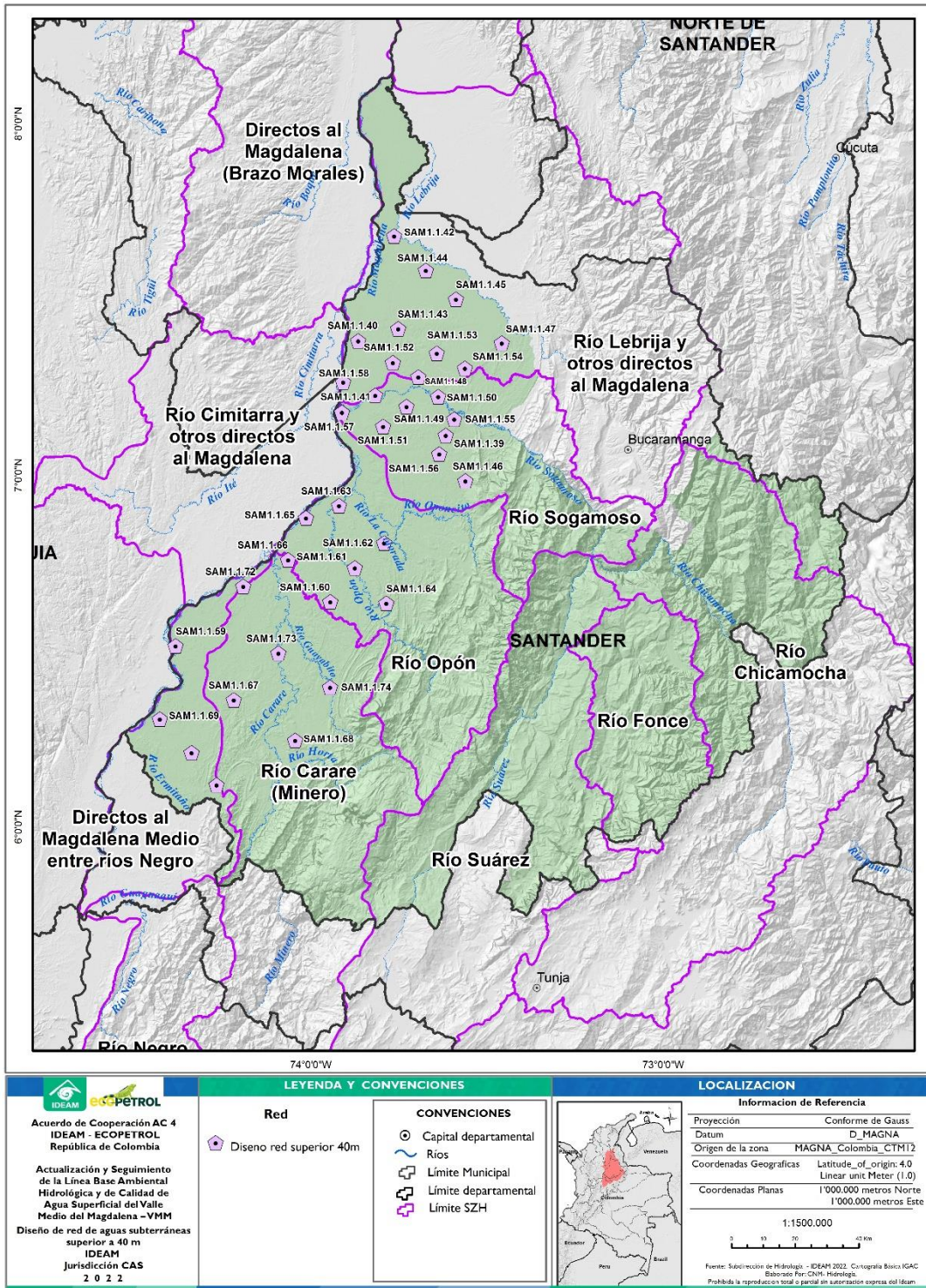


Figura 44. Red de monitoreo regional de aguas subterráneas en la CAS con profundidad de captación entre 40 y 185 m.

La localización final de los puntos fue validada con la CAS en el taller del 24 de noviembre de 2021 (Anexo 11).



- Red de monitoreo isotópico

En cuanto a la medición de los isótopos en la precipitación es necesario realizar la instalación de totalizadores de agua lluvia. Para este propósito se realizó por parte de Ecopetrol e Ideam, la instalación de 14 totalizadores en el marco del acuerdo de cooperación AC4. Además, en el marco del Estudio de Impacto Ambiental, Ecopetrol instaló siete totalizadores más. Por esta razón se propone dentro de esta red hacer uso de estos equipos ya instalados en los puntos seleccionados para tal fin (Figura 45).

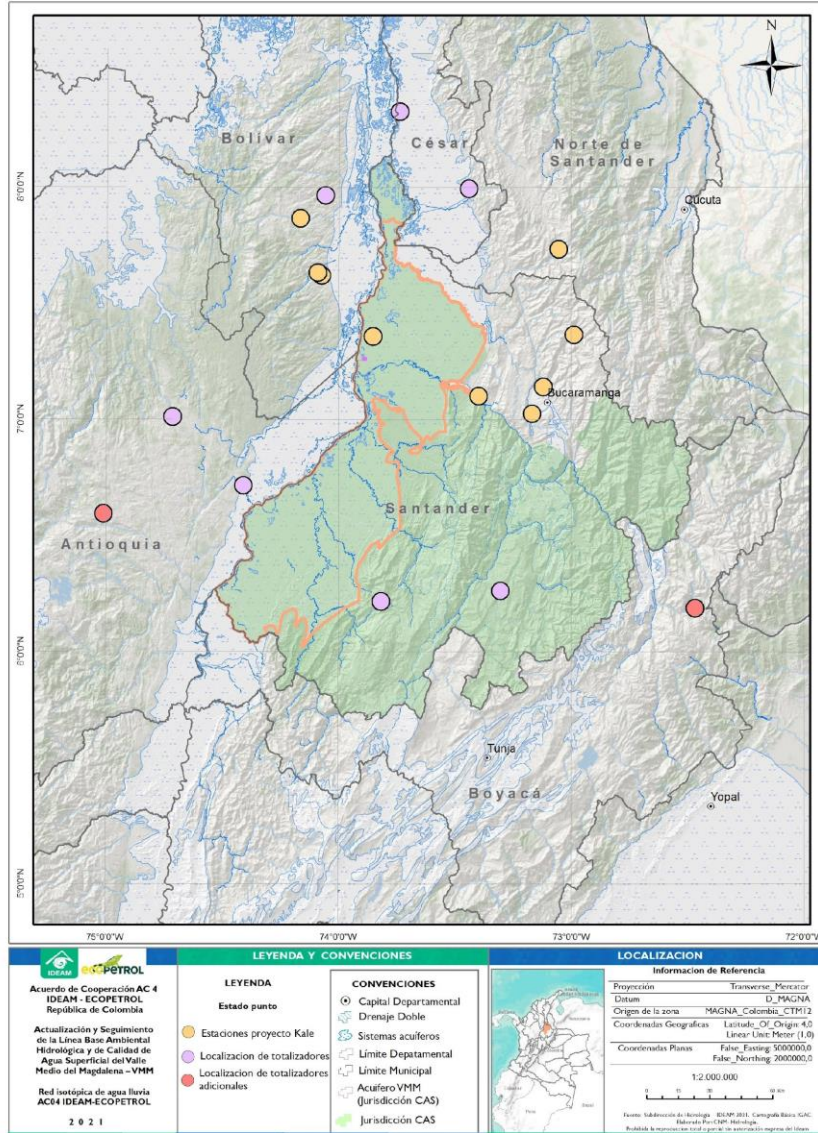


Figura 45. Distribución espacial de los totalizadores de agua lluvia instalados por Ecopetrol e Ideam

Como se ha mencionado anteriormente un aspecto pendiente en el diseño de la red de monitoreo de aguas subterráneas lo constituye la verificación y revisión del estado de los puntos definidos para conformar la red. Así mismo la necesidad de gestionar los permisos por parte de los propietarios de los predios donde se

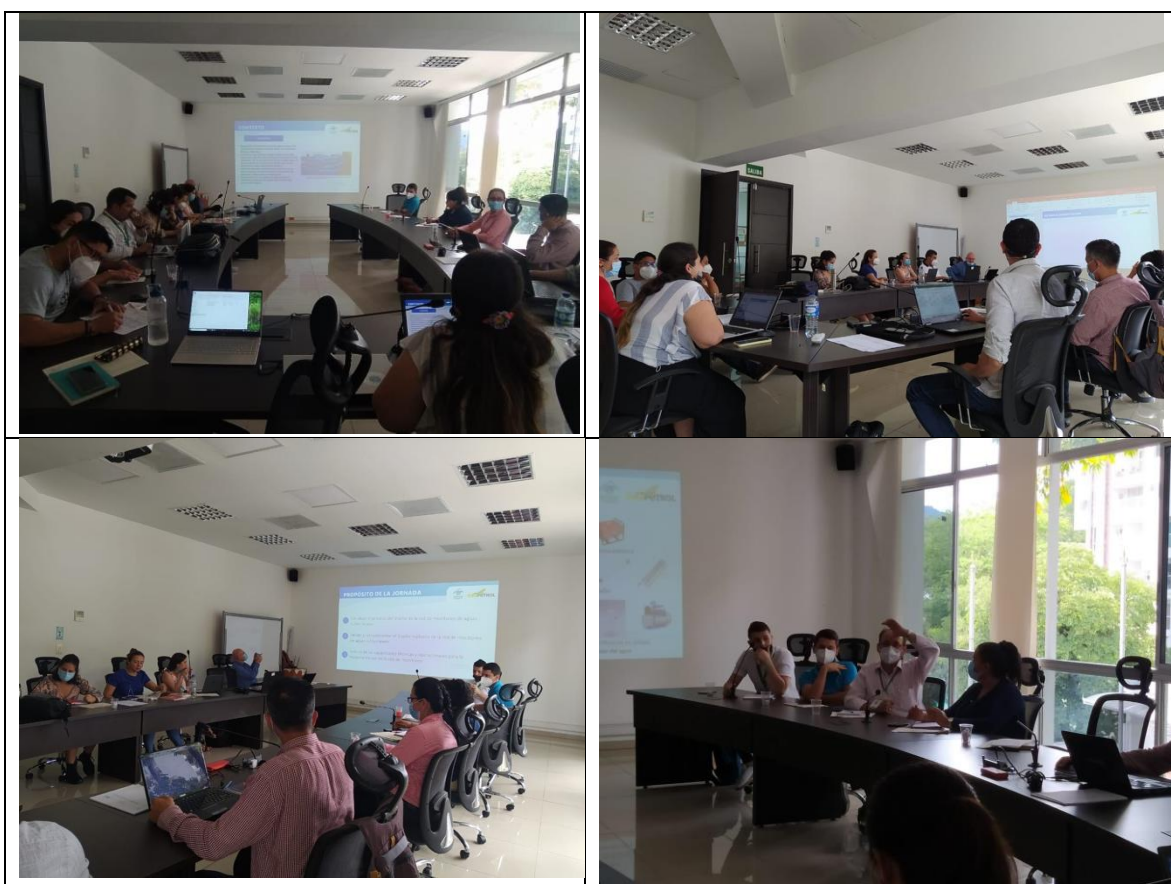


encuentran las captaciones para realizar los diferentes monitoreos. Esto deberá ser abordado posteriormente por la CAS.

Se propone, sobre todo para los puntos de monitoreo más profundos, realizar una inspección en profundidad mediante videocámaras a las captaciones que conforman la red, con el fin de verificar el estado en el que se encuentran y la posición de los filtros dentro de estas.

Igualmente es primordial realizar la nivelación topográfica de estos puntos de agua definidos para conformar la red de monitoreo.

Los puntos definidos fueron validados en el taller realizado el 24 de noviembre en la CAS (anexo 11), así mismo se les presentó la propuesta de realizar la construcción de piezómetros a lo cual estuvieron de acuerdo (Fotografía 1).





Fotografía 1. Registro fotográfico del taller realizado el 24 de noviembre en la CAS

Las bases de datos recolectados para los puntos de monitoreo de la red de aguas subterráneas están consignados en el anexo 12a y 12b.

Variables de monitoreo

Para el planteamiento de la red de monitoreo de aguas subterráneas se consideraron monitoreos piezométricos, hidrogeoquímicos, de calidad e isotópicos. Se exponen a continuación las variables consideradas para cada uno de ellos.

- Nivel piezométrico

En cuanto al monitoreo piezométrico deberá realizarse la medición de los niveles del agua subterránea mediante el uso de una cinta métrica o dispositivos registradores automáticos como los divers que funcionan por diferencias de presión.

Para realizar este monitoreo es necesario realizar la nivelación topográfica de los puntos, como se ha mencionado anteriormente. Además, deberán realizarse visitas de campo para corroborar el estado de las captaciones y tomar datos de interés como el realce (altura respecto al suelo).

Siempre se deberá procurar realizar la medición de niveles estáticos del agua, con un tiempo de mínimo 48 horas sin bombeo antes de realizar las mediciones de nivel. Igualmente, y como se ha mencionado anteriormente es importante verificar los niveles a los que se encuentran instaladas las rejillas de los pozos, dado que se debe garantizar que se está captando una misma unidad.

- Monitoreo hidrogeoquímica y de calidad

En cuanto a estos tipos de monitoreo siempre es necesario realizar en campo la medición de los parámetros *In situ* como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica, el potencial redox, el oxígeno disuelto, y de ser posible la alcalinidad. Estas mediciones en campo son necesarias dado que las condiciones de almacenamiento, preservación y transporte pueden alterar algunos resultados de estos parámetros.

Adicionalmente se propone la medición de iones mayoritarios y otros parámetros relevantes descritos en la Tabla 25. En el caso del monitoreo de calidad se propone tomar además los parámetros propuestos en la Tabla



26, considerando cada actividad posiblemente contaminante sobre el acuífero. En la Figura 46 y en la Figura 47 se presentan los puntos donde deberán medirse los diferentes parámetros de calidad de acuerdo con las zonas prioritarias de monitoreo definidas conjuntamente con la CAS. Los círculos en color verde corresponden a zonas donde se presenta la actividad agrícola, los círculos de color naranja corresponden con la actividad pecuaria, los círculos con color amarillo a actividad contaminante asociada al saneamiento básico y el color gris a la actividad petrolera.

Los parámetros a medir deben ser medidos como disueltos. Es importante resaltar que es necesario realizar la filtración en campo de las muestras, dado que sin este procedimiento no es posible acidificar y preservar adecuadamente las muestras. Igualmente si este servicio no es posible realizarlo, se deberá coordinar con los laboratorios para que se filtren y preserven las muestras lo más pronto posible.

Es importante mencionar que los laboratorios deberán estar acreditados por el IDEAM y las muestras deben cumplir por lo menos con el balance iónico para que los análisis sean válidos.

Tabla 25. Parámetros a medir en los monitoreos hidrogeoquímicos y de calidad

Parámetros para medir en el laboratorio	
Parámetros in situ	pH, temperatura, conductividad eléctrica, potencial redox, oxígeno disuelto, alcalinidad (de ser posible)
Iones mayoritarios	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
Otros parámetros relevantes	Alcalinidad, Coliformes fecales, Coliformes totales, Dureza, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , STD, Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SiO ₂ , PO ₄ ³⁻

Tabla 26. Parámetros a medir en el laboratorio considerando la actividad potencialmente contaminante asociada

Parámetros para medir en el laboratorio considerando la actividad asociada que es potencialmente contaminante	
Actividad agrícola	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , Cl ⁻ , PO ₄ ³⁻ , K
Actividad pecuaria	NO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , COD, Coliformes fecales y totales
Actividad contaminante asociada al saneamiento básico	COD, Coliformes fecales y totales, NO ₃ ⁻ , Cl ⁻
Actividad petrolera	Hidrocarburos Totales del Petróleo (THP), Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT), BTEX, H ₂ S, Sulfuro, Bario, Litio, Cadmio, Zinc, Metano, Manganeseo, Amoniac

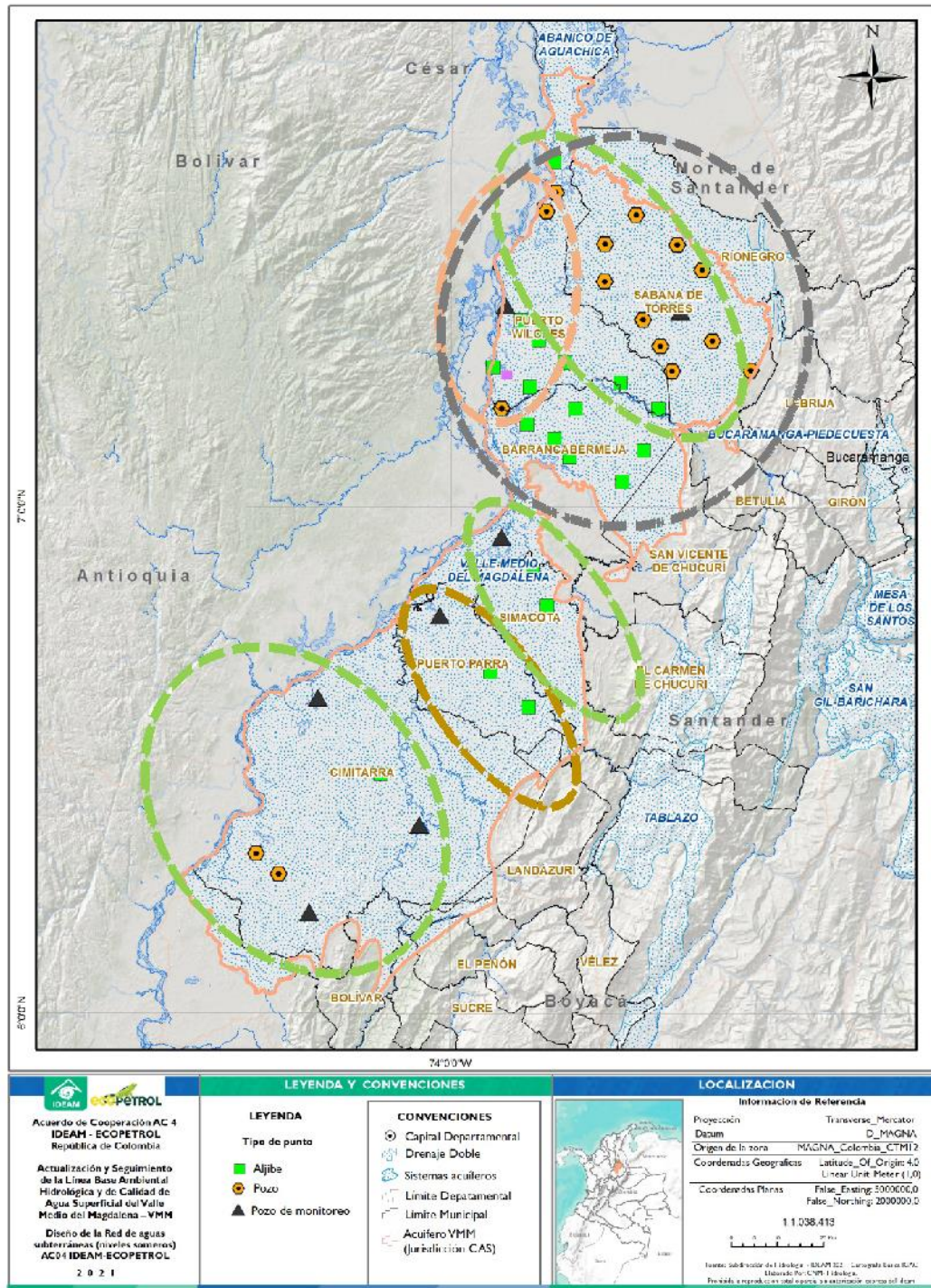


Figura 46. Zonas seleccionadas para los diferentes parámetros de calidad del agua subterránea para los puntos con captación de agua menor a los 40 m de profundidad

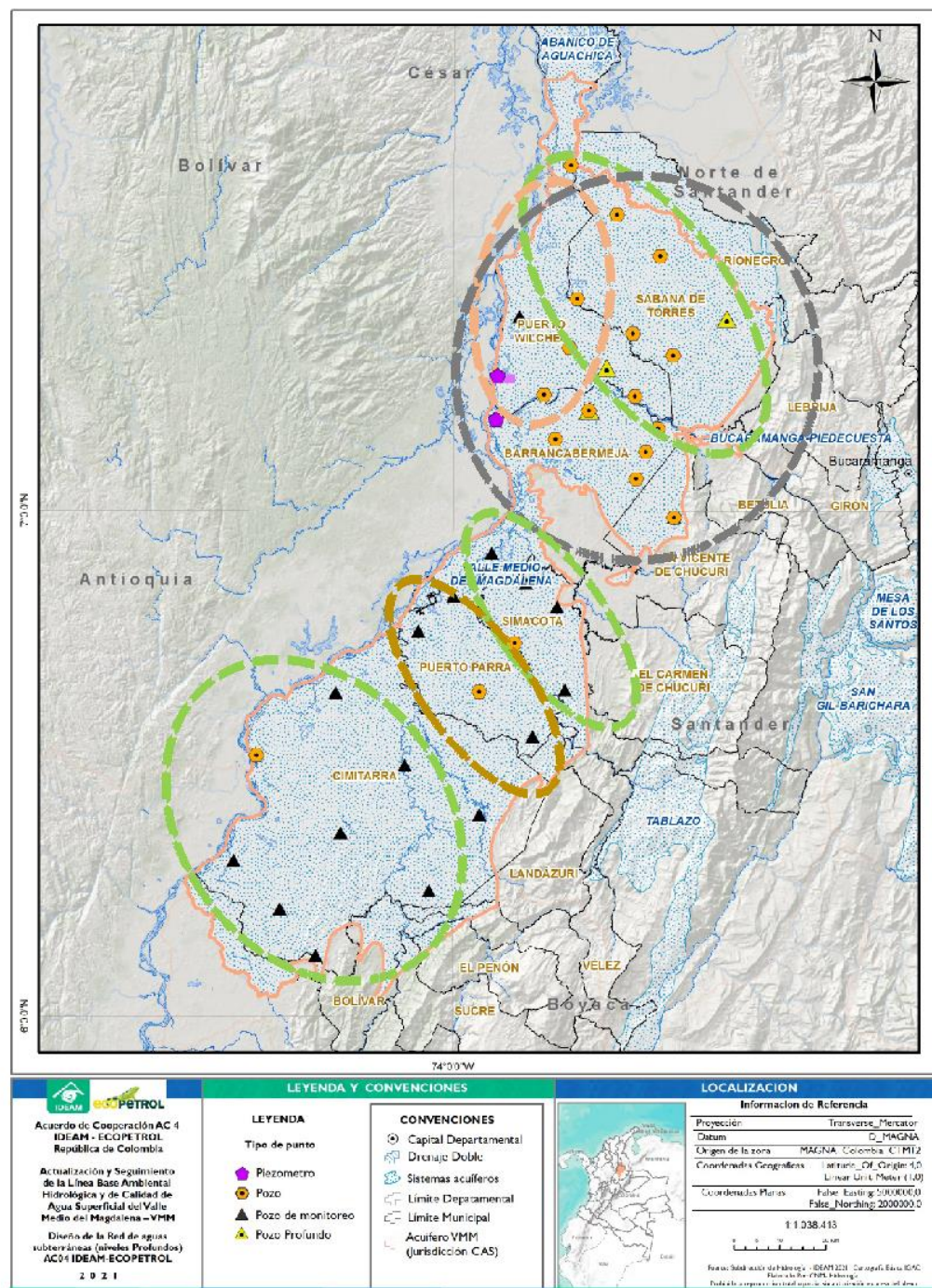


Figura 47. Zonas seleccionadas para los diferentes parámetros de calidad del agua subterránea para los puntos con captación de agua mayor a los 40 m de profundidad

- Monitoreo isotópico

En cuanto a este monitoreo se propone inicialmente realizar una medición del oxígeno 18 (^{18}O) y el deuterio (^2H) en los puntos que conforman la red de monitoreo y el agua lluvia en los puntos donde se encuentran instalados los totalizadores. Posteriormente y considerando los resultados obtenidos, tanto en este monitoreo



como en el monitoreo hidrogeoquímico y de calidad, se definirá la necesidad de utilizar otros isótopos con el fin de datar las aguas subterráneas de este sistema acuífero, o responder a preguntas más específicas que surjan en este monitoreo.

