

FONDO PARA LA VIDA Y LA BIODIVERSIDAD

ANEXO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Objeto:

“PRESTAR SERVICIOS DE CONSULTORÍA PARA LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO DEL CICLO DEL AGUA Y DE INTEGRIDAD ECOLÓGICA ENFOCADO AL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO ALREDEDOR DEL AGUA, EN EL PÁRAMO DE SANTURBÁN Y LA ZONA DE RESERVA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE CARÁCTER TEMPORAL EN SU COSTADO OCCIDENTAL (RESOLUCIÓN 0221 DE 2025)”

1. OBJETO DE LA CONTRATACIÓN

Prestar servicios de consultoría para la generación de conocimiento de la dinámica de las aguas subterráneas y de integridad ecológica enfocado al ordenamiento del territorio alrededor del agua, en el páramo de Santurbán y la zona de reserva de recursos naturales renovables de carácter temporal en su costado occidental (resolución 0221 de 2025).

2. GENERALIDADES

El presente documento de Especificaciones Técnicas establece los parámetros definidos por el **Fondo para la Vida y la Biodiversidad – FPVB** para la adecuada ejecución del objeto contractual. En él se incluyen aspectos generales sobre el personal mínimo requerido para el desarrollo del proyecto, la disponibilidad y recursos necesarios para la ejecución de los trabajos, así como los requerimientos técnicos, la metodología y demás aspectos que deberán ser tenidos en cuenta para llevar a cabo las actividades propias de la consultoría.

Las recomendaciones mínimas aquí contenidas no eximen al CONTRATISTA de su responsabilidad frente a la ejecución integral del proyecto.

3. ASPECTOS GENERALES DEL EQUIPO MÍNIMO DE TRABAJO

Para la vinculación del equipo mínimo de trabajo se debe tener en cuenta:

1. No podrán vincularse personas incursoas en causales de inhabilidad e incompatibilidad señaladas en la Constitución Política y en la ley.
2. El personal vinculado al proyecto deberá cumplir con la dedicación de tiempo solicitado.
3. Es obligación del contratista disponer y mantener, durante toda la ejecución del proyecto y hasta su finalización el personal idóneo y calificado requerido para el cumplimiento del objeto contractual. Para tal fin, deberá prever posibles contingencias o situaciones fortuitas que puedan afectar la disponibilidad del personal, y garantizar, a su costo, el suministro de reemplazos que cumplan con los mismos requisitos exigidos al personal mínimo.
4. Todo el personal asignado al desarrollo del proyecto deberá contar con las herramientas y equipos necesarios para ejecutar sus labores, así como de los elementos de seguridad personal e industrial reglamentarios, los cuales serán suministrados por el contratista.
5. Todo el personal que intervenga en la ejecución del proyecto deberá contar con afiliación vigente al Sistema de Seguridad Social Integral: salud (EPS), pensión (AFP), riesgos laborales (ARL), según lo establece la ley laboral colombiana.
6. El equipo de trabajo del proyecto deberá disponer de los medios de comunicación para la fácil y rápida comunicación del FPVB con el contratista y la respectiva supervisión.
7. La presente contratación no genera relación laboral ni vínculo de subordinación alguna entre el personal vinculado del contratista y el FPVB, siendo responsabilidad exclusiva del contratista todos los aspectos laborales, contractuales, prestacionales y de seguridad social que se deriven de dicha vinculación.
8. Todo el personal que intervenga en la ejecución del proyecto estará bajo la responsabilidad directa del Director de la Consultoría, quien deberá acatar las recomendaciones de la supervisión para el desarrollo de las labores que se requieran.
9. El personal que se emplee para la conducción de vehículos en el ejercicio del objeto contractual deberá estar a paz y salvo por todo concepto de multas y comparendos, o contar con acuerdo de pago vigente y encontrarse al día en la obligación contraída. Razón por la cual será responsabilidad del contratista verificar, previo al inicio de las actividades y de manera periódica durante la ejecución del proyecto, el cumplimiento de esta condición por parte de los conductores, así como conservar la documentación que lo acredite. El contratista asumirá las consecuencias legales, administrativas y económicas que se deriven del incumplimiento de esta obligación, incluyendo las sanciones impuestas por las autoridades de tránsito.

10. Se debe tener en cuenta que el personal aquí relacionado, corresponde al mínimo exigido; no obstante, el contratista estará obligado a emplear todo el recurso humano que fuere necesario para dar cabal y oportuno cumplimiento al objeto contratado.
11. Las demás inherentes al objeto y a la naturaleza del contrato y aquellas indicadas por el Supervisor que se encuentren en el marco del mismo para el cabal cumplimiento del objeto del contrato.

4. PERFILES EQUIPO MÍNIMO DE TRABAJO Y ROLES

A continuación, se relaciona el Personal Mínimo Obligatorio requerido para la ejecución de la consultoría que no será calificable, pero que el contratista deberá contar con él para la ejecución de esta, en caso de requerir más personal para la ejecución del Proyecto deberá contratarlo por su cuenta.

El contratista podrá organizar el equipo de trabajo, de acuerdo con su experiencia y su estructura administrativa; sin embargo, existe un personal obligatorio mínimo que debe ser presentado a la Entidad, cuyos requerimientos se establecen en el presente documento.

El siguiente personal profesional (Clave Evaluable) deberá ser presentado con las certificaciones y soportes necesarios para acreditar las profesiones, postgrados y la experiencia mínima solicitada, dichos documentos soporte serán entregados al FPVB en un plazo no mayor a cinco (5) días hábiles después de la adjudicación del proceso de selección y deberán estar aprobados para la suscripción del Acta de Inicio.

Personal mínimo obligatorio (Clave Evaluable) que deberá estar aprobado como requisito para la firma del Acta de Inicio de la Consultoría

CANTIDAD	PERSONAL PROFESIONAL
1	Director Técnico de del proyecto
1	Coordinador Técnico del proyecto
1	Especialista en Hidrogeología
1	Especialista en Hidrología
1	Líder del análisis de huella humana
1	Profesional en Gestión Social

En caso de que el FPVB presente observaciones respecto de los profesionales presentados, el Contratista deberá efectuar las correcciones o modificaciones necesarias dentro de los tres (3) días hábiles siguientes a la fecha de notificación de la Comunicación Oficial. Por su parte, El FPVB dispondrá de cinco (5) días hábiles a partir de la entrega de los documentos correspondientes para efectuar la aprobación respectiva. El incumplimiento de estos términos por parte del Consultor dará lugar al inicio del respectivo proceso administrativo sancionatorio en los términos del presente Contrato y de la Ley Aplicable.

El Consultor deberá presentar para aprobación del Supervisor del Contrato, las hojas de vida del Personal Mínimo Obligatorio restante para la ejecución del Contrato, de acuerdo con lo establecido en este Anexo, dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes a la fecha de suscripción del Acta de Inicio.

En el evento en que para la correcta ejecución de la consultoría se requieran mayores dedicaciones de tiempo y personal especialista, profesional y/o técnico, las mismas serán asumidas por el Consultor dentro del precio global pactado para el presente proyecto.

Se considera como requisito el equipo de trabajo presentado por el proponente adjudicatario el siguiente:

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
1	1	Director Técnico de del proyecto	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: - Geología, o - Ingeniería geológica, o - Ingeniera Civil, o - Ingeniería Ambiental, o - Ingeniería Geográfica, o Carreras afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: -Geociencias -Ciencias de la Tierra -Geofísica - Recurso Hídrico -Recursos Hidráulicos o - Áreas afines	10 años	5 años
2	1	Coordinador Técnico del Proyecto	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: -Geología -Ingeniería geológica, o -Ingeniería civil, o -Ingeniería Ambiental, o Carreras afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: – Geociencias,o – Ciencias de la Tierra, o – Geofísica, o – Recurso Hídrico, o – Recursos Hidráulicos o Áreas afines	8 años	5 años
3	1	Profesional en isotopía	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: - Química, o - Ingeniería, o -Ambiental, o - Ingeniería Sanitaria, o - Ingeniería Química, o - Geología, o	NA	3 años	2 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
			- Geociencias, o -Ingeniería Geológica, o Carreras afines.			
4	2	Profesional Geofísico	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: -Geología Ingeniería Geológica - Geociencias, o - Geofísica, o -Física, o Carreras afines.	Posgrado en: - Geofísica, o Áreas afines	4 años	2 años
5	1	Especialista en hidrogeología	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: - Geología, o - Ingeniería, o -Geológica, o - geociencias, o Carreras afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Hidrogeología, o - Recursos Hidráulicos, o -Hidrosistemas,o -Hidrología, o -Geología,o -Áreas afines	7 años	4 años
6	3	Profesional en hidrogeología	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: - Geología, o - Ingeniería	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Hidrogeología, o -Recursos Hidráulicos, o - Hidrosistemas, o - Hidrología, o	4 años	2 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
			Geológica, o -Geociencias, O Carreras afines.	- Geología o Áreas afines		
8	2	Profesional en Geología estructural	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: -Geología, o -Ingeniería Geológica, o -Geociencias, o -Carreras afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Geología, o - Hidrogeología, o o Áreas afines	5 años	3 años
10	1	Profesional de Suelos	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: -Ingeniería Agronómica, o - Agrología, o -Ingeniería Agrícola, o - Ingeniería Ambiental, o Áreas afines	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Edafología, o -Geociencias, o Ingeniería Agrícola,o - Agronomía, o -Ingeniería Ambiental, o o Áreas afines.	5 años	3 años
11	1	Profesional Hidroquímico	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: Química Ingeniería Ambiental, o Ingeniería Sanitaria, o Ingeniería Química, o Geología, o Geociencias ,o	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: Hidrogeología,o Ingeniería Ambiental,o Recursos Hidráulicos,o Recursos Hídricos,o Hidrosistemas,o áreas afines.	4 años	2 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
			Ingeniería Geológica, Áreas afines			
12	1	Profesional en modelación numérica de aguas subterráneas	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: -Ingeniería Civil, o -Geología, o -Ingeniería Geológica, o -Geociencias, o Carreras afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Hidrogeología, o Recursos Hidráulicos, o Recursos Hídricos, o Hidrosistemas, o áreas afines.	5 años	3 años
13	1	Profesional en Meteorología	Título profesional en ingeniería Civil, Agrícola o Ambiental	Posgrado en áreas afines como: meteorología, ciencias atmosféricas o hidrosistemas	10 años	4 años
14	1	Especialista en Hidrología	Título profesional en ingeniería Civil, Agrícola o Ambiental	Posgrado en áreas afines como: hidrología, recursos hídricos o hidrosistemas	10 años	4 años
15	1	Profesional en Calidad de Aguas	Título profesional en ingeniería Química, Sanitaria, Ambiental, Civil o Agrícola	Posgrados en áreas afines como: hidrosistemas, recurso hídrico, ingeniería ambiental, calidad de aguas, geociencias.	10 años	4 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
16	1	Profesional en Gestión Social	Título profesional entre algunas de las siguientes alternativas: Trabajo social o Sociología o Psicología o Antropología o Comunicación social y/o afines a las ciencias sociales.	NA	5 años	4 años
17	3	Profesional social de apoyo	Título profesional en: -Trabajo social, o -Sociología o -Psicología o -Antropología o -Comunicación social y/o afines a las ciencias sociales.	NA	3 años	2 años
18	1	Especialista en Sistemas de Información Geográfica (SIG)	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: - Geógrafo y/o Ingeniero Catastral y Geodesta y/o Ingeniero Geógrafo y Ambiental y/o Ingeniero Ambiental y/o áreas afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Ambiental, o - Planificación Territorial, o - Desarrollo Sostenible, o - Recursos Naturales, o - Áreas afines.	7 años	4 años
19	2	Profesional SIG analista	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Forestal o	N/A	6 años	4 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
			Ingeniería Catastral o Geografía y/o áreas afines.			
20	1	Profesional SIG apoyo	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Forestal o Ingeniería Catastral o Geografía y/o áreas afines.	N/A	4 años	2 años
21	1	Líder en estudios de vegetación	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: -Ingeniería Forestal o -Biología	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: -Bosques y Conservación Ambiental, o - Gestión Ambiental, o - Gestión de Cuencas Hidrográficas, o - Ciencias Biológicas - Ecología o -Conservación de Recursos Naturales y/o áreas afines a la temática a realizar	6 años	4 años
22	8	Profesionales de campo en Bosque Altoandino	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Forestal o Biología	Postgrado en Bosques y Conservación Ambiental o Gestión Ambiental o Gestión de Cuencas Hidrográficas o en Ciencias Biológicas / Ecología o Conservación de	4 años	2 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
				Recursos Naturales áreas afines a la temática a realizar		
23	1	Líder del análisis e interpretación de conectividad	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: -Ingeniería Ambiental, o - Ingeniería Forestal, o -Biología o Ecología y/o áreas afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: - Teledetección, o - Geomática, o -Ecología del Paisaje y/o Áreas afines a la temática a realizar	7 años	4 años
24	1	Profesional interprete del análisis de conectividad	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Forestal o Ingeniería Catastral o Geografía y/o áreas afines.	N/A	5 años	3 años
25	1	Líder del análisis de huella humana	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Ambiental, o Ingeniería Forestal, o Biología, o Ecología y/o áreas afines.	Posgrado en alguna de las siguientes áreas: -Teledetección, o Geomática, o -Cambio Climático o Ecología Áreas afines a la temática a realizar.	7 años	4 años
26	1	Profesional en análisis de huella humana	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: Ingeniería Forestal o	N/A	4 años	2 años

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
			Ingeniería Catastral o Geografía y/o áreas afines.			
27	1	Auxiliar Administrativo	Título profesional entre alguna de las siguientes alternativas: -Técnico o Tecnólogo en Gestión Documental, o -Economía, o Profesionales recién graduados en áreas afines a las actividades a desarrollar.	NA	2 años	NA

Para los perfiles de la tabla anterior la EXPERIENCIA ESPECÍFICA deberá estar relacionada con las siguientes alternativas:

- **Director técnico de proyecto**

Profesional con experiencia específica al menos 60 meses en la Gerencia de Proyectos y/o Coordinador de Proyectos y/o Dirección y/o Liderazgo de proyectos de carácter ambiental, territorial o sectorial, tales como Evaluaciones Ambientales Estratégicas (EAE), Planes de Ordenamiento Territorial (POT), Planes de Manejo Ambiental (PMA), Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (PMAA), Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) o instrumentos equivalentes de planificación ambiental y desarrollo sostenible.

- **Coordinador técnico del proyecto**

Profesional con experiencia específica de al menos 60 meses como coordinador y/o director y/o supervisor de proyectos y/o contrato(s) y/o convenio(s) de alto impacto y alcance estratégico relacionados con aguas subterráneas, tales como estudios hidrogeológicos regionales, planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), instrumentos equivalentes de planificación ambiental o evaluaciones regionales del agua (ERA).

- **Profesional en isotopía**

Profesional con experiencia específica de al menos 24 meses en la en caracterización isotópica para proyectos de hidrogeología, tales como estudios hidrogeológicos regionales, planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), evaluaciones regionales del agua (ERA) o instrumentos equivalentes de planificación ambiental.

- **Profesional Geofísico**

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
						<p>Profesional con experiencia específica de al menos 24 meses en actividades relacionadas con la adquisición, procesamiento, análisis e interpretación de información geofísica, aerotransportada (electromagnética, magnetometría, radiometría u otras). Uno de los profesionales deberá contar con específica en actividades relacionadas con la adquisición, procesamiento, análisis e interpretación de información geofísica, de métodos resistivos (magnetotelúrica)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especialista en hidrogeología <p>Profesional con experiencia específica de al menos 48 meses en la coordinación y/o dirección técnica de estudios relacionados con el análisis e interpretación de información geológica, hidrogeoquímica, isotópica y/o hidrogeológica. para proyectos de hidrogeología tales como estudios hidrogeológicos regionales, planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), evaluaciones regionales del agua (ERA) o instrumentos equivalentes de planificación ambiental.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¶Profesionales en hidrogeología <p>Profesional con experiencia específica mínima de 24 meses en la adquisición, procesamiento, análisis e interpretación de información geológica, hidrogeoquímica, isotópica y/o hidrogeológica para proyectos de hidrogeología, tales como estudios hidrogeológicos regionales, planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), evaluaciones regionales del agua (ERA) o instrumentos equivalentes de planificación ambiental.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesionales en Geología estructural <p>Profesional con experiencia específica mínima de 24 meses en el levantamiento, análisis e interpretación de datos de geología estructural en el marco de proyectos de consultoría, en proyectos de ordenamiento territorial, estudios hidrogeológicos regionales, POMCA, PMAA o instrumentos equivalentes de planificación ambiental. Uno de los dos profesionales deberá acreditar experiencia específica mínima de 24 meses en la construcción de modelos geológicos-geofísicos o representación en 3D del subsuelo para modelos numéricos de aguas subterráneas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesional Suelos <p>Profesional con experiencia específica mínima de 24 meses en la adquisición, caracterización e interpretación de información de suelos, incluyendo análisis de propiedades físicas e hidrológicas, capacidad de uso y aptitud del suelo, en el marco de estudios ambientales, de gestión del recurso hídrico u ordenamiento territorial, preferiblemente en ecosistemas estratégicos como páramos o zonas de alta montaña.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesional Hidroquímico <p>Profesional con experiencia específica mínima de 24 meses en actividades relacionadas con el muestreo e interpretación de datos hidrogeoquímicos e isotópicos en aguas subterráneas para proyectos de hidrogeología, tales como estudios hidrogeológicos regionales, planes de manejo ambiental de acuíferos (PMAA), planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), evaluaciones regionales del agua (ERA) o instrumentos equivalentes de planificación ambiental.</p>

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
						<ul style="list-style-type: none"> Profesional en modelación numérica de aguas subterráneas Profesional con experiencia específica mínima de 36 meses en proyectos hidrogeológicos desarrollando modelos numéricos de flujo y/o transporte de aguas subterráneas. Especialista en Hidrología Profesional con experiencia específica mínima de 48 meses en estudios del ciclo hidrológico, incluyendo modelación hidrológica, en el marco de proyectos ambientales o de gestión del recurso hídrico. Profesional en Meteorología Profesional con experiencia específica mínima de 48 meses en análisis climatológicos e hidrometeorológicos, en el marco de estudios ambientales o de gestión del recurso hídrico. Profesional en Calidad de Aguas Profesional con experiencia específica mínima de 48 meses en evaluación y modelación de la calidad del agua, en el marco de estudios ambientales o de gestión del recurso hídrico. Profesional en gestión social Profesional con experiencia específica mínima de 48 meses en la formulación, coordinación y/o implementación de estrategias sociales en proyectos ambientales, de gestión del recurso hídrico o de geociencias. Profesionales sociales de apoyo Profesional con experiencia específica mínima de 24 meses en proyectos ambientales o de geociencias desde el componente social o con la gestión del recurso hídrico, ecosistemas estratégicos y/o ordenamiento territorial. Especialista en Sistemas de Información Geográfica Profesional con experiencia específica de 48 meses en actividades relacionadas con la detección de cambios y/o cálculo de métricas espaciales y/o evaluación de transformaciones en ecosistemas de montaña y/o experiencia relacionada en análisis de conectividad o corredores biológicos y/o modelación ecológica mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite y en el análisis espacial avanzado aplicado al ordenamiento territorial y la conservación de ecosistemas de alta montaña Profesionales SIG analista Profesional con experiencia específica de 48 meses en el uso y aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios territoriales o ambientales, incluyendo el uso de herramientas avanzadas de análisis geoespacial, tales como algoritmos de clasificación automatizada y/o técnicas de inteligencia artificial aplicadas a imágenes satelitales, uso de metodologías como CORINE Land Cover y/o análisis multitemporal de cobertura, desarrollada en

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
						<p>proyectos relacionados con ecosistemas estratégicos, ordenamiento territorial, gestión ambiental o análisis del territorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesional SIG apoyo <p>Profesional con experiencia específica de 24 meses en el manejo de datos espaciales, que incluya la estandarización de sistemas de referencia y proyecciones cartográficas, depuración y control de calidad de información geográfica, así como la preparación y procesamiento de capas ráster y vectoriales, en el marco de estudios territoriales o ambientales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líder en estudios de vegetación <p>Profesional con experiencia específica mínima de 48 meses en actividades relacionadas con inventarios forestales y/o levantamiento de cobertura vegetal y/o identificación de especies y/o generación de perfiles de vegetación y/o en análisis de coberturas vegetales y/o uso de metodologías CORINE Land Cover y/o evaluación de servicios ecosistémicos y/o coordinación en proyectos técnico-científicos de alta complejidad, preferiblemente enfocados en ecosistemas de alta montaña.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesionales de campo en Bosque Altoandino <p>Profesionales con experiencia específica mínima de 24 meses en inventarios forestales y levantamiento de cobertura vegetal, identificación de especies, generación de perfiles de vegetación; en análisis de coberturas vegetales y uso de metodologías CORINE Land Cover y/o en la coordinación en proyectos técnico-científicos de alta complejidad, preferiblemente enfocados en ecosistemas de alta montaña.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líder del análisis e interpretación de conectividad <p>Profesional con experiencia específica de 48 meses en evaluación de conectividad, análisis de fragmentación, modelación de corredores y aplicación de indicadores de conectividad en alta montaña en actividades relacionadas con la evaluación de conectividad ecológica y/o análisis de fragmentación del paisaje y/o modelación de corredores ecológicos y/o aplicación de indicadores de conectividad, en el marco de proyectos ambientales y/o de consultoría para proyectos en ecosistemas de alta montaña.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Profesional intérprete del análisis de conectividad <p>Profesional con experiencia específica de 36 meses en evaluación de conectividad, análisis de fragmentación, modelación de corredores y aplicación de indicadores de conectividad en alta montaña en actividades relacionadas con la evaluación de conectividad ecológica y/o análisis de fragmentación del paisaje y/o modelación de corredores ecológicos y/o aplicación de indicadores de conectividad, en el marco de proyectos ambientales y/o de consultoría para proyectos en ecosistemas de alta montaña.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Líder del análisis de huella humana <p>Profesional con experiencia específica de 48 meses en actividades relacionadas con la evaluación y/o análisis de la huella humana sobre el territorio, incluyendo análisis de presiones antrópicas, transformación del paisaje, fragmentación de ecosistemas y/o generación de indicadores de impacto ambiental, en el marco de proyectos ambientales y/o de consultoría para proyectos en ecosistemas de alta montaña.</p>

Perfil No.	Cant	Cargo	Título Profesional	Título de Posgrado	Experiencia General (años mínimos)	Experiencia Específica (años mínimos)
<ul style="list-style-type: none"> • Profesional en análisis de huella humana <p>Profesional con experiencia específica de 24 meses en actividades relacionadas con la evaluación y/o análisis de la huella humana sobre el territorio, incluyendo análisis de presiones antrópicas, transformación del paisaje, fragmentación de ecosistemas y/o generación de indicadores de impacto ambiental, en el marco de proyectos ambientales y/o de consultoría para proyectos en ecosistemas de alta montaña.</p>						

El Consultor podrá organizar el equipo de trabajo, de acuerdo con su experiencia y su estructura administrativa; sin embargo, existe un personal obligatorio mínimo que debe ser presentado al FONDO, cuyos requerimientos se establecen en el presente documento.

La determinación del personal fue elaborada a partir del ejercicio realizado conforme a la experiencia de la Entidad Contratante, producto del seguimiento y control a los contratos de consultorías especializadas relacionadas con el objeto a contratar.

En el evento en que para la correcta ejecución de la consultoría se requiera más personal, las mismas serán modificadas y asumidas por el Consultor dentro del precio global pactado.

Nota: La experiencia específica solicitada podrá estar contenida en la experiencia general.

