Evaluación Regional del Agua – Corporación Autónoma Regional de Santander

Informe de Información Disponible

Convenio No. 01508-2025

Informe de Información Disponible ERA-CAS
Junio, 2026

© Instituto de Ambiente de Estocolmo
Silvia Calderón
Directora SEI-LA

Tania Santos
Líder Línea de Investigación Agua SEI-LA

Camilo González
Tatiana Forero
Sandra Maldonado
Camilo Sanabria
Daniela Álzate
Juan Pablo Rojas
Investigadores del proyecto SEI-LA

© Corporación Autónoma Regional de Santander CAS
Gloria Milena Durán Villar
Directora General CAS

Claudia Patricia Barajas
Supervisora del Convenio CRC
Subdirectora de Planeación y Ordenamiento Ambiental

Contenido

Contenido ..... **ii**

Figuras ..... **iv**

Tablas ..... **v**

1. Introducción, Objetivos y Alcance **6**

1.1. Objetivos del Estudio 7

1.2. Alcance 7

2. Caracterización de la Zona de Estudio e Información Biofísica Disponible **9**

2.1. Zonificación Hidrográfica 11

2.2. Relieve y Características Fisiográficas 13

2.3. Geología, Hidrogeología y Suelos 15

2.3.1. Geología 15

2.3.2. Hidrogeología 16

2.3.3. Suelos 18

2.4. Cobertura de la Tierra 20

3. Información Climática e Hidrológica **22**

3.1. Caracterización Climática Histórica 27

3.1.1. Depuración y Relleno de Series Climáticas 28

3.1.2. Precipitación 35

3.1.3. Temperatura 38

3.1.4. Humedad Relativa 40

3.1.5. Brillo Solar y Fracción Nubosa 42

3.1.6. Velocidad del Viento 42

4. Usos del Agua 43

4.1. Información Disponible sobre el Uso del Agua 43

4.2. Cobertura y Vacíos de Información 44

5. Calidad del Agua 45

5.1. Información disponible sobre calidad del agua 46

5.2. Antecedentes de los indicadores ICA e IACAL 48

5.3. Limitaciones y vacíos de la información disponible 49

6. Riesgos Asociados al Recurso Hídrico 50

6.1. Vulnerabilidad por Desabastecimiento 50

6.2. Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales 52

6.3. Cobertura y Limitaciones de la Información Disponible 53

7. Conclusiones, Consideraciones y Recomendaciones 53

7.1. Información prioritaria por complementar 55

Figuras

Figura 1. Localización y Municipios dentro del área de jurisdicción del Departamento de Santander. 10
Figura 2. Subzonas hidrográficas asociadas a la jurisdicción de CAS en el Departamento de Santander. 11
Figura 3 Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR de 12,5 m utilizado para la caracterización de la jurisdicción de la CAS 14
Figura 4 Mapa geológico de la jurisdicción de la CAS según las unidades cronoestratigráficas. 16
Figura 5 Provincias hidrogeológicas y áreas acuífugas presentes en el área de jurisdicción de la CAS y zonas circundantes. 18
Figura 6 Distribución de las unidades cartográficas de suelo según paisaje en la jurisdicción de la CAS 19
Figura 7 Coberturas de la tierra en la jurisdicción de la CAS 22
Figura 8 Distribución espacial de la red de estaciones hidroclimáticas recopiladas para las variables: a) Precipitación, b) Humedad Relativa, c) Temperatura, d) Velocidad del viento, e) Brillo solar, f) Evapotranspiración y g) Caudal superficial en el departamento de Santander y zonas circundantes. 26
Figura 9. Esquema del formato netcdf. 27
Figura 10. Comparación de series de precipitación originales y rellenadas a escala diaria. 30
Figura 11. Comparación de series de precipitación originales y rellenadas a escala anual. 30
Figura 12. Comparación de series de temperatura originales y rellenadas a escala diaria. 31
Figura 13. Comparación de series de temperatura originales y rellenadas a escala anual. 31
Figura 14. Comparación de series de humedad relativa originales y rellenadas a escala diaria. 32
Figura 15. Comparación de series de humedad relativa originales y rellenadas a escala anual. 32
Figura 16. Comparación de la estacionalidad de las series originales y rellenadas. a) Precipitación, b) temperatura y c) humedad relativa. 33
Figura 17. Comparación del patrón de la matriz de correlaciones antes y después del relleno de series. 34
Figura 18. Precipitación total promedio mensual multianual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025 35
Figura 19. Precipitación total promedio anual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025. 36
Figura 20. Temperatura media mensual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025. 37
Figura 21. Temperatura media anual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025. 38
Figura 22. Humedad relativa media mensual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025. 39
Figura 23. Humedad relativa media anual en la jurisdicción de CAS, periodo 1980 – 2025. 40
Figura 24 Disponibilidad de información sobre concesiones de agua en las subzonas hidrográficas de la jurisdicción de la CAS. 44

Tablas

Tabla 1 Subzonas Hidrográficas de referencia en la Jurisdicción de la CAS. 12
Tabla 2 Variables climáticas regionalizadas para el período 1980 – 2025. 28
Tabla 3 Registros de concesiones de agua recopilados e información disponible por POMCA. 43
Tabla 4 Disponibilidad de información de calidad del agua e índices ICA e ICAL por POMCA. 47
Tabla 5 Limitaciones identificadas en la información disponible por estudio 49
Tabla 6 Antecedentes de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento identificados en los POMCA revisados. 51

1. Introducción, Objetivos y Alcance

La gestión integral del agua requiere disponer de información suficiente y confiable que permita comprender las condiciones de disponibilidad, su distribución espacial y temporal, las presiones asociadas a su aprovechamiento, las condiciones de calidad y los factores que pueden generar situaciones de vulnerabilidad en el territorio. La integración de estos componentes constituye una base fundamental para orientar la planificación y apoyar la toma de decisiones relacionadas con el uso sostenible del agua.

En Colombia, las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA) constituyen instrumentos para profundizar el conocimiento sobre el estado, dinámica y tendencias del recurso hídrico a escala regional. Su desarrollo permite integrar información relacionada con la oferta hídrica, demanda, calidad, regulación y vulnerabilidad, complementando el conocimiento generado a escala nacional y proporcionando elementos de análisis ajustados a las particularidades de los territorios bajo jurisdicción de las autoridades ambientales.

En este contexto, la Corporación Autónoma Regional de Santander – CAS y el Instituto de Ambiente de Estocolmo – SEI desarrollan la ERA para la jurisdicción de la Corporación, mediante la recopilación y análisis de información, la implementación de un modelo hidrológico, el cálculo de los indicadores establecidos en la metodología de la ERA y el desarrollo de herramientas que permitan facilitar la consulta, análisis y utilización de los resultados.

Una de las primeras etapas para el desarrollo de esta evaluación corresponde a la identificación, recopilación y análisis de la información disponible sobre el recurso hídrico. La jurisdicción de la CAS cuenta con un volumen importante de información generada a través de estudios previos, instrumentos de planificación, redes de monitoreo, bases de datos institucionales y diferentes ejercicios de caracterización desarrollados durante años. Entre estos se encuentran los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas – POMCA y los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH, que cuentan con información hidrometeorológica, estudios hidrológicos, caracterizaciones biofísicas, registros de usos y aprovechamientos del agua, información de calidad y otros productos relacionados con la planificación y gestión del recurso hídrico.

Sin embargo, esta información ha sido generada para diferentes propósitos, periodos y escalas espaciales y mediante metodologías que pueden variar entre estudios y unidades hidrográficas. En consecuencia, su existencia no implica necesariamente que pueda ser incorporada directamente a la Evaluación Regional del Agua. Es necesario establecer su alcance, representatividad, nivel de actualización y compatibilidad, así como identificar posibles vacíos que requieran información complementaria o el desarrollo de nuevos productos.

El presente informe se concentra precisamente en este proceso. Además de la revisión de la información disponible en estudios previos, se incorpora información hidrometeorológica proveniente de estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM y productos desarrollados específicamente para la presente evaluación, incluyendo la regionalización de variables climáticas como precipitación, temperatura y humedad relativa. La integración de estas fuentes permitirá avanzar hacia una caracterización homogénea de las condiciones hidroclimáticas del territorio y proporcionar los insumos necesarios para las etapas posteriores de modelación y cálculo de los indicadores de la ERA.

1.1. Objetivos del Estudio

El objetivo principal de este convenio es “Aunar esfuerzos para realizar la Evaluación Regional del Agua (ERA) en la jurisdicción de la CAS, mediante la implementación de un modelo hidrológico y el desarrollo de herramientas digitales que faciliten el análisis integrado del recurso hídrico y su incorporación en los procesos de planificación institucional.” Para el cumplimiento de este objetivo principal se plantearon cuatro objetivos:

Objetivo 1: Compilar una base de datos sobre el recurso hídrico, abarcando oferta, demanda, calidad y vulnerabilidad, a partir de mediciones regionales y bases de datos nacionales.

La información consolidada y analizada en el presente informe corresponde principalmente al cumplimiento de este objetivo. Para ello se realiza la recopilación, organización y análisis de información proveniente de diferentes fuentes institucionales y estudios existentes, con el propósito de establecer los insumos disponibles para la caracterización del recurso hídrico y las etapas posteriores de la Evaluación Regional del Agua.

No obstante, se aclara que el contenido y alcance de la información presentada podrán ajustarse y ampliarse conforme avance el proceso de recopilación, revisión y validación de datos provenientes de la CAS y de otras entidades con competencias o información relevante sobre el territorio. Este proceso permitirá complementar y fortalecer el entendimiento de las dinámicas hídricas regionales y mejorar progresivamente el nivel de detalle de los análisis desarrollados.

Objetivo 2: Evaluar el estado actual y las tendencias del recurso hídrico en la jurisdicción de la CAS, utilizando WEAP como plataforma para calcular los indicadores definidos en la metodología del IDEAM para la Evaluación Regional del Agua (ERA).