Es importante aclarar que los laboratorios seleccionados deberán ser reconocidos por la Agencia Internacional de Energía Atómica y la incertidumbre debe ser baja.

Frecuencia de monitoreo

En el marco del taller realizado el 19 de octubre con los funcionarios de la CAS se discutió la frecuencia adecuada de monitoreo para la red de aguas subterráneas (anexo 11). Considerando la variabilidad de la precipitación de la zona, se tiene un régimen bimodal con dos periodos de lluvia y dos periodos de sequía. Por tal motivo, se consideró pertinente plantear una frecuencia de monitoreo de dos veces en el año para las mediciones de calidad, hidrogeoquímica e isotopía en las aguas subterráneas, considerando un monitoreo en cada periodo representativo. Para la medición del nivel piezométrico, se recomienda realizarlo como mínimo cuatro veces al año, considerando dos mediciones en la época seca y otras dos mediciones en la época húmeda.

Además, para la definición de esta frecuencia de monitoreo fue necesario analizar la capacidad operativa de la corporación para realizar los monitoreos y operar la red, para lo cual se mencionó que no se contaba con un equipo de trabajo con dedicación al monitoreo. Las tareas que se realizan son puntuales para permisos, concesiones y trámites sancionatorios.

Equipamiento mínimo: se menciona en el componente tecnológico

Documentación

La CAS debe definir los protocolos de monitoreo para la toma de variables en campo. Para esto se recomienda retomar lo estipulado en el protocolo del agua (IDEAM & INVEMAR, 2021), donde se pueden encontrar los siguientes formatos:

- Formato de toma de niveles de agua subterránea
- Formato de pruebas de bombeo
- Formato de toma de datos de calidad de aguas subterráneas
- Lista de chequeo de equipos y materiales para el monitoreo de aguas subterráneas
- Formato de cadena de custodia
- Formato de toma de muestras de isótopos en agua lluvia
- Formato de toma de muestras mensuales de isótopos en agua lluvia
- Formato de toma de muestras de isótopos en agua superficial
- Formato de toma de muestras de isótopos en agua subterránea



En cuanto a los procedimientos de obtención de las variables de monitoreo se recomienda también recapitular lo estipulado en el anterior protocolo como base para el protocolo del agua de la CAS, realizando los ajustes necesarios para la incorporación de la información continua al sistema de información regional de la CAS.

Una vez la información ingrese al sistema, se debe definir un procedimiento que permita validar los datos de campo, los cuales deben tener en cuenta como mínimo:

- Comparación del nivel piezométrico tomado con respecto al histórico
- La temperatura del agua subterránea debe ser similar a la temperatura ambiente, salvo en aquellas zonas con presencia de aguas termales
- El pH debe estar entre 6,0 y 9,5, de lo contrario proceder a revisar las condiciones del punto
- Los sólidos disueltos deben ser mayores que la conductividad eléctrica
- Tanto los sólidos disueltos como la conductividad eléctrica deben compararse con la tendencia histórica con el fin de verificar el dato o detectar una medición con alguna situación en particular
- Una vez el laboratorio entre el reporte de variables hidrogeoquímicas se debe realizar el cálculo del error en el balance iónico. Los resultados deben ser inferiores al 10% para considerar los resultados como aceptables.
- Los resultados de isótopos estables del agua deben ser validados utilizando el criterio del exceso en deuterio: muestras en agua subterráneas con exceso en deuterio menor de 3,5‰ debe ser descartadas, salvo que se trate de aguas en zonas termales. Asimismo, aguas subterráneas con exceso en deuterio entre 3,5 y 7 ‰ deben ser analizadas a la luz del conocimiento del punto.

5.2.3. Gestión de la información de monitoreo del recurso hídrico superficial en la CAS

La gestión de la información está constituida por el flujo de los datos y la información de monitoreo al interior de la Corporación. Partiendo del diagnóstico actual de la gestión de la información de la CAS, se recomienda optar por una plataforma de gestión de datos, similar a la propuesta en el piloto del PIRMA, realizado en la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) (Figura 48).

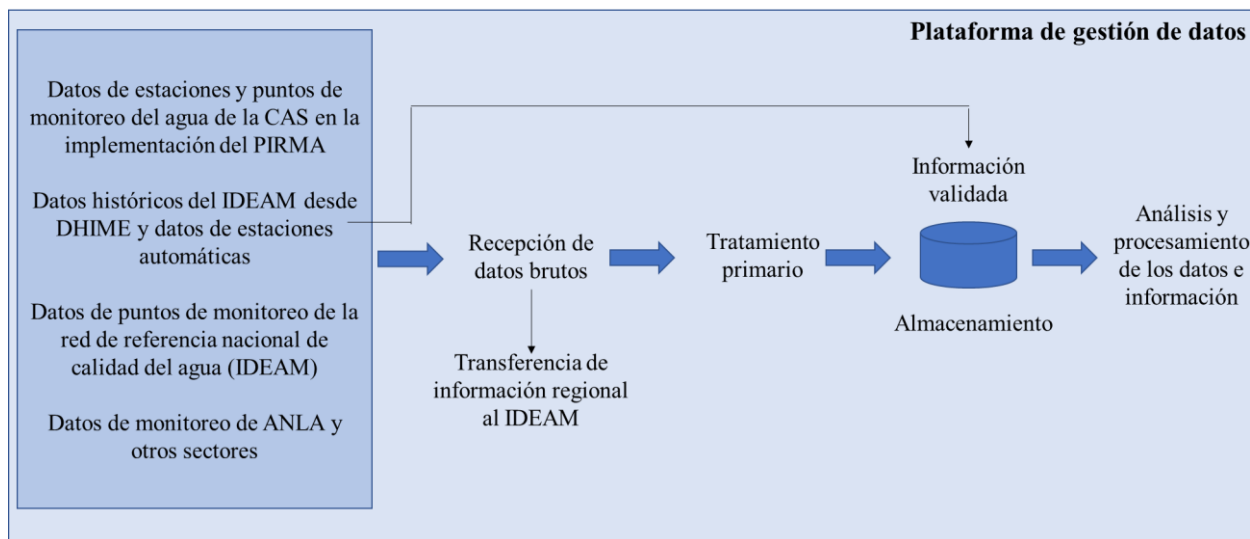


Figura 48. Flujo de los datos e información del monitoreo integral del agua en la CAS. Fuente: adaptado de CAM & Herencia Hídrica (2020)

Al igual que la CAM, la CAS contará a futuro con diferentes fuentes de información del monitoreo: redes a nivel nacional operadas por IDEAM, estaciones hidrometeorológicas y de calidad operadas y mantenidas en el marco de la implementación del PIRMA y otros sectores que aportarán información (Figura 48).

La plataforma de gestión de datos debe recibir y procesar los datos e información de todas estas fuentes y además, ser compatible con el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH). Los datos hidrometeorológicos de las estaciones de la CAS, incluidas las nuevas estaciones en el PIRMA, se transmitirán directamente a través de la plataforma de gestión de datos que, además de recibir los datos, debe explorar las series de datos históricos y presentar valores esperados de las variables, variación máxima esperada de una variable entre observaciones sucesivas y diferencia máxima; también debe tener la posibilidad de hacer correlaciones con series de estaciones cercanas para validar su coherencia.

Posterior a esta transmisión, los datos recolectados deben ser objeto de un tratamiento primario por parte de los técnicos de la CAS. Este tratamiento primario, de acuerdo con las indicaciones de la Organización Mundial Meteorológica, comprende varias etapas necesarias para preparar los datos con el fin de almacenarlos o archivarlos de modo que puedan ser utilizados a corto y/o largo plazo (OMM, 2011) y el protocolo de monitoreo del IDEAM (IDEAM & INVEMAR, Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua, 2021). Posteriormente, estos datos validados podrán ser almacenados y utilizados para su respectivo análisis y procesamiento, con relación a los objetivos de monitoreo propuestos.

Las recomendaciones anteriores están enfocadas en la plataforma de gestión de la información. En paralelo, la CAS debe propender por establecer los protocolos para la elaboración de productos que provienen del monitoreo del recurso hídrico, para lo cual se propone el siguiente esquema (Figura 49).



Figura 49. Esquema conceptual para la generación de productos a partir de los datos del monitoreo del agua

- Necesidad de información: parte de los requerimientos de información de monitoreo del agua derivados del “que hacer de la corporación”, están soportados principalmente en el marco normativo, los aspectos misionales y el plan estratégico de la CAS
- Elaboración de productos: este grupo contiene todos los procesos técnicos que se deben tener en cuenta para la generación y producción de la información, describe los procesos de producción desde la planeación técnica y la definición de las especificaciones del producto, pasando por los procesos de elaboración y oficialización de la información.
- Disposición final de la información: en este grupo se define y documenta cómo deben ser los procesos de entrega, divulgación, mantenimiento, custodia y uso de la información.

Recomendaciones de mejora referentes a las necesidades de información.

Las necesidades de información del monitoreo del agua están orientadas a las variables de monitoreo de la red hidrometeorológica de referencia de la CAS y a la red de monitoreo de calidad regional.

Por otra parte, es necesario que al interior de la CAS se reconozca las necesidades de apoyo y apalancamiento que cada proceso debe darle a otro, en términos de disposición de datos de monitoreo del agua.

Lo anterior conlleva a la recomendación de establecer mecanismos de captura y consolidación de datos en sistemas de información, y por tanto en bases de datos debidamente estructuradas, alineadas a la plataforma de gestión.

Recomendaciones de mejora referentes a la elaboración de productos

En este grupo es donde se establecen todas las acciones pertinentes para la elaboración de los productos; en él se plantean tres fases que son clave para garantizar la pertinencia y calidad de la información a través de la estandarización y documentación de los procesos.



A continuación, se describen las tres fases ideales para la producción de información: planeación técnica, elaboración del producto y oficialización.

- Planeación técnica

La planeación técnica para la elaboración de los productos derivados de los datos provenientes del monitoreo del agua consiste en la carta de navegación para la producción de los datos y los productos derivados de las fuentes de información primaria; en función de todos y cada uno de los aspectos identificados en la fase de necesidades de información. Los principales conjuntos de datos de interés corresponden con los datos provenientes del monitoreo como parte de los servicios de información de la CAS.

Como se mencionó anteriormente, el PIRMA de la CAS debe tener dentro de sus metas el establecimiento de servicios de información que faciliten la consolidación y acceso a los datos de monitoreo del agua, aspecto para lo cual deben tenerse claramente identificados los tipos de datos asociados. Es por ello, que éstos se listan a continuación y para lo cual, se requiere que la CAS identifique cuáles serán sus fuentes de datos:

- a. Datos hidrológicos: sirven para identificar el comportamiento y dinámica espacio-temporal de niveles y caudales en corrientes y cuerpos de aguas prioritarios para determinar oferta y disponibilidad de agua superficial.
- b. Datos meteorológicos: se refieren a las observaciones de precipitación, temperatura del aire, temperaturas máxima y mínima, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación, brillo solar, evaporación, temperaturas extremas del tanque de evaporación, porcentaje de nubosidad y fenómenos especiales.
- c. Datos de mediciones de campañas de monitoreo de calidad: son todas las mediciones de variables fisicoquímicas e hidrobiológicas para evaluar el estado de las fuentes hídricas prioritarias en la jurisdicción de la CAS
- d. Datos de mediciones hidrobiológicas: en donde se identifican especies de organismos necesarios para mantener el equilibrio de los diferentes ecosistemas u organismos indicadores de condiciones de calidad, y para lo que se requiere datos de observaciones y registros periódicos de la presencia de macroinvertebrados, perifiton, fitoplancton, zooplancton, peces o macrófitas.
- e. Usuarios del agua: son los datos de todas las personas naturales o jurídicas que cuentan con permisos de aprovechamiento del recurso hídrico y que por tanto afectan la disponibilidad del agua.
- f. Información de contexto, asociado a actividades económicas y sociales, estado de variables ambientales de interés para la conservación del agua, entre otros.

Complementario a ello, la CAS debe reconocer las potencialidades de otros conjuntos de datos como:

- a. Datos resultantes de las Evaluaciones regionales del agua, ERA
- b. Datos obtenidos desde el IDEAM y otras instituciones
- c. Datos de monitoreo comunitario



d. Datos de sensores remotos

Con base en una necesidad de información específica, en la planeación técnica se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Datos (procedencia, fuente primaria o secundaria)
- Identificación e inventario de las fuentes de la información
- Metodología; se debe tener clara la metodología de medición, captura y procesamiento de la información.
- Productos; se debe tener claro cuáles son los productos que se van a generar a partir de un producto base y/o el producto que se está generando puede ser insumo para otro producto más complejo que se requiera en el proceso macro de gestión de la información, esto con el objetivo de tener en cuenta y definir desde este punto los atributos y/o características del fenómeno que se están midiendo y que puedan ser de utilidad en otros procesos.
- Especificaciones; corresponde a la definición de las especificaciones técnicas del producto que se planea elaborar; estas especificaciones técnicas están en función de las necesidades y requerimientos particulares de la información y definen las características y alcances del dato o producto que se espera generar.
- Caracterización de usuarios, corresponde a los alcances que debe tener el producto generado, a quienes, y a qué tema va dirigido, este análisis generará los elementos clave para definir los perfiles de entrega, divulgación y uso de la información.
- Cronograma; además de establecer la duración de las actividades puntuales para la elaboración del producto, también se pretende identificar periodicidad para la actualización de la información elaborada y/o capturada desarrollada de un proceso en particular.
- Plan de gestión de datos; además de definir los actores que participan en la construcción de un producto determinado, los enmarca en toda una estructura responsable de la producción de la información en un marco de tiempo definido y con tareas y responsables puntuales para su ejecución.
- Estructuración de datos; hace parte de la definición, captura y elaboración de la información para la producción de la información.
- Custodia de la información; desde esta etapa se debe definir el grupo de trabajo y el responsable de la custodia de la información, este rol es de suma importancia, ya que será responsable por la calidad, actualización, mantenimiento y difusión de la información.



- Especificación técnica; este es el documento que consolida cada uno de los ítems descritos anteriormente, esta se constituye en la carta de navegación para la producción de la información.
 - Elaboración técnica del producto

Con base en todos los aspectos definidos en la planeación técnica, se entra en la labor de la elaboración del producto; en este proceso es importante tener en cuenta los aspectos más relevantes de su elaboración:

- a) Captura de la información; en caso de que la captura de datos e información sea directamente, se debe tener en cuenta el catálogo de instrumentos y las consideraciones particulares de los instrumentos de medición del fenómeno que se está observando; si el fenómeno observado se analiza por medio de información proveniente de sensores remotos se deberá aplicar las consideraciones definidas para su análisis, o también cuando se parte de información secundaria como bases de datos es importante tener en cuenta la homologación de los atributos y las características de la información.
- b) Procesamiento de datos; en función de lo anterior y de la mano de la especificación técnica del producto se debe seguir el protocolo definido para el procesamiento de los datos.
- c) Control de calidad; se debe garantizar la aplicación de los procesos de control de calidad de la información generada, de acuerdo con la metodología y especificaciones técnicas del producto; el control de calidad debe ser técnico y temático de forma tal que el producto sea consistente con los datos temáticos que se entregan y con la estructura de la información entregada.
- d) Generación de conjuntos de datos oficiales; todos los procesos de generación de productos están enlazados a la generación de los datos oficiales de la entidad de manera tal que garanticen la calidad, pertinencia, actualización y respaldo de la información generada.
- e) Elaboración de la documentación del producto, es el compendio de todos los procesos técnicos seguidos para la elaboración de un producto en particular.
- f) Metadatos; es el resumen que contiene la descripción de la elaboración de un producto determinado, y es de vital importancia para mejorar la trazabilidad de la información, además de asegurar la difusión de los conjuntos de datos oficiales.

- Oficialización.

Esta es la instancia final del proceso de elaboración de los productos de información. En esta fase los grupos de trabajo que generan información garantizan a todos los usuarios de la información que los productos generados obedecen a un proceso riguroso de planificación, elaboración y validación y que además pueden ser catalogados como los conjuntos de datos oficiales elaborados por la entidad, de manera tal que se garantice la calidad técnica y temática en su elaboración. Así, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:



- a) Aseguramiento; corresponde con la verificación del seguimiento de todos los procesos especificados en la documentación de la elaboración del producto y que cumple con las especificaciones técnicas del mismo.
- b) Aprobación del producto y los conjuntos de datos; realizado el chequeo de todos los factores expuestos, el grupo de trabajo encargado da el aval sobre el producto generado conforme con todo el procedimiento de la producción de la información.

La Corporación dentro de sus compromisos para prestar un servicio con calidad a los usuarios, evitar los impactos negativos en el ambiente y garantizar la calidad de vida laboral, cuenta con un Sistema Integrado de Gestión HSEQ, que se basa en cuatro principios fundamentales: Salud, Seguridad, Ambiente y Calidad.

Se propone que como parte de los logros del PIRMA queden planteados procedimientos dentro de este Sistema Integrado de Gestión HSEQ, que permitan que los sistemas de información cuenten con tareas sistemáticas de compilación de información, tratamiento de los datos e información, y disposición, para así contribuir a mejores decisiones sobre el agua.

Se recomienda analizar con los equipos técnicos plantear un procedimiento cuyo objetivo esté orientado a “garantizar la disponibilidad, oportunidad, integridad y confidencialidad de la información de monitoreo hidrológico a los demás procesos y partes interesadas”.

Es importante tener en cuenta que el ciclo de gestión para la producción de la información no termina aquí; la disposición final de la información no se debe entender como un repositorio digital y/o físico en el cual se deja la información. La disposición final tiene un conjunto de actividades de similar importancia a lo definido anteriormente. Es en esta etapa del proceso en la cual se entrega la información a otros usuarios para la generación de productos más complejos y/o seguramente la estructuración de análisis multivariados para la toma de decisiones. También siendo los insumos principales para sistemas complejos y/o procesos de modelación, todos temas de alta relevancia en el marco de la gestión de los recursos hídricos.

Estas etapas son las claves principales a tener en cuenta para una disposición final adecuada de la información.

- Disposición y acceso; de acuerdo con la especificación técnica y la caracterización de usuarios definida en la planeación técnica del producto, se determina la manera como se dispondrá el acceso a la información; el acceso a los datos también estará determinado por el rol del usuario definiendo así las restricciones a ciertos atributos de la información o al conjunto de datos completo.
- Divulgación de resultados; los productos generados se dispondrán para descarga de libre acceso, series de datos, archivos planos, servicios web, acceso a servidores para consumo de información a través de aplicaciones avanzadas y tableros de datos con información particular dispuesto en un portal web.
- Almacenamiento, definición del almacenamiento y respaldo de la información en el servidor de la entidad o alojado en servicios de almacenamiento en la nube.



- Clasificación y organización; la información deberá estar catalogada y estructurada temáticamente para facilitar su búsqueda y consulta a cualquier usuario que la requiera.

6. Componente tecnológico del PIRMA

El componente tecnológico en el marco del PIRMA busca orientar sobre los equipos y tecnologías necesarios para asegurar la adquisición, almacenamiento y transmisión de datos hidrometeorológicos de las estaciones automáticas y en las aguas subterráneas.

6.1. Componente tecnológico para el monitoreo de cantidad de aguas superficiales

De acuerdo con el tipo de estación a instalar, bien sea hidrológica o climatológica, los sensores que hacen la medición de la variable o variables seleccionadas para el monitoreo en cada punto son diferentes. Sin embargo, los componentes que corresponden a los sistemas de almacenamiento, alimentación y transmisión son de las mismas características; esto con el fin de facilitar el mantenimiento y operación de redes de estaciones automáticas, haciendo la red lo más uniforme posible. Esto se traduce en la posibilidad de efectuar intercambios de equipos dentro de la red, independiente del tipo de estación que se encuentra en campo, lo que facilita la operación y la hace más sencilla; de esta forma, desde el punto de vista del instrumental, las diferencias entre las estaciones radican en los sensores.

Las estaciones hidrometeorológicas automáticas deben contar además de los sensores con: alimentación regulada para el suministro de energía a las diferentes partes de la estación, elementos para garantizar su autonomía, reloj en tiempo real, sistema de autodiagnóstico interno para el control automático de su funcionamiento, protecciones eléctricas contra sobretensiones para cada cable de señal proveniente de los sensores, protectores contra descargas eléctricas, además un dispositivo que permita la sincronización periódica y automática de la fecha y hora, ya sea por sí mismo o por medio de los equipos de comunicación a los que estén conectadas.

6.1.1. Componentes estaciones hidrológicas y meteorológicas automáticas

En la Figura 50 se pueden identificar los diferentes componentes de las estaciones automáticas y a continuación se describe cada uno de estos.

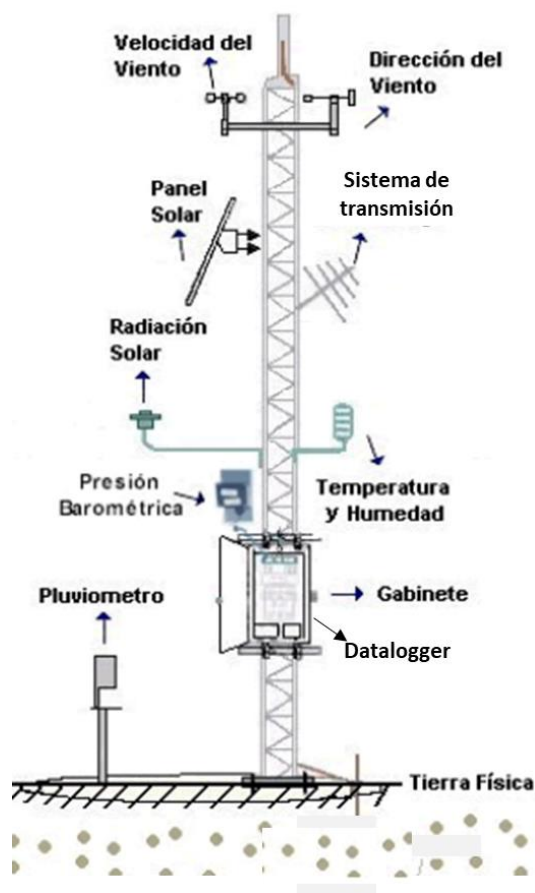


Figura 50. Componentes de las estaciones automáticas (Ejemplo de estación climatológica). Fuente: (IMTA, 2015)

- **Sensores**

Los sensores para la medición de variables hidrológicas y meteorológicas deben ser robustos y no deben tener ninguna desviación intrínseca o ambigüedad en el modo de hacer el muestreo de la variable que se mide.

En la actualidad existe un gran número de sensores de diferentes características y calidades que se adaptan a los sistemas automáticos de adquisición de datos. La finalidad es conseguir cierto grado de homogeneidad entre los sensores empleados en las estaciones automáticas y los de las estaciones convencionales (IDEAM).

Se pueden encontrar sensores de nivel, presión atmosférica, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, precipitación, insolación, radiación, nubosidad y visibilidad.

- **Plataforma registradora de datos (Datalogger)**



El Datalogger es el centro de control de la estación; previa configuración. Este se encarga de hacer el almacenamiento y procesamiento básico de la información en primera instancia, una vez los sensores hacen la respectiva medición. Es el componente más importante de la estación, dado que a través de este se hace la administración y configuración de los otros componentes de la estación, se configuran los tipos de mensajes que son transmitidos y los tiempos de transmisión; incluso, tiene la capacidad de hacer verificación primaria de la información, permite comunicación bidireccional y administra la forma en que se hace el almacenamiento de energía del sistema y cómo se consume; por tal razón, las especificaciones técnicas que lo describen deben ser muy puntuales.