4. INFORMACIÓN SOBRE EL PERSONAL PROFESIONAL Y EQUIVALENCIA DE TÍTULOS ACADÉMICOS POR EXPERIENCIA

Para analizar la información del personal del Consultor se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se deberán presentar los soportes que acrediten la formación académica y aportar las certificaciones que acrediten el tiempo de experiencia general y específica de los perfiles que están descritos en el presente Anexo Técnico, los cuales serán verificados por la Entidad, de acuerdo con los tiempos establecidos en los documentos del proceso.
- Salvo para las profesiones que la normativa vigente exija requisitos específicos para el ejercicio de la misma, la experiencia profesional se computará a partir de la terminación y aprobación del pènsum académico, con excepción de lo previsto en el caso de las prácticas laborales para obtener el título profesional o tecnólogo, eventos en los cuales, el tiempo de experiencia en la práctica es válido si se realizaron durante los veinticuatro (24) meses anteriores a la expedición de la Ley 1955 de 2019 o con posterioridad a su expedición. Es decir, la práctica hecha antes de la terminación de materias contará como experiencia profesional si se cumplen los criterios mencionados. En el evento de que el oferente no entregue alguno de estos documentos, la Entidad contará la experiencia profesional a partir de la expedición del acta de grado o el diploma, el cual debe ser aportado con posterioridad a la celebración del contrato. En todo caso, el consultor deberá remitir las certificaciones laborales que acrediten la experiencia general de los profesionales.

- c. Para cada uno de los profesionales requeridos en el presente documento, se deberá anexar fotocopia de la tarjeta profesional y certificado de vigencia y antecedentes expedidos por el consejo profesional competente de acuerdo con la regulación aplicable en la materia cuando aplique. El requisito de la tarjeta profesional se puede suplir con el registro de que trata el artículo 18 del Decreto-Ley 2106 de 2019, o según las regulaciones aplicables para cada profesión.
- d. Los estudios de posgrado que se exijan como requisito mínimo se acreditarán mediante copia de los diplomas respectivos o certificado de obtención del título correspondiente.
- e. La idoneidad académica será demostrada con la presentación de una copia simple del respectivo diploma y/o acta de grado. En caso de que existieran títulos académicos obtenidos en el extranjero, éstos deberán surtir el proceso de convalidación ante el Ministerio de Educación Nacional de conformidad con la Resolución 20797 de 2017 o la norma que la complemente, modifique o sustituya, para que puedan ser considerados por la Entidad como formación académica válida, requisito que deberá ser cumplido y acreditado ante la Entidad a más tardar a los treinta (30) días siguientes a la vinculación de cualquier persona que acredite títulos académicos obtenidos en el exterior. El incumplimiento de esta obligación dará lugar al inicio del respectivo proceso administrativo sancionatorio en los términos del Contrato y la Ley Aplicable.
- f. En caso de que el Consultor acredite profesionales de nacionalidad extranjera cuyos títulos académicos hubieran sido obtenidos en el exterior, el Consultor deberá presentar la autorización expedida por el Consejo Nacional de Ingeniería (Copnia) para el ejercicio temporal de la profesión en Colombia. En caso de requerirse evaluación académica en los términos establecidos en la Resolución No. 10687 de 2019 expedida por el Ministerio de Educación Nacional o aquellas que la modifiquen o complementen, el Consultor deberá completar de manera definitiva dentro de los tres (3) Meses siguientes a la suscripción del Contrato de Consultoría dichos trámites; de lo contrario, se entenderá como un incumplimiento del Contrato y dará lugar al inicio del respectivo proceso administrativo sancionatorio acorde con el Contrato y la Ley Aplicable.
- g. Las certificaciones de experiencia de los profesionales deben ser expedidas por la persona natural o jurídica con quien se haya establecido la relación laboral o de prestación de servicios y deberán contener la siguiente información:
 - (vi) Nombre del empleado, servidor público, trabajador o contratista, según sea el caso,
 - (vi) Funciones o actividades desempeñadas, objeto y/o alcance del contrato, según el caso.
 - (vi) El cargo desempeñado,
 - (vi) Las fechas de iniciación y de terminación de la relación laboral o contractual o del ejercicio del empleo (incluyendo Día, Mes y año),
 - (vi) Principales actividades ejecutadas y/o funciones, las cuales deben ser acordes con los perfiles solicitados.
 - (vi) Para el caso del ejercicio de cargos en entidades estatales, se podrán acreditar las actividades desempeñadas a través del acto administrativo por medio del cual se estableció el manual de funciones para el respectivo cargo, acompañado de copia de los apartes que se quieran acreditar respecto del manual.
- h. Si el Personal Obligatorio Mínimo de que trata el presente Anexo Técnico no cumple con alguno de los requisitos de formación académica o de experiencia señalados para el cargo, la Entidad no tendrá en cuenta en la evaluación la hoja de vida de ese profesional y procederá dar cumplimiento a lo dispuesto en el Contrato.

- i. Se aplicarán las siguientes equivalencias para verificar la acreditación de las exigencias mínimas de experiencia y formación académica del Personal Mínimo Obligatorio dispuestas en el presente Anexo:

TÍTULO	EXPERIENCIA GENERAL	EXPERIENCIA ESPECÍFICA
Especialización	Dos (2) años	Un (1) año
Maestría	Tres (3) años	Uno y medio (1.5) años
Doctorado	Cuatro (4) años	Dos (2) años

Para la aplicación de las equivalencias se tendrán en cuenta las siguientes reglas:

- (i) La Entidad no aplicará valores de equivalencia distintos a los establecidos en la tabla anterior.
 - (ii) Las condiciones de equivalencia se establecen de forma lineal y no podrá hacer combinaciones entre ítems.
 - (iii) La tabla anterior puede ser aplicada para hacer equivalencias de título académico por experiencia, o de experiencia por título académico.
 - (iv) No serán válidos certificados de: diplomados, cursos, seminarios o inferiores a una especialización obtenidos en un Instituto de Educación Superior.
 - (v) En el caso de las equivalencias de títulos académicos por experiencia o viceversa, los títulos o los años de experiencia utilizados para tal efecto, no podrán sumar nuevamente para asignar puntaje por experiencia o estudios.
 - (vi) Para poder acreditar el criterio mínimo de título de postgrado mediante experiencia, es necesario que se cuente tanto con la experiencia general como la experiencia específica mínimas requeridas. Esta última directamente asociada con el título que pretende hacer equivalente. Por ejemplo, si el posgrado a nivel de maestría es en Geología, deberá acreditar 3 años mínimos de experiencia general + 1,5 años de experiencia específica en la especialidad a acreditar.
 - (vii) En todo caso, se resalta que a cada profesional únicamente se le validará un (1) título académico adicional a los títulos exigidos en la descripción del perfil del cargo, es decir, si al profesional se le exige un título de postgrado y éste acredita además otro postgrado, se le tendrá en cuenta solamente este título adicional para acreditar experiencia siempre y cuando esté relacionada con el perfil del cargo solicitado.
- j. En caso de que un título de postgrado no coincida con la denominación indicada en el presente Anexo Técnico, pero por su contenido y nivel de profundidad se ajuste a los requerimientos del perfil solicitado, la Entidad podrá solicitar al consultor presentar la información que considere necesaria para demostrar la idoneidad del profesional.
- k. Las reglas de equivalencias antes descritas no son aplicables para la acreditación de la formación académica adicional ni de la experiencia específica adicional solicitada para el Personal Clave Evaluable, objeto del compromiso que será adquirido con la suscripción del **Formato de experiencia y formación académica adicional del Personal Clave Evaluable**, para el otorgamiento del puntaje, sin embargo, si serán aplicables para la acreditación de la formación académica y de la experiencia general y específica requerida por la Entidad como requisito habilitante para el Personal Clave Evaluable.
- l. El Consultor es responsable de verificar que los profesionales propuestos que se vincularán al proyecto tengan la disponibilidad real para ejecutarlo, así como el cumplimiento de los requisitos de formación y experiencia.
- m. La Entidad se reserva el derecho de exigir el reemplazo o el retiro de cualquier Contratista o trabajador vinculado al contrato, sin que ello conlleve a mayores costos para la Entidad, detallando las razones que justifican la solicitud de dicho cambio, el cual deberá ser reemplazado por uno que cumpla con los requisitos establecidos para tal cargo.
- n. En caso de presentarse experiencias simultáneas en tiempo por parte del personal presentado por el Consultor, respecto de cada uno de ellos solamente se aceptará una de éstas como acreditación de la específica para la evaluación de la hoja de vida.

- o. En el evento que, en las certificaciones suministradas para la acreditación de la experiencia del personal no incluya el día, pero sí el mes y el año para efectos de la evaluación, la Entidad aplicara las siguientes reglas:
 - Si en la fecha de inicio de la certificación no se incluye el día, pero sí el mes y el año, para efectos de la evaluación se tomará el último día hábil del mes indicado en el documento.
 - Si en la fecha de terminación de la certificación no se incluye el día, pero sí el mes y el año, para efectos de la evaluación se tomará el primer día hábil del mes indicado en el documento.
- p. En caso de que un título de postgrado no coincida con la denominación indicada en presente Anexo Técnico, pero por su contenido y nivel de profundidad se ajuste a los requerimientos del perfil solicitado, la Entidad podrá solicitar al Consultor presentar la información que considere necesaria para demostrar la idoneidad del profesional.
- q. El Consultor está obligado a emplear en la ejecución del contrato, el personal con las especificaciones solicitadas. Dicho personal no podrá ser reemplazado durante la ejecución del contrato salvo situaciones excepcionales avaladas por la Entidad, evento en el cual el Consultor deberá presentar, para ser evaluada y aprobada por la Entidad, la hoja de vida del nuevo profesional propuesto, con los documentos soporte respectivos; el profesional debe cumplir con el perfil mínimo exigido en el presente Anexo, o acreditar un perfil superior.

4.1. PERFILES

4.1.1. ROLES EQUIPO MÍNIMO DE TRABAJO

A continuación, se describen los roles y responsabilidades del equipo mínimo de trabajo exigido para la ejecución del proyecto de acuerdo con las características técnicas del objeto contractual. El equipo deberá estar conformado por profesionales, técnicos y auxiliares con experiencia comprobada y competencias específicas según su rol, quienes tendrán a su cargo el desarrollo de las actividades previstas y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

Cada uno de los perfiles aquí descritos deberá ser provisto por el Consultor, quien será responsable de garantizar su idoneidad, disponibilidad y continuidad durante toda la vigencia del proyecto.

PERSONAL PROFESIONAL DE DIRECCIÓN Y COORDINACIÓN

Director Técnico del Proyecto

- Será el responsable de la dirección integral del PROYECTO, definiendo las estrategias generales para la planeación, organización y ejecución coordinada de todas las actividades, de acuerdo con los objetivos establecidos.
- Actuará como enlace directo y eficiente entre el FPVB y el personal técnico y operativo del PROYECTO.
- Verificar, coordinar y hacer seguimiento al desarrollo de las actividades contenidas en los documentos que hacen parte integral del PROYECTO, desde su inicio hasta el recibo final a satisfacción, garantizando que se cumplan los términos técnicos, legales, contractuales y financieros establecidos.
- Será responsable de la gestión, revisión y presentación de las cuentas de cobro, soportes y demás documentos necesarios para el trámite de pagos, conforme a los procedimientos establecidos en el PROYECTO.
- Tener conocimiento completo, detallado y comprender integralmente toda la documentación que conforma el PROYECTO, anexos técnicos, y demás documentos que definen el alcance, obligaciones y condiciones del objeto contractual.
- Atenderá oportunamente los aspectos derivados de la ejecución del PROYECTO, así como todas las observaciones, solicitudes e instrucciones formuladas por el FPVB en relación con el cumplimiento del objeto contractual.

- Estar atento a solucionar cualquier inconveniente surgido por la ejecución de las actividades del PROYECTO.
- Evaluar las sugerencias, reclamaciones y consultas de los contratistas sobre aspectos técnicos y resolverlas oportunamente.
- Elaborar de ser necesario, los análisis y propuestas de modificación a los documentos del PROYECTO.
- Dirigir, coordinar y supervisar al equipo de trabajo, con el fin de garantizar el cumplimiento de sus responsabilidades y contribuir al desarrollo eficiente y exitoso del PROYECTO,
- Revisar, validar y aprobar los informes, asegurando su calidad, veracidad, oportunidad y concordancia con el objeto y alcance del PROYECTO.
- Atender y solucionar dentro del alcance y funciones, las sugerencias, reclamaciones y consultas hechas por el FPVB.
- Proyectar respuesta a los oficios presentados o a las preguntas formuladas por los organismos de control del Estado.
- Estará atento a identificar y gestionar cualquier inconveniente o eventualidad que se presente durante la ejecución del PROYECTO, proponiendo soluciones técnicas y administrativas oportunas para garantizar la continuidad del proyecto.
- Dar instrucciones pertinentes a los profesionales, expertos y técnicos del PROYECTO.
- Estar presente en las reuniones o comités que plantee el FPVB y suscribir las actas contractuales.
- Será el representante principal ante las autoridades, comunidades, entidades territoriales y demás actores involucrados en la ejecución del proyecto.
- Coordinar, cuando se requiera, acciones de socialización y relacionamiento con las comunidades beneficiarias, autoridades locales y actores relevantes del territorio, garantizando una adecuada comunicación sobre el desarrollo del proyecto, sus etapas y posibles afectaciones temporales.
- Demás actividades que se relacionen con su rol y que sean solicitadas por el supervisor del PROYECTO.

Coordinador Técnico del Proyecto

- Deberá tener el conocimiento completo, detallado y comprender integralmente toda la documentación que define el alcance, obligaciones y condiciones del objeto contractual.
- Informar de manera oportuna al Director Técnico sobre atrasos evidenciados, en caso de requerirse, elaborar los informes correspondientes para documentar el estado de avance y las acciones correctivas.
- Elaborar planes de contingencia, en caso de ser requerido, para dar cumplimiento a las programaciones establecidas.
- Verificar la disposición de los elementos, medidas y protocolos necesarios para mitigar los impactos generados por la ejecución de los trabajos objeto del proyecto.
- Coordinar la elaboración, revisión y entrega de informes, tanto periódicos como específicos, incluyendo el informe mensual y los requeridos por el FPVB.
- Programar, asistir y participar en las reuniones de seguimiento, comités y demás espacios definidos contractualmente o convocados por el FPVB.
- Recibir y dar solución a los requerimientos solicitados por el FPVB en cuanto a problemas o necesidades que se presenten en la ejecución del proyecto.
- Elaborar, de ser necesario, junto con el equipo técnico, los documentos de viabilidad para: modificaciones, adiciones o prórroga del proyecto.
- Gestionar y revisar la documentación necesaria para el pago, en los cortes mensuales y las solicitudes de desembolso, de acuerdo con las fechas estipuladas por el FPVB para tal fin.
- Coordinar de manera efectiva y mantener comunicación permanente con el equipo técnico, operativo y auxiliar a su cargo, con el fin de garantizar el desarrollo oportuno, eficiente y articulado de las actividades contempladas en el proyecto.
- Apoyar las actividades y funciones propias del proyecto, siguiendo las directrices

- impartidas por el Director Técnico, y/o el supervisor delegado por el FPVB.
- Revisar, organizar y avalar los documentos que conforman el archivo físico del proyecto garantizando que estos se encuentren completos, debidamente foliados, firmados y cumplan con los requisitos legales y contractuales exigidos para cada fase del proyecto (inicio, ejecución, terminación y liquidación).
- Realizar todas las actividades y gestiones necesarias para la liquidación del proyecto, incluyendo la verificación del cumplimiento de obligaciones contractuales, elaboración de actas de terminación y de liquidación, revisión de saldos financieros, documentación soporte, y coordinación con el FPVB para suscribir la liquidación dentro de los plazos establecidos por la ley.
- Revisar el contenido de las actas suscritas, los compromisos y realizar seguimiento al cumplimiento de los mismos.
- Controlar el avance del proyecto, de acuerdo con las especificaciones técnicas y su cronograma, de acuerdo a los requerimientos establecidos.
- Aportar la información necesaria para dar respuesta a los oficios de la comunidad, el FPVB y los entes de control.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el supervisor del proyecto.
- Planear, programar, organizar, gestionar, priorizar y dirigir las diferentes actividades tendientes a cumplir el objeto contractual, en armonía estricta con las especificaciones técnicas, administrativas, financieras y jurídicas establecidas conjuntamente con el FPVB.
- Dirigir y hacer seguimiento a las actividades propias del desempeño del personal vinculado a la ejecución del contrato, en el marco de las directrices impartidas por el FPVB.
- Coordinar el desarrollo de las actividades de campo para los productos contemplados en el proyecto.
- Liderar e impartir al equipo técnico los lineamientos internos requeridos para la elaboración de los informes de avance e informes finales, así como la organización de los soportes, para asegurar la coherencia entre la información técnica interdisciplinaria generada en los productos contemplados en el proyecto y cumplir con lo establecido entre el contratista y el FPVB, en relación a la calidad de los productos.
- Elaborar informes de avance y finales que den cuenta de la ejecución del contrato, en términos administrativos, jurídicos, financieros, técnicos y logísticos.
- Gestionar el presupuesto del contrato, asegurando que se utilicen los recursos de manera eficiente y dentro de los límites establecidos.
- Participar en las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según se requiera.
- Liderar junto con el profesional de gestión social y de común acuerdo con la supervisión y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible la planificación, diseño e implementación y seguimiento de la estrategia de acercamiento con actores clave del territorio que viabilice el desarrollo de los estudios técnicos contemplados en el proyecto.
- Gestionar el transporte del personal y de equipos, herramientas, insumos o material requerido para la correcta ejecución del contrato incluyendo la coordinación de los diferentes transportes multimodales que sean requeridos para la ejecución del contrato.
- Asegurar que la documentación relacionada con la ejecución del contrato esté debidamente custodiada, organizada, actualizada y correctamente archivada. Esto incluye planos, informes, registros de personal y de actividades, entre otros.
- Gestionar y consolidar los documentos a que haya lugar (*técnicos, jurídicos, administrativos y financieros*) para el cierre del contrato, con el debido cumplimiento de la entrega de productos y ejecución de actividades de las obligaciones.

PERSONAL PROFESIONAL, TÉCNICO Y ADMINISTRATIVO

Tendrán como funciones mínimas las siguientes:

- Tener conocimiento completo, detallado y comprender integralmente toda la

documentación que conforma el proyecto incluido los TDR, anexos técnicos, subanexos y demás documentos que definen el alcance, obligaciones y condiciones del objeto contractual.

- Apoyar técnica y oportunamente al Director Técnico del Proyecto y al Coordinador del Proyecto en el desarrollo y cumplimiento de los objetivos del proyecto, en lo correspondiente a su área de conocimiento.
- Participar en la revisión y seguimiento de los estudios, informes, cronogramas, presupuestos, y demás documentos técnicos y/o legales, conforme a los lineamientos del proyecto, y en concordancia con su especialidad profesional.
- Asegurar el cumplimiento de la normativa técnica, legal y ambiental vigente, así como de los estándares de calidad y seguridad exigidos por el FPVB y las autoridades competentes, en lo que le corresponda por su área.
- Asistir a reuniones de seguimiento, mesas técnicas, comités y demás espacios de coordinación cuando sea requerido por el Director Técnico del Proyecto y al Coordinador del Proyecto y/o la supervisión delegada por el FPVB.
- Apoyar en la definición de soluciones técnicas, sociales o de otra índole que se presenten durante la ejecución del proyecto, formulando propuestas viables que respondan a criterios de carácter técnico, normativo, jurídica, financiero, ambiental y social, según corresponda de acuerdo a su área.
- Apoyar en la elaboración, revisión y consolidación de informes, actas, memorandos y demás documentos requeridos para respaldar las decisiones adoptadas por los profesionales, así como para reportar el avance técnico y administrativo del proyecto.
- Realizar el seguimiento y verificación de las acciones de gestión social, asegurando su alineación con la normatividad vigente, el enfoque diferencial, cultural y de derechos humanos, y los lineamientos contractuales, de acuerdo con su especialidad.
- Participar en espacios de articulación con las comunidades, autoridades y demás actores sociales, cuando sea requerido por el Director Técnico del Proyecto y/o el FPVB, de acuerdo con su especialidad.
- Coordinar, en el marco de su especialidad, con los demás profesionales del equipo y con la supervisión del proyecto, con el fin de asegurar la integralidad, coherencia y oportunidad de los entregables del proyecto, evitando duplicidades, contradicciones o interferencias en el seguimiento técnico del proyecto.
- Velar por la actualización permanente y organizada de la información técnica y documental correspondiente a su especialidad, asegurando la trazabilidad y la adecuada gestión del conocimiento durante la ejecución del proyecto,
- Definir y comunicar, en el marco de sus competencias y especialidad, las directrices técnicas necesarias para el cumplimiento de las obligaciones durante la ejecución del proyecto velando porque se ajusten a los criterios normativos, contractuales y de calidad establecidos.
- Brindar soporte técnico y especializado en todos los aspectos económicos y financieros que incidan en la planeación, ejecución, seguimiento y cierre del proyecto, garantizando el cumplimiento de los lineamientos contractuales, normativos y presupuestales aplicables.
- Realizar en el marco de sus competencias el seguimiento y control del presupuesto del proyecto, verificando la adecuada distribución y utilización de los recursos asignados, y respaldando técnicamente la elaboración de los informes financieros requeridos por el FPVB.
- Apoyar en la atención oportuna de los requerimientos formulados por el FPVB, Entidades de control y demás autoridades competentes, asegurando el cumplimiento de la normatividad fiscal, contable y contractual vigente.
- Asumir todas aquellas funciones que, en el marco de su formación y experiencia profesional, sean necesarias para garantizar el cumplimiento del objeto contractual y del alcance técnico definido en los TDR, anexos y demás documentos del proyecto.
- Elaborar los informes desde el componente de su especialidad, asegurando la coherencia técnica, el cumplimiento de los lineamientos contractuales y la veracidad de la información reportada.

- Emitir conceptos técnicos y realizar análisis especializados sobre los aspectos que sean requeridos para la adecuada ejecución del proyecto garantizando la calidad técnica de los productos y actividades requeridas.
- Aportar insumos técnicos y especializados, en el marco de su competencia, para la elaboración de respuestas a los oficios y requerimientos de la comunidad, el FPVB y los entes de control, asegurando coherencia técnica, normativa y contractual en las respuestas.
- Participar activamente en las reuniones o comités previstos en los documentos contractuales, convocados por el Director técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto, así como aquellos convocados por el FPVB, aportando desde su especialidad al seguimiento técnico, administrativo y social del proyecto.
- Demás actividades relacionadas con su perfil profesional y competencia, que sean requeridas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional Jurídico

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Apoyar el seguimiento, derivado de los compromisos establecidos en la documentación que conforma el proyecto, incluidos los TDR, anexos técnicos, y demás documentos que definen el alcance, obligaciones y condiciones del objeto contractual, elaborando los documentos que le sean requeridos.
- Soportar en materia jurídica los aspectos relacionados con la ejecución del proyecto de acuerdo con los términos establecidos por las partes y por la ley., a través de la participación en los espacios o instancias necesarias y la elaboración de informes o documentos encomendados.
- Revisar y realizar el seguimiento a los requisitos de perfeccionamiento y ejecución del proyecto,
- Elaborar actas de inicio, suspensión, reinicio y demás actas relacionadas con la ejecución del proyecto, en los formatos que para cada caso disponga el FPVB.
- Apoyar jurídicamente con insumos o proyección de las respuestas a los diferentes requerimientos del proyecto en los términos de ley que aplique.
- Elaborar los documentos y realizar el impulso y actuaciones a que haya lugar en caso de presentarse y requerirse, apoyar al supervisor del proyecto, con los trámites requeridos para inicio de procesos sancionatorios por presunto incumplimiento parcial o total del proyecto.
- Apoyar jurídicamente la liquidación del proyecto.
- Asistir a reuniones o comités que plantee el FPVB o las definidas en los documentos del proyecto, o las reuniones de seguimiento al proyecto que defina el director técnico del proyecto y el Coordinador del Proyecto.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el director técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional Financiero y Contable

- Tener conocimiento completo y detallado de los TDR y anexos técnicos, y cualquier otro documento que hace parte del objeto contractual.
- Realizar el seguimiento y control presupuestal del proyecto.
- Presentar en el informe mensual donde se indique el seguimiento a la ejecución financiera y contable del proyecto. Deberá contener información referente a: valor ejecutado Vs programado, valores retenidos por garantía [si aplica], valor a pagar, valor acumulado ejecutado del Contrato valor pagado acumulado del proyecto, saldo del proyecto, por

ejecutar, saldo, fechas de radicación y fechas de pago, entre otros establecidos para el presente proyecto.