Objetivo 3: Desarrollar la herramienta ERA-Tool para la visualización de los resultados de la ERA en una plataforma web basada en R-Shiny.

Objetivo 4: Capacitar a los funcionarios de la Corporación en el uso de WEAP, el modelo implementado en el área de estudio y la herramienta de visualización ERA-Tool. Además, socializar los resultados de la ERA con otros miembros de la Corporación y posibles actores interesados.

1.2. Alcance

El presente informe se desarrolla principalmente en el marco del Objetivo 1 del convenio y tiene como propósito presentar y analizar la información disponible para el desarrollo de la Evaluación Regional del Agua en la jurisdicción de la CAS.

El análisis comprende información relacionada con las características biofísicas del territorio, condiciones climáticas e hidrológicas, oferta hídrica, uso y aprovechamiento del recurso, demanda, calidad del agua, riesgos asociados al recurso hídrico y antecedentes disponibles para la estimación de los indicadores definidos en la metodología de la ERA.

Como parte de este proceso se realiza una revisión de estudios e instrumentos de planificación desarrollados previamente en la jurisdicción, particularmente los POMCA y PORH disponibles a través

del Geoportal de la Corporación Autónoma Regional de Santander, en su componente de Recurso Hídrico.

Como parte de esta revisión se construyó una matriz consolidada de información disponible, en formato Excel, en la cual se sistematizaron los principales antecedentes identificados en los estudios e instrumentos de planificación consultados. La matriz permite organizar de manera estructurada la información disponible para las diferentes unidades hidrográficas, incluyendo las fuentes utilizadas, periodos de referencia, metodologías, información biofísica e hidrológica, usos y demandas de agua, calidad del recurso, indicadores previamente calculados y demás elementos relevantes para el desarrollo de la ERA.

Esta matriz constituye un producto complementario al presente informe y permite mantener la trazabilidad entre los análisis aquí presentados y sus respectivas fuentes documentales. Adicionalmente, facilita la identificación de diferencias en la disponibilidad y nivel de detalle de la información entre unidades hidrográficas, así como de los principales vacíos que deberán ser atendidos durante las siguientes etapas de la evaluación. La matriz podrá ser actualizada progresivamente a medida que se incorpore nueva información suministrada por la CAS o proveniente de otras fuentes institucionales.

Esta información se complementa con registros hidrometeorológicos del IDEAM y con información procesada específicamente durante el desarrollo de la ERA. En particular, se dispone de productos regionalizados de precipitación, temperatura y humedad relativa, los cuales permitirán caracterizar espacialmente las condiciones hidroclimáticas de la jurisdicción bajo una metodología común.

La revisión de información previa tiene dos propósitos complementarios. En primer lugar, permite recuperar y aprovechar el conocimiento generado anteriormente en el territorio, identificando fuentes, metodologías y resultados que puedan aportar al desarrollo de la evaluación. En segundo lugar, permite establecer las diferencias existentes entre los estudios en términos de periodos, escalas, fuentes y metodologías, con el fin de determinar cuáles resultados pueden ser utilizados directamente y cuáles deben considerarse únicamente como antecedentes o elementos de contraste.

En este sentido, los resultados reportados en estudios anteriores no se asumen automáticamente como resultados de la ERA. Cuando existan diferencias metodológicas, temporales o espaciales, estos serán utilizados como referencia para evaluar posteriormente la consistencia de los resultados obtenidos mediante las metodologías adoptadas para la ERA.

El análisis busca, por tanto, avanzar desde la recopilación documental hacia la construcción de una base de información integrada y homogénea para la jurisdicción, identificando la información directamente utilizable, aquella que requiere actualización o procesamiento adicional y los vacíos que deben ser atendidos durante las siguientes etapas del estudio.

A partir de este capítulo introductorio, el documento se estructura en cinco componentes temáticos principales.

El Capítulo 2 presenta la caracterización de la zona de estudio y analiza la información biofísica disponible, incluyendo la zonificación hidrográfica, relieve, geología, hidrogeología, suelos, coberturas de la tierra y ecosistemas de importancia para la regulación hídrica.

El Capítulo 3 aborda la información climática, hidrológica y relacionada con la oferta hídrica. Se analiza la disponibilidad y representatividad de las estaciones hidrometeorológicas, los métodos utilizados en estudios anteriores y la información disponible de precipitación, temperatura, humedad relativa, caudales, balance hídrico, caudal ambiental e infraestructura hidráulica. En este capítulo se incorporan además los productos climáticos regionalizados desarrollados para la presente evaluación.

El Capítulo 4 analiza la información relacionada con el uso y aprovechamiento del recurso hídrico, incluyendo concesiones, usos sectoriales y estimaciones de demanda.

El Capítulo 5 presenta la información disponible relacionada con la calidad del agua y los riesgos asociados al recurso hídrico, considerando las redes y puntos de monitoreo, indicadores de calidad, fuentes de presión y antecedentes relacionados con sequías, inundaciones, desabastecimiento y otros eventos asociados al agua.

El Capítulo 6 analiza la disponibilidad de información requerida para la estimación de los indicadores de la Evaluación Regional del Agua, considerando tanto los antecedentes de indicadores calculados en estudios anteriores como las necesidades de actualización y procesamiento para la nueva evaluación.

Finalmente, el Capítulo 7 integra los principales resultados del análisis, identifica vacíos y limitaciones de la información disponible y establece recomendaciones para las siguientes etapas de desarrollo de la ERA.

2. Caracterización de la Zona de Estudio e Información Biofísica Disponible

El área de estudio corresponde a la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), localizada en el nororiente de Colombia, en el departamento de Santander (6.6° N y 73.5° O). S De acuerdo con la cartografía utilizada para el desarrollo de la Evaluación Regional del Agua, la jurisdicción comprende una superficie aproximada de 25.922 km², equivalente a cerca del 84,96 % del área departamental, y está conformada por 74 municipios, cuya distribución espacial se presenta en la Figura 1.

La jurisdicción limita al norte principalmente con el territorio administrado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB; al oriente con sectores de los departamentos de Norte de Santander y Boyacá; al sur con el departamento de Boyacá; y al occidente con el valle del río Magdalena.

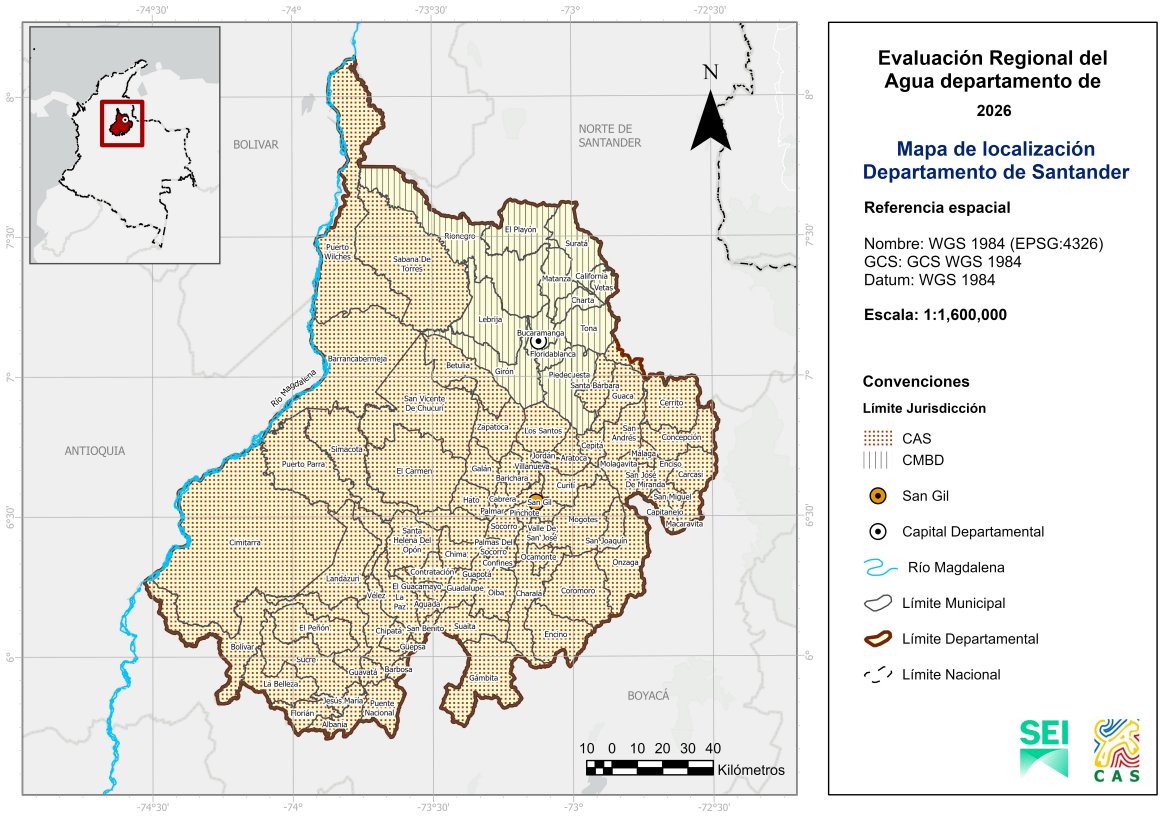


Figura 1. Localización y Municipios dentro del área de jurisdicción del Departamento de Santander.
Fuente: Elaboración propia a partir de información provista por la CAS.

Morfológicamente, el territorio presenta una marcada transición entre la cordillera Oriental y el valle medio del río Magdalena. En los sectores montañosos predominan relieves de alta pendiente, valles interandinos y cañones asociados a los principales sistemas fluviales, entre los que sobresalen el cañón del río Chicamocha, los valles de los ríos Suárez y Fonce y la serranía de los Yariguíes. Hacia el occidente, las elevaciones disminuyen progresivamente y adquieren mayor importancia las planicies aluviales, zonas inundables y complejos de humedales asociados al valle medio del Magdalena.