El Datalogger deberá contar con una CPU y un sistema operativo que controlará la comunicación con los demás dispositivos y realizará como mínimo las siguientes operaciones: inicialización, muestreo de la salida de los sensores con la frecuencia y filtros establecidos, linealización, conversión de la salida de los sensores en dato hidrometeorológico, controles de calidad, promediado para obtener los denominados valores instantáneos de las variables meteorológicas, reducción de datos, almacenamiento de datos, generación de archivos para su envío y envío del archivos para su transmisión (IDEAM, ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –, 2016) (CAM, 2020).

- Sistema de Comunicación y Telemetría

Son los equipos electrónicos encargados de enviar los mensajes de información en las estaciones, de acuerdo a las configuraciones establecidas, lo cual depende del tipo de estación, frecuencia de monitoreo, tipo de transmisión y software de recepción de información, entre otros. Existen diferentes tipos de transmisión: satelital, GPRS o vía radio. Aun cuando las dos últimas son más económicas, dependen de contar con cobertura suficiente en los sitios de ubicación de la red. La comunicación vía radio exige tener una línea de vista desde cada punto de generación de información hasta el sitio de recepción, o contar con antenas repetidoras que suplan este requerimiento; en tal sentido, aunque este tipo de comunicación resulta ideal por su disposición, es muy exigente en infraestructura, y es recomendada para redes pequeñas y muy locales. La comunicación GPRS es soportada en las antenas de comunicación celular de los operadores que cuenten con servicio de datos; en este sentido, la cobertura de este tipo de redes en el país es muy alta en zonas urbanas, pero se encuentra aún en desarrollo en las zonas rurales. Por último, la comunicación satelital proporciona una amplia cobertura, siempre y cuando se garantice una vista limpia desde la antena de la estación al firmamento, de acuerdo con los ángulos de inclinación establecidos para conectarse al satélite; en este sentido, en algunas oportunidades, la ubicación de la infraestructura se encuentra supeditada a la cobertura de la señal del satélite, análisis que deben ser efectuados antes de elegir el sitio de emplazamiento final de la estación (IDEAM, ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –, 2016) (CAM, 2020).



En la Figura 51 se presenta un resumen de las características de los diferentes tipos de transmisión de datos.

Componentes básicos para transmisión			
<ul style="list-style-type: none"> • Estación de monitoreo. • Satélite GOES. • Sistema de recepción de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de monitoreo. • Satélite VSAT. • Sistema de recepción de datos del proveedor. • Sistema de recepción de datos del usuario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo móvil para el envío de datos. • Antenas para la red móvil. • Gateway para salida a internet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de monitoreo. • Antenas repetidoras. • Sistema de recepción de datos del usuario.
Ventajas			
<ul style="list-style-type: none"> • El servicio es brindado por NOAA. • NOAA no tiene un costo. • Cobertura total en el territorio nacional. • Satélite geostacionario exclusivo para fines hidrometeorológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los equipos de transmisión son arrendados y operados por el proveedor. • Cobertura en el territorio nacional. • Las estructuras civiles para la instalación de los equipos de transmisión son realizadas por el proveedor. • La comunicación es en doble sentido. 	<ul style="list-style-type: none"> • La comunicación es en doble sentido. • La tarificación de la telefonía móvil es por la cantidad de datos transmitidos. • A futuro se transmitirá video a través de este medio. • Está diseñado para visualizar los datos a través de la red de Internet. • Se pueden visualizar los datos en dispositivos móviles tales como celulares, tablets o iPad. • Múltiples medios de recepción del dato. • Transmisión de datos con una frecuencia menor a la horaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • La transferencia de datos no tiene costo. • La comunicación es en doble sentido. • No depende de terceros en ninguna de sus etapas.
Desventajas			
<ul style="list-style-type: none"> • La asignación de códigos para la autorización de las transmisiones depende directamente de NOAA. • Se deben solicitar los códigos a NOAA antes de adquirir el sistema. • Los tiempos de transmisión son horarios. • Se desconoce si la NOAA en algún momento comenzará a facturar el servicio de transmisión de datos. • Se debe contar con un sistema receptor de datos. • La comunicación es en un solo sentido. • Único medio receptor de dato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Antenas parabólicas grandes y vistosas, sensibles a hurtos y vandalismo. • El receptor de datos es propiedad del proveedor. • Se debe instalar un nuevo sistema de telecomunicaciones entre el proveedor y el usuario. • Único medio receptor del dato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los enlaces de comunicación se hacen a través de los operadores de telefonía móvil locales. • La cobertura no está garantizada en todo el territorio nacional. • La red puede colapsar ante un fenómeno natural. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cobertura es local. • Limitada en la cantidad de estaciones. • Red susceptible a interferencia. • La red puede colapsar ante un fenómeno natural. • Se debe pagar el uso del espectro electromagnético anualmente. • Es una red obsoleta debido al avance de la telefonía móvil.

Figura 51. Medios de transmisión de datos. Fuente: (IDEAM & INVEMAR, 2021)

- Sistema de Alimentación Eléctrica

Este componente de la estación garantiza el funcionamiento autónomo de los equipos electrónicos instalados en cada uno de los emplazamientos; se compone de panel solar, batería y regulador. El



panel solar tiene la función de captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica, que es transmitida a la batería para su almacenamiento, de tal forma que el regulador es el elemento que controla la forma como la batería es cargada y sirve para establecer los parámetros de carga de la batería.

Para cada uno de los sitios de instalación se debe estudiar la forma en que los paneles solares cargan la batería; esto, teniendo en cuenta que en caso de existencia de sombras o nubosidad muy densa podría ser necesario instalar paneles solares adicionales a fin de garantizar la carga completa de la batería (IDEAM, ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –, 2016) (CAM, 2020).

- Gabinete

El gabinete debe alojar, proteger y garantizar las condiciones adecuadas para el funcionamiento del Datalogger, el transmisor satelital, el sensor de presión, el regulador, la batería, demás componentes y sistemas de interconexión eléctrica y de datos.

Este debe ser hermético y proteger los demás elementos contra la corrosión, polvo, lluvia, debe ser a prueba de agua por incidencia directa o salpicadura, además debe incluir un desecante en su interior para absorber la humedad (IDEAM, ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –, 2016).

- Protecciones eléctricas

Las sobretensiones provocadas por corrientes inducidas por la ocurrencia cercana de descargas atmosféricas que son atraídas a la superficie terrestre pueden generar daños importantes en los componentes eléctricos y electrónicos de las estaciones. A fin de evitar dichas averías, es necesario garantizar un correcto funcionamiento de las protecciones; para ello es importante que la puesta a tierra en las instalaciones se realice de forma correcta, instalando en cada gabinete un dispositivo de supresión de sobretensiones con tiempo de repuesta suficiente para desviar a tierra las sobretensiones antes de llegar a afectar a los equipos del gabinete (IDEAM, ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –, 2016) (CAM, 2020).

6.1.2. Equipamiento de monitoreo hidrometeorológico complementario

Además del monitoreo efectuado a partir de las estaciones, es necesario contar con equipamiento complementario para mediciones en el sitio, en particular en las estaciones hidrológicas, con el fin de calibrar las secciones para obtener las curvas nivel-caudal, correspondientes a los sitios en donde se encuentran emplazadas las estaciones de monitoreo hidrológico. A continuación, se mencionan los equipos complementarios que se consideran necesarios: correntómetro, perfilador ADCP, niveles topográficos, GPS, computadores portátiles y herramientas varias.



- Mira limnimétrica: La mira hidrométrica o limnómetro es una regla graduada dispuesta en tramos de un (1) metro, que se utiliza para medir las fluctuaciones de los niveles en un punto determinado de un cuerpo de agua (IDEAM & INVEMAR, 2021). Se recomienda acompañar todas las estaciones hidrológicas automáticas con miras convencionales para la verificación de los datos tomados de manera automática.

La instalación de los tramos de mira se debe realizar de acuerdo con la sección de niveles tomada durante los datos de campo en la estación, garantizando que se puedan realizar observaciones de la variación de la lámina del agua, tanto en niveles bajos o de estiaje, así como en niveles altos o de crecientes.



Figura 52. Mira limnimétrica. Fuente: (IDEAM & INVEMAR, 2021)

- correntómetro o molinete: es un instrumento utilizado para medir la velocidad del flujo en canales abiertos. El principio de funcionamiento se basa en la proporcionalidad entre la velocidad del agua y la velocidad angular resultante del rotor. La velocidad del agua se mide en diferentes puntos de la corriente poniendo el molinete y contando el número de revoluciones del rotor durante un intervalo de tiempo determinado.

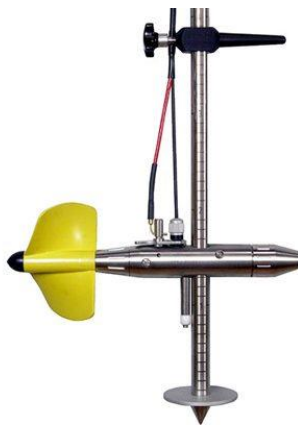


Figura 53. Correntómetro o molinete

- Perfilador ADCP: el perfilador acústico ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), se utiliza para medir el caudal en ríos grandes o pequeños, sin presencia de rocas de gran tamaño, lo cual permite el

desplazamiento horizontal del equipo para la medición. Los instrumentos ADCP, basados en el efecto Doppler, pueden instalarse en una embarcación en movimiento. El instrumento mide en forma simultánea la velocidad, profundidad del agua y la trayectoria de la embarcación para calcular el caudal. Este método permite calcular el caudal parcial a medida que la embarcación atraviesa el río (IDEAM & INVEMAR, 2021).



Figura 54. Perfilador ADCP

- Nivel topográfico: el nivel topográfico, también conocido como nivel óptico o equialtímetro, es uno de los instrumentos topográficos más importantes. Se usa principalmente para medir desniveles entre puntos que se encuentran a diferentes o similares alturas y el traslado de cotas de un punto de referencia a otro desconocido. Este instrumento es útil para la definición y nivelación de puntos de referencia de las estaciones limnimétricas y para el levantamiento de secciones.
- GPS: este equipo es de gran relevancia para la demarcación de sitios de monitoreo, rutas, puntos de referencia, etc.
- Computador portátil: se debe contar con un equipo portátil descargue de la información de campo.
- Herramientas varias: además de los equipos mencionados anteriormente, se debe contar con otras herramientas como flexómetro, cascos, botas, guantes y demás elementos necesarios para el trabajo de campo y mantenimiento de equipos e infraestructura.

6.1.3. Infraestructura de la red

Para la instalación de la infraestructura de las estaciones se debe llevar a cabo un levantamiento de datos en campo, con el fin de definir las ubicaciones finales de cada uno de los sitios de monitoreo, así como el tipo de obra que se debe desarrollar para la instalación de los equipos de monitoreo y garantizar su funcionalidad. Lo anterior es de gran relevancia, dado que las condiciones del entorno de cada una de las ubicaciones podrían influir en los datos que tomen los sensores, generando comportamientos anómalos que no corresponden a las variaciones y comportamientos naturales que se pretenden caracterizar. Para el caso de las estaciones nuevas



propuestas, se realizaron visitas preliminares de reconocimiento de campo con el fin de identificar posibles sitios de instalación de estas.

Para la instalación de la infraestructura, se deben seguir las recomendaciones de la OMM y el IDEAM, de acuerdo con los siguientes documentos:

- Protocolo de monitoreo del agua (2021)
- Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos (OMM, 2017)
- Guía de Prácticas hidrológicas de la OMM - De la medición a la información hidrológica (OMM, 2020)

En la Figura 55, se presentan los principales pasos para la instalación y funcionamiento de las estaciones.

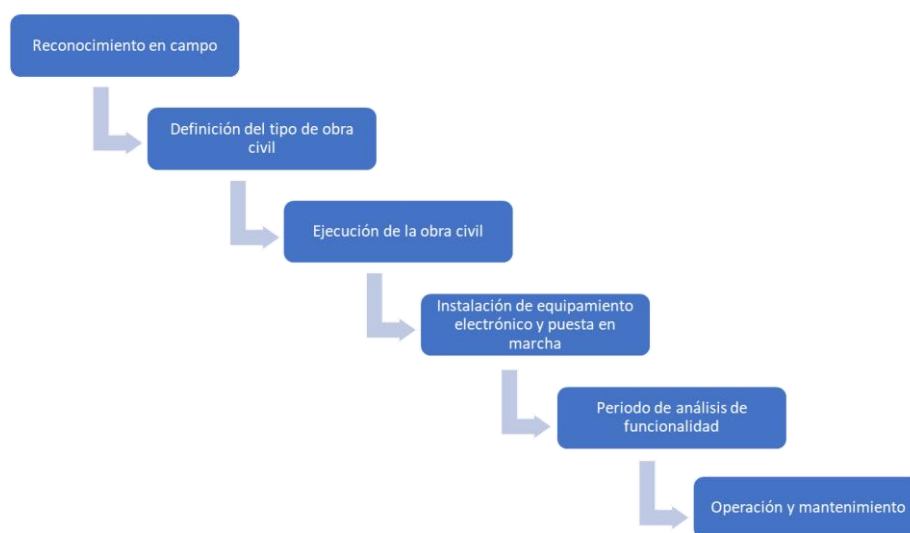


Figura 55. Síntesis de principales fases para la instalación y funcionamiento de estaciones hidrológicas y meteorológicas

Una vez definido el tipo de obra civil que debe ser adelantada se procede con su ejecución; la obra se debe desarrollar en el marco del cumplimiento de los diseños presentados y aprobados previamente por el usuario final; en todo momento se debe recalcar sobre la obligatoriedad de garantizar la funcionalidad de la estación, de lo cual depende en gran medida la calidad de los datos que serán generados en ella. De manera consecutiva, y una vez verificado que la obra civil cumpla con los requerimientos técnicos establecidos, se procede a la instalación del equipamiento electrónico o convencional con que va a ser equipada la estación, dependiendo de las características de la estación definida de manera previa.

Una vez hecha la instalación de los equipos, se procede a la puesta en marcha de la estación. Se sugiere hacer un seguimiento a la forma en que se genera la información y cómo esta es recibida en la plataforma instalada para tal fin. El periodo de análisis evidenciará si la instalación de los equipos fue realizada de manera correcta y si se garantiza la funcionalidad de la estación acorde con las mediciones que realiza. Este proceso por lo general se establece como punto de control dentro de los procesos de adquisición de estaciones, a fin de



garantizar la correcta visualización y disposición de la información en los sistemas que han sido dispuestos para tal fin, con mayor relevancia si las estaciones hacen parte de un sistema de alerta temprana.

De este punto en adelante, el proceso de garantizar la generación de información se convierte en un tema de operación y mantenimiento de la red, así como del proceso de verificación, análisis y generación de productos derivados de la información primaria generada y de cada uno de los sensores que se encuentran emplazados en campo (CAM, 2020).

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas, ver Anexo 14.

6.2. Componente tecnológico para el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales

Con respecto al monitoreo de la calidad del agua superficial, el componente tecnológico del PIRMA de la CAM sugiere la utilización de nuevas tecnologías que podrían mejorar el monitoreo de la calidad del agua. Dentro de estas se encuentran: la utilización de drones para la toma de muestras y el uso de las imágenes satelitales para la evaluación de la calidad del agua que deben ser abordados en el marco del plan de investigación del resultado 3 de la Matriz de Marco Lógico del PIRMA.

Adicionalmente, en el caso del PIRMA de la CAS, se considera relevante abordar en este componente la automatización del monitoreo de calidad del agua debido a que la Corporación en el año 2022 está avanzando en la instalación de estaciones automáticas de calidad.

A continuación, se presentan los contenidos propuestos desde la temática de calidad del agua para el componente tecnológico del PIRMA de la CAS.

6.2.1. *Nuevas tecnologías para incluir en el Plan de Investigación del PIRMA de la CAS*

Dentro del Plan de Investigación a desarrollar de acuerdo con el Resultado 3 de la MML del PIRMA de la CAS se tendrán en cuenta las siguientes tecnologías para ser desarrolladas y evaluar su pertinencia de la inclusión en el monitoreo de calidad del agua de la CAS.

6.2.1.1. *Uso de drones para el monitoreo de calidad de las aguas*

Los drones son usados en estudios ambientales, principalmente para la toma de ortofotos aéreas, pero existen desarrollos y estudios que muestran la posibilidad del uso de esta tecnología para el monitoreo de la calidad del agua, ya sea para la medición in situ de parámetros básicos como para la toma de muestras. En el mercado se encuentran distintos tipos de drones que permiten la toma de datos de parámetros in situ (como temperatura, pH y conductividad eléctrica) mediante sensores instalados en los drones, así como la toma de muestras de agua desde 50 ml hasta 1 litro para los posteriores análisis de laboratorio (Rodríguez, 2020). Los drones manufacturados para la toma de muestras de agua pueden recolectar muestras de hasta 330 ml, pero ciertos drones que no han sido creados para la toma de muestras de agua pueden ser modificados para recolectar muestras de hasta 2 litros.



Esta tecnología permite el monitoreo en sitios de difícil acceso, así como una reducción del costo de las campañas de monitoreo debido a la disminución de la contratación de personal y de los costos de logística. De igual forma, permiten reducir los tiempos de las campañas por disminución en los desplazamientos. Para su uso en lagos, estos drones pueden disminuir los costos de monitoreo hasta en un 30 % (iAgua, 2020), ya que evitan el desplazamiento en barco hasta el punto deseado, como se ha calculado en un proyecto en Nueva Zelanda donde se toman muestras en lagos de minerías (iAgua, 2019).

(Shelare, 2020) recopilaron información sobre diferentes estudios donde se usaron drones para la toma de muestras de agua, concluyéndose que los resultados del testeo en campo de esta tecnología arrojaron resultados positivos de entre el 60 y 83%. Dadas las condiciones de accesibilidad en el departamento de Santander, el uso de esta tecnología puede reducir los costos del monitoreo de la calidad del agua, por lo que es recomendable analizar el uso de esta tecnología en el Plan de Investigación del PIRMA.

6.2.1.2. Imágenes de sensores remotos para la evaluación de la calidad del agua

El uso de imágenes de sensores remotos, como las imágenes satelitales, para el control de la calidad de las aguas se basa en la huella en la reflectancia del agua que dejan algunos compuestos, como los sólidos suspendidos, las algas (clorofila) y las cianobacterias (ficocianina). Esta huella en la reflectancia del agua permite analizar indirectamente la concentración de algas, cianobacterias tóxicas o sólidos que tienen un efecto directo en la calidad de las aguas. El uso de esta tecnología permite disminuir los costos de monitoreo, además de obtener una visión global del cuerpo de agua.

Desde 2021 se vienen adelantando un proyecto de investigación en IDEAM sobre la aplicabilidad de esta tecnología en cuerpos de agua lóticos. Trabajado con datos de campo e imágenes satelitales (principalmente SENTINEL-2) de los ríos Atrato, Nechí y Cauca se ha desarrollado una metodología para la correlación de variables de calidad de agua e imágenes satelitales. Esta metodología consiste en 3 fases (Figura 56):

- Preprocesamiento: donde se realiza la preparación de las imágenes satelitales para su uso.
- Procesamiento: consiste en realizar los análisis estadísticos correspondientes para obtener las correlaciones.
- Posprocesamiento: consiste en la evaluación de los datos obtenidos.

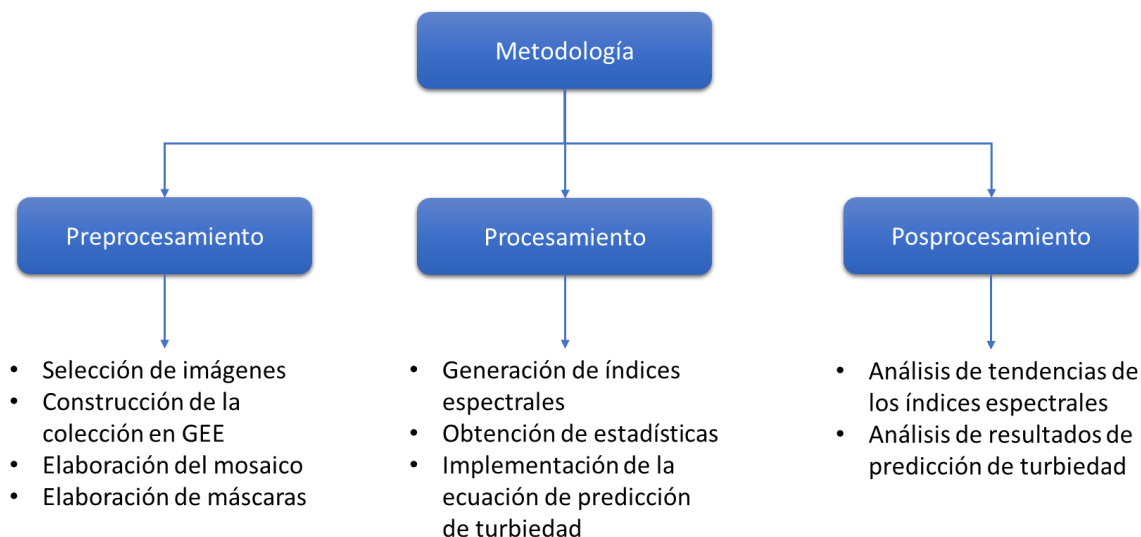


Figura 56. Metodología general de correlación de variables de calidad de agua e imágenes satelitales. Fuente: IDEAM & ECOPETROL (2021)

El objetivo de esta investigación desarrollada en IDEAM en 2021, y que ha tenido continuidad en el segundo semestre del 2022, es encontrar posibles correlaciones entre variables de calidad de agua y los niveles digitales en las imágenes, para esto se usaron mediciones de campo. El primer paso consistió en identificar la correspondencia entre las muestras capturadas en campo con las imágenes satelitales. Posteriormente, y usando Google Earth Engine se extrajeron los niveles digitales (valores de píxel de las imágenes) para de forma exploratoria evaluar la correspondencia entre las diferentes variables de calidad de agua y las imágenes Sentinel 2, de lo cual se encontró una mayor correlación con la variable de turbiedad.

La metodología desarrollada originalmente contempló los análisis de correlación entre todas las bandas y los índices espectrales con las variables de calidad de agua, sin embargo, a medida que se obtenían los resultados se delimitó el procesamiento únicamente a los índices espectrales. Estos índices son el resultado de operaciones entre las diferentes bandas espectrales de las imágenes satelitales, con el fin de resaltar aspectos específicos de las imágenes en función de la respuesta espectral de una cobertura analizada, en este caso, cuerpos de agua. A partir de las correlaciones se obtienen las ecuaciones de predicción de una función de regresión lineal, que permite convertir los valores de niveles digitales de las imágenes satelitales a valores de turbiedad. Cuando no existe una correlación lineal clara entre los datos, se pueden usar métodos no paramétricos de regresión, que se utilizan cuando no es necesario asumir una forma fija en la distribución de una variable y uno o más predictores. Un ejemplo de este método es el Modelo Aditivo Generalizado (GAM) que descompone la relación lineal entre las variables a partir de relaciones lineales segmentadas de acuerdo con diferentes funciones de suavizado (derivadas). En otras palabras, encuentra relaciones lineales individuales en un subconjunto de datos y las acumula de forma aditiva para explicar la variabilidad del conjunto total de datos. Es importante señalar que la principal desventaja de GAM es su tendencia al sobreajuste, lo que, no obstante, se compensa al poder emplear todo el conjunto de datos de las series de tiempo. Así mismo, se pueden explorar e implementar algoritmos de inteligencia artificial predictivos como Random Forest y Redes Neuronales Artificiales.



Cabe resaltar que los análisis de correlación a nivel de cuenca entre variables de calidad de agua y reflectancia dependen enteramente de la cantidad y distribución de los datos de campo disponibles, por lo que se requiere de un monitoreo de la calidad del agua en la zona de estudio que busque corresponder con las fechas de disponibilidad de imágenes satelitales, es decir considerar la fecha de paso del satélite por la zona de estudio para definir la fecha de monitoreo en campo. De la misma manera, información de mayor detalle tanto espacial como espectral, como datos hiperespectrales de campo como los obtenidos con espectralradiómetros o sensores aerotransportados pueden contribuir significativamente en la obtención de resultados más precisos en el análisis y monitoreo de calidad del agua.