- Verificar las retenciones realizadas a cada pago presentado al FPVB (*en línea con las consideraciones establecidas para la forma de pago del proyecto*), de tal forma que se garantice que correspondan con la normatividad vigente. Cuando encuentre diferencias deberá solicitar al equipo financiero del FPVB, las aclaraciones respectivas y entregando los soportes de su solicitud. En este aspecto el FPVB deberá responder las solicitudes realizadas por el contratista, cuando éste reclame en respecto a la normatividad vigente.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en isotopía

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Realizar la capacitación de miembros de las comunidades para el muestreo mensual de agua meteórica con fines de análisis isotópico.
- Ensamblar e instalar los colectores de agua lluvia de bajo costo durante el desarrollo de las campañas de campo
- Establecer los puntos de muestreo de agua superficial en los que se realizarán las campañas de campo.
- Establecer la localización de los colectores de agua lluvia a instalar
- Coordinar las campañas de muestreo fisicoquímico e isotópico de aguas superficiales.
- Acompañar las campañas de muestreo fisicoquímicos de agua subterránea y superficial
- Realizar el control de calidad y análisis de los análisis isotópicos realizados en el marco del proyecto.
- Realizar la evaluación de las relaciones isotópicas en deuterio ($\delta^2\text{H}$) y oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}$) en las muestras de agua colectadas.
- Construir la línea meteórica local (LML) para el área de estudio del proyecto y analizar la relación existente entre agua superficial y subterránea con base en la información isotópica disponible
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las actividades realizadas
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional Geofísico

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Realizar el procesamiento de la información de magnetometría aerotransportada disponible para el área del páramo de Santurbán y la zona de reserva temporal (ZRT) en su costado occidental, incluyendo técnicas de reducción al polo, cálculo de derivadas parciales, Tilt Derivative y otras herramientas analíticas para la identificación de estructuras geológicas de interés.
- Realizar la interpretación de lineamientos magnéticos y construcción de un esquema estructural cualitativo para el área de estudio.
- Realizar un análisis comparativo entre los lineamientos magnéticos interpretados y la cartografía geológica existente con el fin de evaluar la correspondencia entre ambas fuentes de información.

- Generar capas geográficas y mapas de anomalía magnética de campo total (ACT), reducción al polo de la ACT, derivadas parciales y Tilt Derivative, entre otras, así como de los lineamientos y estructuras magnéticas interpretadas.
- Desarrollar la coordinación y seguimiento a la adquisición en campo de geofísica terrestre (tomografías eléctricas de resistividad y sondeos magnetotelúricos)
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las actividades realizadas
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área del proyecto según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Especialista en hidrogeología

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Coordinar el desarrollo de campañas de campo de inventario de puntos de aguas subterráneas, geología, geología estructural, muestreo fisicoquímico e isotópico, pruebas de infiltración
- Orientar la aplicación de la metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga de acuíferos y construcción del modelo hidrogeológico conceptual y numérico del área de estudio.
- Definir los criterios técnicos y asegurar la coherencia entre la información geológica, hidrogeoquímica, isotópica y geomática adquirida en campo
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de la implementación de la guía metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga, la interpretación de posibles patrones de flujo subterráneo con base en la información adquirida en campo, construcción de las versiones del modelo hidrogeológico conceptual y de los modelos numéricos de flujo y transporte de aguas subterráneas.
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesionales en hidrogeología

Tendrán como funciones mínimas las siguientes:

- Desarrollar visitas de campo para realizar el inventario de puntos de aguas subterráneas, tareas de reconocimiento geológico de unidades con potencial de almacenar y transmitir agua subterránea, levantamiento estructural enfocado al análisis de discontinuidades del macizo rocoso y pruebas de infiltración para los análisis a realizar a escala 1:100.000 y 1:25.000
- Recopilar y analizar información secundaria relacionada con la geología, hidrología e hidrogeología de la zona de estudio.
- Sistematizar base de datos con la información adquirida durante las labores de campo y aquella recopilada
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las campañas de campo desarrolladas y el análisis de la información recolectada, así como la verificación de información de zonas de recarga de acuíferos
- Acompañar las campañas de muestreo de aguas subterráneas para análisis fisicoquímicos

- e isotópicos
- Desarrollar e interpretar pruebas hidráulicas en captaciones o piezómetros para la determinación de parámetros hidráulicos de acuíferos.
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesionales en Geología estructural

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Desarrollar visitas de campo para realizar el levantamiento de información estructural en campo para la evaluación de la porosidad secundaria en rocas, tareas de reconocimiento geológico de unidades con potencial de almacenar y transmitir agua subterránea y apoyar el inventario de puntos de aguas subterráneas.
- Recopilar y analizar información secundaria relacionada con la geología y geología estructural de la zona de estudio.
- Sistematizar base de datos con la información adquirida de geología estructural durante las labores de campo y aquella recopilada.
- Integrar la información geológica (litológica y estructural) y geofísica adquirida en el marco del proyecto para modelar la geometría de las unidades y estructuras geológicas existentes en el subsuelo.
- Definir el modelo de evolución estructural, incluyendo la generación de secciones geológicas balanceadas.
- Integrar el modelo estructural del área de estudio con la información generada en el proyecto asociada al sistema de flujo subterráneo como insumo para el modelo numérico de flujo.
- Generar versiones intermedias del modelo geológico-geofísico conforme se adquiere información en el marco del proyecto, así como una versión final este.
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las campañas de campo desarrolladas y el análisis de la información recolectada
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las campañas de campo desarrolladas y el análisis de la información recolectada
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional de Suelos

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Desarrollar visitas de campo para realizar el levantamiento de información de suelos y pruebas de infiltración en el marco de la aplicación de la guía metodológica para la identificación de zonas de recarga de acuíferos
- Recopilar y analizar información secundaria relacionada con el componente suelo de la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga de acuíferos.
- Sistematizar base de datos con la información adquirida del componente suelos durante las labores de campo a escala 1:25.000 y aquella recopilada a escala 1:100.000

- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las campañas de campo desarrolladas y el análisis de la información recolectada
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional Hidroquímico

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Desarrollar visitas de campo para acompañar las campañas de muestreo de aguas subterráneas para análisis fisicoquímicos e isotópicos
- Recopilar y analizar información secundaria relacionada con hidroquímica de la zona de estudio.
- Realizar control de calidad a los resultados de laboratorio de las muestras tomadas
- Sistematizar base de datos con la información adquirida durante las labores de campo y aquella recopilada
- Realizar la interpretación de los datos químicos e isotópicos y su análisis con relación a la recarga, definición de flujos y comportamiento hidrogeoquímico en el contexto geológico regional
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las campañas de campo desarrolladas y el análisis de la información recolectada
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el director técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en modelación numérica de aguas subterráneas

- Definir, estructurar, implementar y documentar las versiones del modelo numérico de flujo y transporte, incluyendo la formulación de objetivos de modelación, selección y justificación del tipo de modelo, delimitación del dominio, discretización espacial, así como la definición de condiciones iniciales y de frontera, en coherencia con las versiones construidas del modelo hidrogeológico conceptual y la información disponible.
- Realizar la calibración (incluyendo estado estacionario de carga hidráulica) y validación de cada versión del modelo con base en datos observados e independientes, evaluando su desempeño mediante métricas estadísticas, así como desarrollar análisis de sensibilidad de parámetros e incorporar una evaluación explícita de incertidumbres y limitaciones del modelo.
- Desarrollar el modelo numérico final calibrado y validado, ejecutar simulaciones de escenarios (base, tendencial y extremos) que incluyan variaciones de recarga, extracción, presiones antrópicas e interacción con aguas superficiales, así como análisis de trayectorias de flujo mediante seguimiento de partículas.
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados obtenidos en el proceso de construcción de los modelos numéricos.
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el director

técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en Meteorología

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Recopilar, revisar, validar y estructurar las series hidrometeorológicas (precipitación, temperatura, humedad relativa, brillo solar y velocidad del viento) provenientes de fuentes oficiales (IDEAM, autoridades ambientales regionales) y no convencionales (CHIRPs, reanálisis de modelos de circulación global — GCMs, productos satelitales) requeridas para la implementación del modelo hidrológico en las cuencas priorizadas del Páramo de Santurbán y la ZRT.
- Realizar el análisis de consistencia, completitud y calidad de las series temporales hidrometeorológicas mediante métodos estadísticos y geoestadísticos, identificando y corrigiendo datos atípicos, vacíos de información y errores sistemáticos, conforme a los protocolos del IDEAM.
- Desarrollar los análisis climatológicos de la región, incluyendo la caracterización de la variabilidad espacio-temporal de la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración potencial y real, considerando los gradientes altitudinales y la heterogeneidad climática propias del ecosistema de páramo de Santurbán.
- Calcular y especializar variables climáticas derivadas (evapotranspiración potencial mediante métodos como Penman-Monteith, Thornthwaite u otros apropiados para ecosistemas altoandinos) como insumos fundamentales para la parametrización del modelo hidrológico semi-distribuido o distribuido a paso de tiempo mensual del Producto 2.4.1.
- Aplicar técnicas geoestadísticas (interpolación, kriging, entre otros) para la distribución espacial de las variables hidrometeorológicas sobre las Unidades de Análisis Hidrográfico (UAH) y/o celdas de modelación definidas, garantizando la coherencia espacial de los insumos climáticos del modelo.
- Relleno y extensión de series temporales utilizando métodos estadísticos validados (correlación, regresión, análisis de doble masa, entre otros) para garantizar la suficiencia de datos en el proceso de calibración y validación del modelo hidrológico.
- Analizar la influencia de los fenómenos de variabilidad climática (ENSO — El Niño, La Niña — y la Oscilación Decadal del Pacífico) sobre los regímenes de precipitación y temperatura en las cuencas priorizadas, identificando periodos húmedos, secos y de transición relevantes para la modelación hidrológica.
- Apoyar la definición y construcción de escenarios climáticos (años secos y húmedos extremos) para la simulación de escenarios de intervención en las cuencas (Tarea 6, Actividad 2.4.1), con base en proyecciones de modelos climáticos globales (Cuarta Comunicación de Cambio Climático del IDEAM) y regionales, en articulación con el profesional de hidrología.
- Caracterizar los regímenes de precipitación y temperatura que condicionan los procesos eco-hidrológicos del páramo (captura horizontal de niebla, condensación, transpiración de la vegetación paramuna), como insumo para la correcta representación de los almacenamientos y flujos hídricos en el modelo.
- Suministrar los insumos climáticos necesarios para la construcción del modelo de calidad del agua (Actividad 2.4.2), incluyendo series de precipitación, temperatura y eventos de lluvia representativos que condicionen el transporte y la dilución de contaminantes en las cuencas priorizadas.
- Elaborar los documentos técnicos, capítulos de informes y fichas metodológicas que correspondan al componente climatológico del Producto 2.4, asegurando la trazabilidad, reproducibilidad y rigurosidad técnica de los análisis realizados, conforme a los lineamientos del IDEAM y los estándares del proyecto.
- Participar activamente en las campañas de campo para la verificación y recolección de

información climática primaria, en articulación con el equipo técnico interdisciplinario del proyecto.

- Demás actividades relacionadas con su perfil profesional y competencia, que sean requeridas por el Director Técnico del Proyecto y el Coordinador del Proyecto para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en Gestión Social

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Planificar y apoyar el desarrollo de las jornadas de diálogo habilitantes, pedagógicas y de socialización del proyecto, integrando a actores externos.
- Planificar, diseñar y liderar la implementación y seguimiento de una estrategia de acercamiento con actores clave del territorio que viabilice el desarrollo de los estudios técnicos contemplados en el proyecto.
- Apoyar las visitas y entrevistas en campo con actores como parte del diagnóstico de las condiciones socioambientales para los municipios del área de estudio del proyecto y de la estrategia de acercamiento diseñada para el proyecto.
- Realizar el mapeo de actores incluyendo un análisis de intereses-influencia, que refleje sus necesidades y conocimientos (alrededor del ecosistema) al igual que la estrategia general de relacionamiento por grupos de actor según resultado del mapeo.
- Planificar y liderar la construcción de un diagnóstico de las condiciones socioambientales para los municipios del área de estudio del proyecto.
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de la implementación de la estrategia de acercamiento con actores clave del territorio.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en hidrología

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Liderar técnicamente el desarrollo de la Actividad 2.4.1, incluyendo la recopilación, procesamiento y análisis de la información hidrometeorológica, geoespacial y edáfica requerida para la implementación del modelo hidrológico semi-distribuido o totalmente distribuido en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, conforme a los lineamientos del Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM.
- Realizar la caracterización fisiográfica detallada de las cuencas priorizadas, incluyendo la delimitación de cuencas y subcuencas hidrográficas, análisis morfométrico, determinación de gradientes altitudinales, identificación de unidades hidrográficas homogéneas y análisis de la red de drenaje, como base estructural del modelo hidrológico.
- Identificar, evaluar, seleccionar y justificar técnicamente el modelo matemático hidrológico a implementar (WEAP, HBV, TETIS, SWAT u otros desarrollos en lenguajes de programación como python), considerando su capacidad de representación de los procesos eco-hidrológicos del páramo (almacenamiento en suelos orgánicos, flujo base, escorrentía subsuperficial), su compatibilidad con los datos disponibles y su posibilidad de acoplamiento con módulos de calidad del agua.
- Desarrollar el procesamiento de la información hidrometeorológica, edáfica y de cobertura vegetal para la estructuración de las Unidades de Análisis Hidrográfico (UAH) o celdas de

modelación, garantizando la adecuada representación espacial de los procesos del ciclo hidrológico en el ecosistema paramuno.

- Diseñar, planificar y ejecutar las campañas de levantamiento de información primaria hidrológica, incluyendo el acompañamiento técnico en la realización de hasta 46 aforos de caudal líquido y hasta 46 aforos de carga sólida en puntos estratégicos de la red hídrica de las cuencas priorizadas, empleando métodos velocimétricos, volumétricos y gravimétricos según corresponda.
- Supervisar la toma de hasta 90 muestras de suelo para la determinación de propiedades físicas relevantes para la modelación hidrológica (textura, densidad aparente, contenido de materia orgánica, capacidad de campo, punto de marchitez), con especial énfasis en suelos orgánicos de páramo, y la realización de hasta 16 pruebas de infiltración y conductividad hidráulica *in situ* mediante infiltrómetros de doble anillo u otros métodos apropiados.
- Implementar operativamente el modelo hidrológico seleccionado, incluyendo la configuración de su estructura espacial y temporal, la asignación de parámetros físicos iniciales y el diseño de la estructura de simulación mensual del balance hídrico, conforme a las mejores prácticas metodológicas establecidas por el IDEAM, ANLA y/o academia y las recomendaciones técnicas para cuencas altoandinas.
- Ejecutar los procesos de calibración y validación del modelo hidrológico conforme al Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM, empleando métricas de desempeño estandarizadas ($NSE > 0.5$, $PBIAS < \pm 25\%$, $R^2 > 0.6$), garantizando la coherencia hidrológica del comportamiento simulado y la correcta separación entre periodos de calibración y validación.
- Realizar la caracterización de la demanda hídrica en las microcuencas priorizadas (Tarea 7, Actividad 2.4.1), identificando, clasificando y cuantificando los usuarios del recurso hídrico (doméstico, agrícola, pecuario, industrial, minero y ambiental) a partir de fuentes oficiales (RURH-SIRH, concesiones, PUEAA) e información de campo, e integrando indicadores de presión hídrica (relación oferta-demanda mensual, índices de estrés hídrico) al modelo hidrológico.
- Simular y analizar escenarios de intervención sobre las cuencas priorizadas (Tarea 6, Actividad 2.4.1), incluyendo escenarios de pérdida de cobertura vegetal, restauración ecológica mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) y escenarios climáticos alternativos, evaluando los impactos sobre indicadores hidrológicos clave (caudal medio mensual, flujo base, escorrentía máxima y mínima, balance hídrico total y caudal ambiental).
- Formular los lineamientos técnicos y estratégicos para el manejo sostenible de las microcuencas abastecedoras (Tarea 8, Actividad 2.4.1), integrando los resultados de la modelación hidrológica con los componentes de hidrogeología (Producto 2.3) y calidad del agua (Actividad 2.4.2), en un enfoque eco-hidrológico orientado al ordenamiento del territorio alrededor del agua.
- Proveer los insumos hidrológicos necesarios para la implementación del modelo de calidad del agua (Actividad 2.4.2), incluyendo series de caudales simulados, balance hídrico, hidrogramas de escorrentía y parámetros de transporte en cauce, asegurando la coherencia y articulación entre los dos componentes del Producto 2.4.
- Articular técnicamente el componente hidrológico superficial del Producto 2.4 con el componente hidrogeológico y geoquímico del Producto 2.3, garantizando una representación completa del ciclo hidrológico que incluya la interacción agua superficial-agua subterránea, los procesos de recarga de acuíferos y los flujos base generados en los páramos de Santurbán.

- Elaborar los documentos técnicos, memorias de cálculo, capítulos de informes y fichas metodológicas que correspondan al componente hidrológico del Producto 2.4, asegurando la trazabilidad, reproducibilidad y calidad técnica de los análisis, conforme a los estándares del IDEAM y los requerimientos del FPVB.
- Demás actividades relacionadas con su perfil profesional y competencia, que sean requeridas por el Director Técnico del Proyecto y el Coordinador del Proyecto para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en Calidad de Aguas

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Liderar técnicamente el desarrollo de la Actividad 2.4.2, incluyendo la recopilación, integración y análisis de los insumos técnicos generados en fases previas del proyecto (líneas base geoquímicas, isotópicas y radiométricas, modelos hidrogeológicos e hidrológicos) para la construcción del modelo integrado de calidad del agua en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán.
- Diseñar y organizar una base de datos georreferenciada unificada de calidad del agua, que consolide datos secundarios (líneas base del proyecto, información de autoridades ambientales regionales, SIRH) y primarios recolectados en campo, normalizando unidades, sistemas de coordenadas y formatos para facilitar su incorporación al modelo de calidad.
- Diseñar, planificar y ejecutar la campaña de levantamiento de información primaria de calidad del agua, incluyendo el monitoreo de parámetros fisicoquímicos básicos (oxígeno disuelto — OD, demanda bioquímica de oxígeno — DBO₅, pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y sólidos suspendidos totales — SST) en puntos estratégicos de las microcuencas abastecedoras priorizadas, con representación tanto de zonas con influencia antrópica directa (minería, agricultura) como de áreas de referencia y en articulación con el profesional de hidrología.
- Supervisar y analizar los resultados del componente hidrobiológico incorporado en la campaña de campo, específicamente la caracterización de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua, bajo protocolos nacionales estandarizados (BMWP/Col, ABI u otros validados para ecosistemas altoandinos colombianos).
- Construir el modelo conceptual del sistema hidrológico-químico de las cuencas priorizadas, integrando los hallazgos de las líneas base (procedencia isotópica del agua, presencia de minerales trazadores naturales, flujos subterráneos identificados en los modelos hidrogeológicos), como fundamento para la implementación del modelo numérico de calidad del agua en articulación con el componente hidrogeológico.
- Seleccionar, justificar e implementar el modelo numérico computacional de calidad del agua más adecuado para las cuencas de Santurbán (SWAT+, CE-QUAL-W2, QUAL2K/QUAL2Kw, HEC-RAS con módulo de calidad, u otros equivalentes), considerando la capacidad del software para representar las variables de interés (metales pesados, nutrientes, OD, DBO, temperatura), la disponibilidad de datos de calibración, la escala espacial y temporal requerida, los requerimientos computacionales y la aceptación técnica de las herramientas a nivel nacional.
- Caracterizar las fuentes de contaminación puntual y difusa en las microcuencas priorizadas, identificando y cuantificando: efluentes de minería aurífera legal e ilegal (con énfasis en As, Hg, Pb, Cd y Cr), aportes de actividades agropecuarias (nutrientes N y P, sedimentos),

vertimientos de asentamientos urbanos y rurales (DBO, coliformes), y otras presiones antrópicas relevantes para la configuración del modelo de calidad.

- Implementar el modelo de calidad del agua en las escalas espaciales y temporales adecuadas (nivel de microcuencas prioritarias con resolución suficiente para identificar fuentes de contaminación localizadas, a paso de tiempo mensual durante varios años hidrológicos representativos), asegurando el acoplamiento coherente del componente de calidad con el modelo hidrológico superficial (Actividad 2.4.1) y el modelo hidrogeológico (Producto 2.3).
- Ejecutar los procesos de calibración y validación del modelo de calidad del agua, contrastando los resultados simulados con los datos observados en campo y en las líneas base del proyecto, y evaluando el desempeño del modelo mediante indicadores estadísticos apropiados para variables de calidad.
- Realizar el análisis exploratorio y diagnóstico de la calidad del agua en las cuencas priorizadas, incluyendo la elaboración de mapas temáticos de distribución espacial de variables de calidad (pH, conductividad, turbidez, metales pesados, sólidos suspendidos), la evaluación de tendencias temporales (comparación entre campañas secas y húmedas, análisis multianual), y la identificación de evidencias de drenaje ácido de mina (DAM) mediante análisis de pH, sulfatos y conductividad.
- Comparar los resultados del modelo de calidad del agua con los estándares ambientales y normativos vigentes en Colombia (Resolución 2115 de 2007 para agua potable, Resolución 631 de 2015 y Decreto 1076 de 2015 para vertimientos, criterios de calidad para uso y aprovechamiento del recurso hídrico), identificando tramos o periodos críticos en los que los parámetros superan los límites permisibles y cuantificando los riesgos asociados para el abastecimiento y la biodiversidad acuática.
- Simular escenarios de calidad del agua bajo diferentes condiciones de uso del suelo, variabilidad climática y cargas contaminantes (escenarios de mejora por reducción de presiones antrópicas, escenarios de deterioro por incremento de actividades mineras o agropecuarias, escenarios de cambio climático), generando resultados en forma de mapas, series temporales y estadísticos comparativos que orienten la toma de decisiones de política pública para Santurbán.
- Proveer los insumos de calidad del agua necesarios para la formulación de los lineamientos para el manejo sostenible de microcuencas abastecedoras (Tarea 8, Actividad 2.4.1), incluyendo la identificación de zonas de alta sensibilidad ecológica, tramos con mayor carga contaminante, áreas prioritarias para restauración y criterios de calidad que deben incorporarse en los instrumentos de planificación ambiental (POMCA, PORH, Planes de Manejo Ambiental).
- Elaborar el Informe de Análisis Preliminar de Calidad del Agua y los capítulos técnicos correspondientes al Producto 2.4.2, incluyendo la base de datos compilada, los mapas temáticos, los resultados del análisis diagnóstico, la documentación del modelo de calidad (supuestos, parámetros, alcances y limitaciones), y las recomendaciones de manejo, conforme a los estándares del IDEAM y los requerimientos técnicos del FPVB.
- Articular técnicamente los resultados del modelo de calidad del agua con los componentes hidrológico (Actividad 2.4.1) e hidrogeológico (Producto 2.3), garantizando una visión integrada y ecosistémica del sistema hídrico del Páramo de Santurbán que soporte el ordenamiento del territorio alrededor del agua.
- Evaluar los impactos acumulativos y sinérgicos sobre la calidad del recurso hídrico superficial en las cuencas priorizadas, analizando la interacción entre las presiones antrópicas concurrentes (minería aurífera legal e ilegal, actividades agropecuarias,

expansión de infraestructura y asentamientos), los procesos naturales de la cuenca (autodepuración, dilución, transporte de sedimentos, lixiviación geoquímica natural) y la variabilidad hidroclimatológica estacional, con el fin de determinar la carga contaminante acumulada en los tramos fluviales clave, identificar umbrales críticos de afectación sobre los ecosistemas acuáticos y los sistemas de abastecimiento, y generar evidencia técnica para la priorización de acciones de manejo y control en el marco de los instrumentos de ordenamiento ambiental aplicables a la ZRT Santurbán.