Esta diversidad fisiográfica determina importantes contrastes en las condiciones climáticas e hidrológicas de la jurisdicción. La elevación y el relieve influyen sobre la distribución espacial de variables como la precipitación y la temperatura, mientras que las características geológicas, hidrogeológicas, edafológicas y de cobertura condicionan procesos como la infiltración, la generación de escorrentía, el almacenamiento de agua y la regulación hídrica.

Desde el punto de vista hidrográfico, la jurisdicción se distribuye entre las áreas hidrográficas Magdalena–Cauca y Orinoco. La mayor parte del territorio pertenece al área Magdalena–Cauca, específicamente a las zonas hidrográficas Medio Magdalena y Sogamoso, mientras que un sector de menor extensión localizado hacia el oriente pertenece a la zona hidrográfica Arauca. La distribución de estas unidades y de las subzonas y niveles subsiguientes que conforman el área de estudio se presenta con mayor detalle en la sección 2.1

La caracterización biofísica presentada en este capítulo integra la cartografía utilizada para la ERA con la información disponible en los POMCA y demás estudios previos revisados. El análisis se concentra en aquellos componentes con mayor influencia sobre el comportamiento del recurso hídrico,

particularmente la zonificación hidrográfica, el relieve, la geología e hidrogeología, los suelos, las coberturas de la tierra y los ecosistemas estratégicos.

2.1. Zonificación Hidrográfica

La zonificación hidrográfica constituye la base espacial para organizar buena parte de los análisis de la Evaluación Regional del Agua, debido a que permite interpretar el territorio a partir de unidades definidas por la dinámica natural del drenaje y no únicamente a partir de límites político-administrativos.

Como se observa en la Figura 2, la jurisdicción de la CAS comprende sectores de las áreas hidrográficas Magdalena–Cauca y Orinoco y de las zonas hidrográficas Medio Magdalena, Sogamoso y Arauca. Dentro de estas se identifican 9 subzonas hidrográficas (SZH) oficiales que intersecan el área de jurisdicción. Algunas de estas subzonas presentan subdivisiones en niveles subsiguientes (NSS) utilizadas como unidades de planificación y ordenación de cuencas. Al considerar estas subdivisiones, se reconocen 13 unidades hidrográficas de referencia dentro de la cartografía utilizada para el presente estudio.

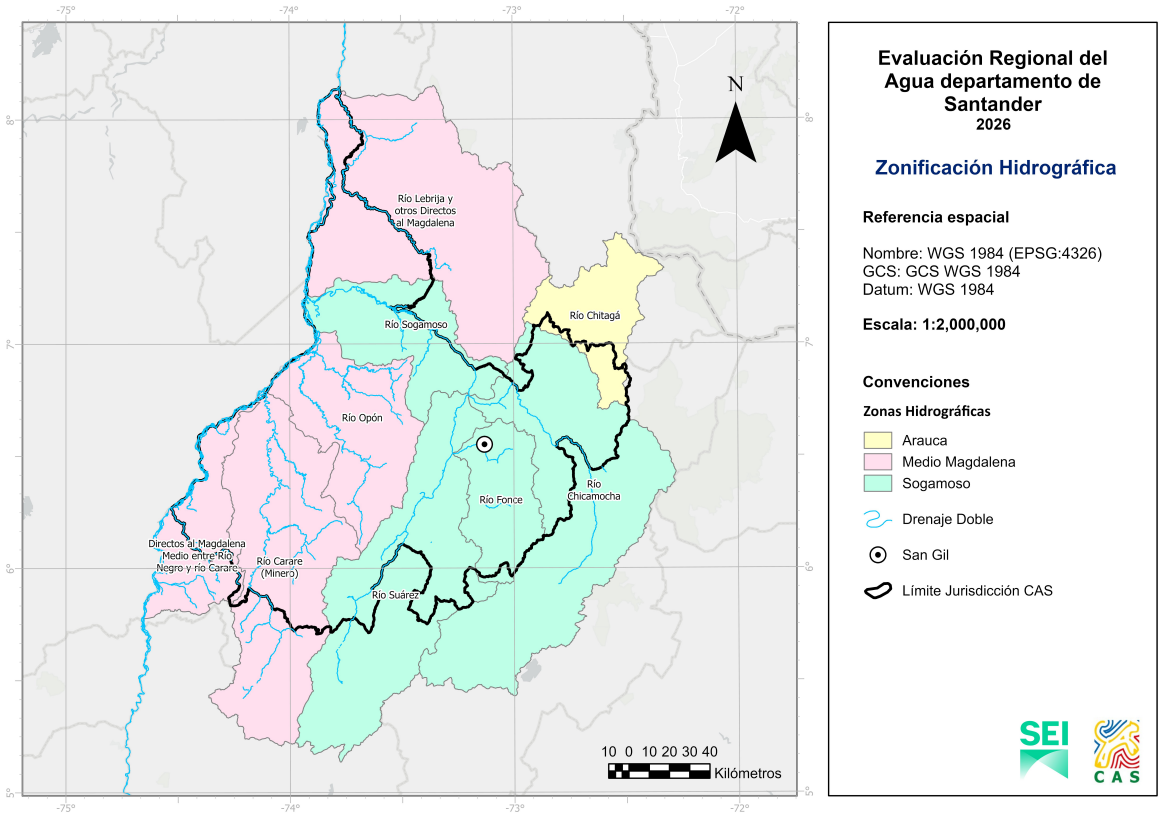


Figura 2. Subzonas hidrográficas asociadas a la jurisdicción de CAS en el Departamento de Santander.

Fuente: Elaboración propia a partir de información pública de IDEAM.

Esta diferenciación es particularmente importante en las subzonas de los ríos Suárez, Chicamocha y Lebrija. La subzona hidrográfica del río Suárez (2401) está representada en el área de estudio por el nivel subsiguiente Río Medio y Bajo Suárez (2401-02). Por su parte, la subzona del río Chicamocha (2403) comprende los niveles subsiguientes Río Medio Chicamocha (2403-02) y Río Bajo Chicamocha (2403-03). Finalmente, la subzona Río Lebrija y otros directos al Magdalena (2319) comprende los niveles subsiguientes Río Lebrija Medio (2319-03), Afluentes directos al río Lebrija Medio (2319-04) y Río Bajo Lebrija en Cáchira Norte (2319-06).

La Tabla 1 presenta las 13 subzonas hidrográficas de referencia identificadas, indicando su código y el nivel de zonificación al cual corresponden.

Tabla 1 Subzonas Hidrográficas de referencia en la Jurisdicción de la CAS.

Código	Subzona hidrográfica de referencia	Nivel
2311	Directos al Magdalena Medio entre ríos Negro y Carare	SZH
2312	Río Carare (Minero)	SZH
2314	Río Opón	SZH
2319-03	Río Lebrija Medio	NSS
2319-04	Afluentes directos al río Lebrija Medio	NSS
2319-06	Río Bajo Lebrija en Cáchira Norte	NSS
2401-02	Río Medio y Bajo Suárez	NSS
2402	Río Fonce	SZH
2403-02	Río Medio Chicamocha	NSS
2403-03	Río Bajo Chicamocha	NSS
2405	Río Sogamoso	SZH
3701	Río Chítaga	SZH
3703	Río Cobugón – Río Cobaría	SZH

Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por la CAS.

La diferenciación entre SZH y NSS resulta relevante para el análisis de la información disponible, debido a que varios de los POMCA revisados corresponden precisamente a unidades de nivel subsiguiente y no a la totalidad de una subzona hidrográfica. Este es el caso, entre otros, de Medio y Bajo Suárez, Lebrija Medio y Afluentes directos al río Lebrija Medio. Por esta razón, conservar la relación jerárquica entre las diferentes unidades permite relacionar adecuadamente los estudios previos con la zonificación adoptada para el desarrollo de la ERA.

Adicionalmente, varias de las unidades hidrográficas que tienen influencia sobre la jurisdicción trascienden sus límites administrativos. En estos casos, parte del área aportante se encuentra fuera del territorio administrado por la CAS, por lo que los caudales que ingresan o circulan dentro de la jurisdicción pueden estar condicionados por procesos hidroclimáticos que ocurren en sectores externos.

Esta condición deberá ser considerada durante la implementación del modelo hidrológico. Para este propósito será necesario diferenciar entre el área administrativa objeto de la ERA y el área hidrológica requerida para representar adecuadamente las cuencas aportantes, evitando que los límites administrativos interrumpan artificialmente los procesos naturales de generación y transferencia de caudal.

2.2. Relieve y Características Fisiográficas

El relieve de la jurisdicción de la CAS presenta una alta variabilidad, asociada principalmente con la transición entre la cordillera Oriental y el valle medio del río Magdalena. Esta configuración da lugar a sistemas montañosos, laderas de fuerte pendiente, valles interandinos, cañones, piedemontes y planicies aluviales, que condicionan tanto la distribución espacial de las variables climáticas como los procesos de generación, almacenamiento y circulación del agua.

En los sectores central y oriental de la jurisdicción predominan los relieves montañosos asociados con la cordillera Oriental. Dentro de estos sobresalen el cañón del río Chicamocha, los valles y cañones asociados a los ríos Suárez y Fonce, así como diferentes sectores de alta montaña. Hacia el occidente se destaca la serranía de los Yariguíes, que constituye uno de los principales elementos fisiográficos del territorio y marca una transición pronunciada hacia las zonas de menor elevación del valle medio del Magdalena.

Hacia el valle del Magdalena disminuyen progresivamente las elevaciones y pendientes, dando paso a relieves más suaves, planicies aluviales, zonas inundables y sistemas de humedales asociados con el río Magdalena y sus principales afluentes. Estas diferencias generan condiciones contrastantes entre las unidades hidrográficas localizadas en los sectores montañosos y aquellas que se extienden hacia el valle medio del Magdalena.