En base a la investigación desarrollada hasta el momento por IDEAM, se realizan las siguientes recomendaciones para tener en cuenta al momento de incluir esta tecnología en el Plan de Investigación del PIRMA:

- Buscar alianzas con actores o buscar la financiación para poner a disposición del proyecto un equipo espectralradiómetro, el cual sirve para capturar firmas espectrales de muestras de agua con diferentes condiciones de calidad, lo cual permitiría categorizar y extrapolar estas condiciones en diferentes tipos de imágenes de sensores remotos, mejorando los resultados obtenidos y y extendiendo la capacidad de monitoreo a zonas de difícil acceso.
- Adquirir drones que permitan capturar imágenes de muy alta resolución espacial. Dado que los drones realizan un vuelo bajo permiten obtener imágenes más enfocadas en la zona de estudio y en la zona de monitoreo en campo. En este sentido se pueden usar dos tipos de drones: 1) drones con cámara en el visible e infrarrojo que permiten la correlación con variables como turbiedad y 2) drones con sensores hiperespectrales que permiten realizar correlaciones con más variables como metales pesados y otros tipos de compuestos.
- En caso de usar imágenes satelitales, se recomienda, como se ha mencionado previamente, ajustar la fecha de monitoreo en campo a la fecha de paso del satélite por la zona de estudio.
- Adquirir o tener a disposición del proyecto un geoposicionador adecuado para el mismo.

Así, se recomienda incluir en el Plan de Investigación del PIRMA de la CAS la exploración del uso de imágenes de sensores remotos para la evaluación de la calidad del agua, dado que se ha observado una correlación entre los índices espectrales y la turbiedad, variable que es relevante donde la principal afectación a la calidad de agua es debido actividades mineras. La turbiedad es identificable en imágenes satelitales donde corresponde a cambios significativos en el color y transparencia del agua por descargas, remoción de materiales y otras afectaciones a los cuerpos de agua. Adicionalmente, esta tecnología es relevante para la CAS en los complejos cenagosos de la subzona del Río Lebrija, en donde —debido al alto tiempo de retención del agua— se puede obtener información sobre la parte microbiológica e hidrobiológica de la calidad de las aguas con el análisis de la concentración de clorofila y de ficocianina, así como el análisis de los sedimentos en suspensión que entran a las ciénagas.

6.2.1.3. Automatización del monitoreo de la calidad del agua



Una red automática de estaciones de calidad del agua nos aportara datos para valorar el estado y la dinámica de la calidad de las aguas superficiales a nivel de cuenca. El propósito de la red es aportar datos de referencia para estimar la dimensión y las posibles causas de las variaciones espacio-temporales de la calidad del agua, la afectación de la oferta y las condiciones para la gestión integral del agua a nivel de zona hidrográfica. (Perea & Zuluaga, 2020). Es un sistema que consta de una serie de sensores instalados a lo largo de un cuerpo de agua como un río, arroyo o lago interconectados entre sí cuyo principal objetivo es el control continuado y en tiempo real de la calidad del agua en zonas especiales como por ejemplo abastecimiento de agua potable, vertimientos, agricultura entre otras; que requieren acciones preventivas donde se prevea posibles episodios de contaminación, vertimiento de químicos o inundaciones. Este sistema es útil para mejorar el conocimiento real del estado de los recursos hídricos y también agilizar la toma de decisiones en casos de aumentos súbitos de caudal (Muñoz, 1994).

Un sistema automático de calidad de agua nos proporciona una valiosa ayuda sobre la situación de la calidad de las aguas superficiales:

- Proporciona información de la contaminación detectada y de su evolución en el tiempo.
- Complementa a los demás sistemas de monitoreo periódico de la calidad de las aguas existentes.
- Identifica vertimientos y contaminantes.
- Monitorea en tiempo real permitiendo actuar de manera inmediata.

Para realizar un monitoreo eficaz de la calidad del agua se deberán seleccionar las variables fisicoquímicas a monitorear, estas deben responder a los objetivos perseguidos por las entidades responsables del monitoreo ambiental según el uso potencial y actual del recurso hídrico, como a consideraciones de tipo económico y operativas (Loucks&Van-Beek, 2005).

Una estación automática de calidad del agua deberá cumplir con ciertas necesidades para operar:

- El dato registrado debe ser oportuno.
- El sistema debe permitir posibles expansiones ya sea de procesamiento o de diferentes variables a medir en un futuro.
- La calidad de información del dato debe ser confiable.
- El sistema debe ser de bajo mantenimiento y calibración.
- El sistema debe ser robusto.
- El sistema debe permitir información con otras redes.

Estas estaciones automáticas de calidad cuentan con sensores para las variables determinadas, y además pueden contar con muestreadores automáticos que acumulan cierto número de muestras de agua. De esta



forma, ante cualquier evento de contaminación, se dispone de muestras de contraste para validar los datos en el laboratorio y, en caso de ser necesario, analizar otros parámetros complementarios. (MITECO, 2022).

Los sensores utilizados cuentan con calibración interna, tanto en línea como sin conexión a la red, con función de autocalibración. Dichos sensores pueden comunicarse bien mediante señales analógicas 4-20 mA o utilizando un protocolo Modbus (Figura 57).

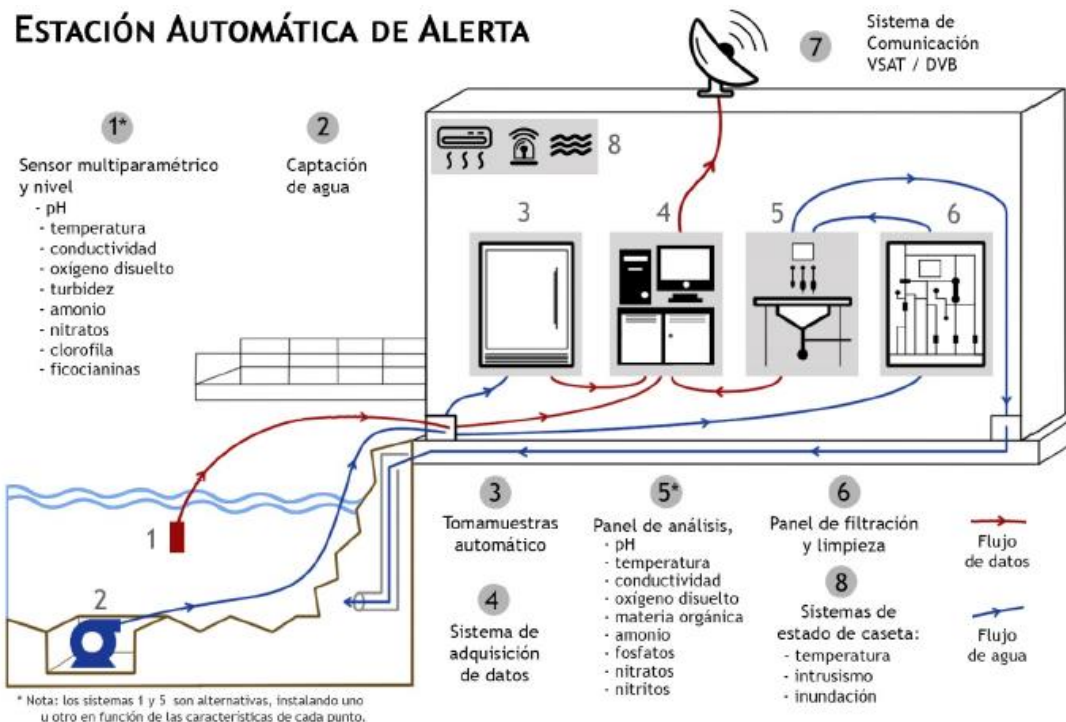


Figura 57. Esquema de una Estación de Alerta Automática de la Red Española. Fuente: MITECO, 2022

Debido a los costos de instalación y de mantenimiento, las estaciones automáticas de calidad de las aguas son recomendables solo cuando se requiera de un sistema de alerta temprana por calidad, lo que implica que en la zona exista un alto riesgo de vertimientos que puedan afectar a las poblaciones y actividades económicas aguas abajo.

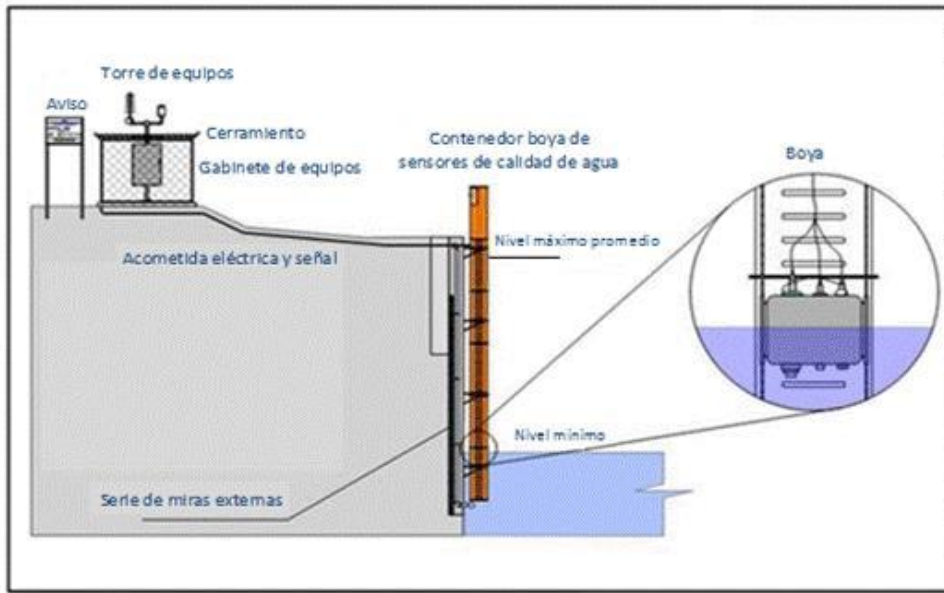


Figura 58. Esquema general de las Estaciones de Monitoreo de Calidad del agua en el río Cauca con boya de sensores. Fuente: Landazábal, 2017.

La CAS en 2022 está avanzando en la instalación de estaciones automáticas de calidad del agua a través del proyecto “diseño de un sistema de monitoreo de la calidad del agua de los principales cuerpos hídricos del distrito de Barrancabermeja” el cual consiste en la instalación de 3 estaciones automáticas de calidad del agua en Barrancabermeja con su respectivo sistema de transmisión y software de recepción de la información. Es por ello, que se incluye la automatización de estaciones de calidad del agua en el plan de investigación del PIRMA, dado que se requiere el estudio de la viabilidad y pertinencia de la instalación de estaciones automáticas y su interoperabilidad con la red manual.

6.2.2. Equipos para el monitoreo de la calidad del agua

Para la correcta operación de la red de monitoreo de la calidad del agua superficial, la corporación debe contar con equipos de monitoreo básicos como los que se describen a continuación:

- Equipos de monitoreo de variables in situ: algunas variables de la calidad del agua deben ser medidas en el momento del monitoreo por lo que se requieren equipos de calidad y confiables para la medición. Estos equipos son los relativos a la medición de pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura. Estas variables pueden ser monitoreadas a través de equipos diferenciables como pHmetro, oxímetro, conductivímetro y temperatura, o a través de equipos multiparamétricos que, adicionalmente, pueden permitir la medición in situ o calculada de más parámetros de calidad como son sólidos disueltos totales, salinidad, turbiedad, nitratos, nitrógeno amoniacal y cloruros dependiendo de los sensores que se instalen en la sonda multiparamétrica. Estos equipos también son necesarios para el monitoreo de la calidad de las agua subterráneas como se indica en la Tabla 28.
- Equipos de medición de caudal: el caudal es una medida necesaria en el monitoreo de la calidad del agua para la obtención de cargas contaminantes. Esta variable puede ser medida a través de



estaciones automáticas en el caso de los puntos coincidentes con la red de cantidad del agua superficial, o a través de equipos portátiles como correntómetros o molinetes y ADCP descritos previamente.

6.3. Componente tecnológico para el monitoreo de las aguas subterráneas

Para el adecuado funcionamiento de la red de monitoreo de aguas subterráneas, los instrumentos tanto de medición, como de recolección de muestras, deben estar referidos al tipo de punto a monitorear y a los objetivos de la red de monitoreo. Dichos instrumentos pueden variar de acuerdo con la oferta comercial de cada región, siendo común encontrar equipos de medición manual como sondas piezométricas para medir el nivel del agua y bailers para tomar las muestras de agua, así como equipos más sofisticados como Divers y otros aparatos electrónicos que promueven la automatización de la red de monitoreo.

Para el monitoreo piezométrico se requiere el uso de sondas de nivel para la medición de los niveles piezométricos con precisión milimétrica. Luego de tener un conocimiento previo de estos niveles y detectar anomalías en el flujo, se deberá evaluar la necesidad de la instalación de equipos de medición continuos que permitan realizar estas mediciones.

En cuanto al monitoreo hidrogeoquímico y de calidad es necesario la toma de parámetros de campo mediante equipos portátiles que permitan conocer mínimamente la conductividad eléctrica, la temperatura, el pH y los sólidos disueltos totales. Además, se debe garantizar que las muestras que se tomen corresponden al agua del acuífero y no al agua retenida en los puntos de agua, para ello se plantea la necesidad de adquirir equipos como bombas sumergibles. Dado que en muchos de los puntos que conformarán la red de monitoreo puede que no sea posible acceder a energía eléctrica deberá contarse con una planta eléctrica, que permita la operación de las bombas sumergibles. Para la extracción de la muestra deberá disponerse de una tubería de conducción del agua y cable de seguridad y eléctrico. Para este monitoreo en algunos casos se requiere conocer las condiciones químicas y de calidad del acuífero a diferentes profundidades para lo cual se requiere el uso de muestreadores tipo bailer y el uso de packers.

En relación con el monitoreo isotópico de agua lluvia se requiere recoger el agua lluvia mensual. Los dispositivos utilizados deberán garantizar que no se presente la evaporación del agua lluvia durante el almacenamiento mensual, por lo tanto, es necesario adquirir equipos estandarizados y aprobados por la Agencia de Internacional de Energía Atómica (IAEA), estos dispositivos ya fueron instalados por parte de Ecopetrol e Ideam como se ha mencionado anteriormente.

En términos generales y como se ha mencionado anteriormente es necesario realizar una inspección visual de las captaciones mediante el uso de una cámara sumergible, que muestre el estado de las captaciones y la ubicación de las rejillas.

Estos equipos fueron presentados en el taller del 24 de noviembre con los funcionarios de la CAS.

6.3.1. Equipos para el monitoreo piezométrico



- **Sonda de nivel piezométrico:** las sondas de nivel son parte del equipo estándar para la medición del nivel de las aguas subterráneas. Estas unidades portátiles se caracterizan por su forma sencilla, rápida y precisa de medir el nivel del agua. Éstas cuentan con una señal luminosa que se enciende al contacto con el agua. Opcionalmente, todos los modelos pueden equiparse con señal acústica y sensor de fondo para medir la profundidad del sondeo y sus longitudes varían para profundidades entre los 15 y 1000 metros. En la Tabla 9 se presentan las características principales de algunas sondas de nivel piezométrico.
- **Datalogger de nivel de aguas subterráneas:** s un registrador de datos diseñado para medir la presión del agua. Esta presión debe ser corregida con la presión atmosférica.



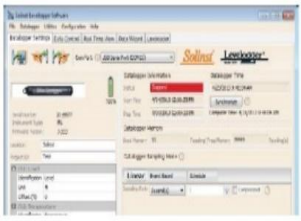
Tabla 27. Características principales de algunos instrumentos para la medición de niveles piezométricos

Medidores de niveles piezométricos		
Imagen de referencia	Marca y modelo	Principales características
	Solinst 101	<ul style="list-style-type: none"> -Cuenta con una cinta plana en PVDF, durable, que no se estira con conductores de acero inoxidable -Se encuentra marcada con exactitud cada mm o cada 1/100 de pie -Fácil de empalmar y reparar -Con estándares nacionales verificables -Disponible en longitudes que varían entre 30 y 600 metros -Marcaciones permanentes con láser -Componentes resistentes a la corrosión
	Solinst 102	<ul style="list-style-type: none"> Presenta bajo costo -Disponibles desde los 25 hasta los 300 metros de longitud -Cuenta con una sonda de 4 mm de diámetro -Resistente a la corrosión -Cable flexible y fácil de empalmar para cambiar/reemplazar sonda -Disponibilidad de piezas y partes de reemplazo -Marcaciones en cada mm o 1/100 de pie -Verificación a estándares nacionales
	Heron Instruments Dipper-T	<ul style="list-style-type: none"> -La cinta está fabricada en acero amarillo recubierta de polietileno -Mide los niveles estáticos y de caída de la cabeza, además de determinar la longitud del revestimiento y la profundidad total del pozo -La sonda de detección del nivel del agua puede retirarse fácilmente y sustituirse por la sonda indicadora del revestimiento del pozo o la sonda indicadora de la profundidad del pozo -Longitud variable entre 15 y 600 metros



	<p>Heron Instruments Water tape</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Es un medidor de nivel de agua económico -Puede utilizarse para medir niveles estáticos y niveles de extracción en masas de agua abiertas, pozos, perforaciones y tuberías verticales -Fabricada con la cinta de polietileno blanca, reforzada con Kevlar
	<p>Equipozo SEP</p>	<ul style="list-style-type: none"> Cable plano en acero inoxidable con recubrimiento de polietileno -El cable precisa mediciones cada milímetro -Cable de alta resistencia -Carga de rotura de más de 150 Kg -Es flexible, fácil de empalmar y reparar -Longitud entre 50 y 500 metros -Electrodo en acero inoxidable de 3/8" -Señal acústica y de luz -Marcación cada milímetro
	<p>Mini-Diver</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mediciones de 10, 20, 50 y 100 metros columna de agua - variables medidas Presión absoluta, temperatura, fecha y hora
	<p>Micro-Diver</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mediciones de 10, 20, 50 y 100 metros -Presión absoluta, temperatura, fecha y hora
	<p>Cera-Diver</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mediciones de 10, 20, 50 y 100 metros -Presión absoluta, temperatura, fecha y hora
	<p>CTD-Diver</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Mediciones de 10, 20, 50 y 100 metros -Presión absoluta, temperatura, fecha y hora, conductividad del agua
	<p>Baro-Diver</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Variaciones barométricas, presión atmosférica. -24 mediciones
	<p>Diver office</p>	<p>Software desarrollado para leer y programar registradores Diver de datos sobre las aguas subterráneas, además de descargar, procesar y mostrar los datos de supervisión de Diver.</p>
	<p>DipperLog tough</p>	<p>Este equipo de alta precisión es adecuado para el monitoreo de aguas subterráneas, particularmente en los entornos más cáusticos y peligroso, presenta una solución fiable y económica para la el seguimiento de dicho recurso, especialmente en variables como el nivel y la temperatura en los pozos donde la contaminación es un problema. Adicionalmente, es importante mencionar que el DipperLog TOUGH cuenta con una capacidad de memoria de 64.000 puntos de datos y una selección de rangos de presión.</p>
	<p>DipperLog 64</p>	<p>El DipperLog 64 al igual que el equipo anterior, cuenta con una alta precisión en la información obtenida, resultando así en una solución rentable y confiable para el monitoreo de los niveles y la temperatura de las aguas subterráneas en pozos, perforaciones y masas de agua abiertas. Este equipo presenta también una capacidad máxima de almacenamiento de 64.000</p>



		puntos de datos y una amplia variedad de rangos de presión.
	DipperLog vented	Este instrumento por su parte, incorpora un transductor calibrado que mide la presión exenta de influencias barométricas
	DipperLog 32	El DipperLog 32 tiene una capacidad máxima de almacenamiento de 32.000 puntos de datos, presenta únicamente un rango de presión (30 m / 100 pies), Esta es una opción viable cuando se trata del monitoreo a corto plazo de los niveles de aguas subterráneas, estudios de humedales y, pruebas de bomba.
	Levellogger PC	Este es un programa dinámico y eficiente, de fácil manejo tanto para la programación de los Levellogger como para ver y compensar los datos en la oficina o en el campo. El Levellogger PC tiene múltiples opciones, que incluyen muestreo repetitivo y comprimido o la opción de iniciar y detener el registro a futuro, adicionalmente permite los registros puedan ser compensados barométricamente al mismo tiempo.

6.3.2. Equipos para el monitoreo hidrogeoquímico y de calidad

Los medidores de parámetros fisicoquímicos in situ son necesarios para realizar las campañas de monitoreo hidrogeoquímico y de calidad. Los equipos multiparamétricos permiten caracterizar determinados parámetros de calidad del agua en campo, en donde el conjunto de variables a medir va a depender de las sondas instaladas; sin embargo, los parámetros necesarios para medir en los monitoreos de la red son: oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, potencial redox y temperatura. En la Tabla 28 se presenta de manera resumida los equipos utilizados para estos monitoreos y sus principales características .

Igualmente, con el fin de tener una muestra representativa de agua en el acuífero en muchos casos es necesario realizar bombeo (purga del pozo), en este sentido la corporación debería adquirir al menos dos bombas: una bomba tipo lapicero con un diámetro no mayor a dos pulgadas y de dos caballos de fuerza para ingresar en los piezómetros y pozos y otra bomba sumergible de dos caballos para ingresar en los aljibes, posteriormente se podrá adquirir una bomba peristáltica para facilitar el uso en campo. Para la bomba tipo lapicero, se estima que durante la extracción de agua para la toma de una muestra o realización de una prueba de bombeo se requiere una carga dinámica máxima aproximadamente de 100 metros considerando las pérdidas por accesorios y por fricción, a un caudal entre 0,5 y 1,0 L/s; para la bomba sumergible en aljibes, se requiere una carga dinámica aproximadamente de 15 metros y un caudal de 1,0 a 2,0 L/s.

Es importante aclarar que estas bombas se utilizan solamente para la extracción de la muestra durante las campañas de monitoreo, y no se dejan instaladas en los puntos de agua, por tanto, deberán ser equipos portables de fácil manejo y transporte. Para poner en operación una bomba se requiere tener como mínimo los siguientes implementos: tubería de conducción, cable eléctrico, conexión eléctrica (Tabla 28).



Debido a que como se mencionó anteriormente, se requiere de una conexión a energía eléctrica para el funcionamiento de las bombas sumergibles, se hace necesario el uso de una planta eléctrica a combustible o a energía solar (Tabla 28).

También en muchas ocasiones es necesario realizar toma de muestras de agua a diferentes profundidades en los piezómetros o pozos, esto con fin de reconocer el cambio de las condiciones hidroquímicas y de calidad en la columna de agua. Estos muestreos se realizan con un bailer, que es un instrumento portátil que se utiliza generalmente para tomar muestras de agua en captaciones o pozos de monitoreo a diferentes profundidades, evitando la mezcla que se generaría al bombear. En este sentido se recomienda a la corporación adquirir un bailer que se pueda sumergir a una profundidad aproximada de 100 metros y con un diámetro menor a dos pulgadas para garantizar que pueda introducirse en todas las captaciones.