- Demás actividades relacionadas con su perfil profesional y competencia, que sean requeridas por el Director Técnico del Proyecto y el Coordinador del Proyecto para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional social apoyo

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Apoyar e implementar el desarrollo de las jornadas de diálogo habilitantes, pedagógicas y de socialización del proyecto
- Realizar visitas y entrevistas en campo con actores como parte del diagnóstico de las condiciones sociambientales para los municipios del área de estudio del proyecto y de la estrategia de acercamiento diseñada para el proyecto.
- Apoyar la planificación, implementación y seguimiento de una estrategia de acercamiento con actores clave del territorio que viabilice el desarrollo de los estudios técnicos contemplados en el proyecto.
- Apoyar en la construcción del mapeo de actores incluyendo un análisis de intereses-influencia, necesidades y conocimientos (alrededor del ecosistema) y la estrategia de relacionamiento por grupos de actor según resultado del mapeo.
- Apoyar la construcción de un diagnóstico de las condiciones socioambientales para los municipios del área de estudio del proyecto.
- Elaborar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Especialista en Sistemas de Información Geográfica - SIG

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Liderar el análisis multitemporal de coberturas de la tierra de los últimos años a escala 1:25.000.
- Dirigir la detección de cambios, el cálculo de métricas espaciales y la evaluación de transformaciones en ecosistemas de alta montaña.
- Garantizar la interoperabilidad de la información con el Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG) del Servicio Geológico Colombiano.
- Consolidar la Geodatabase (GDB) "AnexoCartografico" bajo los estándares del IGAC y la norma NTC-4611.
- Elaborar y presentar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual

Profesionales SIG Analistas

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Implementar técnicas de Inteligencia Artificial (machine learning, deep learning) para la identificación y clasificación de coberturas.
- Realizar el procesamiento digital de imágenes satelitales (Landsat y Sentinel) aplicando la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia.
- Ejecutar el análisis multitemporal detallado para identificar patrones de presión antrópica.
- Desarrollar visitas de campo para realizar el levantamiento de información de coberturas en el marco de la aplicación de la guía metodológica para la identificación de zonas de recarga de acuíferos
- Sistematizar base de datos con la información adquirida del componente de coberturas durante las labores de campo y aquella recopilada en el marco de la aplicación de la guía metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga en el área de estudio.
- Apoyar las jornadas habilitantes, pedagógicas o de socialización del proyecto con las comunidades del área de estudio según le sea requerido en el marco de su experticia técnica.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional SIG Apoyo

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Realizar la estandarización de proyecciones y la depuración de insumos geográficos.
- Preparar las capas raster y vectoriales necesarias para los modelos de conectividad y huella humana.
- Brindar soporte técnico en el manejo y organización de datos espaciales durante toda la ejecución del producto.
- Caracterizar espacialmente variables tales como litología, cobertura vegetal, humedad del suelo, estructura del terreno y condiciones geomorfológicas y aquellas adquiridas en campo para el análisis de la recarga potencial de acuíferos.
- Realizar operaciones espaciales de las variables consideradas en la guía metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga
- Generar mapas temáticos con la distribución espacial de las variables de la metodología y los resultados de la delimitación de las zonas potenciales de recarga
- Administrar y organizar las bases de datos espaciales del proyecto.
- Realizar la preparación de capas raster y vector para el cálculo de métricas ecológicas y asociadas a hidrogeología.
- Apoyar la depuración sistemática de datos geográficos generados en las fases de campo.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Líder en estudios de vegetación

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Coordinar los inventarios forestales y el levantamiento de cobertura vegetal en las cuencas priorizadas.
- Liderar la generación de perfiles de vegetación e identificar especies endémicas o bajo categorías de amenaza.
- Evaluar los servicios ecosistémicos, especialmente la regulación hídrica y la captura de carbono.

- Definir la relación biótica entre el bosque y el páramo para asegurar la continuidad de procesos ecológicos.
- Elaborar y presentar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesionales de Campo en Bosque Altoandino

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Ejecutar los muestreos de vegetación natural en el gradiente altitudinal utilizando protocolos estandarizados (ej. metodología Gentry).
- Realizar el registro de parámetros de DAP (diámetro a la altura del pecho), altura, composición y estructura del bosque.
- Colectar muestras botánicas para su determinación taxonómica en herbario y realizar el registro fotográfico georreferenciado.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual

Líder del análisis e interpretación de conectividad

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Liderar la evaluación de la conectividad estructural y funcional entre parches de bosque y páramo.
- Realizar el análisis de fragmentación y modelación de corredores biológicos.
- Aplicar indicadores ecológicos para determinar la eficiencia del territorio en el mantenimiento del flujo genético.
- Elaborar y presentar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.
- Interpretar las clases de cobertura desde una perspectiva funcional y ecológica, más allá del simple uso del suelo.
- Apoyar el análisis espacial para identificar áreas de remanentes de bosque asociadas a la red hídrica.
- Contribuir al cálculo de métricas de paisaje para caracterizar la heterogeneidad y continuidad del ecosistema.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional interprete análisis de Conectividad

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Realizar el análisis de fragmentación y modelación de corredores biológicos.
- Aplicar indicadores ecológicos para determinar la eficiencia del territorio en el mantenimiento del flujo genético.
- Elaborar y presentar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.

- Interpretar las clases de cobertura desde una perspectiva funcional y ecológica, más allá del simple uso del suelo.
- Apoyar el análisis espacial para identificar áreas de remanentes de bosque asociadas a la red hídrica.
- Contribuir al cálculo de métricas de paisaje para caracterizar la heterogeneidad y continuidad del ecosistema.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Líder del Análisis de Huella Humana

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Liderar el diseño y construcción del Índice de Huella Espacial Humana para la ZRT Santurbán.
- Integrar variables de infraestructura, minería, agricultura y conflictos socioambientales en un modelo espacial unificado.
- Supervisar la evaluación de la vulnerabilidad del ecosistema frente a la megaminería y el cambio climático.
- Elaborar y presentar informes de avance y finales con los resultados de las actividades desarrolladas.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional en análisis de huella humana

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Operar herramientas de modelamiento como TerrSet (Land Change Modeler) para proyectar escenarios de pérdida de bosque durante los años analizados.
- Calibrar los modelos de presión antrópica mediante jornadas de campo y validación con actores locales.
- Generar los escenarios tendenciales (sin incremento, conservador y elevado) de transformación del paisaje.

Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Profesional Social para Huella Humana

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Aportar información contextual sobre las dinámicas sociales y formas de ocupación que generan presión sobre el bosque.
- Apoyar los ejercicios de validación en campo de los modelos de huella humana con las comunidades locales.
- Realizar el acompañamiento a procesos relacionados con la conflictividad socioambiental identificada en el expediente judicial de la Acción Popular.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

Auxiliar Administrativo

Tendrá como funciones mínimas las siguientes:

- Apoyar en la gestión documental, incluyendo radicación, archivo, control de versiones, digitalización, y seguimiento de la correspondencia emitida y recibida, garantizando su trazabilidad y adecuada organización.
- Brindar apoyo administrativo en la programación y seguimiento de reuniones y comités, así como en las solicitudes realizadas por la supervisión del proyecto o entidades de control.
- Apoyar la elaboración, revisión y consolidación de la facturación del proyecto incluyendo la recolección y validación de soportes requeridos (informes, actas, certificaciones), asegurando el cumplimiento de los requisitos establecidos en el proyecto y en la normatividad vigente.
- Apoyar al auxiliar de ingeniería y a los profesionales del equipo en la elaboración de informes de carácter administrativo, cuadros de control, listas de chequeo, consolidación de reportes y demás documentos de soporte requeridos para la gestión del proyecto.
- Apoyar tareas de logística, manejo de insumos y control administrativo, según las necesidades del equipo y los lineamientos del supervisor del proyecto.
- Ejecutar cualquier otra labor de carácter administrativo relacionada con su perfil, que le sea asignada por el Director Técnico y al Coordinador del Proyecto, en el marco de sus competencias.
- Demás actividades que se relacionen con su cargo y que sean solicitadas por el Director Técnico del proyecto y al Coordinador del Proyecto o supervisor del Contrato, para el adecuado cumplimiento del objeto contractual.

5. RECURSOS PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS

La ejecución del Contrato requiere la aportación y coordinación de recursos humanos y físicos por parte del consultor, el cual deberá en todo momento contar con los recursos humanos y físicos en cantidad, capacidad y disponibilidad suficientes para dar cumplimiento a sus obligaciones contractuales.

En caso de que el FVB considere que estos recursos humanos y físicos son insuficientes para cumplir con estas obligaciones, ésta podrá solicitar al consultor, el reemplazo, incremento o complementación del recurso, sin que esto le genere al consultor, derecho de solicitar remuneración adicional estos conceptos por parte del consultor.

El contratista para el desarrollo del proyecto deberá contar con todos los recursos físicos y técnicos necesarios para cumplir a cabalidad con el objeto contractual. Se mencionan a continuación los recursos mínimos exigidos, sin que su contenido se limite únicamente a la oficina, vehículos, equipos de comunicación y cómputo, etc.

5.1. Recursos Físicos

El Consultor, deberá proveer los recursos físicos necesarios para desarrollar sus obligaciones contractuales. Estos recursos deben contemplar como mínimo, pero sin limitarse a los siguientes aspectos:

- **Oficinas, instalaciones y equipos generales y especializados:** Será obligación del Consultor, por cuenta propia y/o alquiler, conseguir y mantener en operación las oficinas, instalaciones y equipos generales y especializados que se requieran para el cumplimiento de las funciones, obligaciones y el alcance de la Consultoría.
- **Equipos de cómputo y equipos para apoyo a la gestión administrativa:** El Consultor, deberá proveer los equipos de cómputo de última generación necesarios para la dotación de las oficinas, incluyendo computadores de escritorio (*que cumplan con los requisitos de*

software y hardware necesarios para el desarrollo de la Consultoría), computadores portátiles, servidores, scanners, fotocopiadoras, impresoras, cámaras fotográficas y de video de última tecnología, equipo de comunicaciones, botas y equipo de seguridad industrial para visitas de campo e Internet inalámbrico.

- **Equipos de comunicaciones:** El Consultor deberá proveer los equipos de comunicaciones necesarios para la transmisión de voz y datos en tiempo real entre los profesionales integrantes del equipo de trabajo que lo requiera y el FPVB.
- Se deberá garantizar todo el tiempo la comunicación móvil el equipo de coordinación y seguimiento de Proyecto del Consultor.
- **Desplazamientos aéreos y/o terrestres de acuerdo con las necesidades de la consultoría para cumplir con sus obligaciones contractuales:** El Consultor, deberá contar con los recursos técnicos para el desplazamiento de su personal a la zona del Proyecto.
- **Vehículos:** Alquiler o adquisición de los vehículos que la Consultoría considere necesarios para cumplir con sus funciones y alcance de la consultoría.

5.2. EQUIPOS ESPECIALIZADOS

Para la ejecución eficiente del proyecto, es indispensable que el Consultor cuente con equipos especializados que le permitan la adquisición de información técnica en campo necesaria para elaborar los informes técnicos y demás actividades propias del proyecto. Razón por la cual, estos equipos deberán cumplir con las especificaciones técnicas mínimas necesarias para asegurar un funcionamiento óptimo y continuo, en concordancia con las exigencias técnicas y administrativas del proyecto, entre los cuales se encuentran como mínimo los siguientes mencionados, sin limitarse a los que se requieran en el marco de la ejecución del proyecto:

- **Sonda multiparámetro:**

Equipo portátil o de campo diseñado para la medición simultánea de múltiples parámetros fisicoquímicos *in-situ* en cuerpos de agua superficiales o subterráneos con las siguientes características mínimas:

- Sensores integrados o intercambiables para la medición de al menos conductividad eléctrica, pH, temperatura, oxígeno disuelto y potencial de óxido-reducción (ORP).
- Unidad de lectura digital que facilita la visualización en tiempo real de los datos, así como el almacenamiento y transferencia de información.
- Resistencia al agua y polvo (mínimo IP67 o equivalente)
- Rangos de medición y exactitud: Conductividad eléctrica: 0 a 200 mS/cm; exactitud $\pm 1\%$ de la lectura \pm o $\pm 1 \mu\text{S/cm}$ lo que sea mayor, pH: 0 a 14 unidades; exactitud $\pm 0,01$ unidades de pH, Temperatura: -5 a 55 °C; exactitud $\pm 0,01$ °C; Oxígeno disuelto: 0 a 20 mg/L (o 0–200% de saturación); exactitud $\pm 0,01$ mg/L; Potencial óxido-reducción (ORP): -600 a +600 mV; exactitud ± 0.1 mV

- **Sonda de nivel (pozómetro):**

Instrumento de medición diseñado para determinar niveles de agua en pozos, piezómetros o perforaciones, con las siguientes características mínimas:

- Longitud total de cable de mínimo 100 metros.
- Sensor o electrodo ubicado en el extremo de una cinta graduada, que emite una señal (sonora y/o luminosa) al entrar en contacto con el agua, permitiendo identificar con precisión la profundidad del nivel piezométrico.
- Cinta resistente, graduada en unidades métricas, por lo menos centímetros, enrollada en un carrete portátil que facilita su transporte y operación en campo.

- Fabricación en materiales durables y resistentes a la humedad y a agentes químicos, siendo adecuado para aplicaciones en estudios hidrogeológicos, monitoreo de acuíferos y control de niveles en pozos de observación.
- Resolución de lectura de por lo menos 1 cm.

6. CONDICIONES DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

El Consultor deberá cumplir con las disposiciones y normativa sobre seguridad y salud en el trabajo, que haya expedido el Ministerio de Trabajo y demás Entidades, y tendrá especial cuidado en salvaguardar la integridad física de sus trabajadores y los ciudadanos en general.

El Consultor evaluará todos los riesgos laborales que puedan tener consecuencias nocivas y tomará las medidas de seguridad para el control permanente de factores de riesgo de todo el personal vinculado al proyecto, ya sea que laboren en la oficina o en campo. En tal sentido el Consultor deberá cumplir con los siguientes aspectos mínimos:

- Evaluación vigente de estándares mínimos (Resolución 312 de 2019) y Constancia de aplicación ante la ARL correspondiente, concepto de autorización por la ARL.
- Soporte de registro de autoevaluación de estándares mínimos ante el Ministerio de Trabajo
- Identificación de peligros y valoración de riesgos en seguridad y salud en el trabajo, con su plan de intervención o mitigación respectivo.
- Protocolos o procedimiento de trabajo seguro para las actividades de alto riesgo e impacto.
- Matriz de elementos de protección personal de acuerdo con los riesgos y actividades a desarrollar con sus respectivas fichas técnicas, registro de entrega, establecidos en el profesiograma del proyecto.
- Procedimiento de atención y respuesta ante emergencias.
- Inducciones y/o reinducciones en Seguridad y Salud en el trabajo.
- Exámenes médicos ocupacionales de los trabajadores y los riesgos a los que se encuentran expuestos.
- Certificados de afiliación a la Seguridad Social (EPS- AFP y ARL) acorde con los riesgos a los que se encuentran expuestos los trabajadores.
- Se tomarán las medidas de seguridad para el control permanente de factores de riesgo que puedan afectar la salud de los trabajadores, enfatizando en la mitigación adecuada del impacto.
- Adoptar todo lo indicado en la Resolución 4272 de diciembre 27 de 2021 del MINTRABAJO *“Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas”*. Sin limitación a otras normativas vigentes.

En consecuencia, el Consultor deberá cumplir estrictamente con todas las disposiciones legales vigentes en materia de seguridad y salud en el trabajo, con el fin de proteger la integridad física, mental y social del personal vinculado a la ejecución del proyecto.

En particular, el Consultor observará lo establecido en el Decreto 1072 de 2015 –que compila las normas del sector trabajo y reglamenta el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)–, la Resolución 0312 de 2019, que establece los estándares mínimos del SG-SST, así como todas aquellas normas complementarias, actualizadas o sustitutas que expidan el Ministerio del Trabajo, el Ministerio de Salud y Protección Social, u otras autoridades competentes.

7. COMITÉ TÉCNICO

Para los efectos relativos a la operación del proyecto, funcionará un Comité Técnico integrado por:

1. Directivo o delegado de la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico.
2. Directivo o delegado de la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos
3. Un (1) representante del contratista.
4. Director Ejecutivo del Fondo para la Vida y la Biodiversidad o su representante.

Cabe resaltar que a dicho comité pueden asistir los profesionales a que dé lugar según el tema a tocar, salvo que en aspecto decisorio sólo se tendrá en cuenta la votación de los integrantes descritos anteriormente.

El Comité tendrá como obligación adelantar las siguientes funciones:

1. Verificar la coherencia entre los objetivos del proyecto, el plan operativo y el cronograma del proyecto, así como los entregables del mismo.
2. Evaluar el progreso del proyecto en relación con el alcance, avance físico y financiero en concordancia con el tiempo de ejecución, para así direccionar la ruta operativa técnica para el cumplimiento del proyecto.
3. Identificar las posibles desviaciones o riesgos que puedan afectar el logro de los objetivos del proyecto.
4. Velar por la integridad técnica del proyecto en las decisiones que se adopten.
5. Tomar decisiones de carácter procedimental o de cualquier otra índole que se requieran para la adecuada marcha del proyecto de acuerdo con las recomendaciones del equipo de apoyo de las entidades vinculadas.
6. Dirimir las controversias técnicas que se presenten en el desarrollo del objeto del proyecto.
7. Comunicar al supervisor del proyecto las anomalías técnicas que puedan presentarse durante la ejecución del objeto del mismo.
8. Reunirse de manera mensual, o cuando se estime conveniente la toma de decisiones, referentes a la adecuada ejecución del proyecto, de manera presencial o virtual, esto para decidir, orientar, definir aspectos técnicos directamente relacionados con el desarrollo del objeto del proyecto.
9. Elaborar, aprobar y firmar las actas derivadas de las reuniones del Comité Técnico.
10. Verificar el cierre del proyecto de conformidad con los requisitos y estándares definidos.
11. Las demás que se originen en el desarrollo del proyecto

La secretaría técnica del Comité Técnico será ejercida por el Contratista, el cual realizará las citaciones y elaboración de actas y archivo de manera consecutiva y cronológica. Dentro de los diez (10) días hábiles siguientes de la reunión convocada, la Secretaría Técnica deberá enviar a los demás miembros del comité y los supervisores del proyecto, el acta correspondiente y demás documentos que se generen en el marco de cada sesión.

8. MANEJO DE INFORMES

Durante la ejecución del proyecto, el consultor deberá presentar, con la periodicidad establecida en los documentos contractuales, los informes que den cuenta de la gestión contractual, así como del avance de las actividades de acuerdo con la planeación del proyecto.

Estos informes deberán ser presentados en el formato, contenido y nivel de detalle que determine la supervisión delegada por el FPVB. Asimismo, cuando la supervisión lo considere necesario, el consultor deberá entregar informes adicionales, estadísticas y/o reportes específicos que permitan evidenciar el desarrollo del proyecto. En todos los casos, la información suministrada deberá ser veraz, completa y entregada de manera oportuna.

8.1. INFORMES MENSUALES

El Consultor entregará un informe mensual, donde se indicará: descripción y localización de las actividades que a nivel contractual se desarrollen en el marco del Proyecto, relacionadas con las actividades técnicas, administrativas, financieras y jurídicas, donde de relación clara del avance programado versus el ejecutado, y relación de todos y cada uno de los indicadores establecidos para el proyecto, un balance financiero y el estado de avance y cumplimiento de las actividades establecidas; igualmente, se deben incluir los anexos que soporten la información relacionada.

El informe mensual del consultor como mínimo deberá considerar:

8.1.1. Informe Básico

El informe deberá incluir un resumen claro y ordenado de las actividades relevantes ejecutadas, acompañado de tablas, gráficos e indicadores de cumplimiento y/o avances correspondientes a cada una de las actividades establecidas para dar cumplimiento al objeto contractual del proyecto, donde se evidencie el avance programado Vs el ejecutado, además de incluir como mínimo:

1. Deberá contener de manera concisa y precisa la información del proyecto, que permita conocer de forma fácil y rápida el estado y avance de los trabajos en referencia con lo programado.
2. **Estado y avance físico:** Describir de manera resumida las actividades realizadas en cada uno de los componentes del proyecto, para el periodo del informe.
3. **Estado y avance presupuestal:** Debe indicar valor del proyecto, pagos realizados, saldo, afectación al rubro presupuestal del FPVB, etc. Se debe indicar un resumen del balance financiero del proyecto, que permita establecer el avance de los recursos comprometidos y desembolsados por el FPVB, los cuales deben ser acorde con el avance físico y el porcentaje de desembolso entregado por el FPVB.
4. **Análisis de avance y estado del proyecto:** Relacionar avances de plazo de ejecución y de valores facturados a la fecha de corte del periodo del informe. Adicionalmente el análisis de cumplimiento de las actividades del proyecto en referencia a anexos técnicos del mismo.
5. Alertas y retos evidenciados en el periodo de ejecución del reporte del informe.
6. Avance del proyecto en términos de entregables y/o productos establecidos en el proyecto.
7. Registro fotográfico el cual debe ser rotulado con fecha de la toma de la evidencia.
8. Recomendaciones y conclusiones.

Para ello el consultor deberá tener en cuenta el Contenido Mínimo que se relaciona a continuación (*así como cualquier otra información, consideración o análisis que la supervisión considere conveniente o necesario*), no obstante, en caso de requerirse información adicional o específica, el FPVB podrá solicitarla de manera justificada, con el fin de contar con elementos suficientes para la toma de decisiones o para atender requerimientos de control, seguimiento o supervisión:

1. INTRODUCCIÓN

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

- Número de contrato
- Proceso de selección ## (cuando aplique)
- Objeto
- Contratista
- Identificación NIT.
- Supervisores designados por el FPVB
- Valor del Contrato/Convenio
- Valor de la adición No ## (cuando aplique)
- Fecha de suscripción del contrato
- Fecha de cumplimiento de los requisitos de ejecución
- Fecha de inicio del contrato
- Plazo de ejecución (cuando aplique)
- Prórroga No. ## (cuando aplique)
- Suspensión (cuando aplique)

- Fecha de terminación
- No. Póliza ##
- Fecha de aprobación de las pólizas (*si tiene prórrogas o adiciones indicar*)
- Compañía Aseguradora

3. DESCRIPCIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

Este apartado debe presentar de manera concreta, clara y comprensible el objeto y los límites de las obligaciones contractuales asumidas por el contratista, así como los objetivos, entregables y restricciones establecidas. Deberá incluir, como mínimo:

- Objeto general del contrato
 - Descripción literal del objeto según el texto contractual.
 - Interpretación técnica y operativa del objeto (alcance práctico del trabajo).
- Alcance de las actividades
 - Descripción general de las actividades a desarrollar y sus anexos técnicos.
 - Definición de los entregables y productos esperados, con referencia a los cronogramas aprobados.
 - Áreas geográficas, comunidades o dependencias beneficiarias (si aplica)
 - Recursos comprometidos (humanos, técnicos, logísticos).
 - Estándares, especificaciones o normativas que regulan la ejecución.
- Limitaciones y exclusiones
 - Actividades o responsabilidades expresamente excluidas del alcance contractual.
 - Condiciones que pueden afectar la ejecución (climáticas, legales, técnicas, logísticas, etc.)
- Relación con otros contratos o actores (cuando aplique)
 - Descripción de interdependencias con otros proyectos o contratos vigentes.
 - Coordinación con entidades externas o terceros involucrados.
- Cronograma de ejecución
 - Breve resumen de la programación general y las principales fases o hitos.
- Metas y resultados esperados
 - Indicadores de cumplimiento.
 - Beneficios esperados al finalizar la ejecución.