La revisión de los estudios previos muestra una disponibilidad amplia de información topográfica para la caracterización del territorio. Entre las principales fuentes identificadas en los POMCA se encuentra la cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC a escala 1:25.000, a partir de la cual se utilizaron curvas de nivel y otros elementos topográficos para la generación de modelos del terreno y el desarrollo de análisis morfométricos.

Esta información fue complementada en diferentes estudios mediante modelos digitales de elevación obtenidos a partir de sensores remotos. Entre los productos identificados se encuentran SRTM, con resolución espacial aproximada de 30 m, y ALOS PALSAR, con resolución espacial de 12,5 m. Algunos POMCA realizaron además procedimientos adicionales de procesamiento, integración o interpolación para generar modelos derivados con mayor nivel de detalle.

En los estudios correspondientes a Sogamoso y Opón, por ejemplo, se analizaron diferentes fuentes de información topográfica, incluyendo modelos derivados de curvas de nivel, SRTM y ALOS PALSAR. De manera similar, en Afluentes Lebrija Medio y Lebrija Medio se identificó la utilización de productos de diferentes resoluciones y la generación de modelos derivados mediante procedimientos de interpolación.

La revisión evidencia, por tanto, que existe información topográfica de buena resolución para las diferentes cuencas, aunque los modelos utilizados y los procedimientos de procesamiento no fueron necesariamente los mismos en todos los estudios. Para garantizar una representación homogénea del relieve en toda la jurisdicción, para el desarrollo de la ERA se utilizará el Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR con resolución espacial de 12,5 m.

La distribución altitudinal derivada de este producto evidencia la amplitud de condiciones fisiográficas presentes en el área de estudio. Como referencia, el modelo presenta elevaciones que varían aproximadamente entre 22 y 5.267 m.s.n.m., con una elevación media cercana a 1.366 m.s.n.m. Este

amplio gradiente altitudinal refleja el contraste entre las zonas bajas asociadas al valle medio del Magdalena y los sectores de alta montaña de la cordillera Oriental.

Como se observa en la Figura 3, las menores elevaciones se concentran principalmente hacia el occidente de la jurisdicción, mientras que las mayores se localizan en los sectores montañosos del centro y oriente. Esta configuración constituye uno de los principales controles físicos sobre la variabilidad climática e hidrológica del territorio.

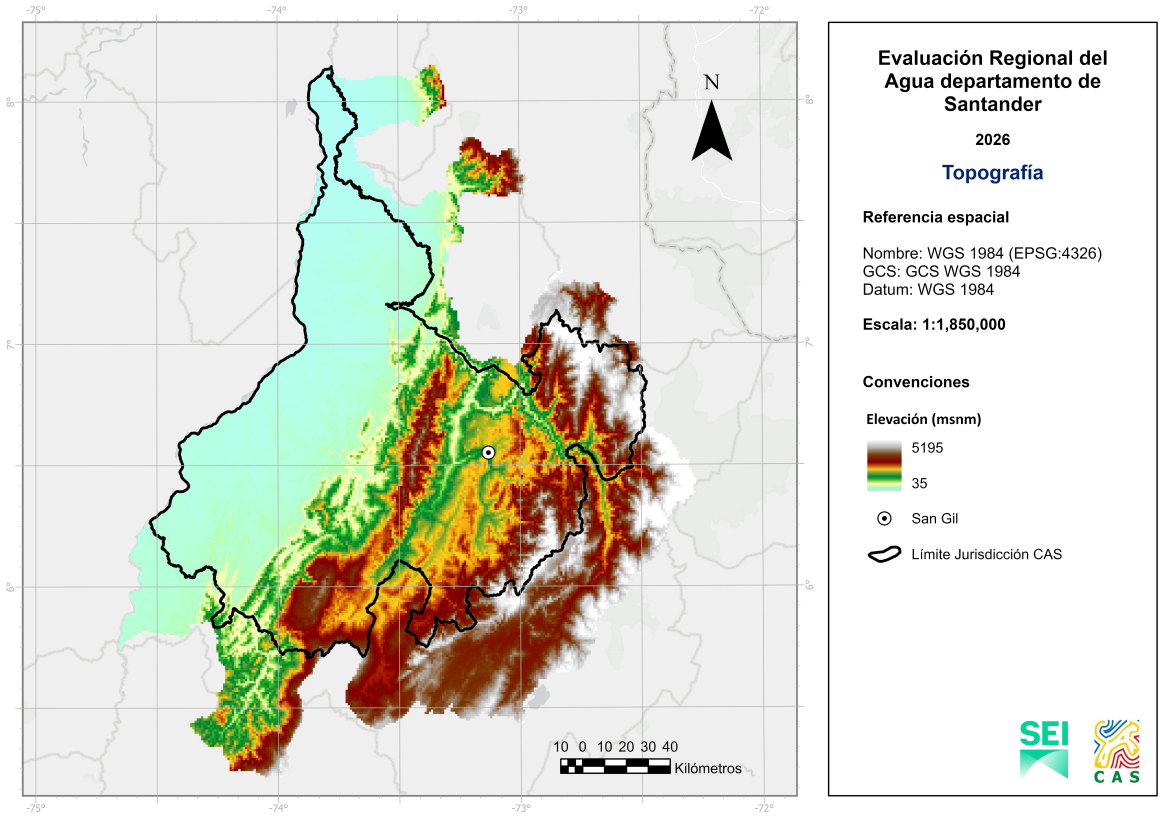


Figura 3 Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR de 12,5 m utilizado para la caracterización de la jurisdicción de la CAS

Fuente: Elaboración propia a partir del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR.

El DEM será utilizado como superficie topográfica de referencia para los diferentes análisis de la ERA que requieren información altitudinal, incluyendo la caracterización del terreno, la delimitación y verificación de áreas aportantes y la implementación del modelo hidrológico.

Adicionalmente, la información altitudinal constituye un insumo importante para el procesamiento de las variables climáticas. Los fuertes gradientes de elevación presentes en la jurisdicción están asociados con variaciones espaciales de las condiciones climáticas, particularmente de la temperatura, por lo que el DEM será utilizado como parte de los procedimientos de regionalización desarrollados para la ERA. La metodología y los resultados correspondientes se presentan posteriormente en el capítulo de caracterización climática.

2.3. Geología, Hidrogeología y Suelos

Las características geológicas, hidrogeológicas y edafológicas constituyen elementos importantes para comprender el comportamiento del recurso hídrico, debido a su influencia sobre los procesos de infiltración, almacenamiento y circulación del agua. La naturaleza de las formaciones geológicas y su grado de permeabilidad condicionan el movimiento del agua hacia el subsuelo y la presencia de sistemas acuíferos, mientras que las propiedades de los suelos intervienen en la infiltración, almacenamiento de humedad, generación de escorrentía y evapotranspiración.

La revisión de los estudios previos muestra una disponibilidad importante de información para estos componentes, aunque con diferencias en las fuentes, escalas y nivel de detalle entre las diferentes unidades hidrográficas. Por esta razón, para la ERA se plantea complementar los antecedentes contenidos en los POMCA con fuentes oficiales de cobertura regional que permitan disponer de una caracterización consistente para el conjunto de la jurisdicción.

2.3.1. Geología

La información geológica disponible en los POMCA proviene principalmente de la cartografía producida por el Servicio Geológico Colombiano – SGC, complementada con cartografía básica del IGAC, imágenes de sensores remotos, estudios regionales y actividades de verificación en campo.

Los estudios revisados utilizaron diferentes planchas geológicas de acuerdo con la localización de cada cuenca, principalmente cartografía a escala 1:100.000. En conjunto, esta información permite caracterizar las principales unidades litológicas y estructuras geológicas presentes tanto en los sectores montañosos de la cordillera Oriental como en las áreas asociadas al valle medio del Magdalena.

En varios de los POMCA, la información secundaria fue complementada mediante actividades específicas de interpretación y validación. Para Sogamoso, por ejemplo, la caracterización geológica incorporó información ALOS PALSAR e imágenes RapidEye y posteriormente fue complementada mediante actividades de campo. En Medio y Bajo Suárez se reportan 58 puntos de control empleados para verificar y actualizar la información geológica, mientras que en Opón y Directos al Magdalena Medio también se realizaron verificaciones de campo.

Estos antecedentes representan una fuente importante de información local, dado que permiten complementar la cartografía regional con observaciones realizadas específicamente en las diferentes cuencas. Sin embargo, los POMCA fueron desarrollados de manera independiente y utilizaron diferentes conjuntos de planchas, fechas de actualización y procedimientos de procesamiento.

Como fuente regional homogénea se encuentra disponible la cartografía oficial del Servicio Geológico Colombiano, cuyo Geoportal permite consultar el Mapa Geológico de Colombia, el Atlas Geológico Colombiano y diferentes productos geológicos regionales. Actualmente se encuentra disponible, entre otros productos, el Mapa Geológico de Colombia versión 2023, elaborado por el SGC.

Para la ERA se propone utilizar la información oficial del SGC como referencia regional para establecer una representación homogénea de las unidades geológicas presentes en la jurisdicción,

complementándola, cuando resulte pertinente, con la información de mayor detalle y las verificaciones de campo documentadas en los POMCA.

Desde la perspectiva de la Evaluación Regional del Agua, el interés de esta información no se limita a realizar una descripción de las unidades geológicas. Su principal utilidad estará asociada con la identificación de características que puedan influir sobre el comportamiento hidrológico, particularmente la permeabilidad de las formaciones, la presencia de depósitos no consolidados, el fracturamiento y las estructuras que puedan favorecer o restringir la infiltración y circulación del agua subterránea.

La distribución espacial de las unidades cronoestratigráficas en el en el área de estudio se presenta en la Figura 4.