Tabla 28. Características principales de algunos instrumentos para los monitoreos hidrogeoquímicos y de calidad

Equipos para el monitoreo hidrogeoquímico y de calidad		
Imagen de referencia	Marca y modelo	Principales características
	HACH HQ40D	<ul style="list-style-type: none"> -Mide los siguientes parámetros de calidad: pH, mV, ISE, ORP/Redox, oxígeno disuelto, conductividad, TDS, salinidad, resistividad, temperatura. -Combina fiabilidad, flexibilidad y facilidad de uso. -Los electrodos intelliCAL intercambiables se reconocen automáticamente y almacenan todos los datos relevantes. -Alta resistencia -Cuentan con varias longitudes de cable -Temperatura y presión compensada
	Hanna Instruments HI98194	<ul style="list-style-type: none"> -Mide los siguientes parámetros de calidad: pH, mV, ORP/Redox, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, resistencia, salinidad, oxígeno disuelto, presión atmosférica y temperatura -Registro de memoria de 45.000 datos -Registro en intervalos de un segundo a tres horas -Protección impermeable -Conector rápido (Quick Din) de sonda digital -Códigos de color, sensores reemplazables en terreno -Reconocimiento automático del sensor -Compensación automática de la temperatura y de la presión barométrica -Función de calibración rápida o estándar -Datos GLP -Conectividad de PC -Batería de larga duración
	Bombas peristálticas	<p>Diseñadas para un uso en campo, son livianas y compactas, ideales para la toma de muestras principalmente en pozos entre cuatro y diez metros de profundidad. Estas bombas operan por succión permitiendo un bombeo al vacío que desplaza la columna de agua de forma tal que la muestra solo entre en contacto con la manguera, lo que garantiza la integridad de la muestra.</p>



		<p>Estas bombas presentan una limitación ya que no pueden subir el agua desde grandes profundidades. Adicionalmente, un bombeo excesivo puede ocasionar descenso pronunciados, con un flujo turbulento, no permitiendo que las muestras sean representativas.</p>
	<p>Bombas sumergibles tipo lapicero</p>	<p>Las bombas sumergibles tipo lapicero se encuentran fabricadas en acero inoxidable, son resistentes a la corrosión y la abrasión, considerando los más altos estándares de eficiencia energética y su construcción robusta, por lo cual se garantiza un óptimo rendimiento, confiabilidad y una larga vida útil. Sus principales aplicaciones corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Suministro de agua de pozos profundos -Sistemas de riego agrícolas -Aplicaciones en la industria, fuentes, etc. -Acueductos municipales -Sistemas de presurización
	<p>Bombas sumergibles para aljibe</p>	<p>Esta bomba de motor eléctrico tiene la capacidad de realizar un abastecimiento confiable de agua limpia, es fácil de instalar y se encuentra construida de hierro gris resistente a la corrosión. Adicionalmente, es importante mencionar que trabaja con un flujo óptimo de 103 L/min. Por otra parte, el motor es monofásico y trabaja con una potencia de 1 HP, 3450 RPM, un voltaje de 127 V. Longitud de cable: 6 m</p>
	<p>Planta QF 2.5 II</p>	<p>Esta planta cuenta con un tipo de arranque manual, una potencia de 6.5 hp, un voltaje de 110/220 V y un motor monocilíndrico con ventilación forzada, con una velocidad de 3600 rpm.</p>
	<p>Bailer de fuente puntual</p>	<p>Este es ideal para obtener muestras representativas de alta calidad de agua subterránea a partir de profundidades específicas, puede emplearse para realizar el perfil de una perforación o pozo ranurado, para recolectar muestras de distintos niveles o puntos de entrada. Adicionalmente, cuenta con dos válvulas esféricas, una superior y una inferior, no necesita equipos auxiliares costosos ni difíciles de transportar, lo que lo convierte en ideal para muestreo de fuentes puntuales en lugares de difícil acceso.</p>

6.3.3. Equipos para el monitoreo isotópico de la precipitación

Para el desarrollo de una caracterización isotópica de la lluvia se utiliza un totalizador, el cual permite almacenar la lluvia que se presenta durante un periodo de tiempo determinado. En cuanto a este instrumento ya para la región se cuenta con 18 totalizadores instalados, de los cuales puede realizarse una caracterización isotópica de la precipitación por este motivo no se considera necesario que la corporación adquiera estos dispositivos.



Figura 59. Totalizador para recolectar agua lluvia



7. Componente financiero del PIRMA

A continuación, se desarrolla un plan de financiamiento el cual comprende la revisión, ajuste y elaboración final de los costos de los resultados, actividades y subactividades del PIRMA, la definición de las fuentes de financiamiento que podrían aportar a la implementación del PIRMA y de las acciones de acompañamiento de las autoridades ambientales regionales para la planificación, formulación e implementación del PIRMA en la CAS.

7.1. Objetivos del Plan de Financiamiento

El Plan financiero para el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS tiene por objetivo general orientar estrategias metodológicas de financiamiento para la consecución de recursos que permitan implementar los resultados, actividades y subactividades del Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua-PIRMA-

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Consolidar los costos financieros de los cuatro resultados de la matriz de marco lógico del PIRMA, así como de sus actividades y subactividades.
- Identificar y consolidar las fuentes de financiamiento posibles para la Autoridad Ambiental, tanto a nivel nacional, como regional, que puedan ser útiles para la implementación de los proyectos del PIRMA de la CAS.
- Orientar estrategias y acciones a desarrollarse por parte de la CAS para identificar recursos para la ejecución de acciones para la implementación y ejecución de la CAS.

7.2. Metodología

Para el desarrollo y construcción del Plan financiero para el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS, se realizaron un conjunto de actividades enfocadas en acciones necesarias para aplicar los métodos definidos por el estado para la formulación de proyectos y planes de inversión pública. Estas actividades son:

- **Recolección de información:** requerida para el entendimiento del contexto, de las necesidades y/o problemas a resolver, definir la magnitud del problema, determinar las alternativas de solución, los objetivos, las actividades, los productos o servicios a desarrollar y entregar los costos de su ejecución. La información recopilada está relacionada con los resultados de la fase de planificación y formulación del PIRMA, especialmente con lo relacionado a la evaluación financiera del plan operativo del PIRMA y lo establecido en el componente programático y tecnológico del PIRMA.
- **Actualizar Costos:** revisar la estructuración de los costos de las actividades y proyectos de la matriz de marco lógico del PIRMA, incluido el componente programático relacionado con el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia.
- **Identificar Fuentes de Financiamiento:** identificar y documentar las fuentes de financiación que son requeridas y a las que podría acceder la CAS para el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS.



- Elaborar Plan de Financiamiento: establecer y documentar un plan financiero en donde se resalte los lineamientos estratégicos que permitan focalizar y obtener recursos para el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS. Se estructura en un documento a la medida de las necesidades de la CAS, mediante las cuales se puedan gestionar recursos ante las autoridades que permitan viabilizar la inversión pública con los propósitos del PIRMA.

La fase de planificación del PIRMA permitió conocer las fortalezas y debilidades de la corporación para realizar el monitoreo integral del recurso hídrico, partiendo del conocimiento a fondo de los problemas y causas de los ámbitos del fortalecimiento institucional, sistema de observación, medición y vigilancia, sistemas de información y comunicación y difusión. Estos a su vez, fueron los insumos necesarios para consolidar los objetivos de la matriz de marco lógico del PIRMA y su propósito principal que consiste en “A 2032, la CAS tendrá implementado el PIRMA alineado con el PNMRH y la PNGIRH, que permita contar con la información oportuna, accesible, confiable y sistematizada para propiciar una adecuada toma de decisiones por parte de los actores sociales, gremiales e institucionales que lo requieran”. Para llevar a cabo este propósito, se identificaron cuatro objetivos y resultados, los cuales tienen a su vez asignados unas actividades y subactividades, las cuales implementará la CAS en los próximos años hasta el 2032.

Esta ficha MGA será un insumo fundamental para el plan de financiamiento del para el fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS.

7.3.Resultados de la Evaluación Financiera

De acuerdo con el análisis técnico y la información de costos obtenida a través de diferentes mecanismos, se presentan a continuación los resultados de la evaluación financiera para integrar el Plan Financiero para el Fortalecimiento del Sistema de Monitoreo, Pronóstico y Alertas Hidrometeorológicas y de Calidad del Agua Superficial de la CAS.

En este aparte del documento se presenta la estructura de los costos estimados y proyectados que han sido obtenidos con base en la identificación de necesidades técnicas y cuantificado con el análisis económico requerido para su ejecución; este proceso se ha desarrollado y estructurado a partir de la Matriz de Marco Lógico previamente construida en la fase de planificación del PIRMA. Para esto se han actualizado y revisado los costos de las actividades, considerando sondeos de mercado y al comportamiento de variables macroeconómicas que afectan los precios.

Es importante también resaltar que se ha determinado que para lograr los objetivos del PIRMA es requerido un proceso continuo de inversión que comprende diez (10) años de ejecución de recursos para lograr el fortalecimiento del monitoreo del recurso hídrico en el departamento de Santander, por lo tanto, el Plan financiero está construido para un plazo de tiempo de 2023 a 2032.

7.3.1. Costos del PIRMA

Antes de presentar los resultados de estimación de los costos es importante explicar que para su construcción se estableció una estructura basada en la Metodología de Marco Lógico en la que se consideró un esquema Resultado -Actividades y Subactividades.



Es importante indicar que a partir de la definición de la Matriz de Marco Lógico para el PIRMA de la CAS se determinó que el Programa Operativo Integrado representa el marco de las acciones a implementarse, los resultados esperados, el alcance en tiempo y los recursos para las actividades y subactividades que conllevan a obtener los productos esperados con las inversiones realizadas.

De acuerdo con la Matriz de Marco Lógico se presentan los costos a continuación de manera desagregada (Tabla 29).

Tabla 29. Costos de los resultados del PIRMA de la CAS

Resultado	Descripción	Productos	Presupuesto 2022-2023
Resultado 1.	A diciembre del 2032, el monitoreo del agua en la jurisdicción de la CAS se realiza de manera integral, sistemática y articulada con actores, soportado en un esquema organizacional con recursos técnicos, humanos y económicos adecuados.	Un esquema organizacional que soporta la implementación de las acciones y estrategias del PIRMA.	\$ 678.753.900
Resultado 2.	A diciembre del 2032, la CAS ha implementado un sistema de observación medición y vigilancia del agua (SOMV) que cuenta con los procesos y procedimientos que cumplen con los estándares del sistema integrado de gestión (SIG), para generar información suficiente, válida y oportuna que esté disponible en el sistema de información de la CAS y en el SIRH.	El Sistema de Observación Medición y Vigilancia del Agua -SOMV y el Sistema de Información responden a los objetivos de monitoreo de la Corporación formulados en el PIRMA.	\$ 36.704.611.100
Resultado 3.	A diciembre del 2032, la CAS tendrá implementado un plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica continua en monitoreo integral del agua, soportado en alianzas con entidades	Plan de Capacitación PIRMA y el Plan de Investigación del PIRMA.	\$ 3.225.761.100
Resultado 4.	A diciembre del 2032, la CAS habrá implementado una estrategia de comunicación y difusión de los resultados y acciones de monitoreo integral del agua para usuarios internos, actores involucrados y comunidades.	Estrategia de comunicaciones y difusión de resultados y acciones de las acciones de monitoreo integral del agua.	\$ 1.548.108.600
TOTAL COSTO PIRMA CAS 2023-2032			\$ 42.157.234.700

El costo asociado a cada resultado por cada vigencia 2021 a 2032, se presenta a continuación:

Tabla 30. Costos anualizados de los resultados del PIRMA (cifras en millones de pesos)

CONCEPTO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	Total
Resultado 1.	0,0	0,0	213,8	43,5	46,6	48,9	50,4	51,9	53,5	55,1	56,7	58,4	678,8
Resultado 2.	0,0	671,50	5.001,43	4.599,22	4.597,09	3.508,85	3.084,87	3.042,21	3.294,06	2.878,26	2.967,53	3.059,58	36.704,61
Resultado 3.	30,6	261,8	269,8	249,4	266,9	280,2	288,6	297,3	306,2	315,4	324,9	334,6	3.225,8
Resultado 4.	0,0	0,0	217,4	23,8	25,4	167,2	172,3	177,4	182,8	188,2	193,9	199,7	1.548,1
Total	30,6	891,3	5.744,4	4.916,0	4.936,0	4.005,3	3.596,2	3.568,8	3.836,5	3.437,0	3.543,0	3.652,3	42.157,2



A continuación, se presenta en detalle la estimación de los costos, los cuales se encuentra consolidados en el Anexo 15 documento en Excel que cuenta con el desglose de las proyecciones y estimaciones realizadas técnica y económicamente para definir el costo del PIRMA.

7.3.2. Costos del resultado 1

De acuerdo con la Matriz de Marco Lógico se presentan los costos a continuación del Resultado 1 (Tabla 31).

Tabla 31. Costos del resultado 1 (MML)

ID	ACTIVIDADES	ID	SUBACTIVIDADES	PRESUPUESTO SUBACTIVIDAD	PRESUPUESTO ACTIVIDAD
A.1.1.	A.1.1. Realizar acciones y estrategias del PIRMA en la jurisdicción de la CAS, soportadas en un esquema organizacional con un equipo técnico de trabajo efectivo, especializado, multidisciplinario y con una dedicación adecuada coordinado por un Comité Coordinador del Monitoreo del Agua.	A.1.1.1.	A.1.1.1. Formalizar el esquema organizacional de trabajo y el Comité Coordinador del Monitoreo del Agua ante el Comité Directivo.	\$ 55.022.058	\$ 244.379.800
		A.1.1.2.	A.1.1.2. Desarrollar las acciones y estrategias del PIRMA con el grupo técnico liderado por el equipo de coordinación en el marco de las funciones técnicas y administrativas definidas para el monitoreo integral del agua.	\$ 189.357.719	
A.1.2.	A.1.2. Implementar acciones y alianzas estratégicas con actores institucionales, sectoriales y sociales para el monitoreo del agua.	A.1.2.1.	A.1.2.1. Realizar el mapeo de actores y el diseño de una estrategia con acciones definidas para integrar actores institucionales, sociales y gremiales en el monitoreo integral del agua de la CAS	\$ 118.777.776	\$ 434.374.000
		A.1.2.2.	A.1.2.2. Formalizar alianzas, a través de actos administrativos con los actores, que contribuyan al fortalecimiento del PIRMA.	\$ 315.596.199	
		A.1.2.3.	A.1.2.3. Realizar seguimiento semestral a los actos administrativos relacionados con las alianzas estratégicas.	\$ -	
TOTAL, PRESUPUESTO RESULTADO 1					\$ 678.753.800

7.3.3. Costos del resultado 2

De acuerdo con la Matriz de Marco Lógico se presentan los costos a continuación del Resultado 2 (Tabla 32).

Tabla 32. Costos del resultado 2

Resultado	RESULTADO	COSTO
Resultado 2	A diciembre del 2032, la CAS ha implementado un sistema de observación medición y vigilancia del agua (SOMV) que cuenta con los procesos y procedimientos que cumplen con los estándares del sistema integrado de gestión (SIG), para generar información suficiente, válida y oportuna que esté disponible en el sistema de información de la CAS y en el SIRH.	\$37.809.689.800



A.2.1.	Diseñar el SOMV para el área de jurisdicción de la CAS con recursos técnicos y procedimientos formalizados que soportan el monitoreo integral del agua.	\$ 608.500.000
A.2.2.	Desarrollar estrategias y mecanismos para un monitoreo participativo con resultados integrables al sistema de información de la CAS.	\$ 1.105.078.700
A.2.3	Diseñar e implementar el Sistema de Información en la CAS que aseguren el flujo de información completo.	\$ 2.423.385.000
A.2.4.	Cumplir con las metas de instalación de infraestructura, y de programación de operación y mantenimiento para el monitoreo del agua definidas en el componente programático del PIRMA.	\$32.567.647.400

A continuación, se detallan los costos de la instalación, operación y mantenimiento de las redes de monitoreo de cantidad de agua superficial, calidad de agua superficial y cantidad y calidad del agua subterránea.

Costos de la red hidrometeorológica de referencia regional

A continuación, se presenta el costo detallado de los elementos que componen los costos de inversión, operación y mantenimiento y personal, para el diseño e implementación de la red de monitoreo hidrometeorológico propuesta. El detalle puede ser consultado en el anexo 16.1

- **Costos de inversión**

Los costos detallados de acuerdo con las especificaciones técnicas de las estaciones hidrológicas y meteorológicas se muestran en la Tabla 33 y Tabla 34. Estos costos fueron obtenidos a partir de un análisis del mercado y de datos históricos del IDEAM y el PIRMA de la CAM.

Tabla 33. Costos proyectados a 2023 de los componentes de las estaciones hidrológicas

COSTOS ESTACIONES HIDROLÓGICAS	
COMPONENTES	COSTO UNITARIO
Plataforma colectora de datos (Datalogger)	\$ 25.556.295,43
Sistema de alimentación	\$ 3.665.950,50
Transmisor (Sistema de Comunicación y Telemetría)	\$ 30.805.567,88
Sensor de nivel	\$ 13.460.545,90
Sensor de precipitación	\$ 21.646.224,96
Gabinete	\$ 7.707.485,75
Datos de Campo	\$ 3.958.500,00
Obra civil /Instalación y puesta en marcha	\$ 71.851.926,93
Aforos	\$ 5.655.000,00
Total	\$ 184.307.497,34



Tabla 34. Costos proyectados a 2023 de los componentes de las estaciones meteorológicas

COSTOS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	
COMPONENTES	COSTO UNITARIO
Plataforma colectora de datos (Datalogger)	\$ 25.556.295,43
Sistema de alimentación	\$ 3.665.950,50
Transmisor (Sistema de Comunicación y Telemetría)	\$ 30.805.567,88
Sensor de dirección y velocidad de viento	\$ 12.596.877,45
Sensor de precipitación	\$ 19.595.875,14
Sensor de presión atmosférica	\$ 9.869.776,16
Sensor de temperatura y humedad del aire	\$ 4.851.487,53
Sensor radiación global	\$ 11.631.921,92
Gabinete	\$ 7.707.485,75
Datos de campo	\$ 3.958.500,00
Obra civil / Instalación y puesta en marcha	\$ 71.851.926,93
Total	\$ 202.091.664,68

Los costos detallados de los equipos complementarios para la red hidrometeorológica fueron estimados por medio de un análisis del mercado y de datos históricos del IDEAM y de los trabajos efectuados por profesionales del PIRMA (Tabla 35).

Tabla 35. Costo unitario de los equipos complementarios 2023 para el monitoreo hidrometeorológico

COSTOS EQUIPOS COMPLEMENTARIOS	
EQUIPO	COSTO UNITARIO
Perfilador ADCP	\$ 277.182.146,60
Nivel topográfico	\$ 13.859.107,33
GPS	\$ 5.543.642,93
Computador portátil	\$ 6.929.553,66
Correntómetro	\$ 31.497.971,20
Total	\$ 335.012.421,73

En la Tabla 36 se presenta un resumen de los costos totales de inversión requeridos para la adquisición de las estaciones y equipos de la red de monitoreo hidrometeorológico, considerando las proyecciones de inflación estimadas por el Banco de la República de Colombia y las cantidades según las necesidades identificadas por el equipo técnico.

Tabla 36. Costos de inversión Anual 2023-2032 (Cifras en millones de \$COP)

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Estaciones hidrológicas	552,9	1215,9	656,8	919,5	710,3	487,7	502,4	0	0	0
Estaciones meteorológicas	808,4	222,2	720,1	504,1	0	0	0	0	0	0
Equipos complementarios	361,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1722,6	1438,1	1376,9	1423,5	710,3	487,7	502,4	0	0	0



- **Costos de operación y mantenimiento:**

A continuación, se presentan los costos de operación y mantenimiento asociados a las necesidades de sostenimiento de la red de monitoreo hidrometeorológico, dentro de los que se incluyen costos de visitas de mantenimiento, stock anual de repuestos, costos de transmisión e insumos varios.

En la Tabla 37, se presentan los costos unitarios de operación y mantenimiento por estación hidrológica y meteorológica y en la Tabla 38 los valores anuales de acuerdo al número de estaciones instaladas.

Tabla 37. Costos unitarios de mantenimiento de la red de monitoreo hidrometeorológico

CONCEPTO	COSTO	
	Estación hidrológica	Estación meteorológica
Visitas de mantenimiento	\$ 4.179.188,06	\$ 1.880.634,63
Stock anual de repuestos	\$ 4.411.365,18	\$ 6.442.914,93
Valor transmisión (SAT)*	\$ 1.259.918,85	\$ 1.889.878,27
Insumos varios	\$ 1.574.898,56	\$ 1.259.918,85
Total	\$ 11.425.370,65	\$ 11.473.346,68

* la CAS deberá indicar el tipo de transmisión para cada estación. Este valor se presenta como un dato general de transmisión satelital.

Tabla 38. Costos de operación y mantenimiento anual 2023-2032 (Cifras en millones de \$COP)

COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO										
CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Estaciones hidrológicas	34,28	108,30	151,48	210,29	258,67	296,15	335,99	348,05	360,54	373,49
Estaciones meteorológicas	45,89	60,52	101,68	132,37	137,09	141,97	147,04	152,28	157,71	163,34
Total	80,17	168,82	253,15	342,66	395,76	438,13	483,03	500,33	518,26	536,83

- **Costos de personal**

A continuación, se presentan los costos asociados a las necesidades de personal requeridas para la operación y sostenimiento de la red de monitoreo hidrometeorológico:

Tabla 39. Costos de personal de la red de monitoreo hidrometeorológico (Cifras en millones de pesos)

COSTOS ANUAL DE PERSONAL (\$/AÑO)										
CONCEPTO*	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Profesional hidrología	94,32	102,67	109,86	115,35	118,81	122,38	126,05	129,83	133,72	137,74
Profesional meteorología	94,32	102,67	109,86	115,35	118,81	122,38	126,05	129,83	133,72	137,74
Técnicos de campo	83,84	91,26	97,65	102,53	211,22	217,56	224,08	230,81	237,73	244,86



Total	272,49	296,61	317,37	333,24	448,84	462,31	476,18	490,46	505,18	520,33
--------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

*Se considera 1 profesional en hidrología, 1 profesional en meteorología, 2 técnicos de campo para los primero 4 años y 4 técnicos de campo a partir del quinto año.

- Costos totales de implementación de la red hidrometeorológica**

Dada la importancia de clasificar la información de los costos anuales requeridos para la implementación y sostenimiento de la red de monitoreo hidrometeorológico, se presentan los costos anualizados de inversión, operación y mantenimiento y personal para el periodo de implementación del PIRMA (Tabla 40).

Tabla 40. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de monitoreo hidrometeorológico de la CAS (Cifras en millones de \$COP)

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inversión	1722,6	1438,1	1376,9	1423,5	710,3	487,7	502,4	0,0	0,0	0,0
Operación y mantenimiento	80,2	168,8	253,2	342,7	395,8	438,1	483,0	500,3	518,3	536,8
Personal	272,5	296,6	317,4	333,2	448,8	462,3	476,2	490,5	505,2	520,3
Total	2075,3	1903,5	1947,4	2099,4	1554,9	1388,2	1461,6	990,8	1023,4	1057,2

Finalmente, en la Tabla 41 se presentan totalizados, los costos de implementación de la red hidrometeorológica para el periodo 2023-2032.

Tabla 41. Costo Anual Red de monitoreo hidrometeorológico

Año	Costo Anual Red Hidrometeorológica
2023	\$ 2.075.293.567,05
2024	\$ 1.903.502.035,18
2025	\$ 1.947.402.705,58
2026	\$ 2.099.445.982,18
2027	\$ 1.554.884.650,81
2028	\$ 1.388.161.694,97
2029	\$ 1.461.564.677,12
2030	\$ 990.792.525,35
2031	\$ 1.023.433.034,57
2032	\$ 1.057.163.594,94
Total	\$ 15.501.644.467,75



Costos de la red de referencia regional de la calidad del agua superficial

A continuación, se presenta el costo detallado de los elementos que componen la implementación de la red de referencia regional de la calidad del agua propuesta, siendo estos los costos de compra de los equipos, los costos de operación (análisis de laboratorio y toma de muestra) y los costos de personal. Los detalles pueden ser consultados en el anexo 16.2.

- Costos de inversión de compra de equipos de monitoreo**

A continuación, se detallan los costos relacionados con la compra de equipos para el monitoreo de la red de referencia regional de la calidad del agua, siendo estos equipos los necesarios para la toma de datos in situ, es decir, sondas multiparamétricas.