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

a. TÉCNICO

- Estadísticas del avance físico de los trabajos, acompañadas de gráficos, esquemas, tablas e ilustraciones.
- Registro fotográfico georreferenciado según las actividades ejecutadas en campo.
- Planes de contingencia elaborados por el consultor, incluyendo medidas preventivas y de mitigación ante posibles eventos que puedan afectar la ejecución del proyecto.
- Medidas correctivas implementadas por el consultor, en respuesta a observaciones realizadas por la supervisión o a situaciones detectadas durante la ejecución del proyecto.
- Relación de productos no conformes, identificando causas, responsables, acciones correctivas y estado de resolución de cada caso.
- Relación del avance físico de lo programado versus lo ejecutado en términos de objetivos, así como de productos y/o entregables.
- Recomendaciones, observaciones y conclusiones derivadas del análisis técnico, orientadas a mejorar la calidad, eficiencia y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

b. ADMINISTRATIVO

- Resumen de gestión administrativa realizada, señalando actividades realizadas, avances relevantes y situaciones especiales.
- Gestión documental realizada, que incluya, número de documentos radicados (emitidos y recibidos), detalle de archivos organizados, digitalizados y control de versiones, seguimiento de correspondencia enviada y recibida (interna y externa), listado de documentos relevantes tramitados o gestionados en el mes, entre otras.
- Soporte de reuniones y comités: programación, actas y seguimiento a compromisos.
- Estado del proceso de facturación mensual: Relación de documentos consolidados, informes, actas, certificaciones y observaciones.
- Cuadros, listas de chequeo y reportes administrativos elaborados o actualizados.
- Actividades logísticas y de apoyo al equipo: insumos, comunicaciones, trámites u otros.
- Relación de comunicaciones o trámites administrativos relevantes atendidos en el mes (solicitudes de la supervisión, oficios, requerimientos de control, etc.).
- Anexos y soportes, como actas, registros, cuadros de control, documentos de soporte de actividades administrativas.

c. FINANCIERO Y CONTABLE

- Ejecución financiera: valor programado versus ejecutado, valor pagado, saldo por ejecutar y valores retenidos.
- Avance en relación de los desembolsos realizados por el FPVB, programado versus ejecutado
- Relación de pagos: fechas de radicación y pago, con soportes.
- Seguimiento contable: registro de ingresos y egresos, conciliaciones y estado de cuenta del proyecto.
- Verificación de retenciones: detalle de impuestos y descuentos aplicados, con validación normativa.
- Informe de presuntos incumplimientos financieros o contables. (cuando aplique)
- Observaciones y recomendaciones para mejorar la gestión financiera del proyecto.
- Anexos: tablas, reportes y soportes contables o financieros.

d. JURÍDICO

- Resumen de actividades jurídicas realizadas, incluyendo actuaciones en gestión predial.
- Seguimiento a documentos contractuales: actas (*inicio, suspensión, reinicio*), modificaciones, adiciones o prórrogas elaboradas o en trámite.
- Verificación de requisitos legales: acta de inicio, vigencia de pólizas y cumplimiento de condiciones jurídicas.
- Apoyo en trámites o respuestas jurídicas: requerimientos atendidos, observaciones legales emitidas o acompañamiento a la supervisión.
- Informe sobre procesos sancionatorios: apoyo prestado en la documentación de presuntos incumplimientos (cuando aplique).
- Participación en reuniones y comités, con registro de asistencia y aportes realizados, conclusiones y observaciones.
- Respuestas u oficios generados, como parte de requerimientos propios de la ejecución del proyecto.
- Avance del proceso de liquidación contractual, si está en etapa final.
- Anexos: actas, conceptos, oficios u otros documentos jurídicos elaborados o revisados.

e. RELACIÓN DE ACTAS SUSCRITAS DURANTE EL PERIODO

Se deberá incluir un listado detallado de todas las actas suscritas en el marco del Contrato durante el periodo reportado, indicando como mínimo:

- Tipo de acta (inicio, avance, suspensión, reinicio, modificación, terminación, etc.)
- Número y fecha de suscripción.
- Partes que la suscriben.
- Breve descripción del objeto o motivo del acta.

Esta información permitirá verificar el desarrollo contractual y la trazabilidad de las decisiones y eventos relevantes ocurridos durante la ejecución del proyecto.

f. ANEXOS

Se deberán adjuntar los documentos de soporte y datos adquiridos durante las campañas de campo que complementan y respaldan la información presentada en el informe mensual del proyecto.

El consultor deberá tener en cuenta el contenido mínimo establecido en este documento, así como cualquier otra información, análisis o soporte que la supervisión considere pertinente o necesario. En caso de requerirse documentación adicional o específica, el FPVB podrá solicitarla de manera justificada con el fin de contar con elementos suficientes para la toma de decisiones o para atender requerimientos de control, seguimiento o auditoría.

Los anexos incluirán como mínimo, entre otros:

- Fichas técnicas, tablas y gráficas de avance físico.
- Registro fotográfico georreferenciado, actividades desarrolladas.
- Archivos geográficos o base de datos espacial con las mediciones realizadas en el marco de las labores de campo.
- Actas de reuniones, comités, talleres, visitas de campo y otras instancias de coordinación, espacios de socialización y validación participativa realizados con actores del territorio.
- Documentos administrativos (comunicaciones, listados, reportes, cuadros de control).
- Soportes contables y financieros (relaciones de pago, conciliaciones, estados de cuenta).
- Documentos jurídicos (actas, oficios, conceptos).
- Cualquier otro documento que respalde la gestión contractual en el periodo reportado.

Todos los documentos anexos deberán presentarse debidamente organizados, numerados y referenciados en el cuerpo del informe, asegurando su claridad, trazabilidad y facilidad de consulta.

8.1.2. INFORMES EXTRAORDINARIOS

Son todos aquellos informes que solicite el supervisor del proyecto, con el fin de obtener información puntual y/o adicional de las actividades ejecutadas. Este informe debe ser remitido dentro del plazo y de acuerdo con los lineamientos que establezca el FPVB.

Para atender este tipo de solicitudes, el consultor debe mantener actualizada la información referente a la ejecución de todos los componentes o etapas del proyecto

Adicionalmente, se atenderán todos los requerimientos de informes adicionales que puedan ser solicitados por el FPVB, de acuerdo con las labores en curso y en los siguientes términos: tres (3)

días hábiles para respuestas a requerimientos de tipo administrativo y cinco (5) días hábiles para respuestas a requerimientos en los aspectos técnicos, financieros, contables, legales, entre otros.

8.1.3. INFORME FINAL

De igual manera, al finalizar el proyecto, el consultor presentará un último informe donde se consolide la información técnica, administrativa, financiera, contable y jurídica relevante del proyecto, el cual contendrá entre otros la siguiente información mínima:

- a. Antecedentes y descripción general del proyecto. Deberá presentar las fichas del proyecto, tal como se indicó en los numerales anteriores.
- b. Desarrollo del proyecto y estadísticas del avance mensual de las actividades programadas y ejecutadas.
- c. Relación de actas suscritas.
- d. Estado y avance de ejecución definitivo.
- e. Estado y avance presupuestal. Facturación mensual, balance financiero definitivo.
- f. Recursos utilizados.
- g. Aspectos técnicos: modificaciones, problemas y soluciones adoptadas.
- h. Aspectos administrativos.
- i. Registros fotográficos.
- j. Todos los demás documentos que el FPVB considere pertinentes solicitar.
- k. Los demás que considere pertinentes y necesarios para soportar la gestión y resultados obtenidos en cumplimiento de los requerimientos contractuales.

El consultor deberá guardar absoluta reserva sobre los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto y no utilizar, ni divulgar para fines distintos a los previstos en el mismo, los resultados de su trabajo sin la autorización previa y escrita por parte del FPVB. Todos los documentos empleados y los resultados e información, así como los estudios producidos en el desarrollo del proyecto, pasarán a ser propiedad del FPVB.

El informe final deberá ser presentado de forma estructurada, clara y con todos los soportes necesarios que respalden la gestión contractual. El cumplimiento de esta entrega será requisito indispensable para adelantar el proceso de liquidación del proyecto. Asimismo, el consultor deberá entregar el archivo documental consolidado, garantizando su organización, trazabilidad y accesibilidad.

Cualquier solicitud adicional por parte del FPVB en esta etapa deberá ser atendida por el consultor en el marco de sus obligaciones contractuales, y que los productos entregados serán propiedad exclusiva del FPVB, de conformidad con lo estipulado en el proyecto. Sin limitarse a lo anterior, se deberá dar cumplimiento a lo dispuesto en el Manual Operativo del Fondo para la Vida y la Biodiversidad.

9. CRONOGRAMA Y PLAN DE TRABAJO

EL Consultor deberá presentar un documento con el Plan detallado de trabajo y cronograma que incluya una metodología de trabajo para la ejecución del contrato diez (10) días hábiles siguientes a la fecha de suscripción del Acta de Inicio, en el deberá presentar como mínimo:

- i. Las actividades que desarrollará el Consultor y su alcance.
- ii. Los productos o entregables previstos en el marco del contrato.
- iii. La programación de las actividades de trabajo de campo
- iv. Las actividades de articulación y coordinación entre la Entidad y el Consultor
- v. El tiempo estimado para desarrollar cada una de las actividades y para efectuar la entrega de productos

- vi. La estimación de reuniones de seguimiento requeridas entre la Entidad y el Consultor y entre el consultor y los actores relacionados con el proyecto (comunidad, entidades locales, departamentales y nacionales).
- vii. La organización del equipo de trabajo y roles para el desarrollo de la consultoría.

Para ello el consultor deberá presentar el cronograma elaborado en un software especializado para la gestión y control de actividades, como Microsoft Project® o su equivalente. Esta herramienta deberá permitir la visualización clara de la ruta crítica de las actividades del proyecto, el avance acumulado y la generación de reportes comparativos entre lo programado y lo realmente ejecutado.

El cronograma debe reflejar una planificación integral y realista de las actividades a lo largo del tiempo, incluyendo como mínimo los siguientes elementos:

- Secuencia lógica y detallada de actividades: que incluya rutas críticas, hitos relevantes, dependencias entre actividades y la identificación de actividades simultáneas y actividades condicionantes.
- Articulación de los entregables y costos: el cronograma debe estar asociado a las actividades programadas, así como al presupuesto y recursos asignados, facilitando la correlación entre avance físico y financiero.
- Identificación y asignación de recursos, humanos, materiales, equipos y maquinaria para cada actividad, contemplando disponibilidad y restricciones logísticas.
- Consideración de factores territoriales y climáticos: inclusión de variables o actividades que permitan prever y mitigar impactos derivados de condiciones operativas, climáticas y sociales específicas del departamento objeto del proyecto.
- Mecanismos de seguimiento y ajuste: definición de puntos de control, informes periódicos de avance y procedimientos para la actualización y reprogramación del cronograma frente a desviaciones o contingencias.
- Gestión de riesgos: identificación y programación de actividades orientadas a la mitigación de riesgos relevantes para la ejecución, tales como dificultades de acceso, conflictos sociales, condiciones climáticas extremas o temas ambientales.
- Integración con los actores involucrados: el cronograma debe garantizar la coherencia con lineamientos técnicos, sociales y territoriales definidos para el proyecto.
- Actualización del cronograma en los eventos que impliquen modificaciones sustanciales en el alcance, plazo o condiciones de ejecución del proyecto, garantizando su revisión y aprobación con su debida justificación técnica, social o administrativa.
- Al finalizar la consultoría, el Consultor deberá entregar la actualización final del cronograma del proyecto junto con el informe Final, incorporando los resultados de los estudios realizados, los ajustes derivados del desarrollo de las fases del contrato y las recomendaciones técnicas para las siguientes etapas de maduración del proyecto.

El incumplimiento en la presentación, actualización o calidad del cronograma podrá ser causal de penalizaciones, según lo establecido en las condiciones contractuales.

Adicionalmente, el producto debe incluir la metodología de toma de información de campo (primaria) necesaria para la ejecución del contrato.

9. ALCANCE TÉCNICO DEL PROYECTO

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Resolución 0221 de 2025 "*Por la cual se declara una Zona de Reserva de Recursos Naturales Renovables de carácter temporal en el costado occidental del macizo de Santurbán en jurisdicción de los municipios de Suratá, Matanza, California, Vetas, Charta, Tona y Bucaramanga del departamento de Santander y se toman otras determinaciones*" busca atender las necesidades de ordenamiento minero ambiental en un área efectiva de 75.344,65 hectáreas, concurriendo en la solución de las problemáticas ambientales y los

conflictos por el uso de la tierra y el agua, proteger y restaurar los ecosistemas estratégicos, conectar los ecosistemas, preservar las cuencas abastecedoras y las zonas de recarga de acuíferos, y reducir la presión sobre el sistema hídrico para garantizar la disponibilidad y accesibilidad de los recursos naturales.

Su declaratoria se basa en los análisis técnicos, sociales y ambientales que evidencian conflictos entre la actividad minera y la protección de cuencas estratégicas para más de 1,3 millones de habitantes, la aplicación del principio de precaución ante el riesgo de afectaciones irreversibles a la salud y al recurso hídrico y el cumplimiento de la sentencia del Consejo de Estado denominada “Ventanilla Minera”, orientada a la materialización y consolidación de un ordenamiento minero ambiental.

Durante la vigencia de dos (2) años de la zona de reserva temporal de Santurbán (artículo 8 de la Resolución 0221 de 2025), no se podrán otorgar nuevas concesiones mineras, contratos especiales de exploración y explotación ni cualquier otro tipo de contrato sujeto a regímenes especiales, así como nuevos permisos o licencias ambientales para la exploración o explotación de minerales, hasta tanto se desarrollen los estudios y procesos para definir las condiciones del ordenamiento minero ambiental al interior de la reserva, dispuestos en el artículo 6 (Resolución 0221 de 2025).

Estos estudios incluyen los referentes a: *i) el ciclo del agua para determinar la relación que existe entre la recarga de agua subterránea y la relación con los cuerpos de agua superficial dentro de la reserva temporal, ii) el monitoreo y estudios para evaluar la afectación de la calidad del agua asociados a los impactos acumulativos y sinérgicos, iii) aquellos que determinen las medidas de restauración o conservación para garantizar la oferta hídrica y, iv) la definición de estrategias de manejo para el ordenamiento minero ambiental.* En este sentido, la Resolución 0221 de 2025 adopta en su artículo 9, el cronograma de trabajo para el desarrollo de dichos estudios técnicos en línea con la orden tercera, numeral 1.4 de la Sentencia Ventanilla Minera.

Es así como el proyecto “*Generación de conocimiento geocientífico, hidrológico y ecosistémico enfocado al ordenamiento del territorio alrededor del agua, en el páramo de Santurbán y la Zona de Reserva de Recursos Naturales Renovables de carácter temporal en su costado occidental (Resolución 0221 de 2025)*” aprobado en la sesión No. 29 del Consejo Directivo del FPVB en el marco del “Programa Ecorregión Páramos ¡Somos Agua - Somos Páramo” da alcance al cronograma de actividades definido en la Resolución 221 de 2025. Como parte de la primera fase de este proyecto, se realizará la construcción de una línea meteórica local con base en la información disponible y los análisis isotópicos en agua lluvia realizados durante la ejecución, la identificación de zonas de recarga de acuíferos a escala 1:100.000 y 1:25.000, la interpretación de geofísica aerotransportada previamente adquirida para el área de estudio y los estudios sociales.

9.1. OBLIGACIONES GENERALES

El Consultor deberá cumplir con todas las obligaciones de carácter General establece en el presente Anexo y las contenidas en los demás anexos y formatos que hacen parte de los términos de referencia y que hacen parte del Contrato de Consultoría, dentro de las cuales se resaltan

1. Ejecutar en forma eficiente y oportuna el objeto del contrato, de acuerdo con los términos previstos en este documento y lo ofrecido en la Propuesta.
2. Desarrollar con el mayor cuidado y dedicación el objeto contratado, coordinando y realizando las actividades necesarias para la satisfacción y cabal cumplimiento del mismo.
3. Cumplir con el cronograma previsto en caso de que corresponda, conforme a los tiempos y productos establecidos en el contrato
4. Presentar los informes de ejecución, soportes y/o productos, de conformidad con lo establecido en el contrato remitiendo copia de los mismos al FPVB y al Ministerio de

- Ambiente y Desarrollo Sostenible. En todo caso queda entendido que el contratista deberá presentar aquellos informes de actividades que el supervisor del contrato y/o el FPVB soliciten en cualquier momento en relación con la ejecución del objeto del contrato.
5. Asistir a los comités técnicos, reuniones, sesiones y demás eventos a los que sea convocado.
 6. Suscribir juntamente con el supervisor del contrato el Acta/Acuerdo de Confidencialidad, respecto de los asuntos de conocimiento por parte del contratista, si a esto hubiere lugar
 7. Indicar en toda publicación, actividades y materiales divulgativos que las actividades y producto del proyecto objeto del presente contrato, se desarrolla conjuntamente entre las Partes y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
 8. Informar por escrito oportunamente al supervisor del contrato, en caso de presentarse alguna situación anormal en la ejecución de los servicios objeto del contrato o cualquier incidencia, acontecimiento o situación que pueda afectar la ejecución del presente contrato.
 9. Realizar las demás actividades que se requieran para el cabal cumplimiento del objeto del contrato y atender las recomendaciones que le sean dadas por los supervisores designados para el contrato, durante la ejecución del mismo y avaladas por ellos.
 10. Realizar la retención de gestión documental de conformidad al numeral 12 del Manual Operativo (V6 Diciembre de 2025), el cual será organizado por la Unidad de Gestión de conformidad con la Ley 594 de 2000, el Decreto 1080 de 2015, las normas del Archivo General de la Nación, los lineamientos y procedimientos emitidos por el Fideicomitente, y con base en las Tablas de Retención Documental TRD vigentes del Ministerio en caso de que el ministerio realice actualización de la TRD se deberá notificar a la fiduciaria.
 11. Cumplir con los requerimientos del FPVB en condiciones de calidad y oportunidad.
 12. Asignar el personal técnico idóneo y con la suficiente experiencia para la prestación de los servicios objeto del presente contrato.
 13. Contar con la estructura organizacional y tecnológica necesaria para responder oportunamente a los requerimientos del FPVB, de acuerdo con lo presentado en la Propuesta, si a esto hubiere lugar.
 14. Guardar total reserva de la información que por razón del servicio y desarrollo de sus actividades obtenga. Esta es de propiedad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como único fideicomitente del FPVB y solo salvo expreso requerimiento de autoridad competente podrá ser divulgada.
 15. Cumplir con todas las obligaciones legales que tenga frente al personal empleado para el cumplimiento del presente contrato (en caso de que aplique si se prevé contratación de recurso humano a cargo del consultor), especialmente las de carácter laboral, lo cual incluye el pago de salarios, compensaciones, prestaciones sociales, seguridad social integral, indemnizaciones y aportes fiscales y parafiscales, pudiendo ser requerido en cualquier tiempo por parte del FPVB para que aporte las planillas que certifiquen los pagos.
 16. Respetar los procesos y procedimientos del FPVB para la presentación de las facturas y demás trámites requeridos para el efecto.
 17. Comunicar al FPVB los cambios o las modificaciones programados de los servicios prestados, los cuales serán previamente autorizados por este. Los cambios serán documentados por el consultor y en todo caso deberán ser reportados en los informes a entregar por parte del mismo.
 18. Informar inmediatamente al FPVB en el evento en que el Consultor sea requerido por una autoridad competente para el suministro de información del FPVB, con el fin de que este pueda adoptar o establecer las medidas necesarias para garantizar tanto la confidencialidad de la información como el cuidado de esta ante el requerimiento de dicha autoridad.
 19. Requerir al contratista un plan de contingencia y continuidad que permita mantener disponible la prestación del servicio contratado por el FPVB, ante la presentación de situaciones de interrupción. Dicho plan se mantendrá documentado y disponible en el momento que el FPVB lo requiera para verificar su adecuado funcionamiento.
 20. Mantener la confidencialidad de la información que le sea compartida durante la prestación del servicio, sin divulgarla a terceros no autorizados. El contratista se hará responsable ante

los terceros y ante el FPVB por la información que hubiere revelado de forma no autorizada por el FPVB.

21. Las demás obligaciones de carácter general que resulten aplicables en ejecución del presente contrato.

9.2. OBLIGACIONES ESPECÍFICAS

El Consultor deberá cumplir con todas las obligaciones de carácter específico establece en el presente Anexo y las contenidas en los demás anexos y formatos que hacen parte de los términos de referencia y que hacen parte del Contrato de Consultoría, dentro de las cuales se resaltan:

1. Cumplir con las condiciones técnicas, cronológicas y económicas establecidas en el proyecto “Generación de conocimiento geocientífico, hidrológico y ecosistémico enfocado al ordenamiento del territorio alrededor del agua, en el páramo de Santurbán y la Zona de Reserva de Recursos Naturales Renovables de carácter temporal en su costado occidental (Resolución 0221 de 2025)”, desarrollando las acciones previstas en el numeral 7.6.2 del Documento Técnico del proyecto (Anexo 1) y siguiendo las directrices del supervisor designado.
2. Elaborar los productos contemplados en la Fase 1 del proyecto “*Generación de conocimiento geocientífico, hidrológico y ecosistémico enfocado al ordenamiento del territorio alrededor del agua, en el páramo de Santurbán y la Zona de Reserva de Recursos Naturales Renovables de carácter temporal en su costado occidental (Resolución 0221 de 2025)*”:
 - 2.1. Documento de investigación de la línea base meteórica en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán.
 - 2.2. Documentos de investigación geofísica de la estructura del subsuelo en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán.
 - 2.3.2 Mapas de las zonas de recarga de las cuencas priorizadas
 - 2.3.3 Documento técnico con un modelo hidrogeológico conceptual regional con escenarios predictivos en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán
 - 2.4 Documentos con la caracterización de la dinámica hídrica en términos de cantidad y calidad para las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán
 - 2.5. Documentos con los análisis de huella espacial humana para identificar el impacto de las actividades que generan conflictos socioambientales en las cuencas priorizadas.
 - 4.1. Documento con el diagnóstico socio ambiental y la sistematización de la participación social (socialización y apropiación del conocimiento) en el marco del proyecto.
3. Garantizar los aspectos técnicos, logísticos y comunitarios necesarios para el desarrollo de las jornadas habilitantes, pedagógicas y de socialización con las comunidades que hacen parte del área de estudio del proyecto.
4. Entregar en medio digital y físico las evidencias del desarrollo del proyecto, incluyendo productos técnicos (protocolos, planes, documentos de sistematización), registros fotográficos, fichas de asistencia y los informes generados, anexos a los informes oficiales del proyecto.
5. Garantizar el desarrollo de actividades de socialización y retroalimentación de los productos del proyecto con actores comunitarios, autoridades locales y regionales, asegurando mecanismos de retroalimentación, transparencia y articulación con la institucionalidad ambiental y territorial.
6. Proveer y facilitar al supervisor, a la Dirección Ejecutivo del FPVB y FIDUCOLDEX en calidad de vocera del FPVB la información, las pruebas y los testimonios que en el marco de ejecución del contrato se genere y sean requeridos por esta o por cualquier otra autoridad judicial o administrativa, a tiempo y sin condición alguna para su entrega o realización.
7. Garantizar un enlace directo con el FPVB, que permita suministrar información y atender

- solicitudes en el momento que sea requerido.
8. Disponer, durante la ejecución del contrato de un mecanismo para el intercambio seguro de información con el FPVB y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
 9. Dar cumplimiento a las obligaciones con los sistemas de seguridad social en salud, pensión, sistema general de riesgos laborales y aportes parafiscales, cuando haya lugar a ello, y presentar los documentos respectivos que así lo acrediten, conforme lo establecido en el artículo 50 de la Ley 789 de 2002, en la Ley 828 de 2003, la Ley 1562 de 2012, el Decreto 723 de 2013 y demás normas que regulen la materia.
 10. Proporcionar todos los elementos de protección personal a los trabajadores, de acuerdo con los riesgos asociados a cada actividad.
 11. Garantizar que la infraestructura logística, administrativa y técnica cuente con las medidas de seguridad industrial requeridas para el buen desarrollo y ejecución del contrato, que asegure el bienestar de los clientes (internos y externos) y las condiciones adecuadas en caso de una evacuación.
 12. Dar cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 relacionada con la protección de los datos personales que se obtengan en la ejecución del Contrato y guardar en absoluta reserva la información que se genere u obtenga en el marco del Contrato, la cual es de propiedad del FPVB.
 13. Mantener reserva de toda la información o documentos que conozca, con ocasión de la ejecución del contrato de conformidad con lo establecido en la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013.
 14. Dar cumplimiento a la legislación en gestión documental aplicable, reglamentos, procedimientos e instrumentos archivísticos, de conformidad con Ley General de Archivos 594 de 2000, Ley 1712 de 2014 y el Protocolo de Gestión Documental de los Archivos referidos a las Graves y Manifiestas Violaciones a los Derechos Humanos e Infracciones al Derecho Internacional Humanitario, ocurridas en ocasión del conflicto armado interno, tales como: a) Entregar los archivos físicos, digitales y electrónicos de la información relativa a las operaciones, actividades y demás realizadas, producto de la ejecución contractual, garantizando su conservación, preservación y confidencialidad. b) Garantizar la aplicación a cabalidad de los procesos técnicos archivísticos, mediante el cumplimiento de lo dispuesto en la Política de Gestión Documental.
 15. Cumplir con los requisitos legales ambientales aplicables a su actividad, u otros relacionados de conformidad con las actividades a desarrollar según el objeto del contrato.
 16. Guardar absoluta reserva y no utilizar para su provecho o el de terceros la información que reciba directa o indirectamente en el marco del presente contrato o aquélla a la cual tenga acceso en cumplimiento del contrato o por cualquier otro motivo, adoptando las medidas necesarias para mantener la confidencialidad de tales datos.
 17. Cumplir a cabalidad las condiciones pactadas en el contrato, que se suscriba y las demás sugeridas durante la ejecución del contrato previa concertación con el FPVB.
 18. Constituir y allegar la garantía de cumplimiento dentro de los plazos y bajo las disposiciones establecidas en los términos de referencia del proceso y en el Manual Operativo del FPVB.
 19. Avisar de manera inmediata al FPVB y a las demás autoridades competentes las acciones ilegales, peticiones o amenazas que se presenten en desarrollo del objeto contractual, de quienes actúen por fuera del margen de la ley, con el fin de obligarlo a hacer u omitir algún acto o hecho.
 20. Subsanan de manera inmediata cualquier falla o error que se cometa en la ejecución del contrato.
 21. Atender de manera oportuna, integral y conforme a los lineamientos de la Entidad, todos los oficios, requerimientos, solicitudes y comunicaciones que se generen en el marco del proyecto, tanto por parte de la Entidad como de terceros, grupos de interés o demás actores externos, garantizando la calidad, consistencia técnica y trazabilidad de la información suministrada, así como el cumplimiento de los tiempos y procedimientos establecidos.
 22. Entregar al FPVB dentro de los primeros cinco (5) días calendario de cada mes, el extracto

- bancario de las cuentas.
23. Cumplir los demás compromisos establecidos en el presente documento derivados de la naturaleza del contrato y señalados en la ley.
 24. Los demás definidos en el Manual Operativo del FPVB.