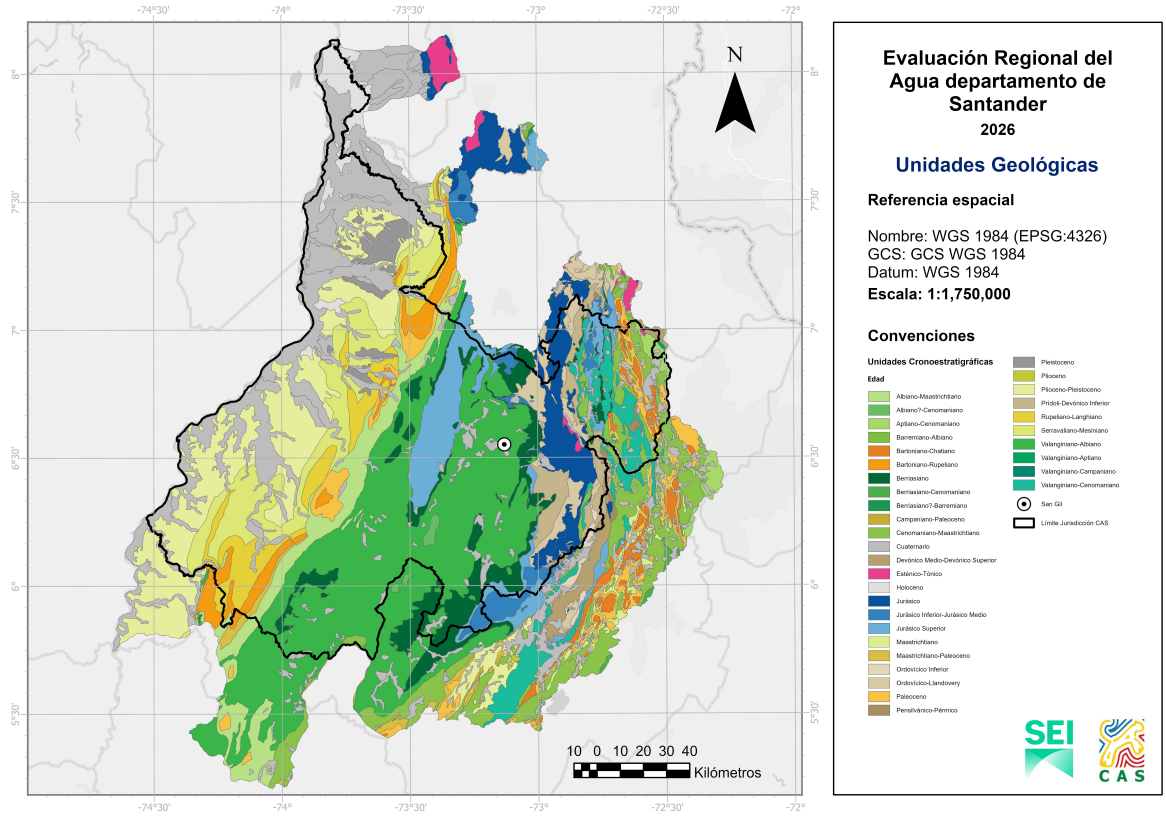


Figura 4 Mapa geológico de la jurisdicción de la CAS según las unidades cronoestratigráficas.
Fuente: Elaboración propia a partir de información del Servicio Geológico Colombiano – SGC.

2.3.2. Hidrogeología

La información hidrogeológica identificada presenta un nivel de detalle variable entre las unidades hidrográficas. Los estudios previos combinan información regional producida por el Servicio Geológico Colombiano con inventarios de captaciones, concesiones de agua subterránea, estudios geofísicos, pruebas de bombeo y campañas de campo desarrolladas específicamente durante la elaboración de algunos POMCA.

Uno de los principales aportes de estos estudios corresponde a los inventarios de puntos de agua subterránea, que incluyen pozos profundos, aljibes y manantiales. Estos inventarios permiten complementar la delimitación de unidades hidrogeológicas con información sobre la presencia y aprovechamiento efectivo del recurso subterráneo.

En el POMCA del río Opón se reporta un inventario de 24 puntos, entre pozos profundos, aljibes y manantiales. Para Afluentes Lebrija Medio se documentan 78 puntos de captación de aguas subterráneas, mientras que el estudio de Lebrija Medio incorpora igualmente información de 78 puntos dentro de su caracterización hidrogeológica.

En Sogamoso, la información comprende inventarios de pozos profundos, aljibes y manantiales, complementados con prospección geofísica, pruebas de bombeo y análisis de calidad del agua subterránea. Para Medio y Bajo Suárez se identifican registros de concesiones provenientes de diferentes autoridades ambientales y estudios geofísicos desarrollados mediante sondeos eléctricos verticales en sectores como Barbosa, Barichara y San Gil.

En las unidades localizadas hacia el valle medio del Magdalena adquieren particular importancia los sistemas acuíferos asociados con materiales sedimentarios y depósitos no consolidados. Para Carare Minero se identificaron antecedentes relacionados con el sistema acuífero del Valle Medio del Magdalena, mientras que en Directos al Magdalena Medio se dispone adicionalmente de información sobre captaciones y estudios ambientales desarrollados en este sector.

A estos antecedentes se suma la información oficial disponible a través del Servicio Geológico Colombiano. Particularmente relevante para el área de estudio es el Mapa Geológico e Hidrogeológico de la Región Central de Santander, que contiene cartografía de unidades hidrogeológicas y, para determinados sectores, información sobre puntos de agua y datos medidos en superficie. El producto incluye información específica para sectores como el Macizo de Santander, la Mesa de Los Santos y la Mesa de Barichara.

Adicionalmente, el Geoportal del SGC dispone de herramientas específicas para la consulta de información de aguas subterráneas y otros productos hidrogeológicos, lo cual proporciona una fuente complementaria para consolidar la información disponible en los POMCA.

La revisión evidencia, por tanto, que existe una base importante de información hidrogeológica, pero con una distribución espacial y un nivel de detalle heterogéneos. Mientras algunas unidades cuentan con inventarios de campo, prospección geofísica y pruebas hidráulicas, en otras la caracterización depende principalmente de información secundaria de alcance regional.

Para el desarrollo de la ERA se propone consolidar esta información en una base común que permita identificar las principales unidades hidrogeológicas y los puntos de aprovechamiento de aguas subterráneas disponibles. Los inventarios y estudios específicos desarrollados en los POMCA podrán complementar la cartografía regional y proporcionar información adicional en aquellos sectores donde exista un mayor nivel de conocimiento.

Como complemento a la información recopilada en los POMCA, se incorporó la zonificación hidrogeológica del Estudio Nacional del Agua 2022 (IDEAM, 2023), que permite contextualizar regionalmente la distribución del agua subterránea mediante provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos. El IDEAM reconoce en el área de jurisdicción las provincias Cordillera Oriental y Valle Medio del Magdalena, además de sectores clasificados como Basamento-Acuífugas.

En la provincia Valle Medio del Magdalena, localizada hacia el sector occidental, predominan secuencias sedimentarias y depósitos asociados al valle del río Magdalena, donde se desarrolla el Sistema Acuífero Valle Medio del Magdalena (SAM1.1), de importancia regional. La provincia Cordillera Oriental comprende el sector montañoso y está asociada a una mayor complejidad geológica y estructural; dentro de ella se reconocen sistemas acuíferos como San Gil-Barichara, relevante para el sector central de Santander. Los sectores de Basamento-Acuífugas, por su parte, corresponden a unidades con condiciones comparativamente menos favorables para el almacenamiento y transmisión regional de agua subterránea.

La distribución de las provincias hidrogeológicas y los principales sistemas acuíferos identificados en la jurisdicción de la CAS se presenta en la Figura 5.

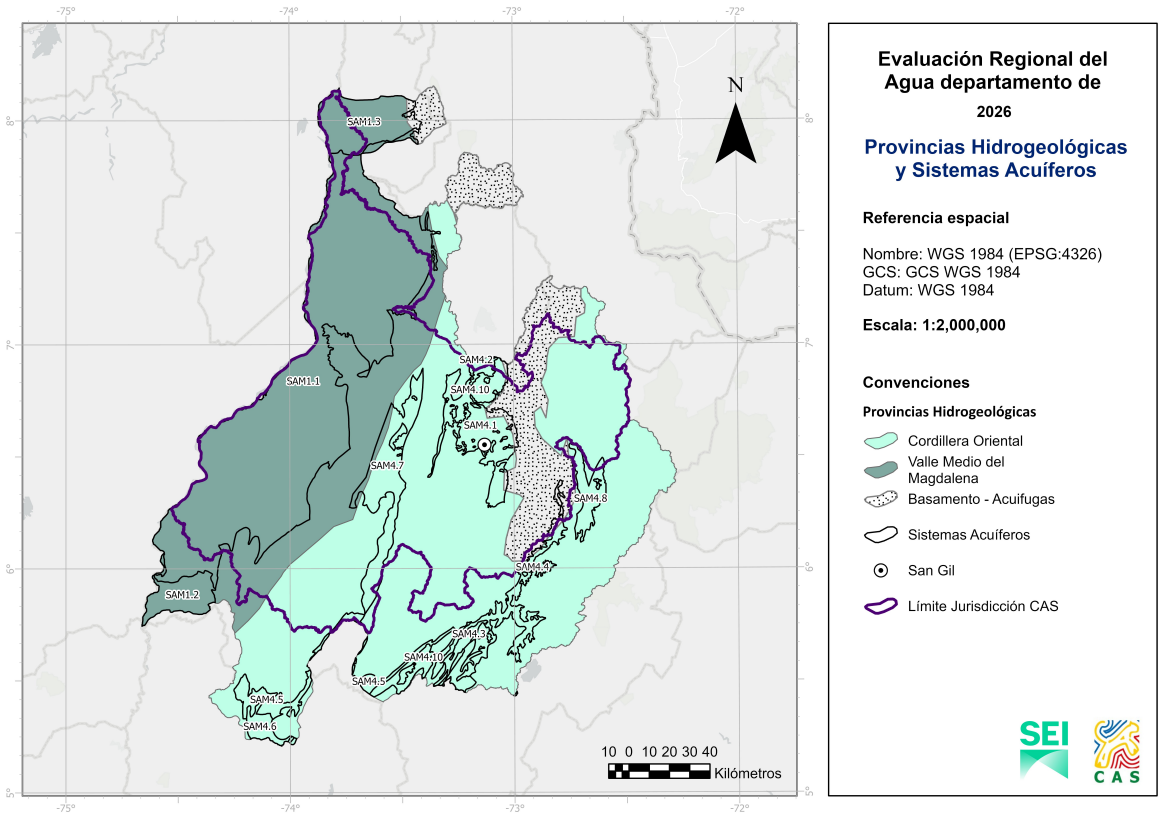


Figura 5 Provincias hidrogeológicas y áreas acuífugas presentes en el área de jurisdicción de la CAS y zonas circundantes.