Tabla 42. Costos de inversión en equipos de la red de referencia regional de la calidad del agua (Cifras en millones de pesos)

CONCEPTO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Sonda multiparamétrica (pH, OD, conductividad, turbidez y GPS)	\$ 0	\$ 0	\$ 30,59	\$ 0	\$ 36,34	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0

- Costos de análisis de laboratorio de la red**

Para el cálculo del costo de los análisis de laboratorio que implican la implementación de la red de referencia regional de calidad del agua, se realizó un estudio de mercado del precio de los análisis requeridos en la red. Adicionalmente, se tiene en cuenta una frecuencia de monitoreo de 4 veces al año en cada punto y se considera la hoja de ruta para la implementación progresiva de los puntos de la red.

A continuación, se muestra el número de puntos de monitoreo a implementar progresivamente cada año, esto se muestra en puntos acumulados, es decir, a monitorear cada año hasta el total de 38 puntos que conforman la red.

Tabla 43. Número de puntos de monitoreo a monitorear cada año de implementación del PIRMA

CONCEPTO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Número de Puntos de Monitoreo	0	0	5	10	15	20	25	30	38	38	38	38

En la siguiente tabla se muestra el valor de los análisis de laboratorio de acuerdo con las variables del diseño de la red. Estos valores provienen del estudio de mercado realizado y son los valores unitarios por monitoreo en cada punto.



Tabla 44. Valores unitarios de los análisis de laboratorio requeridos. Se muestra el costo de cada monitoreo en cada punto (Cifras en millones de pesos)

VALOR UNITARIO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS VARIABLES DE LA RED												
CONCEPTO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Valor unitario de los análisis de laboratorio	--	--	\$ 2,95	\$ 3,24	\$ 3,50	\$ 3,68	\$ 3,7	\$ 3,90	\$ 4,02	\$ 4,14	\$ 4,27	\$ 4,39

Finalmente, se determina el costo anual de los análisis de laboratorio en base a los costos unitarios de la Tabla 44 y del número de puntos a monitorear indicados en la Tabla 43 considerando una frecuencia de monitoreo de 4 veces al año.

Tabla 45. Valor anual del total de monitoreos requeridos cada año de acuerdo al diseño de la red de referencia regional de calidad del agua (Cifras en millones de pesos)

VALOR ANUAL DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS VARIABLES DE LA RED												
CONCEPTO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
			5	10	15	20	25	30	38	38	38	38
Valor anual de los análisis de laboratorio			\$ 59,08	\$ 129,91	\$ 210,52	\$ 294,73	\$ 379,46	\$ 469,02	\$ 611,91	\$ 630,27	\$ 649,17	\$ 668,65

- **Costos de insumos requeridos en la red de calidad**

Para la correcta operación de la red regional de referencia de la calidad del agua se requiere la adquisición anual de las soluciones de calibración requeridas para las sondas multiparamétricas.

A continuación, se resumen los costos asociados a la adquisición de estas soluciones de calibración.

Tabla 46. Costos de adquisición de insumos para la implementación la red de referencia regional de calidad del agua (Cifras en millones de pesos)

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo unitario	\$1,26	\$1,38	\$1,49	\$1,57	\$1,62	\$1,67	\$1,72	\$1,77	\$1,82	\$1,88
Cantidad	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Total	\$ 1,26	\$ 1,39	\$ 3,00	\$ 3,15	\$ 3,24	\$ 3,34	\$ 3,44	\$ 3,54	\$ 3,65	\$ 3,76

- **Costos de personal**

A continuación, se presentan los costos asociados a las necesidades de personal requeridas para la operación y sostenimiento de la red de referencia regional de la calidad del agua:



Tabla 47. Costos de personal de la red de referencia regional de la calidad del agua (Cifras en millones de pesos)

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Profesional Especializado en calidad del agua	\$ 94,32	\$ 102,67	\$ 109,86	\$ 115,35	\$ 118,81	\$ 122,38	\$ 126,05	\$ 129,83	\$ 133,72	\$ 137,74
Profesional Biologo (hidrobiologo)	\$ 94,32	\$ 102,67	\$ 109,86	\$ 115,35	\$ 118,81	\$ 122,38	\$ 126,05	\$ 129,83	\$ 133,72	\$ 137,74
Técnico de campo	\$ 41,92	\$ 45,63	\$ 48,83	\$ 102,53	\$ 105,61	\$ 108,78	\$ 112,04	\$ 115,40	\$ 118,87	\$ 122,43
Total	\$ 230,57	\$ 250,97	\$ 268,54	\$ 333,24	\$ 343,23	\$ 353,53	\$ 364,14	\$ 375,06	\$ 386,31	\$ 397,90

*Se considera 1 profesional especializado en calidad del agua, 1 biólogo especializado en hidrobiología, 1 técnico de campo para los primeros 3 años y 2 técnicos de campo desde 2026.

- Costos totales de implementación de la red de referencia regional de la calidad del agua**

Dada la importancia de clasificar la información de los costos anuales requeridos para la implementación y sostenimiento de la red de referencia regional de la calidad del agua, se presentan los costos anualizados de inversión, operación y mantenimiento y personal para el periodo de implementación del PIRMA (Tabla 48).

Tabla 48. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de referencia regional de calidad del agua de la CAS (Cifras en millones de \$COP)

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Equipos	\$ 30,59	\$ 0,00	\$ 36,34	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Análisis de laboratorio	\$ 59,08	\$ 129,91	\$ 210,52	\$ 294,73	\$ 379,46	\$ 469,02	\$ 611,91	\$ 630,27	\$ 649,17	\$ 668,65
Insumos (soluciones de calibración)	\$ 1,26	\$ 1,39	\$ 3,00	\$ 3,15	\$ 3,24	\$ 3,34	\$ 3,44	\$ 3,54	\$ 3,65	\$ 3,76
Personal	\$ 230,57	\$ 250,97	\$ 268,54	\$ 333,24	\$ 343,23	\$ 353,53	\$ 364,14	\$ 375,06	\$ 386,31	\$ 397,90
Total	\$ 321,50	\$ 382,28	\$ 518,40	\$ 631,11	\$ 725,94	\$ 825,89	\$ 979,49	\$ 1.008,87	\$ 1.039,14	\$ 1.070,31

Costos de la red de referencia regional de aguas subterráneas

A continuación, se presenta el costo detallado de los elementos que componen la implementación de la red de referencia regional de aguas subterráneas, siendo estos los costos de compra de los equipos, los costos de operación y los costos de personal. El detalle puede consultarse en el anexo 16.3.

- Costos de inversión de compra de equipos:**

Se presenta el costo detallado de los elementos que componen los costos de inversión para las necesidades identificadas por el equipo técnico (Tabla 49) y los costos asociados a perforación de pozos, nivelación y pruebas de bombeo en pozos (Tabla 50).



Tabla 49. Costo de inversión para la compra de equipos para la operación de la red de aguas subterráneas

CONCEPTO	No Equipos	Costo total
Sonda de nivel	2	\$ 13.724.685,00
Multiparamétricos	2	\$ 26.303.667,00
Bailer	1	\$ 2.564.542,50
Bomba Peristáltica	1	\$ 12.960.694,50
Bomba lapicero	1	\$ 6.254.430,00
Bomba para aljibes	1	\$ 1.712.899,50
Planta eléctrica (1 a 4 Caballo de fuerza con Diesel)	1	\$ 6.662.721,00
Bomba de vacío	1	\$ 904.800,00
Recipiente para filtración en campo	1	\$ 791.700,00
Cámara de inspección en pozos	1	\$ 16.978.458,90
Total equipos monitoreo	1	\$ 88.858.598,40

Tabla 50. Costo de inversión para la perforación de pozos, nivelación y pruebas de bombeo en pozos.

CONCEPTO	Año			
	2022	2023	2024	2025
Nivelación topográfica de los puntos que conformarán la red de monitoreo	0	55	5	5
No pozos a perforar para red inferior a 40 m		4		
No pozos a perforar para red superior a 40 m		5	5	5
Metros lineales de perforación y adecuación de piezómetros nuevos con profundidad inferior a 40m	0	160	0	0
Metros lineales de perforación y adecuación de piezómetros nuevos con profundidad superior a 40 m	0	500	500	500
Costo unitario de nivelación topográfica		\$ 1.131.000,00	\$ 1.243.534,50	\$ 1.343.390,32
Costo unitario de metro lineal perforado		\$ 1.696.500,00	\$ 1.865.301,75	\$ 2.015.085,48
Costo total de perforación de pozos		\$ 1.119.690.000,00	\$ 932.650.875,00	\$ 1.007.542.740,26
Costo total de la nivelación de pozos		\$ 72.384.000,00	\$ 6.217.672,50	\$ 6.716.951,60
Costo unitario de pruebas de bombeo		\$ 1.696.500,00	\$ 1.865.301,75	\$ 2.015.085,48
Costo total de pruebas de bombeo		\$ 15.268.500,00	\$ 9.326.508,75	\$ 10.075.427,40

- Para el cálculo de los equipos de monitoreo se consideraron las necesidades anuales de los equipos sonda de nivel, multiparamétricos, bailer, bomba peristáltica, bomba lapicero, bomba para aljibes, planta eléctrica, bomba de vacío, recipiente para filtración en campo y cámara de inspección de pozos.



- Para el cálculo de los costos de inversión de las actividades de perforación de pozos se tiene en cuenta el número de pozos anuales y el costo unitario estimado para la perforación y adecuación de piezómetros nuevos para los niveles someros y profundos.
- Para el cálculo de los costos de inversión de las actividades de pruebas de bombeo de pozos nuevos se calcula considerando el ingreso de pozos nuevos por el valor del costo unitario estimado para pruebas de bombeo.

● **Costos de operación de la red**

La siguiente tabla consolida los costos de operación, considerando las soluciones de calibración de equipos, filtros para análisis, análisis en laboratorio, con una frecuencia de monitoreo de dos veces al año.

Tabla 51. Costos de operación de la red de aguas subterráneas (cifras en millones de pesos COP)

CONCEPTO	COSTOS OPERACIÓN RED DE AGUAS SUBTERRÁNEAS									
		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
No de pozos de la red	64	69	74	74	74	74	74	74	74	74
Soluciones de calibración equipos multiparamétricos	\$ 1,13	\$ 1,24	\$ 1,34	\$ 1,41	\$ 1,45	\$ 1,50	\$ 1,54	\$ 1,59	\$ 1,64	\$ 1,68
Filtros de 0.45 micras para su uso en campo	\$ 0,79	\$ 0,87	\$ 0,94	\$ 0,99	\$ 1,02	\$ 1,05	\$ 1,08	\$ 1,11	\$ 1,14	\$ 1,18
Análisis hidrogeoquímicos y de calidad en el laboratorio	\$ 1,13	\$ 1,24	\$ 1,34	\$ 1,41	\$ 1,45	\$ 1,50	\$ 1,54	\$ 1,59	\$ 1,64	\$ 1,68
Costos análisis hidrogeoquímicos anuales	\$ 72,38	\$ 171,61	\$ 198,82	\$ 208,76	\$ 215,03	\$ 221,48	\$ 228,12	\$ 234,96	\$ 242,01	\$ 249,27
Costo total de operación	\$ 74,31	\$ 173,72	\$ 201,11	\$ 211,16	\$ 217,50	\$ 224,02	\$ 230,74	\$ 237,66	\$ 244,79	\$ 252,14

● **Costos de personal**

La siguiente tabla muestra los profesionales mínimos requeridos para la operación correcta de la red, pero también para el logro de los objetivos de la red. Además, estos profesionales pueden aportar al proceso de la Evaluación Regional del Agua Subterránea en la Corporación.

Tabla 52. Costos de personal de la red de referencia regional del agua subterránea (Cifras en millones de pesos COP)

CONCEPTO	COSTOS DE PERSONAL (\$/AÑO)										
	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Profesional para la coordinación de los monitoreos	\$ 84,2	\$ 94,3	\$ 102,7	\$ 109,9	\$ 115,4	\$ 118,8	\$ 122,4	\$ 126,0	\$ 129,8	\$ 133,7	\$ 137,7
Personal de monitoreos	\$ 37,4	\$ 41,9	\$ 45,6	\$ 48,8	\$ 51,3	\$ 52,8	\$ 54,4	\$ 56,0	\$ 57,7	\$ 59,4	\$ 61,2
Profesional para la interpretación hidrogeoquímica, isotópica y de calidad	\$ 69,8	\$ 78,2	\$ 85,1	\$ 91,1	\$ 95,6	\$ 98,5	\$ 101,5	\$ 104,5	\$ 107,6	\$ 110,9	\$ 114,2



Profesional para la modelación del flujo del agua subterránea	\$ 69,8	\$ 78,2	\$ 85,1	\$ 91,1	\$ 95,6	\$ 98,5	\$ 101,5	\$ 104,5	\$ 107,6	\$ 110,9	\$ 114,2
---	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	----------	----------

*Se considera 1 profesional especializado para la coordinación del monitoreo, dos técnicos para monitoreo en campo, un profesional especializado para la interpretación del monitoreo hidrogeoquímico, isotópico y de calidad del agua y un profesional especializado para modelación de flujo.

- Costos totales de implementación de la red de referencia regional de aguas subterráneas**

A continuación, se presentan los costos anualizados de inversión, operación y mantenimiento y personal para el periodo de implementación del PIRMA (Tabla 53).

Tabla 53. Resumen costos de Inversión, operación, mantenimiento y personal para la implementación de la Red de referencia regional de aguas subterráneas de la CAS (Cifras en millones de \$COP)

CONCEPTO	COSTOS TOTALES DE LA RED DE AGUAS SUBTERRÁNEAS									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Equipos	\$ 88,9	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0
Perforación pozos, pruebas de bombeo y nivelación topográfica	\$ 1.197,2	\$ 948,2	\$ 1.024,3	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0	\$ 0,0
Operación	\$ 146,7	\$ 173,7	\$ 201,1	\$ 211,2	\$ 217,5	\$ 224,0	\$ 230,7	\$ 237,7	\$ 244,8	\$ 252,1
Personal	\$ 292,6	\$ 318,5	\$ 340,8	\$ 357,9	\$ 368,6	\$ 379,7	\$ 391,1	\$ 402,8	\$ 414,9	\$ 427,3
Total	\$ 1.725,4	\$ 1.440,5	\$ 1.566,3	\$ 569,0	\$ 586,1	\$ 603,7	\$ 621,8	\$ 640,5	\$ 659,7	\$ 679,5

7.3.4. Costos del resultado 3

De acuerdo con la Matriz de Marco Lógico se presentan los costos a continuación del resultado Número 3, los cuales de manera desagregada por actividades y subactividades. El detalle puede consultarse en el anexo 15.

Tabla 54. Costo de del Resultado 3-MML

ID	ACTIVIDADES	ID	SUBACTIVIDADES	PRESUPUESTO SUBACTIVIDAD	PRESUPUESTO ACTIVIDAD
A.3.1	Desarrollar un plan de capacitación en monitoreo integral del agua con acciones y productos de corto, mediano y largo plazo para la CAS.	A.3.1.1	Formular plan de capacitación para monitoreo integral del agua, con estrategias y acciones a corto, mediano y largo plazo, a partir de un diagnóstico de necesidades y de gestión con aliados estratégicos.	\$ 30.600.000	\$ 2.494.187.700
		A.3.1.2	Integración del Plan de Capacitación del PIRMA al Plan de Capacitación de la institución	\$ 42.000.000	
		A.3.1.3	Ejecutar las acciones y estrategias del Plan de Capacitación a través de programas anuales.	\$ 2.421.587.700	



A.3.2	Desarrollar un plan de investigación e innovación tecnológica en monitoreo integral del agua con acciones de corto, mediano y largo plazo.	A.3.2.1	Formular un Plan de fortalecimiento de la Investigación e Innovación Tecnológica para el monitoreo integral el agua del agua, con acciones y estrategias a corto, mediano y largo plazo, a partir de la identificación de necesidades y de gestión con entidades relevantes y pertinentes.	\$ 100.381.000	\$ 731.573.400
		A.3.2.2	Ejecutar las acciones y estrategias del Plan de Investigación e Innovación Tecnológica en monitoreo integral del agua con programas anuales.	\$ 631.192.400	
TOTAL COMPONENTE 3 -MML					\$ 3.225.761.100

7.3.5. Costos del resultado 4

De acuerdo con la Matriz de Marco Lógico se presentan los costos a continuación del resultado Número 4, los cuales de manera desagregada por actividades y subactividades. El detalle puede ser consultado en el anexo 15.

Tabla 55. Costo de del Resultado 4-MML

ID	ACTIVIDADES	ID	SUBACTIVIDADES	PRESUPUESTO SUBACTIVIDAD	PRESUPUESTO ACTIVIDAD
A.4.1	Diseñar estrategias de comunicación y difusión de resultados, acciones y productos de monitoreo integral del agua.	A.4.1.1	Elaborar documento con acciones y estrategias de comunicación de acuerdo con los públicos objetivo, a partir de un diagnóstico de capacidades para la comunicación y necesidades de usuarios.	\$ 197.380.800	\$ 197.380.800
		A.4.1.2	Elaborar herramientas e instrumentos de comunicación y difusión de monitoreo del agua para actores involucrados.	\$ -	
A.4.1	Implementar acciones y estrategias de comunicación y difusión de resultados, y de acciones de monitoreo del agua para actores internos y externos de la CAS.	A.4.2.1.	Aplicar acciones y estrategias de comunicación y difusión de resultados hacia actores internos y externos.	\$ 1.329.370.200	\$ 1.350.727.800
		A.4.2.2	Evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios por la implementación de acciones y estrategias de comunicación.	\$ 21.357.600	
TOTAL COMPONENTE 4 -MML					\$ 1.548.108.600

7.4. Fuentes de financiamiento del PIRMA

La CAS debe incluir en su planeación institucional la implementación de objetivos y de acciones encaminados a la implementación del PIRMA, así como las fuentes de financiación para su ejecución y cumplimiento.



Los recursos que se obtengan para la financiación del PIRMA y que vayan a ser ejecutados directamente por la CAS deberán ser incluidos dentro de su presupuesto, lo cual podrá darse en el proceso de programación del presupuesto o en la etapa de ejecución durante cada vigencia.

Es importante tener en cuenta el marco legal aplicable a las Corporaciones Autónomas Regionales, en especial lo manifestado por la Corte Constitucional quien en aras de no vulnerar el núcleo esencial de la autonomía que la constitución reconoció a las corporaciones autónomas regionales e hizo la siguiente distinción: en relación con los recursos provenientes de la Nación, resulta procedente la aplicación de las normas del Estatuto Orgánico de Presupuesto, de conformidad con el Artículo 4 del Decreto 111 de 1996, pero esta aplicación no se extiende a los recursos propios, entre los cuales se encuentran los contemplados en el Artículo 317 de la Constitución.

Por tal razón, la Corporación Autónoma Regional de Santander -CAS, para el análisis de las fuentes de ingresos con los cuales busca financiar el PIRMA, debe analizar y contemplar los recursos de la nación y los recursos propios, los primeros gestionarlos ante las autoridades ambientales competentes y los segundos recaudarlos de los servicios ambientales, tributos y contribuciones que en su rol de Autoridad Ambiental regional le sean permitidos en el marco legal vigente. Es importante resaltar que todos los recursos que vayan a ser ejecutados por la CAS deben ser presentados y aprobados por su Consejo Directivo .

El presente aparte del documento sintetiza las posibles fuentes de financiamiento para llevar a cabo las actividades o subactividad definidas en los resultados y el marco lógico presentado anteriormente.

7.4.1. Recursos propios

Corresponden a los ingresos generados por las actividades misionales de la CAS o aquellos contemplados en la normatividad destinados a su funcionamiento. A continuación, se describen las fuentes de financiación propias con las que cuenta la CAS y que se encuentran establecidas en el Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y que podrán ser destinadas a la implementación del PIRMA:

Tabla 56. Síntesis del financiamiento por sobretasa ambiental

Sobretasa ambiental.	
Definición	La sobre tasa ambiental es un ingreso tributario, que se obtiene de manera directa cuando se grava directamente los ingresos o el patrimonio de personas naturales y jurídicas, en un impuesto directo se identifica al contribuyente y se conoce su capacidad de pago mediante las informaciones relativas a sus rentas y patrimonio. Particularmente la sobretasa ambiental corresponde a la sobretasa que fijen los municipios y distritos, entre el 1,5 por mil y el 2,5 por mil sobre el avalúo de los bienes que sirven de base para liquidar el impuesto predial.
Porcentaje Ambiental de los Gravámenes a la Propiedad Inmueble (Impuesto predial). Sobretasa ambiental.	Corresponde al porcentaje del total del recaudo por concepto de impuesto predial que los consejos municipales y distritales deberán destinar anualmente a las Corporaciones Autónomas Regionales o de Desarrollo Sostenible del territorio de su jurisdicción, para la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, (Artículo 44 de la Ley 99 de 1993).