9.3. ETAPA DE PLANEACIÓN

Con el propósito de estructurar, organizar y programar la ejecución técnica del proyecto se deberá tener en cuenta el desarrollo de las actividades preliminares necesarias a partir de la siguiente metodología.

9.3.1. Metodología

El enfoque sobre el cual debe girar el Contrato de Consultoría es el de prestar sus servicios profesionales de consultoría para el desarrollo de la Fase 1 del Proyecto.

El contratista pondrá a disposición del FPVB una sala física en el área metropolitana de Bucaramanga para reuniones, con capacidad para mínimo diez (10) personas; no obstante, las reuniones periódicas podrán llevarse a cabo a través de medio virtual, y su periodicidad será acordada con el FPVB. Así mismo, se deberá contar con acceso permanente al cuarto de datos el cual tendrá consignada toda la información del Contrato y del Proyecto de manera ordenada, clara, precisa, actualizada y pertinente durante todas las fases de la Consultoría.

Estas reuniones deberán contar, como mínimo, con la presencia del responsable de la Consultoría, cuya participación será obligatoria durante las fases que determine el FPVB. Adicionalmente, según el curso del Contrato y la cadena de valor del proyecto, el FPVB o el contratista podrán requerir la participación de los especialistas en las áreas a discutir durante la sesión (técnicas, ambientales, sociales, prediales, económicas, jurídicas o financieras) u otras que resulten pertinentes. En todo caso, corresponderá al FPVB definir cuándo no se requiera la asistencia de alguno de estos perfiles.

9.3.2. Desarrollo Técnico del proyecto

A continuación, se presenta el detalle de las etapas del Contrato de Consultoría:

9.3.2.1. Detalle de las etapas del Contrato de Consultoría

El presente apartado tiene como finalidad describir de manera detallada las etapas que conforman el contrato de consultoría, definiendo su alcance, secuencia y articulación dentro del proceso de estructuración del proyecto. En este sentido, se establecen las etapas que deberán ser desarrolladas por el consultor, precisando para cada una de ellas los objetivos específicos, actividades principales y resultados esperados.

La definición de estas etapas responde a un enfoque metodológico integral que permite organizar el desarrollo de los estudios en niveles progresivos de profundidad y precisión, garantizando la coherencia técnica, la oportunidad en la entrega de resultados y la adecuada toma de decisiones por parte de la Entidad. Asimismo, se busca asegurar la trazabilidad del proceso y el cumplimiento de los principios de planeación, eficiencia, transparencia y selección objetiva que rigen la contratación estatal.

Etapas 1 - Espacios habilitantes:

En esta etapa de la ejecución del proyecto se desarrollarán las jornadas habilitantes con las comunidades del área de estudio del proyecto, que tienen por objetivo promover la participación y

el grado de información y de involucramiento frente al proyecto. Para estas jornadas se seguirá lo dispuesto en la Actividad 4.1.1 frente a los productos descritos más adelante en la tabla 1.

Etapas 2 - Recopilación y sistematización de información:

En esta etapa de la ejecución se iniciarán las actividades de los componentes técnicos previstos para el proyecto, a través de las tareas de recopilación de información técnica útil para el cumplimiento de los objetivos de este, incluyendo fuentes que incluyen la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), la Agencia Nacional de Minería (ANM), así como estudios desarrollados por universidades y empresas consultoras. Como resultado se obtendrá la Información técnica recopilada, organizada y disponible para el análisis del proyecto, que será presentada a la supervisión a través de los informes de avance y productos intermedios.

Etapas 3- Generación de información técnica y fortalecimiento de la articulación institucional y social

En esta etapa de la ejecución se iniciarán las actividades de campo previstas para los componentes técnicos del proyecto, en la que se generará la información técnica primaria interdisciplinaria, que, una vez sistematizada, será insumo para los análisis técnicos correspondientes para el proyecto. Durante esta etapa se recopilará y sistematizará la información temática y cartográfica adquirida, generando los informes de avance del proyecto e informe final que consolide los resultados obtenidos para cada una de las actividades ejecutadas.

De igual forma, considerando la relevancia que tiene el conocimiento del territorio de las comunidades que lo habitan y con miras a fortalecer su grado de involucramiento con el proyecto, se dará 1) la vinculación de miembros de la comunidad en el desarrollo de las labores de campo y 2) el desarrollo de jornadas pedagógicas en territorio (como aborda la Actividad 4.1.1. del cuadro 1) de las que se generarán las evidencias que serán parte de los informes mensuales e informes de avance que se remitan a la supervisión.

Antes y durante el desarrollo de las labores de campo el contratista, realizará las coordinaciones logísticas y técnicas correspondientes con las autoridades locales y los actores institucionales estratégicos que permitan el normal desarrollo de las actividades previstas en territorio, siguiendo los canales oficiales correspondientes. La comunicación con los actores en territorio deberá seguir los canales acordados con el FPVB y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la etapa de planeación.

Etapas 4 - Socialización de los resultados del proyecto y retroalimentación de los actores involucrados:

Una vez finalizadas los análisis técnicos contemplados en el marco de las etapas anteriores se deberán desarrollar las acciones correspondientes para comunicar de manera clara y sencilla a las comunidades del área de estudio los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, así como recibir su retroalimentación, por medio de jornadas de socialización según lo contemplado en la Actividad 4.1.3. del cuadro 1.

9.3.3. Actividades y Productos

El presente apartado define de manera estructurada las actividades a desarrollar y los productos a entregar en el marco de la ejecución de la Consultoría, estableciendo una relación clara entre las tareas requeridas y los resultados esperados.

En el marco de los objetivos específicos, productos y actividades de la Fase 1 del proyecto, en la siguiente tabla, se presentan los indicadores asociados a cada una de las actividades:

Tabla 1. Productos y actividades a desarrollar

Objetivo específico	Producto	Actividad Fase 1	Indicador
<p>2. Aumentar el conocimiento de la dinámica de las aguas superficiales, subterráneas y de integridad ecológica de las cuencas que hacen parte del páramo de Santurbán y la Zona de Reserva de Recursos Naturales Renovables de carácter temporal en su costado occidental</p> <p>(Componente hidrogeológico, hidrológico y ecosistémico)</p>	2.1 Documento de investigación de la línea base meteórica en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán	2.1.1 Construir la línea meteórica local en el páramo de Santurbán	Documentos finales de línea meteórica local elaborados - Informe análisis isotópicos y fisicoquímicos realizados
		2.1.2 Caracterizar las muestras recolectadas por técnicas isotópicas en el páramo de Santurbán	Informe análisis isotópicos y fisicoquímicos realizados
	2.2. Documento de investigación geofísica de la estructura del subsuelo en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán	2.2.1 Identificar estructuras regionales y otros rasgos geológicos de interés en el área del Páramo de Santurbán	Documento de interpretación de resultados geofísicos regionales elaborados.
		2.2. Levantar información geofísica terrestre de las cuencas del páramo de Santurbán	Documentos finales de investigación geofísica elaborados
	2.3. Documento de investigación con el modelo hidrogeológico conceptual en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán	2.3.2 Delimitar las zonas de recarga de acuíferos en las cuencas priorizadas como insumo para un modelo hidrogeológico conceptual	Mapas de las zonas de recarga de las cuencas priorizadas elaborados
		2.3.3 Consolidar un modelo hidrogeológico conceptual regional con escenarios predictivos en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán	Documento técnico elaborado
	2.4 Documentos de Caracterización Hídrica Superficial elaborados	2.4.1 Caracterizar la dinámica de los componentes del ciclo hidrológico (climatología, almacenamiento de	Documento con la caracterización del ciclo hidrológico en las cuencas priorizadas en el páramo de Santurbán

Objetivo específico	Producto	Actividad Fase 1	Indicador
		agua en el suelo, flujos subsuperficiales, escorrentía) en las cuencas priorizadas	
		2.4.2 Desarrollar un modelo de Calidad del Agua para las Cuencas Priorizadas	Documento con el modelo de Calidad del Agua para Cuencas Prioritarias en la ZRT Santurbán
	2.5 Documentos con los análisis de huella espacial humana para identificar el impacto de las actividades que generan conflictos socioambientales en las cuencas priorizadas	2.5.1 Identificar coberturas de la tierra en las cuencas priorizadas del proyecto entre el periodo 2010 a 2026	Documento con los análisis multitemporales de coberturas y usos del suelo en las cuencas priorizadas
		2.5.2 Caracterizar la vegetación del Bosque Altoandino en las cuencas priorizadas	Documento de caracterización del Bosque Altoandino y evaluación primaria de sus servicios ecosistémicos
		2.5.3 Realizar el análisis de conectividad estructural de las coberturas naturales en las cuencas priorizadas	Documento con análisis de conectividad estructural de coberturas naturales en cuencas priorizadas
		2.5.4 Recolectar y analizar datos para generar la capa de la huella espacial humana con énfasis en las actividades que generan conflictos socioambientales	Documento con los resultados y análisis de huella espacial humana.
4. Aumentar la apropiación del conocimiento y herramientas por parte de las comunidades en las temáticas geoambientales, hidrológicas y ecosistémicas.	4.1 Documento con el diagnóstico socio ambiental y la sistematización de la participación social (socialización y apropiación del conocimiento) en el marco del proyecto	4.1.1 Promover la gestión social de actores institucionales y comunitarios en el páramo de Santurbán	Informe con sistematización asociada a la participación comunitaria y diagnóstico socio ambiental en las cuencas priorizadas
		4.1.2 Fomentar espacios de participación desde la reconstrucción del proceso del proyecto	Informe con el análisis del taller de posibles escenarios futuros elaborado.

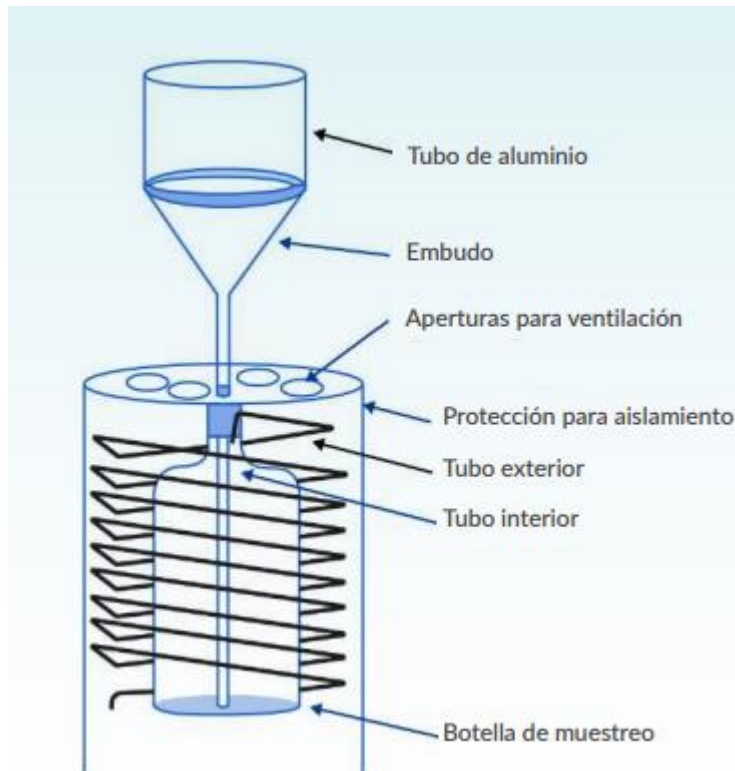
Objetivo específico	Producto	Actividad Fase 1	Indicador
(Componente de Gobernanza)		y la construcción de escenarios posibles.	
		4.1.3 Socializar los resultados de los estudios	Informe de resultados de espacio de socialización

A continuación, se precisan los alcances técnicos de cada actividad, así como las características, contenidos mínimos y criterios de calidad de los productos asociados, con el fin de garantizar su coherencia con los objetivos del proyecto y su adecuada utilización en las etapas subsiguientes:

9.3.3.1. Actividad 2.1.1: Construir la línea meteórica local en el páramo de Santurbán

Para la construcción de la línea meteórica local para el área de estudio se deberán ensamblar e instalar al menos cuatro (4) colectores o totalizadores de agua lluvia de bajo costo como los de tubo sumergido y equilibrio de presión, siguiendo las especificaciones del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua disponible en línea (Ideam & Invemar, 2021 pp. 506 - 508) para el diseño de Gröning et al. (2012 en Ideam & Invemar, 2021) y del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de forma que se evite la evaporación de las muestras durante la recolección de agua lluvia. El colector o totalizador, estará compuesto de las partes y diseño detalladas en la Figura 1, a saber: botella de muestreo de polietileno de alta densidad (PEAD) con tapa, tubo interior (manguera de polipropileno de 4 mm de diámetro, tubo exterior (manguera de polipropileno diámetro interior de 5 mm de 15 m de longitud), protección para aislamiento con aberturas para ventilación, embudo con tamiz para impedir la entrada de basura y agujas de metal. Los totalizadores se deberán fijar a la superficie del terreno por medio de soportes de aluminio, tornillos y amarres. Las dimensiones de los embudos de los totalizadores para muestreo se deberán definir en función del volumen de agua a muestrear y según las condiciones climáticas del área de estudio, siguiendo la Tabla 10-1 de Ideam & Invemar, (2021 pp. 512).

Figura 1. Diseño de colectores o totalizadores de tubo simple con tubo sumergido a ensamblar e instalar en el marco del proyecto.



Fuente: Ideam & Invemar (2021 pp. 508)

La localización de los colectores será acordada con la supervisión y definida, de forma que complementen y amplíen el cubrimiento tanto espacial como altitudinal de aquella información recolectada y analizada por el SGC en la cuenca de la quebrada La Baja entre 2023 y 2025 y la Universidad Industrial de Santander (UIS) entre 2004 y 2006 al sur del área de estudio. Se deberá garantizar el acceso a los lugares en los que se instalen los colectores y la toma de muestras mensuales. La recolección mensual de las muestras de agua en los colectores instalados, incluyendo el registro del volumen de agua acumulado serán realizados por parte de un miembro de la comunidad, capacitado por los profesionales del equipo y a quien se le reconocerá su día de trabajo.

Se deberá tener en consideración la propuesta de localización de los colectores realizada a partir de propuesta inicial del SGC para el área de estudio (Figura 2) y en caso de tener una propuesta diferente sustentarlo debidamente.

Figura 2. Distribución de los totalizadores de recolección de agua lluvia propuestos para el área de estudio y aquellos instalados en la cuenca de la quebrada La Baja por el SGC.



Fuente: a partir de propuesta del SGC

Para la localización de los colectores y el análisis de la información isotópica generada se deberán tener en consideración, entre otras, las siguientes fuentes disponibles para descarga y citadas en el apartado de referencias de este documento:

- **SGC:** tales como Cañas et al. (2022), Herrera et al. (2023), los referidos en el *Concepto técnico geocientífico, soporte para la declaratoria de la reserva temporal en Soto Norte, Santander* (SGC, 2024), que motivaron la Resolución 0221 de 2025 y cualquier otro que se publique en el MIIG o que sea entregada por el SGC.
- **UIS:** tales como Gómez-Isidro et al. (2015) y Gómez-Isidro & Gómez-Ríos (2016) o cualquier otro desarrollado por la UIS así como los citados en el DTS de la Resolución 0221 de 2025.
- **Ideam:** que recoge información de estaciones de la Red Nacional de Isotopía (RNI) y la Red Mundial sobre isótopos en la precipitación (GNI por sus siglas en inglés) en municipios que hacen parte del área de estudio y que se encuentran en el Anexo 6 del ENA 2022 (Toro-Espitia, 2023).
- **ANLA:** que recoge información generada en el área de estudio en el marco de estudios de impacto ambiental.

En cada uno de los cuatro (4) colectores instalados se realizará la recolección mensual de agua lluvia para el análisis de isótopos estables de oxígeno e hidrógeno durante el tiempo de ejecución de la fase del proyecto (un año) esto es 48 muestras.

Además de los análisis isotópicos de muestras de agua meteórica, se realizarán dos campañas (temporada seca y temporada húmeda, según registros históricos del Ideam) para la toma de 50

muestras de agua superficial para análisis isotópicos y de 20 muestras para análisis isotópicos y fisicoquímicos, para un total de 35 puntos a muestrear. El muestreo y análisis de laboratorio para análisis fisicoquímicos deberán ser realizados por un laboratorio con acreditación vigente del Ideam para cada uno de los parámetros considerados (de conformidad con el parágrafo 2 del artículo 2.2.8.9.1.5. del Decreto 1076 de 2015), registrando las coordenadas de cada punto, así como los campos de información general del Formulario Único Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea (FUNIAS) e incluyendo la toma de parámetros *in-situ* tales como conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad y potencial de óxido reducción. La localización de los puntos de muestreo será definida de común acuerdo con la supervisión, de forma que se garantice una distribución espacial adecuada.

Previo al desarrollo de las campañas de muestreo se deberá contar con un plan de monitoreo presentado y aprobado por la supervisión que incluya: puntos previstos para muestreo, metodología de muestreo, y toda la cadena de custodia desde la recolección de la muestra hasta su análisis en laboratorio, realizando especial énfasis conservación de cadena de frío de éstas.

Es importante resaltar que se debe garantizar la confiabilidad de los datos fisicoquímicos mediante un balance iónico, a través del cual se pueda evaluar la consistencia de los datos químicos comparando la suma de cationes y aniones. Lo anterior asegura que los resultados químicos del agua sean consistentes y técnicamente válidos antes de hacer las interpretaciones hidrogeoquímicas. La interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio solo se realizará con aquellos con error en el balance iónico inferior al 10% y excepcionalmente al 10%.

La toma de las muestras de isotopía, su validación, envío al laboratorio, así como la validación de resultados e ingreso a la base de datos correspondiente deberán realizarse conforme el *Procedimiento para la generación de datos de la Red Nacional de Isotopía* (Ideam, 2025). Así mismo, se deberán disponer de los elementos básicos para el muestreo en los totalizadores tales como jarras o probetas gradadas para la medición del agua acumulada. Los recipientes empleados para el muestreo isotópico deberán ser conforme a lo definido por Ideam & Invemar (2021) esto es botellas de vidrio de borosilicato color ámbar de capacidad de 30 o 50 ml o PEAD en tamaños de 50 ml, con tapa y contratapa para evitar la evaporación.

Para el ensamblaje de los colectores, capacitación de los miembros de la comunidad que realizarán el muestreo mensual de agua meteórica mensualmente y acompañamiento a las campañas de muestreo referidas, se dispondrá de al menos 15 días de labores de campo con la participación de por lo menos un (1) profesional idóneo dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

Nota: Sin perjuicio de lo anterior, el consultor podrá definir la participación de los profesionales o auxiliares adicionales que considere necesarios para la ejecución de las labores de campo.

Para el análisis de los datos se deberá seguir como referencia el documento *Métodos isotópicos y geoquímicos para el estudio de zonas de recarga de acuíferos* anexo a la Resolución 0017 de 2026 "Por la cual se adopta la Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2026) y demás referencias especializadas.

Nota: Se deberán tomar un duplicado, en número equivalente al 15% del total de las muestras de isotopía, garantizando un muestreo aleatorio estratificado y registrando el volumen de agua colectado por cada uno de los colectores instalados. Los duplicados deberán ser enviados para su análisis al Laboratorio de isótopos estables en agua líquida del SGC. Se deberá realizar el cálculo del Porcentaje de diferencia relativo (%RPD) entre las muestras y los duplicados, definiendo un RPD < 20 % como aceptable. Se realizará, además, un análisis de sesgo para determinar si existe un error sistemático en la toma de muestras.

Nota: Se deberán instalar 3 de los 4 totalizadores de recolección en la cuenca de la quebrada La Baja, preferiblemente cerca de aquellos instalados por el SGC (Figura 1).

Nota: En desarrollo de esta actividad se deberá involucrar a las comunidades locales en las campañas de campo para lo cual se dispondrá de por lo menos 63 jornales que serán distribuidos en función de las labores de campo previstas. Este involucramiento no se restringirá solo al apoyo de la jornada de campo y deberá implicar una transferencia de conocimientos que incluya los saberes y visión del actor comunitario, al igual que el propósito de la actividad desarrollada en el marco de los objetivos del proyecto.

9.3.3.2. Actividad 2.1.2 Caracterizar las muestras recolectadas por técnicas isotópicas en el páramo de Santurbán.

En cuanto a las muestras de agua para el desarrollo de los análisis isotópicos, tras obtener las muestras de agua lluvia de los colectores (mensualmente), y superficial en las dos temporadas (seca y húmeda), estas deberán ser enviadas a laboratorios en el exterior, para su correspondiente análisis isotópico de ^2H y ^{18}O , cumpliendo con los criterios de aceptación de muestras del laboratorio.