Fuente Elaboración propia con base en la zonificación hidrogeológica del ENA 2010 (IDEAM, 2011)

2.3.3. Suelos

La información de suelos constituye un insumo relevante para la caracterización hidrológica, debido a su influencia sobre los procesos de infiltración, almacenamiento de humedad, percolación, generación de escorrentía y evapotranspiración.

La revisión de los estudios previos muestra que diferentes POMCA utilizaron como referencia los estudios generales de suelos elaborados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Entre los antecedentes identificados se encuentra el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento de Santander, mientras que para aquellas cuencas cuya extensión trasciende el límite departamental se incorporaron productos correspondientes a departamentos vecinos.

A diferencia de otros componentes, para los suelos se dispone de un producto regional homogéneo que cubre el departamento de Santander. El IGAC tiene publicado el Mapa General de Suelos del departamento de Santander a escala 1:100.000, generado a partir del levantamiento general de suelos y publicado originalmente en 2002. El producto contiene información sobre los ambientes edafogenéticos, características físicas, químicas, mineralógicas y morfológicas, taxonomía y distribución espacial de los suelos.

Esta información representa una fuente particularmente útil para la ERA debido a que proporciona una cobertura continua y bajo una misma metodología para el departamento, evitando la necesidad de construir un mosaico a partir de los productos independientes de cada POMCA.

Para la modelación hidrológica, el interés principal estará asociado con las propiedades de los suelos que controlan el movimiento y almacenamiento del agua, como la textura, profundidad efectiva, capacidad de almacenamiento de humedad y conductividad hidráulica, entre otras variables requeridas por la parametrización del modelo. En consecuencia, la información cartográfica disponible deberá ser procesada posteriormente para obtener o asociar las propiedades hidrológicas necesarias.

Para el desarrollo de la ERA se propone utilizar el Mapa General de Suelos del departamento de Santander del IGAC, escala 1:100.000, como fuente regional de referencia, complementando su información cuando sea necesario con los estudios más detallados identificados en los POMCA. La distribución espacial de las unidades de suelo según el paisaje se presenta en la Figura 6.

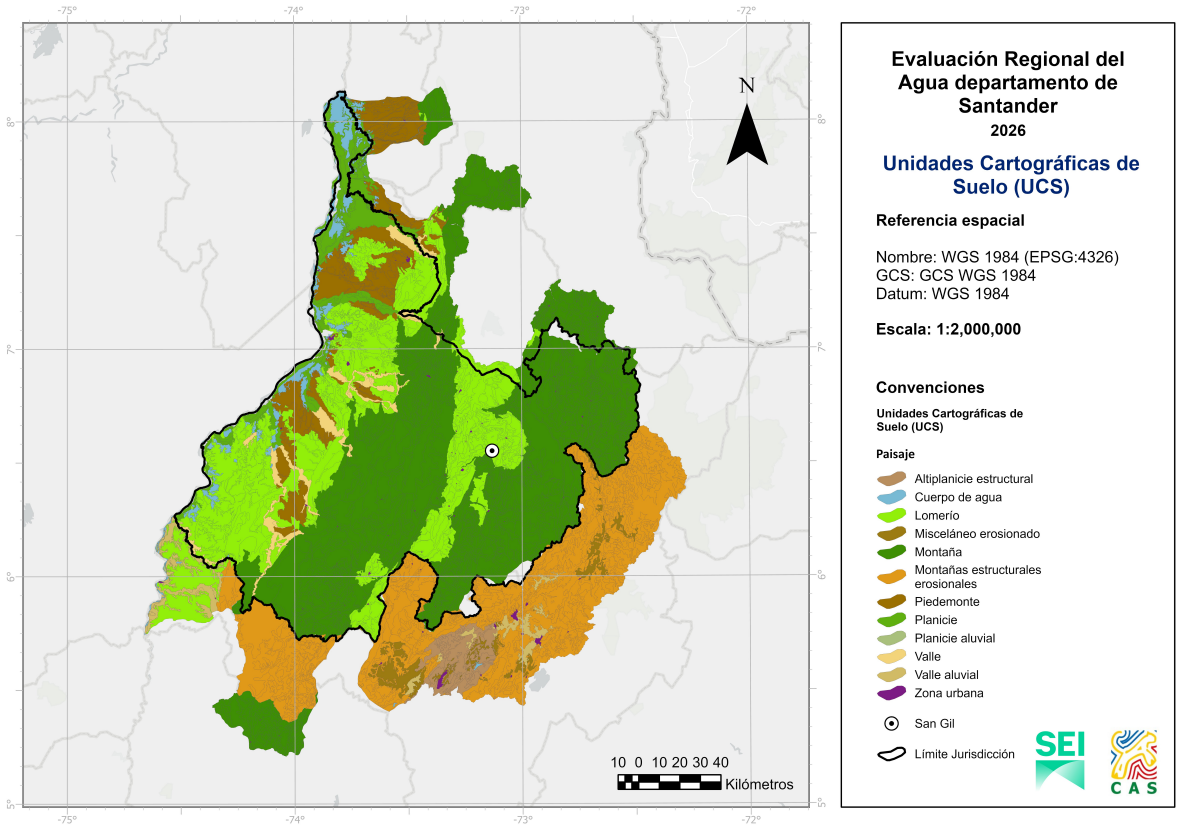


Figura 6 Distribución de las unidades cartográficas de suelo según paisaje en la jurisdicción de la CAS
Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa General de Suelos del departamento de Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC, escala 1:100.000.

En conjunto, la revisión de la información geológica, hidrogeológica y de suelos muestra que existen fuentes regionales oficiales que permiten establecer una base espacial homogénea para la jurisdicción, complementadas por estudios de mayor detalle desarrollados en el marco de los POMCA. Esta combinación resulta favorable para la ERA: las fuentes del SGC e IGAC permiten mantener consistencia regional, mientras que los POMCA aportan información local, verificaciones de campo, inventarios y estudios específicos que pueden utilizarse para complementar y validar la caracterización.

De esta manera, para estos componentes no se plantea construir la caracterización regional mediante la simple unión de la cartografía de cada POMCA. Se priorizarán las fuentes oficiales con cobertura homogénea, incorporando la información de los estudios previos en aquellos sectores y variables donde represente un mayor nivel de detalle o permita fortalecer la interpretación del comportamiento hidrológico del territorio.

2.4. Cobertura de la Tierra

La cobertura de la tierra representa las condiciones biofísicas observables sobre la superficie terrestre e incluyen tanto coberturas naturales como aquellas asociadas con procesos de transformación y ocupación del territorio. Desde el punto de vista hidrológico, su distribución es relevante debido a su influencia sobre procesos como la interceptación de la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración, el almacenamiento de humedad en el suelo y la generación de escorrentía superficial.

La revisión de los estudios previos muestra una amplia disponibilidad de información de coberturas de la tierra para las diferentes unidades hidrográficas de la jurisdicción. Una característica favorable es que buena parte de los POMCA empleó como referencia la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, lo que proporciona un marco de clasificación común y facilita la comparación entre los productos generados para las diferentes cuencas.

La metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia establece una leyenda nacional jerárquica para la identificación y clasificación de las diferentes coberturas presentes en el territorio. Esta metodología fue adaptada de manera interinstitucional a las condiciones nacionales y constituye la referencia utilizada por el IDEAM para la generación de los mapas nacionales de coberturas de la tierra a escala 1:100.000.

A pesar de esta similitud metodológica, los productos identificados en los POMCA no corresponden a un mismo periodo de referencia. Los estudios fueron desarrollados en años diferentes y utilizaron imágenes satelitales disponibles para el momento de elaboración de cada instrumento.

En el POMCA de Sogamoso, por ejemplo, la caracterización de coberturas utilizó principalmente imágenes RapidEye correspondientes a 2013, 2014 y 2015, complementadas con otras fuentes de información. El estudio incorpora además productos correspondientes a años anteriores para desarrollar análisis multitemporales de los cambios en las coberturas.

Para Medio y Bajo Suárez se utilizaron imágenes RapidEye correspondientes principalmente a 2013 y productos Landsat de años anteriores como referencia para evaluar transformaciones. En el POMCA del río Opón se emplearon imágenes RapidEye correspondientes a 2010 y 2013, mientras que para Carare Minero se identificó la utilización de imágenes RapidEye de 2015 y Landsat como referencia histórica.

De manera similar, los estudios de Afluentes Lebrija Medio y Lebrija Medio utilizaron principalmente imágenes RapidEye correspondientes a 2013. Para Directos al Magdalena Medio se identificaron productos RapidEye correspondientes a 2016, además de información de años anteriores utilizada para analizar los cambios en las coberturas.

Un aspecto relevante de estos antecedentes es que varios de los POMCA no se limitaron a la interpretación de imágenes satelitales, sino que incorporaron actividades de verificación en campo para validar las coberturas identificadas. Esta información constituye un antecedente de utilidad para reconocer las características particulares de las diferentes unidades hidrográficas y evaluar posteriormente la consistencia de los productos regionales utilizados en la ERA.