	<p>En el evento de optar el respectivo Consejo municipal o distrital por el establecimiento de una sobretasa a favor de las Corporaciones Autónomas Regionales o de Desarrollo Sostenible, los recaudos correspondientes efectuados por los tesoreros municipales y distritales se mantendrán en cuenta separada y los saldos respectivos serán girados trimestralmente a tales Corporaciones, dentro de los diez (10) días hábiles siguientes a la terminación de cada período.</p>
Qué se puede financiar con estos recursos	<p>Estos recursos podrán ser destinados a la ejecución de programas y proyectos de protección o restauración del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. Es de tener en cuenta que estos programas y proyectos deben estar contemplados dentro de los planes de desarrollo de los municipios de la jurisdicción de la CAS.</p> <p>En el Acuerdo CAS con el No 055 de 31 de octubre de 2022, se certifica con corte a 22 de octubre de 2022 la suma de 106 millones recaudados como ingresos por este rubro. La distribución de estos recursos es de autonomía de la Corporación Autónoma Regional de Santander.</p>
Periodicidad de la Fuente	Cada Semestre
Principio de Ejecución	Anualidad

Tabla 57. Síntesis del financiamiento por contribución del sector eléctrico

Contribución del sector eléctrico.	
Definición	<p>Corresponde al porcentaje que deben transferir las empresas generadoras de energía hidroeléctrica, así como las centrales térmicas, de acuerdo con lo establecido en el artículo 45 de la Ley 99 de 1993.</p> <p>De acuerdo con este artículo, las empresas generadoras de energía hidroeléctrica cuya potencia nominal supera los 10.000 kilovatios, deben transferir el 6% de las ventas brutas de energía por generación propia de acuerdo con las distribuciones establecidas por la ley. En el caso de centrales térmicas el porcentaje de los recursos a transferir es del 4%. Los destinatarios de estos recursos son: las Corporaciones Autónomas Regionales o los Parques Nacionales Naturales que tengan jurisdicción en el área donde se encuentra localizada la cuenca hidrográfica y del área de influencia del proyecto o el área donde este ubicada la central térmica; y los municipios y distritos localizados de la cuenca que surte el embalse de las generadoras de energía hidroeléctrica o el municipio donde este ubicada la central térmica.</p> <p>En el Acuerdo CAS con el No 055 de 31 de octubre de 2022, se certifica con corte a 22 de octubre de 2022 la suma de 1.344 millones recaudados como ingresos por este rubro. La distribución de estos recursos es de autonomía de la Corporación Autónoma Regional de Santander.</p>
Qué se puede financiar con estos recursos	Cuando estos recursos son cancelados a la Corporación Autónoma Regional esta los podrá destinar a la protección del medio ambiente del área donde está ubicada la planta de generación de energía hidroeléctrica o central térmica.
Periodicidad de la Fuente	Cada vigencia
Principio de Ejecución	Anualidad



Tabla 58. Síntesis del financiamiento por tasas y derechos administrativos

Tasas y Derechos Administrativos	
Definición	<p>Las Tasas y Derechos Administrativos son ingresos derivados de la prestación directa y efectiva de un servicio público individualizado y específico, adquirido de forma voluntaria por un tercero. Las tasas solo pueden ser fijadas por ley, y se transfiere la competencia para que, una vez fijadas, la entidad determine las tarifas correspondientes a través de un acto administrativo (Corte Constitucional, Sentencia C-837/2001).</p> <p>En el caso de la Corporación Autónoma Regional de Santander -CAS, la entidad tiene derecho a efectuar cobro de las siguientes tasas y derechos administrativos tales como: Evaluación de licencias y trámites ambientales, seguimiento a licencias y trámites ambientales, tasa por uso de agua, tasa retributiva.</p> <p>En el Acuerdo CAS con el No 055 de 31 de octubre de 2022, se certifica con corte a 22 de octubre de 2022 la suma de 521 millones recaudados como ingresos por tasas y derechos ambientales. La distribución de estos recursos es de autonomía de la Corporación Autónoma Regional de Santander.</p>
Qué se puede financiar con estos recursos	Los recursos de tasas y derechos administrativos pueden ser utilizados exclusivamente a las actividades de protección, recuperación y monitoreo del medio ambiente, en este caso algunos recursos generados por tasas y derechos ambientales podrán ser destinados al programa PIRMA si la entidad a través de su Consejo Directivo así lo contemplará.
Periodicidad de la Fuente	Cada vigencia
Principio de Ejecución	Anualidad

7.4.2. Recursos Decreto 1900 de 2006

Tabla 59. Síntesis del financiamiento por medio de los recursos del decreto 1900 de 2006

Recursos Decreto 1900 de 2006	
Definición	Corresponde al 1% que debe destinar todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua tomada directamente de fuentes naturales y que esté sujeto a la obtención de licencia ambiental.
Cómo acceder a estos recursos	Se podrá acceder a través de contratos con las entidades privadas.
Qué se puede financiar con estos recursos	<p>La destinación de los recursos se realizará en la cuenca hidrográfica que se encuentran en las áreas de influencia del proyecto objeto de licencia ambiental, de acuerdo con lo dispuesto en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica que incluya la respectiva fuente hídrica de la que se toma el agua.</p> <p>En ausencia del respectivo Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, los recursos se podrán invertir en algunas de las siguientes obras o actividades: ... d) Instrumentación y monitoreo del recurso hídrico. Artículo 5, decreto 1900 de 2006.</p>



Periodicidad de la Fuente	Cada vigencia
Principio de Ejecución	Anualidad

7.4.3. Recursos de la Nación

Recursos del presupuesto general de la nación (PGN)

Tabla 60. Síntesis del financiamiento por medio de los recursos del presupuesto general de la nación

Recursos de la Nación	
Definición	Corresponde a los aportes asignados con recursos que aporta la nación para los gastos de funcionamiento o de inversión de la CAS.
Cómo acceder a estos recursos	Para acceder a estos recursos la CAS debe realizar la solicitud en el anteproyecto de presupuesto anual, el cual debe atender los lineamientos establecidos por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Para el caso de los recursos de inversión se deben formular proyectos de inversión y registrarlos en el Banco Nacional de Programas y Proyectos (BPIN) ³ .
Qué se puede financiar con estos recursos	Para el caso de los gastos de funcionamiento se podrán financiar aquellos gastos relacionados con la operación y sostenibilidad del PIRMA. Respecto a los recursos de inversión se podrán financiar aquellas actividades que comprenda la etapa de preinversión, diagnóstico, diseño y puesta en marcha del PIRMA.
Gastos de inversión	En relación con el PIRMA, se podrán realizar incorporaciones de recursos provenientes de convenios o acuerdos interadministrativos suscritos con entidades del PGN y cuyo objeto se enmarque en los objetivos y actividades de los proyectos de inversión que se encuentre ejecutando la entidad. Recomendaciones en la etapa de ejecución Tratándose de la implementación del PIRMA de un proyecto que cuenta con un horizonte a diez (10) años, y que algunas actividades programadas superan las vigencias fiscales (comprendidas entre el 1º de enero y el 31 de diciembre), se recomienda utilizar el mecanismo de solicitud de autorización de vigencias futuras. Lo cual permitirá lograr la continuidad en la ejecución de actividades y en algunos casos ahorros en la contratación. Lo anterior de conformidad con lo que establece el estatuto presupuestal de la CAS.

³ Decreto Número 1082 de 2015, Artículo 2.2.6.3.1. Banco Nacional de Programas y Proyectos. El Banco Nacional de Programas y Proyectos (BPIN), es un instrumento para la planeación que registra los programas y proyectos de inversión pública viables, previamente evaluados social, técnica, ambiental y económicamente, susceptibles de ser financiados con recursos del Presupuesto General de la Nación.

La formulación de los proyectos y la evaluación previa que se realiza a los mismos en el marco del ciclo de los proyectos de inversión concluirá con el registro y sistematización en el Banco Nacional de Programas y Proyectos.

El funcionamiento del Banco Nacional de Programas y Proyectos, la clasificación de los proyectos de inversión, las metodologías para su formulación, los procedimientos y demás requisitos para el registro de los mismos, la actualización y modificación de proyectos, y todo lo inherente a la sistematización del BPIN será responsabilidad del Departamento Nacional de Planeación y se fijaran en los manuales que para el efecto se expidan. (Decreto 2844 de 2010, artículo 8)



<p>Sistemas de información DNP</p>	<p><u>MGA, Metodología General Ajustada</u> Es una aplicación informática que sigue un orden lógico para el registro de la información más relevante resultado del proceso de formulación y estructuración de los proyectos de inversión pública. Su sustento conceptual se basa de una parte en la metodología de Marco Lógico y de otra en los principios de preparación y evaluación económica de proyectos. Ayuda de forma esquemática y modular en los procesos de identificación, preparación, evaluación y programación de los Proyectos de Inversión pública. La MGA tiene como fin principal el registrar y presentar la formulación y estructuración de los proyectos de inversión pública para gestión ante los entes nacionales y territoriales.</p> <p><u>SUIFP (Sistema Unificado de Inversión Pública)</u> Es un sistema de información que integra los procesos asociados a cada una de las fases del ciclo de la inversión pública, acompañando los proyectos de inversión desde su formulación hasta la entrega de los productos, articulándolos con los programas de gobierno y las políticas públicas.</p> <p><u>SPI, Seguimiento a proyectos de inversión</u> El Sistema de Seguimiento de Proyectos de Inversión (SPI), es una herramienta que facilita la recolección y análisis continuo de información para identificar y valorar los posibles problemas y logros frente a los mismos y constituye la base para la adopción de medidas correctoras, con el fin de mejorar el diseño, aplicación y calidad de los resultados obtenidos. De igual forma, para tomar decisiones durante la implementación de una política, programa o proyecto, con base en una comparación entre los resultados esperados y el estado de avance de los mismos en materia de ejecución.</p>
<p>Periodicidad de la Fuente</p>	<p>Para cada vigencia</p>
<p>Principio de Ejecución</p>	<p>Anualidad</p>

Sistema general de regalías

Tabla 61. Síntesis del financiamiento por medio del sistema general de regalías (SGR)

<p>Sistema General de Regalías</p>	
<p>Definición</p>	<p>Las regalías son la contraprestación económica que recibe el Estado por la explotación de recursos naturales no renovables, las cuales pueden ser recaudadas en dinero. El SGR es un esquema de coordinación entre el Gobierno nacional y las entidades territoriales, en donde se determina al distribución, objetivos y fines, administración, ejecución, control y destinación de estos ingresos recibidos por la explotación de recursos no renovables.</p>
<p>Qué se puede financiar⁴</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se pueden financiar proyectos de inversión en sus diferentes etapas, siempre y cuando esté definido en el horizonte de realización. • Estudios y diseños como parte de los proyectos de inversión, los cuales deben contener la estimación de costos del proyecto en cada una de las fases subsiguientes, con el fin de garantizar la financiación de éstas. • Obras complementarias que permitan la puesta en marcha del proyecto de inversión.

⁴ Ley 2056 de 2020, Artículo 28. Fuente: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo>



	<p>Es importante resaltar que no se podrán financiar gastos permanentes y culminada la etapa de inversión la prestación del servicio debe ser sostenible y financiada con recursos diferentes al SGR.</p>
<p>Formulación y presentación de los proyectos de inversión</p>	<p>Todo proyecto de inversión que se presente para ser financiado con cargo a los recursos del Sistema General de Regalías deberá estar debidamente viabilizado e inscrito en el Banco de Proyectos de Inversión del Sistema General de Regalías que administra el Departamento Nacional de Planeación, creado en virtud de lo dispuesto en la Ley 1530 de 2012.⁵</p> <p>El funcionamiento de este Banco de Proyectos de Inversión será definido por el reglamento que para tales efectos expida el Departamento Nacional de Planeación.</p> <p>Los proyectos deben estar formulados de acuerdo con las metodologías establecidas por el DNP, es decir, con la Metodología General Ajustada (MGA).</p> <p>Se puede acceder a esta metodología en el siguiente enlace: https://www.sgr.gov.co/Proyectos/Metodolog%C3%ADAgeneralajustadaMGA.aspx</p> <p>Los proyectos de inversión deben ser presentados con los respectivos estudios y soportes, previa revisión del cumplimiento de las características a que se refiere la Ley 2056 de 2020, así:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Para las Asignaciones Directas, la Asignación para la Inversión Local y el 60% de la Asignación para la Inversión Regional que corresponde a los departamentos, los proyectos de inversión a ser financiados por estos recursos deben apuntar a las metas e indicadores del plan de desarrollo territorial y sus modificaciones o adiciones. Se presentarán ante las secretarías de planeación del respectivo departamento o municipio o quien haga sus veces, según corresponda. b) Para los proyectos con cargo a los recursos del 40% de la Asignación para la Inversión Regional que corresponden a las regiones, se presentarán ante la secretaría técnica del Órgano Colegiado de Administración y Decisión Regional que corresponda, por parte de las entidades territoriales o del Gobierno nacional, este último previo acuerdo con las entidades territoriales.
<p>Características de los proyectos de inversión⁶</p>	<p>Los proyectos deben estar alineados con el PND y los planes de desarrollo de las entidades territoriales, así como cumplir con el principio de Buen Gobierno.</p> <p>Características:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pertinencia, entendida como la conveniencia de desarrollar proyectos acordes con las condiciones particulares y necesidades socioculturales, económicas y ambientales. 2. Viabilidad, entendida como el cumplimiento de las condiciones y criterios jurídicos, técnicos, financieros, ambientales y sociales requeridos. 3. Sostenibilidad, entendida como la posibilidad de financiar la operación y funcionamiento del proyecto con ingresos de naturaleza permanentes. 4. Impacto, entendido como la contribución efectiva que realice el proyecto al cumplimiento de las metas locales, sectoriales, regionales y los objetivos y fines del Sistema General de Regalías.

⁵ Ley 2056 de 2020, Artículo 136. Banco de Proyectos de Inversión del Sistema General de Regalías.

⁶ Ley 2056 de 2020, Artículo 29. Fuente: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo>



	<p>5. Articulación con planes y políticas nacionales, y planes de las entidades territoriales. Adicionalmente los proyectos de inversión presentados por los grupos étnicos se articularán con sus instrumentos propios de planeación.</p> <p>6. Mejoramiento en indicadores del Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) y las condiciones de empleo.</p>
<p>Asignaciones a las que podrá acceder la CAS</p>	<p>Asignaciones directas: 20% para los departamentos y municipios en cuyo territorio se adelante explotación de recursos naturales no renovables, así como los municipios con puertos marítimos y fluviales por donde se transporten dichos recursos o productos derivados de los mismos, que se denominará Asignaciones Directas. Los municipios donde se exploten recursos naturales no renovables tendrán además una participación adicional del 5% que podrá ser anticipado, conforme con los criterios de la presente Ley.</p> <p>Asignación para la inversión regional: corresponde al 34%, el cual se distribuye en seis (6) regiones, la región a la cual pertenecería la CAS es Región Centro – Oriente, la cual está integrada por los departamentos de: Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Bogotá D.C.</p> <p>Los proyectos de inversión pública de impacto regional a ser financiados con recursos de la Asignación para la Inversión Regional son aquellos que por su alcance poblacional y espacial trasciende las escalas de gobierno municipal o departamental, independientemente de su localización, requiriendo de una coordinación interinstitucional con otras entidades públicas, incluso entre municipios de un mismo departamento, para el desarrollo de cualquiera de las etapas del ciclo del proyecto, con el fin de generar resultados que respondan a las necesidades socioculturales, económicas o ambientales. El proceso de viabilidad de los proyectos de inversión implicará la verificación del cumplimiento de esta condición.⁷</p> <p>Asignación para la inversión Local: 15%.</p> <p>Asignación Ambiental 1% y el 20% del mayor recaudo: se podrá acceder a estos recursos para la financiación de proyectos de inversión en ambiente y desarrollo sostenible de acuerdo con lo establecido en el artículo 50. Destinación de los recursos para la financiación de proyectos de inversión en ambiente y desarrollo sostenible de la Ley 2056 de 2020. Estas asignaciones serán coordinadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y las corporaciones Autónomas Regionales y Desarrollo Sostenible quienes determinarán los lineamientos para la viabilidad, aprobación y ejecución.</p> <p>El Plan de Convocatorias de la asignación Ambiental y el 20% del mayor recaudo es el instrumento mediante el cual se realiza la planeación de la inversión de los recursos de la Asignación Ambiental de conformidad con el presupuesto bienal del Sistema General de Regalías y el plan de recursos establecido por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, para la conservación de áreas ambientales estratégicas y la lucha nacional contra la deforestación, y se determinan los montos financiables y el cronograma de apertura de las convocatorias.</p> <p>Este Plan será aprobado por la Mesa de Coordinación para cada bienio, en el enlace https://regalias.minambiente.gov.co/plan-de-convocatorias/, se encuentra publicado el Plan de Convocatorias de la Asignación Ambiental para el bienio 2021-2022 con su respectivo cronograma, el cual podrá ser tomado como referencia para las próximas convocatorias. Se debe tener en cuenta las asignaciones y planes que se publiquen en cada bienio con el</p>

⁷ Ley 2056 de 2020, Artículo 46. Proyecto de Impacto Regional.



	<p>objeto de presentar proyectos para aprobación de la financiación de las iniciativas en el marco de la categoría de manejo de “Área de Especial Importancia Ambiental”⁸.</p> <p>Asignación para la Ciencia, Tecnología e Innovación (10%): A estas asignaciones se accederá a través del plan de convocatorias construido por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Departamento Nacional de Planeación, en lo referente a la Asignación para la Inversión en Ciencia (2% de la asignación), Tecnología e Innovación Ambiental, adicionalmente, con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.</p> <p>Para acceder a estos recursos se debe realizar la consulta directamente en la página institucional de MinCiencias, allí se publican las convocatorias para la asignación para la CTel del SGR, cada una de ellas presenta su objetivo y menciona a quienes está dirigido el mecanismo de participación, se encuentra el cronograma y el listado de documentos a consultar para la presentación, entre ellos los términos de referencia. En la siguiente imagen se puede observar una de las convocatorias a modo de ejemplo:</p> <p>https://minciencias.gov.co/convocatorias/plan-convocatorias-asctei-2021-2022/convocatoria-la-asignacion-para-la-ctei-del-sgr-13</p> <p>Al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, le corresponde verificar el cumplimiento de las condiciones para la presentación de los proyectos de inversión.</p> <p>Los proyectos de inversión que cumplan las condiciones de presentación establecidas en los términos de referencia de las convocatorias serán sometidos a evaluación técnica atendiendo los criterios de evaluación definidos en dichos términos. Serán incluidos en el listado de elegibles aquellos proyectos de inversión que obtengan un puntaje igual o superior al mínimo establecido en los términos de referencia de las convocatorias. La inclusión de los proyectos de inversión en el listado de elegibles no genera la obligatoriedad de financiación⁹.</p> <p>La aprobación de los términos de referencia de las convocatorias, la viabilidad, priorización y aprobación de los proyectos de inversión de la Asignación para la Ciencia, Tecnología e Innovación, estarán a cargo del órgano Colegiado de Administración y Decisión de Ciencia, tecnología e Innovación. El concepto de viabilidad se emitirá con sujeción a las normas, requisitos y procedimientos que defina la Comisión Rectora del Sistema General de Regalías¹⁰.</p>
Normatividad	Ley 2056 de 2020.
Recomendaciones	Teniendo en cuenta que la ejecución del proyecto tiene un horizonte de cuatro (4) años que superan los bienios del SGR, se podrá acceder al mecanismo de vigencias futuras, de acuerdo con lo establecido en los artículos 158 y 159 de la Ley 2056 de 2020.

⁸ Decreto 1821 de 2020, Artículo 1.2.6.1.1, modificado por el artículo 21 del Decreto 1143 de 2021.

⁹ Ley 2056 de 2020, Artículo 54. Proyectos de inversión en ciencia, tecnología e innovación.

¹⁰ Ley 2056 de 2020, Artículo 56. Aprobación de términos de referencia y viabilización, priorización y aprobación de los proyectos de inversión.



Fondo Nacional Ambiental (FONAM)

Tabla 62. Síntesis del financiamiento por medio del Fondo Nacional Ambiental (FONAM)

Fondo Nacional Ambiental	
Definición	Es un sistema especial de manejo de cuentas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con personería jurídica, patrimonio independiente, sin estructura administrativa ni planta de personal y con jurisdicción en todo el territorio nacional.
Qué se puede financiar	<p>El FONAM financiará la ejecución de actividades, estudios, investigaciones, planes, programas y proyectos, de utilidad pública e interés social, encaminados al fortalecimiento de la gestión ambiental, a la preservación, conservación, protección, mejoramiento y recuperación del medio ambiente y al manejo adecuado de los recursos naturales renovables y de desarrollo sostenible.</p> <p>Dado lo anterior y de acuerdo con la justificación técnica para el caso del PIRMA se podrán financiar actividades y subactividades de acuerdo con las necesidades de conservación, protección mejoramiento, recuperación y manejo adecuado del recurso hídrico en el marco de las necesidades de desarrollo sostenible de la región de Santander.</p>
Formulación y presentación de los proyectos de inversión	Para acceder a estos recursos deben ser formulados proyectos de inversión de acuerdo con las metodologías establecidas por el DNP.
Recomendaciones	Revisar el reglamento del FONAM Decreto 4317 de 2004 e iniciar acercamiento tanto con la Oficina de Planeación del Ministerio de Ambiente como con los responsables de la Administración del FONAM con el propósito de acceder a recursos para el programa PIRMA.

7.4.4. Cooperación internacional

Tabla 63. Síntesis del financiamiento por medio de cooperación internacional

Cooperación Internacional	
Definición	Acción conjunta para apoyar el desarrollo económico y social del país, mediante la transferencia de tecnologías, conocimientos, experiencias o recursos por parte de países con igual o mayor nivel de desarrollo, organismos multilaterales, organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil. También se conoce como cooperación para el desarrollo y es un concepto global que comprende diferentes modalidades de ayuda que fluyen hacia los países de menor desarrollo relativo.
Qué se puede financiar	Se podrán financiar todas aquellas actividades que están contempladas en el proyecto.
Cómo obtener recursos de cooperación	<p>Los recursos que se obtengan de Cooperación Internacional deben ser gestionados por la Agencia Presidencial de Cooperación Internacional, APC-Colombia, entidad encargada de gestionar, orientar y coordinar técnicamente la cooperación internacional pública, privada, técnica y financiera no reembolsable que reciba y otorgue el país; así como ejecutar, administrar y apoyar la canalización y ejecución de recursos, programas y proyectos de cooperación internacional, atendiendo los objetivos de política exterior y el Plan Nacional de Desarrollo¹¹.</p> <p>APC-Colombia, alinea la cooperación internacional a las prioridades de desarrollo del país, articula y coordina los actores de la cooperación internacional.</p>

¹¹ Decreto 4152, Artículo 5º.



	<p>Adicionalmente, la APC da a conocer aquellas convocatorias que realizan los diferentes oferentes y a las cuales las entidades podrán acceder, las cuales se podrán consultar en el siguiente enlace: https://portalservicios-apccolombia.gov.co/public/Convocatoria.</p> <p>Las convocatorias son oportunidades de cooperación internacional que ofertan diferentes cooperantes, alineadas con las prioridades de desarrollo establecidas por los Gobiernos nacional y territorial y que buscan apoyar de manera complementaria los esfuerzos del país por alcanzar el desarrollo sostenible en todas sus dimensiones.</p>
Entidades cooperantes potenciales para el PIRMA	<p>Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE).</p> <p>Programa Blue Deal “InspirAgua” Colombia. Con el propósito de adelantar intercambio de conocimientos y experiencias en torno a la gobernanza del agua, nació este programa, con participación de las autoridades holandesas del agua Dutch Water Authorities (DWA).</p> <p>Se dio luego de que en 2015 Colombia y los Países Bajos firmaron un memorando de entendimiento por la gestión integral del recurso hídrico y en el que se comprometieron a contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.</p> <p>Es importante tener en cuenta el memorando de entendimiento que firmó Asocars con la DWA-Inspiragua en el año 2020, con el fin de promover y/o adelantar acciones de colaboración e intercambio de conocimiento, así como de disponer de los recursos humanos, tecnológicos y logísticos conforme a sus posibilidades, para la implementación conjunta de acciones que permitan a contribuir a desarrollar efectivamente el intercambio de conocimiento y experiencia en la gestión del recurso hídrico para las CAR.</p>
Cómo ejecutar los recursos provenientes de cooperación internacional	<p>Los recursos provenientes de fuentes de cooperación internacional deberán ser gestionados de acuerdo con los lineamientos establecidos por la APC.</p> <p>En el caso que la entidad beneficiaria ejecute directamente los recursos, que sería el caso para la CAS, estos recursos deberán ser incorporados al PGN. Esta incorporación podrá realizarse durante el proceso de programación presupuestal o durante la ejecución, dependiendo del momento en el que se gestionen los recursos.</p> <p>Durante el proceso de programación, los recursos provenientes de asistencia o cooperación internacional deberán estar incluidas en el anteproyecto de presupuesto de la entidad. Adicionalmente deben registrar o actualizar los proyectos de inversión por los cuales se ejecutarán esos recursos en el BPIN. El anteproyecto se debe presentar antes del 15 de marzo en cada vigencia.</p> <p>En la etapa de ejecución, en caso de que se haya iniciado la vigencia fiscal y se suscriban acuerdos para cooperación internacional que no estaban contemplados en el presupuesto de la entidad, se presentan las siguientes opciones: Ley de adición presupuestal, adición mediante decreto, incorporación por convenio interadministrativo, solicitud de distribución presupuestal ocasión de espacio fiscal de APC-Colombia o solicitud de administración de recursos de cooperación no reembolsable por APC-Colombia.</p>
Recomendaciones	<p>Presentar la matriz de marco lógico formulada para el PIRMA de la CAS con el propósito de realizar gestiones con organismos cooperantes para buscar acceder a recursos financieros y técnicos.</p>

Con base en estas fuentes de financiación y lo establecido en el PIRMA, se muestran a continuación unas estrategias para su financiamiento.



7.5. Estrategia de financiamiento del PIRMA de la CAS

Una vez analizadas los gastos requeridos para la implementación del PIRMA de la CAS para las vigencias 2023 a 2032, así como se ha logrado observar e identificar las posibles fuentes de financiamiento para el desarrollo de las actividades y subactividades para alcanzar cada uno de los resultados y objetivos del Programa, se desarrolla el presente aparte en donde se consideran la posibilidad principal de financiamiento dada las necesidades de recursos identificadas por el equipo técnico.

Para este análisis se revisó el documento denominado Proyección Financiera PGAR, siendo este documento de relevante importancia estratégica de largo plazo para la Corporación Autónoma Regional de Santander, el documento contiene en estructura de Programa, Subprograma, Proyectos y Productos esperados en los cuales la entidad CAS ha incorporado dos Proyectos; el primero denominado “Formulación del Programa Institucional Regional de Monitoreo de Calidad y Cantidad del Agua -PIRMA” y el segundo denominado “Implementación del Programa Institucional Regional de Monitoreo de Calidad y Cantidad del Agua -PIRMA”.