En cuanto a las muestras de agua para el desarrollo de análisis fisicoquímicos, tal como se detalló para la actividad anterior, el muestreo y análisis de laboratorio deberán ser realizados por un laboratorio con acreditación vigente del Ideam para cada de los parámetros considerados (de conformidad con el parágrafo 2 del artículo 2.2.8.9.1.5. del Decreto 1076 de 2015), registrando las coordenadas de cada punto, así como los campos de información general del FUNIAS e incluyendo la toma de parámetros *in-situ* tales como conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad y potencial de óxido reducción. Los análisis de laboratorio a realizar incluyen: los iones mayoritarios, elementos traza y los sólidos disueltos totales (SDT). Principalmente de los cationes correspondientes a sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), hierro (Fe), aluminio (Al^{3+}) y silicio (Si^{4+}) y de los aniones de bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), fostafo (PO_4), nitrito (NO_2^-), y fluoruro (F^-), así como el análisis de metales y metaloides como arsénico, bario, boro, bromuro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, estaño, estroncio, níquel, molibdeno, manganeso, cinc, plata, plomo, selenio, mercurio y vanadio. En la siguiente tabla se enlistan los análisis a realizar y sus correspondientes unidades de medida:

Tabla 2. Listado de parámetros y especies químicas a analizar

Categoría	Parámetro	Fórmula / Símbolo	Unidad de reporte
In situ	Conductividad eléctrica	CE	$\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25 °C)
	Temperatura	T	°C
	pH	pH	Unidades estándar (adimensional)
	Oxígeno disuelto	OD	mg/L
	Alcalinidad	—	mg/L como CaCO_3
	Potencial óxido-reducción	Eh	mV
Sólidos disueltos	Sólidos disueltos totales	SDT	mg/L
Cationes mayoritarios	Sodio	Na^+	mg/L
	Calcio	Ca^{2+}	mg/L
	Potasio	K^+	mg/L
	Magnesio	Mg^{2+}	mg/L
	Hierro (total)	Fe	mg/L

Categoría	Parámetro	Fórmula / Símbolo	Unidad de reporte
	Aluminio	Al ³⁺	mg/L
	Silicio (como SiO ₂)	Si	mg/L
Aniones mayoritarios	Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	mg/L
	Cloruro	Cl ⁻	mg/L
	Sulfato	SO ₄ ²⁻	mg/L
	Nitrato	NO ₃ ⁻	mg/L
	Nitrito	NO ₂ ⁻	mg/L
	Fosfato	PO ₄ ³⁻	mg/L
	Fluoruro	F ⁻	mg/L
Metales y metaloides traza	Arsénico	As	µg/L
	Bario	Ba	µg/L
	Boro	B	µg/L
	Bromuro	Br ⁻	mg/L
	Cadmio	Cd	µg/L
	Cromo	Cr	µg/L
	Cobalto	Co	µg/L
	Cobre	Cu	µg/L
	Estaño	Sn	µg/L
	Estroncio	Sr	µg/L
	Níquel	Ni	µg/L
	Molibdeno	Mo	µg/L
	Manganeso	Mn	µg/L
	Cinc (Zinc)	Zn	µg/L
	Plata	Ag	µg/L
	Plomo	Pb	µg/L
	Selenio	Se	µg/L
	Mercurio	Hg	µg/L
Vanadio	V	µg/L	

El producto asociado a esta actividad incluirá los reportes de laboratorio de los correspondientes análisis fisicoquímicos (incluyendo resoluciones de acreditación) de las dos campañas de muestreo realizadas e isotópicos de agua lluvia y superficial. Así mismo, se incluirán las bases de datos que recoja los resultados.

El producto final, que recogerá además los resultados de la actividad 2.1.1 y la actividad 2.1.2, deberá contener como mínimo los siguientes apartados:

- a. Resumen divulgativo (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones).
- b. Resumen del producto

- c. Introducción donde se resalte la importancia del producto
- d. Metodología (diseño de la red de isotopía de aguas lluvias, superficiales y subterráneas, localización de los totalizadores, recopilación de información relevante para el producto, diseño de totalizadores, protocolos de muestreo y cadena de custodia, muestreo, análisis, aseguramiento de la calidad y rechazo de datos, método de regresión lineal empleado)
- e. Resultados (control de calidad de los resultados analíticos y estadística descriptiva de éstos, análisis de la composición isotópica de la lluvia, variación temporal y efecto cantidad, línea meteórica local (LML), efecto altitud, análisis y comparación entre la LML y las muestras de agua superficial y subterránea tomadas)
- f. Conclusiones y recomendaciones
- g. Referencias
- h. Anexos (incluyendo reportes de laboratorio, cadenas de custodia, registro fotográfico (marcado y georreferenciado) datos crudos, base de datos de los datos analizados, base de datos espacial de las estaciones, cartografía, informes de cada comisión y resultados obtenidos)

9.3.3.3. Actividad 2.2.1 Identificar estructuras regionales y otros rasgos geológicos de interés en el área del Páramo de Santurbán

El análisis de los datos de magnetometría y gamma espectrometría aerotransportada adquirida por el SGC busca a) obtener resultados detallados para el área de estudio enfocados a la geología estructural y contenido de uranio, torio y potasio, más allá de aquellos obtenidos en el marco de la construcción del *Mapa de anomalías geofísicas de Colombia, versión 2022* (Moyano et al. 2023) y b) su contraste con la cartografía geológica disponible con el fin de desarrollar un esquema estructural cualitativo que facilite la interpretación geofísica en áreas con menor conocimiento geológico.

Se realizará el procesamiento de los datos de magnetometría aerotransportada adquiridos por el SGC mediante la aplicación de filtros y transformaciones que permitan resaltar los contornos de las fuentes magnéticas y los rasgos lineales, tanto someros como en profundidad. Se emplearán técnicas de reducción al polo, cálculo de derivadas parciales, *Tilt Derivative* y otras herramientas analíticas para la identificación de estructuras geológicas de interés.

A partir de la información procesada, se interpretarán los lineamientos magnéticos y se construirá un esquema estructural cualitativo del área de estudio. Este esquema será contrastado con la cartografía geológica disponible para evaluar la correspondencia entre las estructuras magnéticas y las unidades geológicas cartografiadas. Se pondrá especial atención en la identificación de atributos de interés hidrogeológico, como la densidad de fracturamiento, fallas profundas y otros rasgos estructurales asociados a la dinámica hidrogeológica del área.

Así mismo, se llevará a cabo un análisis comparativo entre los lineamientos magnéticos interpretados y la cartografía geológica existente con el fin de evaluar la correspondencia entre ambas fuentes de información. Este proceso permitirá mejorar la comprensión de las respuestas geofísicas en áreas con conocimiento geológico previo y extrapolar patrones estructurales en zonas donde la geología es menos conocida o donde las rocas magnéticas se encuentran cubiertas por materiales menos magnéticos.

Durante el desarrollo de la actividad, se generarán dos (2) informes de avance que documentarán la metodología empleada, los filtros y técnicas de procesamiento utilizadas, y los resultados preliminares obtenidos. Estos informes servirán como insumo para la toma de decisiones y el ajuste de la metodología en función de los hallazgos obtenidos.

Posteriormente, se elaborará un (1) informe de resultados geofísicos que integrará los hallazgos obtenidos en las tareas anteriores. Este informe incluirá mapas e imágenes ráster de coberturas geofísicas de interés, tales como la anomalía magnética de campo total (ACT), reducción al polo de la ACT, derivadas parciales y *Tilt Derivative*, entre otras. Asimismo, se generarán capas georreferenciadas con los lineamientos y estructuras magnéticas interpretadas.

Como producto final, se consolidará un (1) documento integral que sintetice la interpretación geofísica regional del área de estudio. Este documento estará respaldado por los informes de avance y el informe de resultados geofísicos, proporcionando una base sólida para la identificación de estructuras geológicas y atributos hidrogeológicos clave. La información resultante facilitará su integración con los estudios hidrogeológicos en desarrollo y contribuirá al entendimiento de la estructura del subsuelo en las cuencas priorizadas de la región.

Se tendrá como referente en cuanto al flujo de trabajo para el procesamiento de los datos gamma espectrométricos y de magnetometría, de la definición de dominios gamma espectrométricos y magnéticos y de su correlación con la composición de las unidades litoestratigráficas del área de estudio el trabajo desarrollado por Lara et al. (2021) para el oriente colombiano, la Serranía de San Lucas y el Batolito Antioqueño y las referencias allí citadas.

El producto final de esta actividad deberá contener los siguientes apartados:

- a. Resumen divulgativo (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones)
- b. Resumen
- c. Introducción
- d. Metodología (características y parámetros de adquisición de la información de magnetometría y gamma espectrometría procesada, características de los procesamientos realizados incluyendo filtros y transformaciones, características del esquema estructural cualitativo y de su contraste con la información geológica disponible)
- e. Resultados (filtros y transformaciones empleadas, anomalía magnética total - ACT y técnicas de reducción al polo, cálculo de derivadas parciales, *Tilt Derivative*, modelado 2D-3D y cualquier otro proceso aplicado a los datos para la identificación de estructuras geológicas de interés, interpretación y caracterización de los lineamientos magnéticos (densidad de fracturamiento, identificación de fallas profundas), distribución de dominios magnéticos, concentraciones de elementos como uranio, torio y potasio, esquema estructural cualitativo construido, análisis comparativo entre los lineamientos magnéticos interpretados y los mapas de concentraciones realizados con la cartografía geológica existente).
- f. Conclusiones y recomendaciones
- g. Referencias
- h. Anexos (datos crudos, capas ráster y mapas de ACT, reducción al polo de la ACT, derivadas parciales, *tilt derivative* y cualquier otro procesamiento realizado, capa geográfica y mapa con los lineamientos y estructuras magnéticas interpretadas, capa ráster y mapa de la distribución de uranio, torio y potasio) en base de datos espacial cuyo formato sea compatible en software como ArcGIS, QGIS u Oasis Montaj.

Nota: La información que será objeto de análisis en la presente actividad será entregada por el FVB al consultor en formato *.grd* y archivo de texto plano *.xyz*.

9.3.3.4. Actividad 2.2.2 Levantar información geofísica terrestre de las cuencas del páramo de Santurbán

Esta actividad se basa en la adquisición de datos geofísicos mediante métodos electromagnéticos y de corriente directa, a partir del desarrollo de 70 estaciones de medición del método magnetotelúrico - MT dispuestas en al menos 4 transectos, o lo que se acuerde entre el ejecutor y la supervisión, y 10 tomografías de resistividad eléctrica y polarización inducida, cuya localización será escogida con base en los resultados de la actividad 2.2.1 y lo que se acuerde entre el ejecutor y la supervisión frente a este respecto. En conjunto la aplicación de estos dos métodos dará una noción de la distribución espacial de la conductividad eléctrica en el subsuelo, proporcionando un complemento fundamental para la interpretación geológico-geofísica regional.

Tarea 1: Adquisición de datos geofísicos mediante métodos electromagnéticos y de corriente directa.

El diseño de la adquisición deberá diseñarse para maximizar el alcance de la evaluación de las unidades geológicas en el área de estudio y resolver dudas que persistan a partir de la interpretación de la geofísica aerotransportada realizada en la Actividad 2.2.1. Se deberá además tomar en consideración información geofísica que haya sido previamente adquirida en el área de estudio. Así pues, en la selección del sitio exacto para cada sondeo se tomará en cuenta la proximidad a pozos con columnas litoestratigráficas conocidas, registros geofísicos de pozo y demás información que facilite la correlación e interpretación de los resultados. Se deberá presentar a la supervisión un plan de trabajo que deberá ser aprobado previo al inicio de las actividades en campo, incluyendo la localización de los puntos, justificación del diseño, distribución de los equipos a desplegar y preparativos logísticos. A continuación, las especificaciones de adquisición frente a los dos métodos a desarrollar:

- **Magnetotelúrica - MT**

Se realizarán 70 estaciones de MT, cada una será configurada para registrar simultáneamente las cinco componentes del campo electromagnético natural: dos componentes horizontales del campo eléctrico (E_x , E_y) y tres componentes del campo magnético (H_x , H_y , H_z). Esta configuración de banda ancha (Broadband MT) permite cubrir un amplio espectro de frecuencias, desde audio-magnetotelúricas (AMT) hasta magnetotelúricas de período largo, optimizando la resolución tanto en la superficie como en profundidad.

Componentes Eléctricas (E_x , E_y): Se medirán mediante dipolos ortogonales, típicamente de 50 a 100 metros de longitud, orientados geográficamente (Norte-Sur y Este-Oeste). Se utilizarán electrodos no polarizables de alta calidad, como los de grafito o sulfato de plomo/plomo-cloruro, para minimizar el ruido de contacto y asegurar mediciones estables del campo eléctrico telúrico. La instalación de los electrodos implicará la excavación de pequeñas fosas para asegurar un buen contacto con el terreno y protegerlos de variaciones térmicas y humedad.

Componentes Magnéticas (H_x , H_y , H_z): Se registrarán utilizando bobinas de inducción de alta sensibilidad. Las bobinas horizontales (H_x , H_y) se orientarán con precisión al Norte y Este magnético, respectivamente, utilizando brújulas geológicas y sistemas GPS para asegurar la exactitud. La bobina vertical (H_z) se instalará en una excavación para protegerla del viento y las variaciones de temperatura, garantizando la medición de la componente vertical del campo magnético, esencial para la detección de estructuras verticales y heterogeneidades laterales.

Parámetros de Registro y Control de Ruido

Rango de Frecuencia: Se emplearán equipos capaces de registrar en un rango de frecuencias que abarque desde aproximadamente 10 kHz (o incluso más altas para AMT) hasta 0.001 Hz o menos. Las altas frecuencias (AMT) son cruciales para la caracterización de acuíferos someros y la identificación de la zona vadosa, mientras que las bajas frecuencias son indispensables para investigar la base del sistema hidrogeológico y las estructuras profundas que pueden controlar la recarga y el flujo regional.

Tiempo de Registro: Para asegurar una relación señal/ruido adecuado, especialmente en las bandas de baja frecuencia, cada estación tendrá un tiempo de registro mínimo de 12 a 18 horas. Este período puede ajustarse en función del nivel de ruido electromagnético ambiental presente en cada punto, buscando siempre la máxima calidad de los datos.

Referencia Remota: Para mitigar el impacto del ruido cultural (líneas eléctricas, cercas, etc.) y natural (tormentas locales), se establecerá una estación base remota. Esta estación se ubicará en una zona geográficamente distante (mínimo 20-50 km del área de estudio) y libre de fuentes de ruido. Los datos de la estación remota se utilizarán en el procesamiento para eliminar el ruido no correlacionado con la señal geológica, mejorando significativamente la calidad de las funciones de transferencia.

Logística de Campo y Seguridad

La distribución de los 70 puntos de medición se realizará de manera estratégica y común acuerdo con la supervisión, buscando una cobertura óptima de las áreas de interés hidrogeológico y a partir de los resultados obtenidos en el desarrollo de la actividad 2.2.1. Se considerarán condiciones de accesibilidad del área de estudio y se realizarán las gestiones con los propietarios de los predios para obtener los permisos correspondientes previo a la adquisición en las campañas de campo. Así mismo, para definir las características específicas de adquisición, se deberán considerar tanto las condiciones geológicas y ambientales del área, como la minimización del ruido electromagnético que pudiera interferir en la calidad de los datos. Se establecerán protocolos de seguridad industrial y salud ocupacional, así como medidas de preservación del medio ambiente, en estricto cumplimiento con la normativa local e internacional.

Control de Calidad (QC) en Campo

Durante la adquisición, se realizará un control de calidad en tiempo real para identificar y corregir posibles problemas. Esto incluye:

Monitoreo de Series de Tiempo: Verificación visual de la estabilidad y la presencia de ruido en las series de tiempo de las cinco componentes.

Análisis Espectral: Evaluación de los espectros de potencia para identificar bandas de ruido específicas y asegurar una buena respuesta de la señal geológica.

Coherencia: Cálculo de la coherencia entre las componentes eléctricas y magnéticas para evaluar la calidad de la relación entre ellas.

Curvas Preliminares: Generación de curvas de resistividad aparente y fase en campo para una evaluación inicial de la calidad de los datos y la detección de anomalías evidentes.

- **Tomografías de resistividad eléctrica**

Se realizarán diez (10) tomografías de resistividad eléctrica (registrando además datos de polarización inducida) con apertura de electrodos AB de 1000 m y 100 electrodos. Se deberá justificar y documentar el tipo de arreglo empleado de acuerdo con las condiciones geológicas y logísticas del área. La aplicación de este método se desarrollará para:

- **Mapeo de Resistividad:** Determinar la distribución espacial (lateral y en profundidad) de la resistividad real del subsuelo mediante la adquisición de datos de campo y la aplicación de algoritmos de inversión numérica de mínimos cuadrados.
- **Caracterización Litológica:** Identificar y delimitar las diferentes unidades litológicas presentes, diferenciando materiales con potencial de almacenamiento y transmisión de agua (acuíferos, como areniscas fracturadas o depósitos aluviales gruesos) de aquellos que actúan como barreras impermeables (acuicludos o acuíferos, como arcillolitas o limolitas).

- Detección de Niveles de Saturación: Localizar la profundidad del nivel freático y delimitar las zonas de saturación hídrica dentro del perfil estratigráfico.
- Análisis Estructural: Identificar estructuras geológicas subsuperficiales, tales como fallas, fracturas, pliegues o contactos discordantes, que puedan actuar como conductos preferenciales para el flujo subterráneo o como barreras hidráulicas.
- Delimitación de Zonas de Recarga: Definir la geometría y el espesor de los depósitos cuaternarios permeables (aluviales, fluvio-glaciares) y su relación de contacto con las formaciones rocosas subyacentes, para establecer las áreas de infiltración y recarga de los sistemas acuíferos.

Requerimientos del Equipo Geofísico

El contratista deberá garantizar el uso de equipos geofísicos de última generación, debidamente calibrados y certificados. El sistema de medición (tipo Terrameter LS, Syscal Pro, SuperSting o equivalente) debe cumplir con las siguientes especificaciones mínimas:

- Sistema Multielectrónico: Capacidad de conmutación automática para un mínimo de 41 electrodos simultáneos por tendido, permitiendo la adquisición rápida y densa de datos.
- Inyección de Corriente: Capacidad de inyectar corriente continua o de muy baja frecuencia, con un rango de salida ajustable que garantice una señal fuerte incluso en terrenos altamente resistivos.
- Resolución de Medición: Alta sensibilidad en la medición de la diferencia de potencial (rango de milivoltios a microvoltios) y de la corriente inyectada (miliamperios), con sistemas integrados de filtrado de ruido (stacking) y rechazo de potencial espontáneo (SP).
- Cables y Electrodo: Cables multiconductores en óptimo estado, sin empalmes defectuosos, y electrodos de acero inoxidable o aleaciones especiales que minimicen la polarización.

Diseño de Arreglos y Configuración

La selección del arreglo electrónico es crítica para el éxito del estudio y debe equilibrar la resolución lateral, la resolución vertical y la profundidad de investigación. Se exigen los siguientes parámetros:

- Tipo de Arreglo: Se priorizará el uso del arreglo Schlumberger o Wenner-Schlumberger. Este dispositivo ofrece una excelente resolución vertical, siendo altamente sensible a los cambios litológicos horizontales y a la detección de niveles freáticos, manteniendo una buena relación señal/ruido.
- Espaciamiento entre Electrodo (a): El espaciamiento base se definirá en función del objetivo específico de cada línea. Se recomienda un espaciamiento de 2.5 metros para estudios de alta resolución superficial (detalle de depósitos cuaternarios) y de 5.0 metros para alcanzar mayores profundidades de investigación en formaciones consolidadas.
- Profundidad de Investigación: El diseño geométrico de las líneas (longitud total del tendido) debe garantizar una profundidad de exploración efectiva mínima de 40 a 60 metros, asegurando la caracterización completa de los acuíferos someros y las zonas de recarga.
- Densidad de Datos: Se exige un protocolo de medición que adquiera un mínimo de 500 puntos de datos (cuadripolos) por cada perfil de 200 metros de longitud, garantizando la redundancia necesaria para los procesos de inversión.

Para la coordinación, control de calidad y supervisión del normal desarrollo de las labores de adquisición descritas, se dispondrá de al menos 20 días de labores de campo con la participación de por lo menos un (1) profesional idóneo dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

Nota: Sin perjuicio de lo anterior, el consultor podrá definir la participación de los profesionales o auxiliares adicionales que considere necesarios para la ejecución de las labores de campo.

Como resultados de esta tarea se deberán entregar un informe de las labores de campo, incluyendo las coordenadas planas de todos los puntos de adquisición de MT y de las líneas de tomografías eléctricas, así como los datos crudos obtenidos en la adquisición de cada estación o línea y registro fotográfico georreferenciado.

Tarea 2: Procesamiento y modelado de la información geofísica.

Una vez obtenidos los datos en campo, se procederá con su procesamiento y modelado matemático en 2D y 3D, con el objetivo de representar la variabilidad de las propiedades eléctricas del subsuelo. A partir de estos modelos, se generarán mapas temáticos y productos rasterizados que reflejen la distribución de la resistividad eléctrica y su posible relación con zonas de interés hidrogeológico. Esta información es fundamental para la interpretación integrada de las características del subsuelo y su interacción con el sistema hidrogeológico de cada cuenca priorizada.

- **Magnetotelúrica**

Se deberán realizar y documentar como mínimo las siguientes etapas de procesamiento:

Transformada de Fourier: Las series de tiempo se transformarán al dominio de la frecuencia para analizar la respuesta del subsuelo a diferentes profundidades.

Estimación Robusta del Tensor de Impedancia: Se aplicarán algoritmos robustos para la estimación del tensor de impedancia, minimizando el efecto de valores atípicos (outliers) y ruido impulsivo. Esto es crucial para obtener funciones de transferencia estables y representativas de la resistividad del subsuelo.

Corrección de Static Shift: El efecto de Static Shift, causado por heterogeneidades superficiales, puede distorsionar las curvas de resistividad aparente. Se aplicarán métodos de corrección, como la integración con sondeos eléctricos verticales (SEV) si están disponibles, o técnicas basadas en la información geológica conocida y la morfología de las curvas de fase, que son menos afectadas por este fenómeno.

En cuanto a la inversión se deberá implementar los siguientes métodos para maximizar la comprensión del subsuelo:

Inversión 1D (Unidimensional): Para cada una de las 70 estaciones, se realizará una inversión 1D para obtener un perfil vertical de resistividad. Esto proporcionará una evaluación rápida de la estratigrafía eléctrica local y la identificación preliminar de capas conductoras (potenciales acuíferos) y resistivas (rocas impermeables o secas).

Inversión 2D (Bidimensional): Se generarán perfiles de resistividad a lo largo de líneas principales que conecten varias estaciones. La inversión 2D es fundamental para delinear estructuras geológicas como fallas, fracturas y contactos litológicos que pueden actuar como conductos o barreras para el flujo de agua subterránea. Estas estructuras, a menudo caracterizadas por anomalías de resistividad (por ejemplo, zonas conductoras asociadas a fracturas rellenas de agua o alteración hidrotermal), son clave para entender la dinámica de la recarga y el movimiento del agua.

Inversión 3D (Tridimensional): La integración de los datos de las 70 estaciones en un modelo volumétrico de resistividad 3D será el paso culminante. Este modelo permitirá visualizar la geometría tridimensional de las unidades geológicas y cambios en sus características. La inversión 3D es una herramienta para complementar el conocimiento de la conectividad de los acuíferos y la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas en el área de estudio.

- **Tomografías de resistividad eléctrica**

Los datos crudos de resistividad aparente no representan la geología real y deben ser sometidos a un proceso de inversión matemática.

- **Software Requerido:** Se debe utilizar software especializado y licenciado para la inversión 2D/3D (ej. RES2DINV, EarthImager, ZondRes2D).
- **Metodología de Inversión:** Se aplicará el método de optimización de mínimos cuadrados amortiguados (Smoothness-constrained least-squares inversion). El proceso iterativo debe continuar hasta que el error cuadrático medio (RMS) entre los datos medidos y los calculados converja a un valor aceptable (idealmente inferior al 5-8%).
- **Incorporación de Topografía:** Es obligatorio integrar los datos de elevación topográfica en el modelo de inversión para evitar distorsiones geométricas en las anomalías resistivas.

Tarea 3: Elaboración de informe técnico y generación de productos geofísicos.

Se elaborará un informe técnico que documente detalladamente el levantamiento de la información geofísica, describiendo la metodología aplicada, los resultados obtenidos y su interpretación en el contexto hidrogeológico. Este informe incluirá bases de datos completas con las mediciones realizadas, modelos geofísicos en 2D y 3D, mapas de distribución de resistividad eléctrica y productos rasterizados que facilitarán la integración con la información geológica y de campo recolectada en cada cuenca priorizada.