Sin embargo, las diferencias en las fechas de las imágenes y productos utilizados dificultan la construcción de una representación regional homogénea mediante la simple integración de las coberturas provenientes de cada POMCA. Un mosaico construido de esta manera podría presentar, en áreas contiguas, coberturas correspondientes a años diferentes, haciendo difícil determinar si las diferencias observadas responden a condiciones reales del territorio o al periodo en el cual fue elaborado cada estudio.

Por esta razón, para el desarrollo de la ERA resulta conveniente utilizar una fuente de cobertura de la tierra homogénea para toda la jurisdicción y correspondiente a un mismo periodo de referencia, manteniendo los productos de los POMCA como antecedentes para complementar, contrastar y validar la información regional.

Como fuente regional se dispone de los Mapas Nacionales de Coberturas de la Tierra elaborados por el IDEAM, bajo la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Esta metodología permite describir y clasificar las coberturas bajo una leyenda nacional común y ha sido utilizada para generar diferentes periodos de información, lo que adicionalmente permite desarrollar análisis multitemporales.

Entre los productos disponibles se encuentra el Mapa Nacional de Coberturas de la Tierra 2020, publicado por el IDEAM y desarrollado a escala 1:100.000. Este producto actualiza la información nacional de coberturas y mantiene la estructura de clasificación de la Leyenda Nacional CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

Adicionalmente, el catálogo institucional del IDEAM dispone actualmente de información correspondiente al periodo 2022, incluyendo la clasificación de coberturas a nivel 3 y productos que permiten comparar las condiciones de 2020 y 2022.

Para el desarrollo de la ERA se priorizará, por tanto, la utilización de la información oficial de coberturas de la tierra del IDEAM correspondiente al periodo más reciente que se encuentre disponible, validado y con cobertura completa para el área de estudio, manteniendo la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia como sistema común de clasificación. Los productos identificados en los POMCA serán utilizados como antecedentes y elementos de contraste, particularmente en aquellos sectores donde los estudios incorporaron verificaciones de campo o análisis de mayor detalle. La distribución espacial de las coberturas de la tierra seleccionadas para la ERA se presenta en la Figura 7.

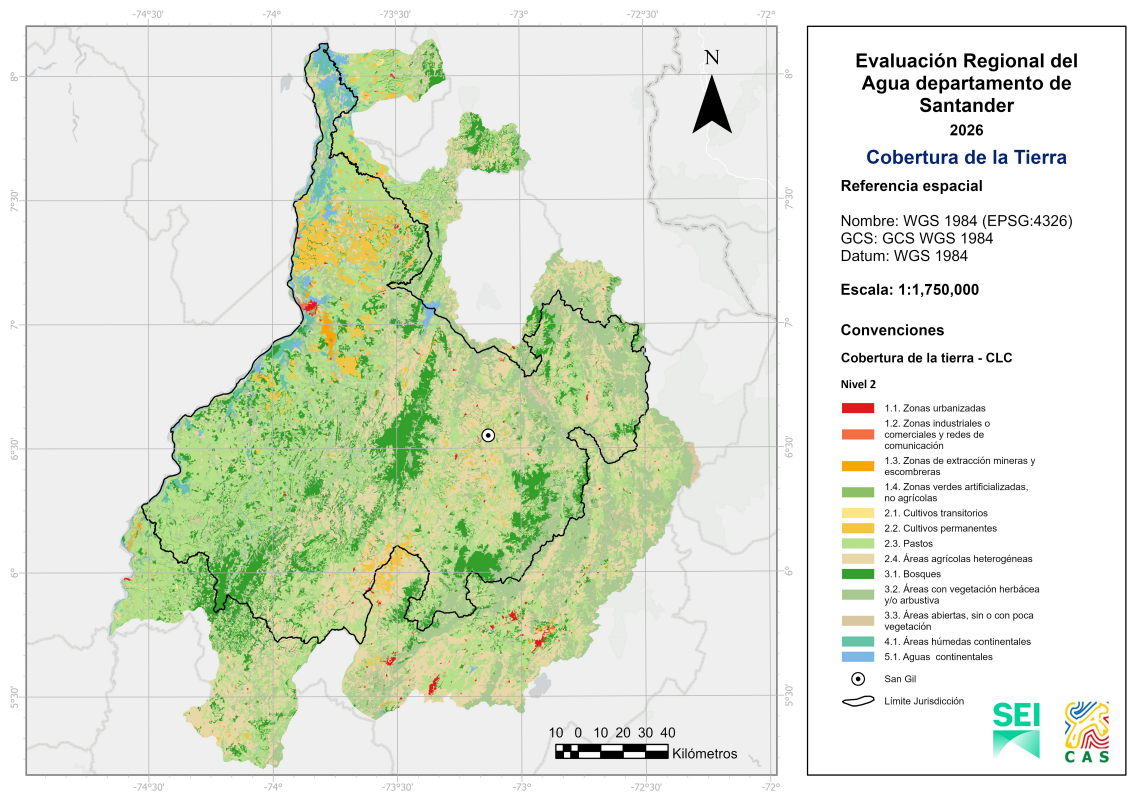


Figura 7 Coberturas de la tierra en la jurisdicción de la CAS

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.

3. Información Climática e Hidrológica

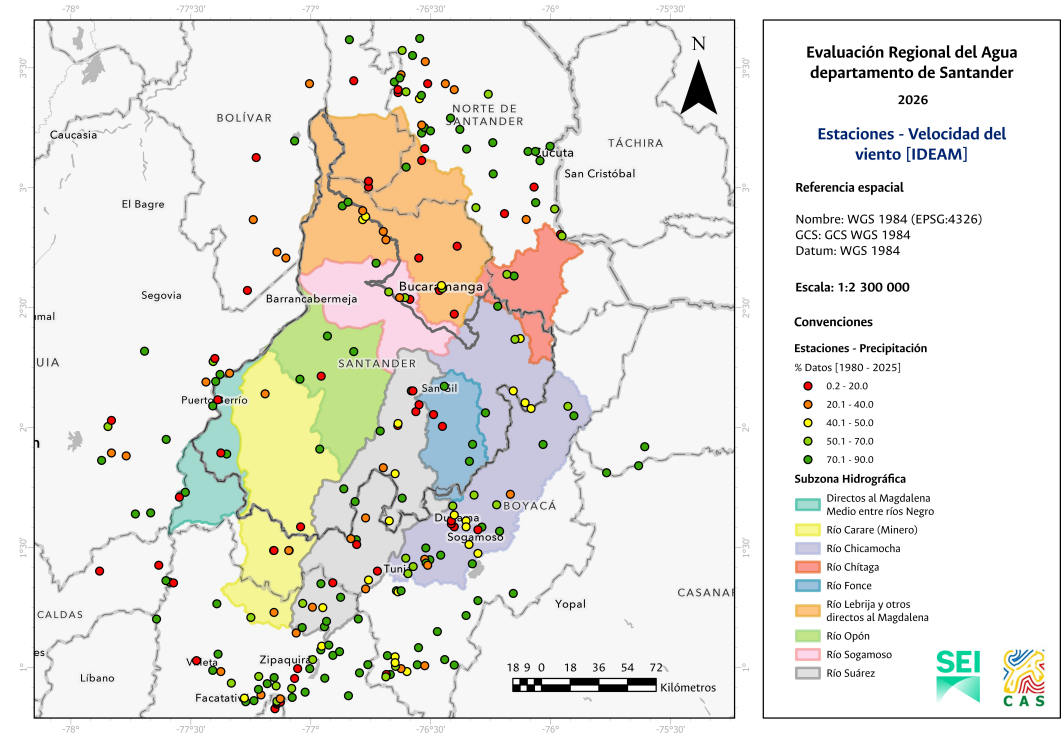
La CAS no cuenta con una red de monitoreo de variables hidroclimáticas. Por esta razón, se recopiló información de IDEAM a través del portal DHIME[1], considerando estaciones localizadas tanto dentro del departamento de Santander como en áreas circundantes y de interés para la modelación para el periodo 1980-2025. Esta aproximación permitió ampliar la cobertura espacial disponible e incorporar estaciones cercanas que puedan aportar información en zonas con baja densidad de monitoreo. En esta etapa se incluyeron todas las estaciones disponibles, sin aplicar aún el filtro final de calidad, continuidad y representatividad utilizado posteriormente para la modelación hidrológica. La información recopilada corresponde a las siguientes variables:

- Precipitación (465 estaciones)
- Temperatura (135 estaciones)
- Humedad relativa (96 estaciones)
- Velocidad del viento (28 estaciones)
- Brillo solar (73 estaciones)
- Evapotranspiración (72 estaciones)
- Caudal superficial (206 estaciones)