Para el proceso de análisis financiero ha sido importante notar que la Corporación en el Anexo 3 denominado Proyección Financiera del PGAR 2022-2033, ha definido y proyectado recursos que provienen de las Fuentes de Recursos Propios tales como Tasa por uso del recurso hídrico, sobre tasa ambiental, contribuciones del sector eléctrico, cuyos montos programados en el PGAR son los siguientes para los años 2022 a 2033:

Tabla 64. Costos Programa 3.1.2.3 PGAR asociadas al PIRMA

Programa	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	3033
3.1.2.3 Mejoramiento de la calidad y control de la contaminación del recurso hídrico	360,1	236,0	403,8	456,2	452,9	295,0	507,9	329,7	569,6	368,7	349,6

Dada la información anterior donde se conoce la Proyección Financiera del PGAR, analizado los Acuerdos del Consejo Directivo en donde se han establecido los Presupuestos de Ingresos y Gastos, se han determinado los costos estimados para cada una de las vigencias 2023-2032 del PIRMA de la CAS. A continuación, se presenta una serie de posibles opciones y estrategias de financiamiento que se recomienda a la CAS definir y asegurar para lograr los propósitos del PIRMA.

- RECURSOS PROPIOS

En consideración a las fuentes de ingresos propias que posee la Corporación Autónoma de Santander -CAS es importante evaluar y revisar si la asignación de los recursos programada en el PGAR puede tener algunas modificaciones, también evaluar la posibilidad de aumentar los ingresos por Servicios, Contribuciones, Tasas y Derechos Administrativos en especial aquellas asociadas a Sobretasa Ambiental, Transferencia Sector Eléctrico y Tasas por Uso del Recursos Hídrico que son la que directamente podría asociarse.



Tabla 65. Costos posibles a financiar con Recursos Propios

Programa	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	3033
Recursos propios Programados PGAR	360,1	236,0	403,8	456,2	452,9	295,0	507,9	329,7	569,6	368,7	349,6
Recursos propios para aumentar	467,8	575,9	375,2	294,5	73,8	206,7	11,9	156,7	0	150,6	467,8
Total, Recursos Propios	828,0	811,9	779,0	750,7	526,7	501,6	519,8	486,4	569,0	519,2	828,0

Es importante revisar y evaluar las posibilidades de aumentar la asignación de recursos propios, con objeto de lograr financiar en lo posible el 20% del costo anual del PIRMA en cada vigencia.

- RECURSOS PGN PRESUPUESTO GENERAL DE LA NACIÓN
 - Gastos de Funcionamiento

Dado el análisis de las actividades y de los Acuerdos a través de los cuales la CAS adopta su presupuesto de Gastos e Ingresos para cada vigencia, se observa la posibilidad de lograr articular algunas necesidades en Gastos de Funcionamiento de la entidad, en especial aquellos que están relacionados a los Resultados 1 y 3, que están particularmente relacionados con Gobernanza y Estructura Organizacional del PIRMA y con los procesos de implementación del plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica continua del monitoreo integral del agua. Siendo importante considerar la viabilidad de poder hacer algunas contrataciones o adquisiciones por rubros de Gastos de Personal

Tabla 66. Costos posibles a financiar por Gastos de Funcionamiento

Programa	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Costo Resultado 1	213,8	43,5	46,6	48,9	50,4	51,9	53,5	55,1	56,7	58,4
Costo Resultado 3	269,8	249,4	266,9	280,2	288,6	297,3	306,2	315,4	324,9	334,6
Total	483,6	293,0	313,5	329,2	339,0	349,2	359,7	370,5	381,6	393,0

- Gastos de Inversión

Dadas las necesidades de buscar fuentes fijas de financiamiento, se considera viable el lograr y obtener recursos a través del Presupuesto General de Regalías, el cual requerirá la formulación de un Proyecto de Inversión con una vigencia 2023 a 2032, que permitirá incorporar recursos adicionalmente de otras fuentes de financiamiento, pero principalmente asegurar un capital mínimo para lograr los objetivos del PIRMA de la CAS. A continuación, se presenta dos escenarios de los posibles recursos a financiarse como Gastos de Inversión del PGN.



El primero considera un escenario en donde la entidad incorpora el 20% del total del Costo Anual del PIRMA con Recursos Propios y la financiación de los Resultados 1 y 3 como Gastos de Funcionamiento.

Tabla 67. Escenario 1 Costos posibles a financiar por Gastos de Inversión (Cifras en millones de pesos)

Programa	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Recursos Propios	828,0	811,9	779,0	750,7	526,7	501,6	519,8	486,4	502,0	519,2
Gastos de Funcionamiento	483,6	293,0	313,5	329,2	339,0	349,2	359,7	370,5	381,6	393,0
Gastos de Inversión	2.828,3	2.954,8	2.802,5	2.673,6	1.767,8	1.657,4	1.719,7	1.575,2	1.626,4	1.683,9
Total PIRMA-CAS	4.139,8	4.059,7	3.894,9	3.753,5	2.633,5	2.508,2	2.599,2	2.432,0	2.510,0	2.596,1

El segundo escenario solo considera los Gastos Programados en el PGAR, siendo financiado el Déficit por Gastos de Inversión.

Tabla 68. Escenario 2 Costos posibles a financiar por Gastos de Inversión (Cifras en millones de pesos)

Programa	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Recursos Propios	360,1	236,0	403,8	456,2	452,9	295,0	507,9	329,7	569,6	368,7
Gastos de Inversión	3.779,7	3.823,6	3.491,1	3.297,2	2.180,6	2.213,3	2.091,3	2.102,3	1.940,3	2.227,5
Total, PIRMA CAS	4.139,8	4.059,7	3.894,9	3.753,5	2.633,5	2.508,2	2.599,2	2.432,0	2.510,0	2.596,1

- Otras Fuentes de Inversión

Dado que el acceso a otro tipo de fuentes puede ser viable, es importante determinar por parte de la CAS, si es posible acceder a Financiación por Regalías, Fondo Nacional Ambiental (FONAM), Recursos de Cooperación y Otras Fuentes. Siendo relevante considerar que para SGR, FONAM y Recursos de Cooperación es importante efectuar la formulación de proyectos que permitan la gestión y consecución de los recursos necesarios para la implementación del PIRMA, dando esta posibilidad de contar con fuentes alternas, pero no principales.



8. Estrategias adicionales para la implementación del PIRMA

El desarrollo de los componentes programático, tecnológico y financiero del PIRMA está enfocado principalmente al fortalecimiento del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia. Sin embargo, es necesario estructurar unas actividades iniciales que la corporación debe adelantar para la implementación de los resultados 1, 3 y 4 de la Matriz de Marco Lógico del PRIMA, los cuales se describen a continuación.

8.1. Esquema organizacional para el monitoreo integral del agua en la CAS

Actualmente, la CAS formalizó el comité técnico de coordinación de monitoreo integral del agua de la CAS, por medio de la resolución No. 000666 del 23 de septiembre de 2022, sentando un precedente a nivel nacional, puesto que es la primera conformación de un comité de este tipo a nivel regional. Este comité actuará como instancia consultiva de la dirección general en temas asociados al monitoreo del recurso hídrico y responsable de realizar apoyo y seguimiento técnico a la implementación del Programa Interinstitucional Regional de Monitoreo del Agua PIRMA en la CAS.

El comité tiene las siguientes funciones:

- coordinar las reuniones necesarias para la evaluación de la implementación del PIRMA en sus componentes programático y tecnológico y con base en ella
- sugerir los ajustes necesarios al Sistema de Observación, Medición y Vigilancia, flujo de información y a las estrategias de comunicación y difusión.
- Revisar y acordar ajustes en la Programación, agendas y contenidos de talleres y eventos de capacitación y socialización, con base al plan de capacitación del PIRMA.
- Liderar la estrategia de consolidación de alianzas estratégicas con instituciones y sectores para la implementación del PIRMA.
- Coordinar con las dependencias pertinentes la estrategia de comunicación del PIRMA.
- Informar sobre los avances en la implementación del PIRMA en la CAS a través de la página web y otros medios de difusión previstos para actores o usuarios internos y externos.
- Orientar a la Dirección General de la CAS en las líneas, acciones y estrategias de los Planes de Acción Cuatrienal y PGAR que propendan por el fortalecimiento del monitoreo del agua y los recursos hídricos
- Orientar a la Dirección general de la CAS en la definición de lineamientos para la constitución de acuerdo interinstitucionales o de cooperación internacional que puedan favorecer el monitoreo del recurso hídrico.



- Orientar a la Dirección General en la formulación de mecanismos administrativos y técnicos que permitan optimizar la operación de la red integral de monitoreo del recurso hídrico (redes meteorológicas y de aguas superficiales y aguas subterráneas en componentes de cantidad y calidad)
- Orientar a la Dirección General en el componente de monitoreo de recurso hídrico para satisfacer metas, objetivos y contingencias de Gestión del Riesgo, Cambio Climático, Gestión Integral del recurso Hídrico y otras políticas ambientales.
- Orientar a la Dirección General en la formulación de estrategias de sostenibilidad técnica y financiera del monitoreo del recurso hídrico.
- Velar por el cumplimiento del programa y la normatividad vigente en materia ambiental.
- Las demás que sean asignadas por la Dirección General de la Entidad.

Estas funciones consolidarán el monitoreo integral del recurso hídrico de la CAS, por lo tanto, se deben unir todos los esfuerzos de la institución de manera que esta iniciativa sea sostenible en el tiempo. Su sostenibilidad será una gran apuesta para la implementación del PIRMA en los años estipulados.

8.2. Diseño plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica

En el marco del convenio Ecopetrol-IDEAM se formuló el plan de capacitación para el fortalecimiento de la capacidad técnica en el monitoreo del recurso hídrico superficial, con el objetivo de fortalecer las capacidades, habilidades y conocimientos del personal encargado del monitoreo en la CAS, para los procesos de obtención, análisis y disposición de datos e información del monitoreo integral del recurso hídrico y su efectiva comunicación y difusión.

Para su elaboración, se realizaron talleres con el fin de identificar las necesidades de capacitación para el monitoreo del agua superficial en la región. Dentro del plan se tienen especificado los elementos generales de cada capacitación y una caracterización primaria, así como una propuesta de sistema de seguimiento y evaluación del Plan. La CAS debe en los siguientes años, realizar las siguientes actividades:

- Identificar las alianzas estratégicas para diseñar cada capacitación
- Implementar cada capacitación de acuerdo con el cronograma establecido
- Aplicar el sistema de seguimiento y evaluación, con el fin de realizar acciones de mejora
- Elaborar el plan de capacitación para el monitoreo de aguas subterráneas
- Elaborar e implementar el plan de investigación e innovación tecnológica

8.3. Diseño e implementación de la estrategia de comunicación y difusión de los datos de monitoreo



Los datos e información provenientes del monitoreo deben ser comunicados oportunamente a la comunidad, actores y sectores interesados, por medio de canales de comunicación idóneos para cada público. Dentro del análisis institucional realizado en la CAS, se evidenció la necesidad de fortalecer la presencia de la Corporación en todo el territorio de Santander, que la información llegue tanto a las zonas urbanas, como a las zonas rurales. Para esto será necesario tener en cuenta como mínimo las siguientes actividades:

- Definir públicos objetivos a los cuales llegará la comunicación de los datos e información del monitoreo
- Priorizar los públicos objetivos
- Definir los canales de comunicación idóneos para cada tipo de público
- Definir los contenidos y hoja de ruta de las acciones de comunicación
- Establecer un presupuesto detallado para la implementación

Las anteriores acciones hacen parte del diseño de la estrategia de comunicación. Será necesario además que la CAS implemente un sistema de medición y evaluación, que permita evaluar el grado de efectividad de la estrategia de comunicación.



CONSIDERACIONES FINALES

El diagnóstico del estado del sistema hidrometeorológico y calidad del agua de la CAS permitió evidenciar que no existe un monitoreo continuo y sistemático de la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea a nivel regional. Existen monitoreos puntuales del agua superficial, los cuales, generalmente obedecen a los instrumentos de planificación de las diferentes unidades hidrográficas y a procesos de licenciamiento ambiental.

Bajo este contexto se formuló el PIRMA de la CAS, con un horizonte entre el año 2022 y 2032, con el propósito de tener implementado el PIRMA alineado con el PNMRH y la PNGIRH, que permita contar con la información oportuna, accesible, confiable y sistematizada para propiciar una adecuada toma de decisiones por parte de los actores sociales, gremiales e institucionales que lo requieran.

Para llegar a ese propósito general, fueron definidas cuatro resultados o líneas estratégicas que se presentan a continuación:

- Resultado 1. A diciembre del 2032, el monitoreo del agua en la jurisdicción de la CAS se realiza de manera integral, sistemática y articulada con actores, soportado en un esquema organizacional con recursos técnicos, humanos y económicos adecuados.
- Resultado 2. A diciembre del 2032, la CAS ha implementado un sistema de observación medición y vigilancia del agua (SOMV) que cuenta con los procesos y procedimientos que cumplen con los estándares del sistema integrado de gestión (SIG), para generar información suficiente, válida y oportuna que esté disponible en el sistema de información de la CAS y en el SIRH.
- Resultado 3. A diciembre del 2032, la CAS tendrá implementado un plan de capacitación, investigación e innovación tecnológica continua en monitoreo integral del agua, soportado en alianzas con entidades.
- Resultado 4. A diciembre del 2032, la CAS habrá implementado una estrategia de comunicación y difusión de resultados y acciones de monitoreo integral del agua para usuarios internos, actores involucrados y comunidades.

Estos fueron desarrollados y entregados a la corporación bajo la estructura de Marco Lógico.

Asimismo, fueron desarrollados los componentes estratégico, programático, tecnológico y financiero del PIRMA. Es así como el objetivo general del monitoreo de la CAS obedece a soportar la evaluación, planificación del recurso hídrico y la toma de decisiones de la CAS en temas relacionados con la administración y la gestión integral del recurso hídrico a partir de información confiable, oportuna y disponible para los usuarios institucionales, gremiales y sociales.

En el componente programático, fueron definidos las redes de monitoreo de la CAS: i) red de referencia de monitoreo hidrometeorológico, la cual comprende 99 estaciones meteorológicas y 50 hidrológicas, de las cuales 8 estaciones meteorológicas y 20 hidrológicas serán instaladas por la CAS. Las otras estaciones son operadas por el IDEAM. ii) la red de referencia regional de calidad del agua superficial comprende 39 puntos de monitoreo y iii) la red de referencia regional de aguas subterráneas, la cual contiene 38 puntos de monitoreo en los primeros 40 m de profundidad y 36 puntos de monitoreo para una profundidad mayor a 40 m.



EL PIRMA busca que la CAS fortalezca los procesos de consolidación, uso y apropiación de información de monitoreo del agua, realizando un monitoreo integral en el que se articulen las variables de cantidad y calidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, con datos provenientes de diferentes fuentes como el IDEAM a través de la plataforma de Datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y la propia CAS. En el marco del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) se hace evidente que los datos e información provenientes del monitoreo se transmitan, se asimilen y se realice un tratamiento primario de datos. Luego, estos datos, se deben almacenar en una plataforma de gestión de datos que se comunique con un Plataforma de Comunicación y Difusión de la información para que sea dispuesta a diferentes actores, ofreciendo servicios de valor agregado.

El componente tecnológico definió los equipos y tecnologías necesarios para asegurar la adquisición, el almacenamiento y la transmisión de los datos hidrometeorológicos de las estaciones automáticas. En resumen, para las estaciones hidrológicas y meteorológicas automáticas se identifican los siguientes componentes: sensores, plataforma registradora de datos, sistema de comunicación y telemetría, sistema de alimentación eléctrica, gabinete y protecciones eléctricas. Para el monitoreo de cantidad de aguas superficiales se propone que la CAS cuente con correntómetro, perfilador ADCP, niveles topográficos, GPS y computadores portátiles.

Para el monitoreo de calidad del agua superficial se propone que la corporación cuente con equipos de mediciones in situ como pHmetro, oxímetro, conductímetro y termómetro, que pueden ser sustituidos por equipos multiparamétricos. Adicionalmente, se proponen tres nuevas tecnologías para ser incluidas en el plan de investigación del PIRMA con el fin de evaluar la pertinencia de estas tecnologías en el monitoreo de la CAS. Estas tres tecnologías propuestas son el uso de drones para la toma de muestras, el uso de imágenes de sensores remotos para la evaluación de la calidad del agua y la automatización de la red de monitoreo.

En el caso del monitoreo de aguas subterráneas, el componente tecnológico identifica todos los equipos necesarios como son sonda de nivel piezométrico, datalogger de nivel, sonda multiparamétrica, bombas peristálticas, bombas sumergibles, planta de energía y totalizadores.

El componente financiero estableció el costo total de la implementación del PIRMA y sus fuentes de financiación. De esta manera, la implementación del PIRMA tendrá un costo aproximado de cuarenta y dos mil millones de pesos colombianos, de los cuales el 87% corresponde al resultado 2.

Las fuentes de financiación sugeridas corresponden a recursos propios, recursos de la nación, recursos enmarcados en el decreto 1900 de 2006 y cooperación internacional.

Finalmente, se hace necesario reforzar que la implementación y éxito del PIRMA depende la intención de la CAS y de realizar esfuerzos administrativos, técnicos, financieros para su desarrollo. En este sentido, el comité de monitoreo del agua cobra un papel preponderante como instancia que realiza el seguimiento y evaluación del PIRMA.



Anexos

- Anexo 1. Documento de la fase de planificación del PIRMA**
- Anexo 2. Memoria_taller_monitoreo del agua_23_06_2021**
- Anexo 3. Memoria_taller_rediseño red hidrometeorológica_22_02_2022**
- Anexo 4. Memoria_taller_validación del diseño red hidrometeorológica**
- Anexo 5. Síntesis de los puntos de monitoreo de calidad del agua superficial preexistentes**
- Anexo 6. Estaciones la red hidrometeorológica de referencia regional de la CAS**
- Anexo 7. Validación de estaciones de la red hidrometeorológica**
- Anexo 8. Formatos monitoreo de cantidad**
- Anexo 9. Diseño de la red de calidad_09_06_2022**
- Anexo 10. Soportes Diseño de la red de aguas subterráneas_19_10_2021**
- Anexo 11. Soportes validación puntos red de aguas subterráneas_24_11_22**
- Anexo 12. Base de datos FUNIAS de los puntos existentes de la red de aguas subterráneas**
- Anexo 13. Análisis previos al diseño de la red pluviométrica de referencia de la CAS**
- Anexo 14. Especificaciones técnicas monitoreo cantidad agua superficial**
- Anexo 15. Soportes del componente financiero**
- Anexo 16. Detalle del costo de las redes de monitoreo**



Bibliografía

- Briceño, Herrera, & Júnez. (2011). Método para el diseño óptimo de redes para el monitoreo de niveles de agua subterránea.
- CAM. (2020). *Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua PIRMA*.
- CAS. (2019). Resolución No. 735 del 18/octubre/2019.
- CAS. (18 de 08 de 2021). *organigrama y funciones*. Obtenido de <https://cas.gov.co/site/quienes-somos/la-entidad/organigrama-y-funciones/>
- Congreso de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. Bogotá, Colombia.
- IDEAM & UNGRD. (2018). Protocolo "integración de la red pública y privada de estaciones hidrometeorológicas".
- DNP. (2012). *Manual de soporte conceptual y metodología general para la formulación y evaluación de Proyectos*. Bogotá, D.C.
- DNP. (SF). *Documento guía del módulo de capacitación en teoría de proyectos*. Bogotá.
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022*. Obtenido de <http://www.dnp.gov.co>
- Global Water Partnership. (Diciembre de 21 de 2011). *GWP*. Obtenido de ¿Qué es el GIRH?: <http://www.gwp.org>
- Ecopetrol. (2021). Estudio Hidrogeológico para la Evaluación de Fuentes Subterráneas para Abastecimiento en Proyectos del Área del Valle Medio del Magdalena.
- iAqua. (30 de 03 de 2020). *iagua.es*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/uso-drones-reduce-costes-muestreo-calidad-aguas-auckland-nueva-zelanda>
- IDEAM, & ANH. (2022). *Documento Línea Base General Ambiental en los componentes de aguas superficiales y subterráneas articulados*. Bogotá: CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 358 DEL 13 DE JULIO DE 2021.
- IDEAM, & INVEMAR. (2021). Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua.
- IDEAM, & MADS. (2012). Convenio IDEAM - MADS 2012 "apoyo al diseño de la red hidrometeorológica básica complementaria en jurisdicción de la Corporación Autónoma de Santander (CAS)".
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá.
- IDEAM. (2016). ANEXO TÉCNICO - ADQUISICIÓN, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE SIETE (7) ESTACIÓN HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICA EN LA JURISDICCIÓN DEL AO – 06 CON SEDE EN DUITAMA –.
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá
- IDEAM. (s.f.). Capítulo 22. Estaciones meteorológicas automáticas.
- IMTA. (2015). *Operación y actualización del sistema de verificación del pronóstico de lluvia máxima*. Obtenido de <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1776/TH-1512.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lazo, J., Raucher, R., Teisberg, T., Wagner, C. y Weiher, R. (2009). *Primer on Economics for National Meteorological and Hydrological Services*. Boulder: University Corporation for Atmospheric Research.



- Loucks, D., & Van-Beek, E. (2005). Water Resources Systems Planning and Management (Appendix B: Monitoring and Adaptive Management).
- MADS, & IDEAM. (Por publicar). *Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.
- MADS. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*.
- MADS. (2012). Decreto 1640 de 2012. *Diario Oficial* 48.510 del 2 de agosto de 2012. <https://bit.ly/359shgp>.
- MAVDT. (2007). Decreto 1323. *Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)*. <https://bit.ly/312cFch>.
- MITECO, 2022. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/gl/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/saica.aspx>
- Montoya, J. J. (2018). *Elaborar el componente de sedimentos para el ENA 2018 y el documento de análisis de la red*. Contrato de prestación de servicios profesionales No. 115-2018, Bogotá.
- Muñoz, A. B. (1994). Sistema automático de información de la calidad de las aguas (SAICA). In *Anales de mecánica y electricidad* (Vol. 71, No. 4, pp. 17-21). Asociación de Ingenieros del ICAI.
- OMM. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. ISBN 978-92-63-03385-8.
- OMM. (2015). *El valor del tiempo y el clima: Evaluación económica de los servicios meteorológicos e hidrológicos*. Genova: OMM.
- OMM. (2017). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Geneva: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2017b). *Guía de Prácticas hidrológicas N°168* (Sexta ed., Vol. I). (OMM, Ed.) Guinebra, Suiza: OMM.
- OMM. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas - Volumen 1 - Hidrología – De la medición a la información hidrológica*.
- Organización Meteorológica Mundial. (2020). *Guía de prácticas hidrológicas - Volumen 1 - Hidrología – De la medición a la información hidrológica*.
- Perea Tamayo, M. A., & Zuluaga Restrepo, L. F. (2020). Revisión de alternativas para el diseño de una red de monitoreo participativo de cantidad y calidad de agua en el Oriente antioqueño.
- Rodriguez. (30 de 03 de 2020). *elespectador*. Obtenido de Blog El Rio: <https://blogs.elespectador.com/actualidad/el-rio/orus-dron-podria-monitorear-la-calidad-los-rios-colombia>
- Servicio Geológico Colombiano (2019) Mapa Geológico para Hidrogeología Valle Medio del Magdalena Planchas 108 y 119 Puerto Wilches, Barrancabermeja, Sabana de Torres y San Vicente de Chucurí Escala 1:100.000.
- Shelare, K. &. (2020). Innovative Advancement In Drone Technology For Water Sample Collections - A Review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 9, ISSUE 03, MARCH 2020, 7266-7269*.
- UNESCO. (2006). *2o Informe sobre El Desarrollo de los Recursos Hídricos del Mundo: "El Agua una responsabilidad compartida"*. Obtenido de www.unesdoc.unesco.org/images/0014/001144409s.pdf.
- USGS. (21 de 04 de 2022). *Water Science for Schools - El Ciclo del Agua*. Obtenido de <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Vargas, N. (2001). *Propuesta para la formulación, diseño e implementación de la Red Básica Nacional de seguimiento y muestreo de aguas subterráneas*. Bogotá, D. C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.
- Vrba, J, & Soblsek, P. (1988). Groundwater monitoring. *Geology and the Environment, an International Manual in Three Volumes*. UNESCO.