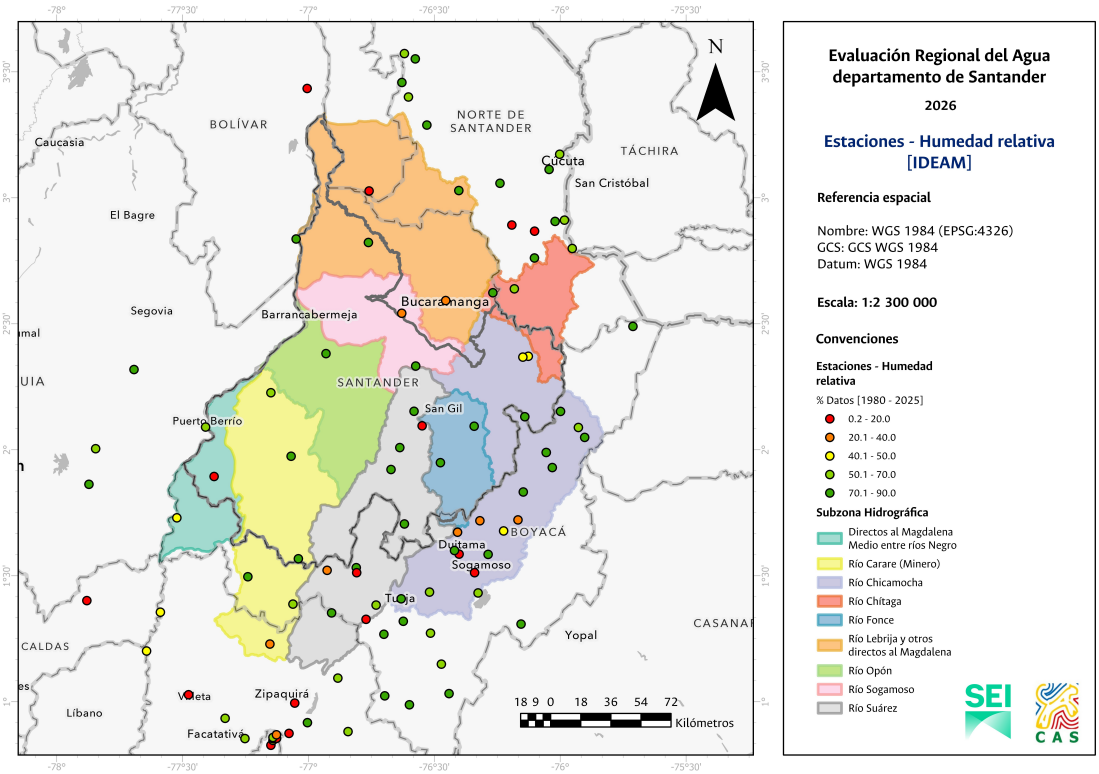
[1] http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/

La distribución espacial de las estaciones recopiladas se presenta en la Figura 8.

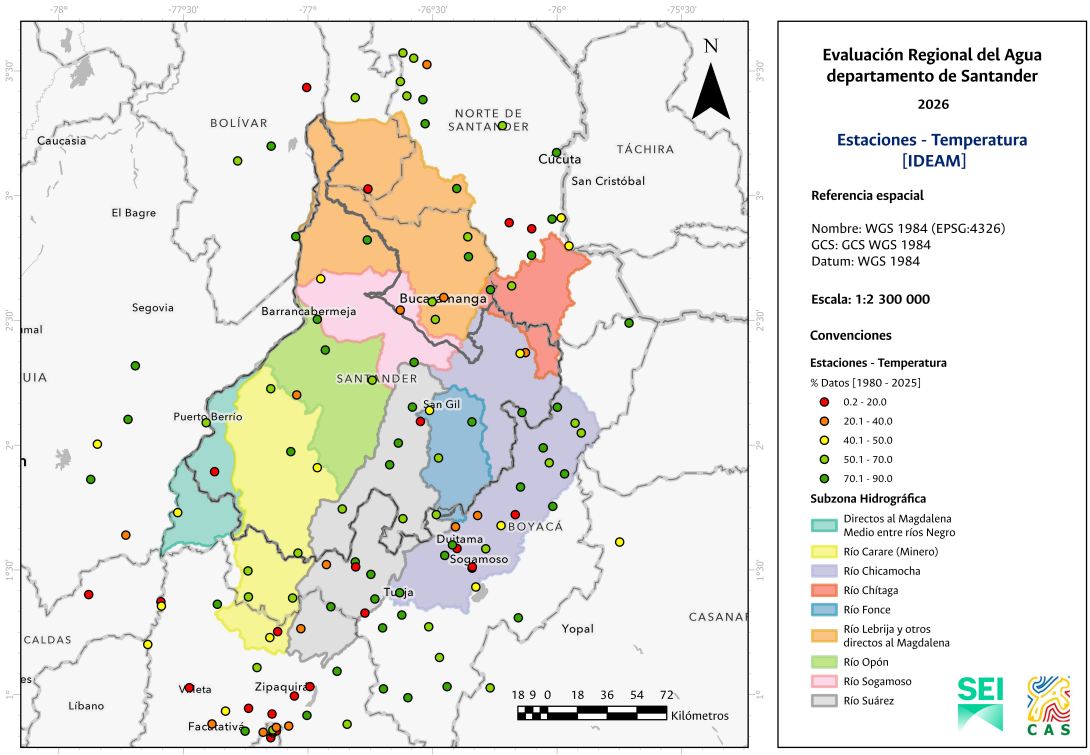
a) Precipitación



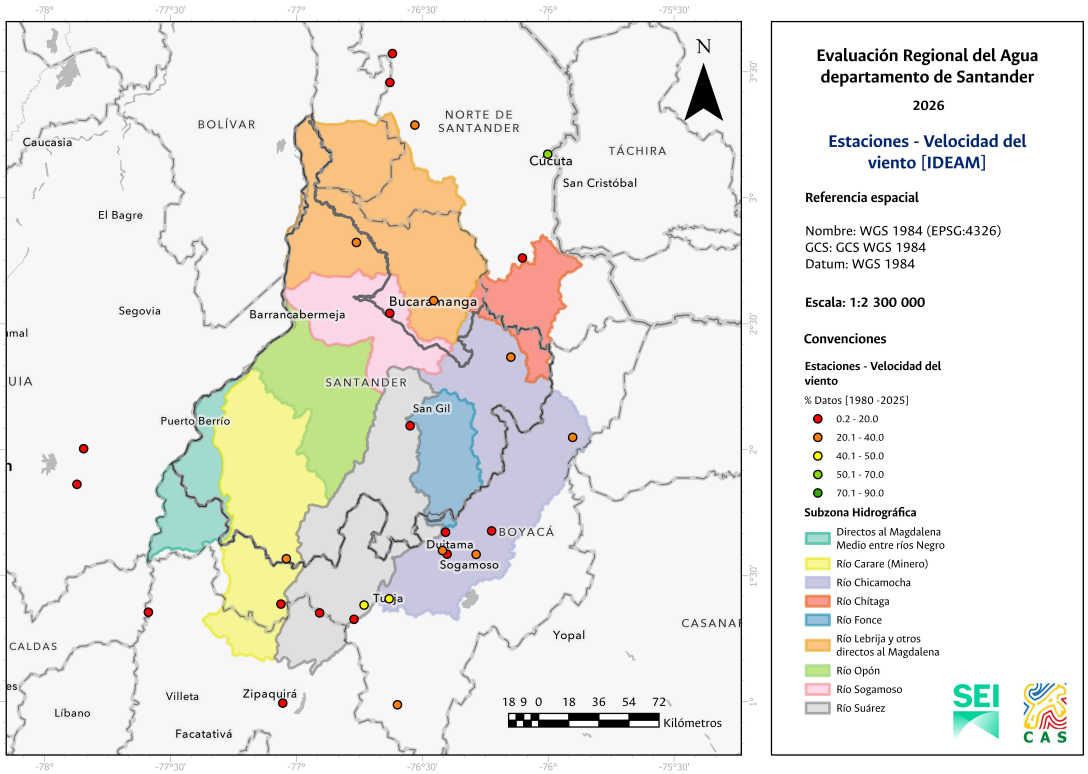
b) Humedad Relativa



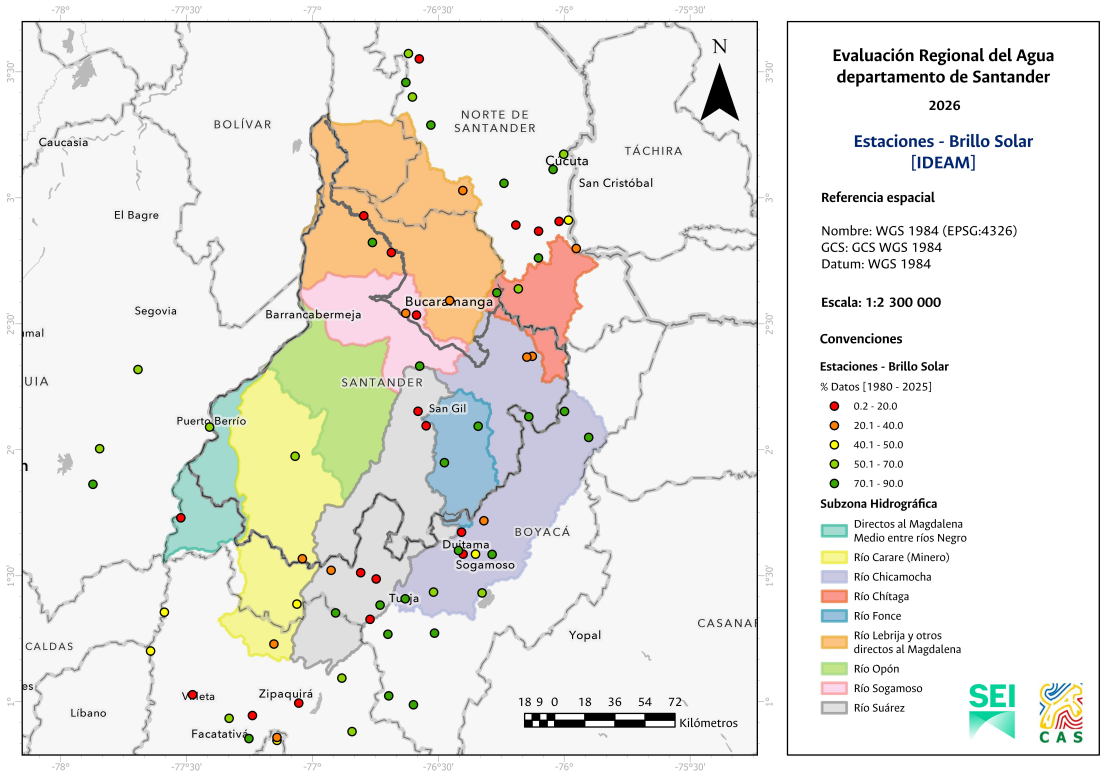
c) Temperatura



d) Velocidad del Viento



e) Brillo Solar



f) Evapotranspiración