A continuación, se relacionan los entregables intermedios referidos por cada una de las tareas que componen la actividad:

Tabla 3. Entregables por tarea actividad 2.2.2

TAREA	ENTREGABLE INTERMEDIO
<p>Adquisición de datos geofísicos mediante métodos electromagnéticos y de corriente directa.</p>	<p>Plan de Trabajo que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Localización de las estaciones a desarrollar y diseño de adquisición c) Justificación del diseño de adquisición c) Distribución de los equipos de trabajo a desplegar. c) Preparativos logísticos c) Cronograma del desarrollo de la adquisición <p>Informe de campo que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> b) Coordenadas planas de todos los puntos de adquisición de MT y de las líneas de tomografías eléctricas. b) Especificaciones de la adquisición de cada punto de MT y tomografía. b) Control de calidad en campo b) Registro fotográfico georreferenciado por estación o línea b) Datos crudos de adquisición (archivos editables, formatos de campo)
<p>Procesamiento y modelado de la información geofísica.</p>	<p>Informes avance/resultados que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> e) Procesamiento de estaciones de MT e) Procesamiento de tomografías eléctrica e) Resultados de inversiones 1D, 2D y 3D.

	e) Mapas temáticos y productos rasterizados que reflejen la distribución de la resistividad eléctrica
--	---

Finalmente, el producto de esta actividad deberá integrar los entregables intermedios y deberá contener los siguientes apartados:

- i. Resumen divulgativo (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones)
- j. Resumen
- k. Introducción
- l. Metodología (Diseño de adquisición, equipos empleados, especificaciones de la adquisición de cada punto de MT y tomografía, control de calidad en campo, procesamiento e inversión)
- m. Resultados (Inversión 1D, 2D y 3D, Análisis de calidad de los datos (RMS de inversión), mapas de resistividad, perfiles geofísicos, correlación de resistividad con los materiales del área de estudio basada en información de amarre, interpretación geológica detallada por perfil, interpretaciones referentes al potencial hidrogeológico y nivel freático). Se incluirán los Planos y Perfiles Geoeléctricos: Secciones 2D a escala adecuada, integrando la topografía, la escala de colores de resistividad, la interpretación litológica superpuesta y la ubicación de estructuras o niveles freáticos inferidos.
- n. Conclusiones y recomendaciones
- o. Referencias
- p. Anexos (datos crudos, base de datos espacial, anexo fotográfico georreferenciado, cartografía). Se deberán incluir todos los archivos crudos generados por los equipos de adquisición (ej. .dat, .bin, .EDI), archivos de texto con la topografía, y los archivos de salida del software de inversión (ej. .inv, .xyz), garantizando la trazabilidad total del estudio.

9.3.3.5. Actividad 2.3.2. Delimitar las zonas de recarga de acuíferos en las cuencas priorizadas como insumo para un modelo hidrogeológico conceptual

La identificación de las zonas potenciales de recarga de acuíferos y la validación mediante técnicas isotópicas contempladas en el presente producto, que lleven a la identificación de zonas de recarga de acuíferos, brindarán parte de los insumos para un modelo hidrogeológico conceptual para el área de estudio. Para el desarrollo de este producto se deberán seguir las tareas consignadas en el Anexo 1. Documento Técnico del Proyecto, y la *Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos*, adoptada por este Ministerio a través de la Resolución 0017 de 2026 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2026).

Tarea 1. Recopilación y análisis de información secundaria:

Previo al desarrollo de las labores de campo se deberá realizar la revisión y análisis de información existente relacionada con la geología, hidrología e hidrogeología de la zona de estudio, así como la adquisición de datos para análisis remoto (fotografías aéreas e imágenes satelitales). Las principales fuentes de información que deberán ser revisadas por el contratista deberán incluir como mínimo el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), universidades, Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA), corporaciones autónomas regionales y empresas consultoras.

Tarea 2. Inventario de puntos de agua y conceptualización del sistema de flujo:

Tal como describe el Anexo 1 Documento Técnico del Proyecto, se deberá realizar un inventario de puntos de aguas subterráneas, que incluya pozos, aljibes, manantiales y piezómetros dentro del área de estudio, considerando lo establecido en el Formulario Único Nacional de Inventario de Puntos de Agua Subterránea – FUNIAS, diligenciando los campos obligatorios establecidos en el Sistema de información de Recurso Hídrico (SIRH). En el caso en que esta información no esté disponible o no se pueda tener acceso al punto para el correcto diligenciamiento del FUNIAS, se deberá realizar la correspondiente justificación, en el campo de observaciones. Para el desarrollo de esta tarea cada equipo de trabajo deberá contar con los equipos necesarios para el inventario a saber: GPS, sonda multiparámetro, sonda de niveles (pozómetro), soluciones de calibración, baldes y recipientes para realizar aforos mediante el método volumétrico.

Durante el inventario se deberán tomar datos de niveles piezométricos cuando sea posible, caudales de descarga, registro fotográfico y filmico de ser necesario, así como parámetros *in-situ* del agua subterránea, por lo menos conductividad eléctrica, pH y temperatura. La información colectada deberá ser dispuesta en una geodatabase y sus resultados discutidos en función de los tipos de puntos inventariados, las unidades hidrogeológicas captadas y los datos de niveles piezométricos (disponibles), caudales, parámetros de campo, el tipo de uso del agua subterránea. Se deberán considerar en el análisis, el inventario de puntos de agua subterránea realizado por el SGC en la cuenca de la quebrada La Baja (Cañas et al. 2022), el área metropolitana de Bucaramanga, en el macizo de Santander (INGEOMINAS, 2009) y la información disponible de las autoridades ambientales. Previo al inicio de las labores de campo para el inventario de puntos se deberá entregar un plan de trabajo, que deberá ser aprobado por la supervisión, con la distribución de los equipos de trabajo a desplegar, de forma que se garantice el cubrimiento espacial de toda el área de estudio durante las labores de campo.

Para llevar a cabo esta tarea se realizarán tres (3) salidas de campo, cada una con una duración de 23 días y con el acompañamiento de por lo menos cuatro profesionales idóneos dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

Nota: Sin perjuicio de lo anterior, el consultor podrá definir la participación de los profesionales o auxiliares adicionales que considere necesarios para la ejecución de las labores de campo.

Con base en el inventario se determinará el sistema de flujo subterráneo de todas las unidades hidrogeológicas identificadas a partir de la construcción de mapas de niveles piezométricos o de isopiezas determinando los sistemas de flujo locales, intermedios y regionales.

Tarea 3. Delimitación de las zonas de recarga:

El análisis regional se deberá realizar a escala 1:100.000 y aquellas zonas de recarga en la categoría alta y muy alta identificadas a escala regional serán objeto de estudio a mayor detalle, realizando la adquisición de información y comprobaciones en campo siguiendo las recomendaciones definidas por la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga para cada una de las variables a escala 1:25.000.

Si bien se deberán tener en cuenta las fuentes de información y referencias descritas en la Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos, adoptada por este Ministerio a través de la Resolución 0017 de 2026, para el área de estudio se deberán incluir, como mínimo, los siguientes referentes:

- a. **Coberturas de la tierra:** El Mapa Nacional de Coberturas de la Tierra a escala 1:100.000 en su versión más reciente, respetando los niveles 1, 2 y 3 sin modificación de sus categorías ni definiciones. Cuando se requiera mayor nivel de detalle, la actualización se realizará a escala 1:25.000, priorizando las áreas clasificadas con probabilidad de recarga alta y muy alta, empleando imágenes satelitales más recientes que el insumo generado por el IDEAM. De manera complementaria, podrá tomarse como referencia información espacial

proveniente de instrumentos de planificación y ordenamiento adoptados por la CDMB en el área, tales como POMCA, PGOF u otros estudios técnicos que incorporen el componente de coberturas, garantizando en la coherencia metodológica con la Guía La calidad temática de la cartografía deberá evaluarse conforme a lo dispuesto en la Guía, incluyendo validación en campo y la elaboración de la correspondiente matriz de error, garantizando la coherencia técnica y la trazabilidad de los productos generados.

- b. **Grupo textural y drenaje natural del suelo:** Los generados por y para el IGAC, a saber: IGAC (2015) y Estudios Industriales LTDA (1973), así como los POMCA del río Alto Lebrija y Cáchira Sur.
- c. **Litología:** Cartografía geológica a escala 1:100.000 y 1:25.000 realizada por el SGC en el área de estudio (Cañas et al. 2022 e INGEOMINAS – UIS, 2007), cartografía geológica realizada en el marco de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) del río Alto Lebrija y Cáchira Sur.
- d. **Incidencia estructural:** Aquellos realizados por el SGC en la cuenca de la quebrada La Baja (Cañas et al. 2022 pp 41- 127), que incluyó el análisis cuantitativo de fracturamiento (intensidad y densidad de fracturamiento, geometría, conectividad, permeabilidad y dominios estructurales), los resultados obtenidos en el Producto 2.2.1. y Velandia (2017).

Nota 1: En el marco de la construcción de la mencionada Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos, el SGC realizó para las cuencas hidrográficas de los ríos Suratá y Tona a escala 1:100.000 la evaluación de las variables incidencia geoestructural, relieve y litología. Estos avances que abarcan el 63 % del área de estudio del proyecto serán entregados por el FVB al consultor y será punto de referencia para la aplicación de la guía metodológica en la totalidad del área de estudio.

Para la implementación del Proceso Analítico Jerárquico del que trata la Guía se deberá conformar una mesa de expertos, seleccionados de común acuerdo con la supervisión del contrato y la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico - DGIRH, que integren el conocimiento interdisciplinario alrededor de las aguas subterráneas en el área de estudio para realizar una comparación por pares de las variables contempladas en la Guía. La mesa deberá estar conformada por:

- Dos (2) expertos de la academia al menos uno en representación de la UIS.
- Dos (2) expertos de la CDMB.
- Dos (2) expertos del SGC.
- Dos (2) expertos del Ideam.
- Un (1) experto de la DGIRH.
- Un (1) experto de la ANLA
- Un (1) experto del IGAC.

Tarea 4. Reconocimiento en campo:

Las actividades de campo son el pilar para garantizar la precisión técnica de las variables que componen la guía tanto a escala 1:100.000 como de mayor detalle de trabajo, especialmente a escalas 1:25.000 donde los métodos indirectos como los sensores remotos tienen una resolución insuficiente. En este sentido se deberá realizar un control de campo que permita la caracterización directa de la litología, identificando texturas y facies críticas para el flujo hídrico, así como para cuantificar la incidencia geoestructural mediante la medición de la orientación, persistencia y abertura de las redes de fractura que controlan la permeabilidad secundaria. De igual las labores de campo serán el medio para resolver dudas temáticas sobre la cobertura de la tierra y validar las propiedades físicas de los suelos (como textura y drenaje). En este sentido, es fundamental que los profesionales que desarrollen esta tarea cuenten con el conocimiento técnico, la experiencia previa y la disponibilidad de tiempo necesaria para la implementación detallada de la guía.

Así pues, se ejecutarán reconocimientos geológicos, de edafología y de coberturas de la tierra en sitios donde existan incertidumbre y para los que se requiera información a escala 1:25.000. En cuanto al componente geológico, se realizarán tres salidas de campo, cada una con una duración de 23 días y con la participación de cuatro profesionales (idóneos dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría) el reconocimiento incluirá la naturaleza litológica, la disposición estratigráfica o la presencia de estructuras mayores. Se efectuará un control de discontinuidades, diaclasas, fracturas, pliegues y fallas regionales, con el fin de inferir la posible dinámica de los flujos subterráneos a escala regional,

En cuanto al control edafológico y la ejecución de pruebas de infiltración se realizarán para la identificación de suelos y su caracterización textural, de drenaje natural y de capacidad de absorber, almacenar y transmitir agua. A partir de las pruebas de infiltración se estimarán parámetros como la velocidad de infiltración, permeabilidad efectiva y características hidráulicas del suelo superficial. Para el desarrollo de este control se realizarán al menos dos salidas de campo, cada una con una duración de 20 días y con la participación de dos profesionales idóneos dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

En cuanto al control de las coberturas de la tierra se incluirá la verificación de dudas temáticas en campo y la elaboración de la correspondiente matriz de error, garantizando la coherencia técnica y la trazabilidad de los productos generados. Para el desarrollo de este control se tienen proyectadas dos salidas de campo, cada una con una duración de 18 días y la participación de un profesional idóneo dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

Nota: Sin perjuicio de la descripción de campañas de campo realizadas, el consultor podrá definir la participación de los profesionales o auxiliares adicionales que considere necesarios para la ejecución de las labores de campo.

Tarea 5. Muestreo químico e isotópico (métodos de verificación de zonas de recarga de acuíferos) :

Los mapas de zonas potenciales de recarga de acuíferos obtenidos a escala 1:100.000 y 1:25.000 deberán ser contrastado con los análisis hidrogeoquímicos e isotópicos (productos 2.1 y 2.3.2), para verificar a través de métodos estadísticos y gráficos la coherencia de las zonas con potencial de recarga. Este análisis debe estar sustentado en el informe final del producto.

Se deberán tomar 100 muestras de agua subterránea para análisis fisicoquímicos e isotópicos en temporada húmeda y seca, para un total de 50 puntos. La localización de los puntos de muestreo será definida de común acuerdo con la supervisión y con base en el inventario de puntos de agua subterránea, de forma que se garantice a) representatividad de unidades acuíferas y b) una distribución espacial adecuada.

El muestreo y los análisis fisicoquímicos deberán ser realizados por un laboratorio con acreditación vigente del Ideam para cada de los parámetros considerados, registrando las coordenadas de cada punto e incluyendo la toma de parámetros *in-situ* tales como conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad y potencial de óxido reducción. Los análisis de laboratorio a realizar incluyen: los iones mayoritarios, elementos traza y los sólidos disueltos totales (SDT). Principalmente de los cationes correspondientes a sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}), hierro (Fe), aluminio (Al^{3+}) y silicio (Si^{4+}) y de los aniones de bicarbonato (HCO_3^-), cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), fostafo (PO_4), nitrito (NO_2^-), y fluoruro (F^-), así como el análisis de metales y metaloides como arsénico, bario, boro, bromuro, cadmio, cromo, cobalto, cobre, estaño, estroncio, níquel, molibdeno, manganeso, cinc, plata, plomo, selenio, mercurio y vanadio, en las unidades en las referidas en la Tabla 1. Previo al desarrollo de las campañas de muestreo se deberá contar con un plan de monitoreo presentado y aprobado por la supervisión que incluya:

puntos previstos para muestreo, metodología de muestreo, los protocolos de muestreo que incluyan las cadenas de custodia.

Los parámetros fisicoquímicos contemplados serán los mismos que se describieron en la Tabla 1 Listado de parámetros y especies químicas a analizar de los presentes términos de referencia.

Es importante resaltar que se debe garantizar la confiabilidad de los datos mediante un balance iónico, a través del cual se pueda evaluar la consistencia de los datos químicos comparando la suma de cationes y aniones. Lo anterior asegura que los resultados químicos del agua sean consistentes y técnicamente válidos antes de hacer las interpretaciones hidrogeoquímicas. La interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio solo se realizará con aquellos con error en el balance iónico inferior al 10%.

Nota 2: Se deberán tomar un duplicado, en número equivalente al 15% del total de las muestras de isotopía, garantizando un muestreo aleatorio estratificado y registrando el volumen de agua colectado por cada uno de los colectores instalados. Los duplicados deberán ser enviados para su análisis al Laboratorio de isótopos estables en agua líquida del SGC. Se deberá realizar el cálculo del Porcentaje de diferencia relativo (%RPD) entre las muestras y los duplicados, definiendo un RPD < 20 % como aceptable. Se realizará, además, un análisis de sesgo para determinar si existe un error sistemático en la toma de muestras.

Adicionalmente se realizará la toma de 40 muestras de agua superficial o subterránea por el equipo del proyecto para el desarrollo únicamente de análisis isotópicos en aquellos lugares donde se determine pertinente en acuerdo con la supervisión, con miras a fortalecer el proceso de verificación de los resultados de los análisis llevados a cabo para las zonas de recarga.

Tarea 6. Geomática en delimitación de zonas de recarga

En cuanto a la geomática de las zonas de recarga se deberá guardar el registro de todas las etapas del procesamiento espacial de las variables consideradas, su calificación y los resultados obtenidos a escala 1:100.000, la definición de áreas susceptibles para el desarrollo del análisis a escala 1:25.000 y los métodos de verificación implementados, por medio de una base de datos espacial.

En el marco de las tareas que conforman esta actividad a continuación se presentan los entregables intermedios que deberá presentar el contratista:

Tabla 4. entregables por tarea actividad 2.3.2

TAREA	ENTREGABLE
Recopilación y análisis de información secundaria	Informe de revisión bibliográfica y documental que incluya: b) Base de datos espacial organizada por variable de la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga. b) Inventario de fuentes consultadas (SGC, ANLA, IDEAM, IGAC, POMCA, CDMB, universidades, consultoras).
Inventario de puntos de agua y conceptualización del sistema de flujo	Plan de Trabajo que incluya: c) Distribución de los equipos de trabajo a desplegar. c) Preparativos logísticos c) Desarrollo esperado de las labores en campo para el cubrimiento del área de estudio. Informes avance/resultados del Inventario, que incluya: e) Base de datos con el inventario georreferenciado de manantiales, pozos, aljibes y piezómetros. e) Formulario Unico Nacional para el Inventario de Puntos de Agua Subterránea con anexos (características constructivas, pruebas hidráulicas e hidrogeoquímica disponible).

TAREA	ENTREGABLE
	<ul style="list-style-type: none"> e) Evaluación de la demanda de agua por punto. e) Mapas piezométricos por unidad hidrogeológica. e) Conceptualización del sistema de flujo subterráneo (sistemas de flujo locales, intermedios, regionales)
<p>Delimitación de las zonas de recarga - Geomática en delimitación de zonas de recarga</p>	<p>Informes avance/resultados a escala 1:100.000, que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> f) Calificación de las variables según la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga a escala 1:100.000. f) Conformación de la mesa de expertos y evidencias de los resultados de la aplicación del método analítico jerárquico. f) Resultados de la aplicación de la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga a escala 1:100.000. f) Resultados de la verificación temática en campo. f) Zonas potenciales de recarga en categoría alta y muy alta priorizadas. f) Base de datos espacial con los resultados. <p>Informes avance/resultados a escala 1:25.000, que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> f) Resultados del levantamiento de información por variable considerada en la guía a escala 1:25.000. f) Calificación de las variables según la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga a escala 1:25.000. f) Resultados de la aplicación de la Guía Metodológica para la identificación de zonas potenciales de recarga a escala 1:25.000. f) Resultados de la verificación de zonas de recarga por medio de análisis de información hidrogequímica e isotópica. f) Zonas de recarga de acuíferos a escala 1:25.000 f) Base de datos espacial con los resultados.
<p>Reconocimiento en campo</p>	<p>Plan de Trabajo para el levantamiento de información a escala 1:25.000 que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Distribución de los equipos de trabajo a desplegar. c) Preparativos logísticos c) Desarrollo esperado de las labores en campo para el cubrimiento de las áreas priorizadas. <p>Informes avance/resultados a escala 1:25.000, que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Metodología para la adquisición de información i) Resultados del levantamiento de información por variable considerada en la guía a escala 1:25.000. i) Base de datos espacial con los resultados
<p>Muestreo químico e isotópico</p>	<p>Plan de monitoreo que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> c) Puntos previstos para muestreo con base en el inventario de puntos de aguas subterráneas. c) Metodología de muestreo c) Protocolos de muestreo que incluyan las cadenas de custodia.

TAREA	ENTREGABLE
	<p>Informes avance/resultados de interpretación de resultados por campañas que incluya:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Resultados de laboratorio fisicoquímicos e isotópicos originales. i) Localización de puntos de muestreo. i) Control de calidad (cálculo de balance iónico) i) Interpretación hidrogeoquímica (diagramas Piper, Stiff, Schoeller, etc.). i) Interpretación isotópica (Deuterio, O-18). i) Base de datos espacial con los resultados

El producto final que compilará los demás informes de avance deberá contener los siguientes apartados:

- a. Resumen divulgativo (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones)
- b. Resumen de las actividades realizadas y resultados del producto 2.3.2
- c. Introducción
- c. Metodología (fuentes de información empleadas, escala de trabajo, detalle de las campañas de campo, verificación detallada en campo de las variables empleadas en la metodología, conformación de la mesa de expertos para el análisis jerárquico, métodos de validación empleados)
- d. Resultados (conceptualización preliminar del flujo subterráneo con base en la información disponible y del inventario de puntos de aguas subterráneas, compilación de información secundaria para la evaluación y valoración de las variables empleadas en la identificación de zonas potenciales de recarga, especialización de la calificación de cada variable, definición del cálculo de pesos mediante integración del método CRITIC y Análisis jerárquico, mapa de zonas potenciales de recarga a escala 1:100.000 y 1:25.000 (para las zonas con muy alta y alta recarga identificadas a escala 1:100.000), información adquirida en campo a escala, inventario de puntos de aguas subterráneas, control de calidad y evaluación de análisis fisicoquímicos e isotópicos y levantamiento de información detallada a escala 1:25.000).
- e. Conclusiones y recomendaciones
- f. Referencias
- g. Anexos (Mapas de zonas de recarga a escala 1:100.000 y 1:25.000, reportes de laboratorio, cadenas de custodia, datos crudos georreferenciados (estaciones de control de geológico y estructural, pruebas de infiltración, inventario de puntos de agua subterránea, validación de coberturas de la tierra), geodatabase con la información analizada, base de datos espacial de las estaciones y resultados obtenidos)

Nota: En desarrollo de esta actividad se deberá involucrar a las comunidades locales en las campañas de campo para lo cual se dispondrá de por lo menos 456 jornales que serán distribuidos en función de las labores de campo previstas. Este involucramiento no se restringirá solo al apoyo de la jornada de campo y deberá implicar una transferencia de conocimientos que incluya los saberes y visión del actor comunitario, al igual que el propósito de la actividad desarrollada en el marco de los objetivos del proyecto.

9.3.3.6. Actividad 2.3.3. Consolidar un modelo hidrogeológico conceptual regional con escenarios predictivos en las cuencas priorizadas del páramo de Santurbán

De acuerdo con la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible un Modelo Hidrogeológico Conceptual es *“una representación descriptiva y gráfica de un sistema acuífero que incorpora una interpretación de las condiciones geológicas e hidrogeológicas y su interrelación con sistemas asociados (ríos, lagos, ecosistemas, mar), de tal manera que se reducen el problema físico y el dominio del acuífero a una versión simplificada de la realidad.”* La presente actividad considera el desarrollo de un modelo hidrogeológico conceptual regional para el área de la ZRT de Santurbán que considere diversos escenarios tomando como base la información geológica, hidrogeológica, geofísica, geoquímica, hidroquímica, isotópica e hidráulica adquirida en el marco de las actividades del proyecto y que se encuentre disponible.

Este modelo hidrogeológico conceptual incluirá la vinculación de herramientas de modelación numéricas que 1) retroalimenten el proceso de conceptualización del flujo del agua subterránea a medida que se desarrollan las labores de recopilación de información en campo y 2) permitan evaluar diversos escenarios.

Como parte de la integración de la información asociada a las aguas subterráneas disponible, esta actividad considera, además, la aplicación de metodologías diseñadas para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, entendida como las características propias de un acuífero que determinan la sensibilidad de este a ser afectado por contaminación derivada de actividades antrópicas o fenómenos naturales. De esta forma se construirá una síntesis del conocimiento que se tiene sobre las aguas subterráneas en el área que no solo sea descriptiva sino dinámica.

Tarea 1. Consolidar un modelo hidrogeológico conceptual para la zona de reserva de recursos naturales renovables de carácter temporal de Santurbán

Esta tarea tiene por objeto realizar la síntesis de la información geológica, geofísica, hidrogeoquímica, isotópica, hidrológica adquirida en el marco de las demás actividades contempladas para el proyecto, así como adquisición de información de las propiedades hidráulicas de los materiales y que en conjunto plasman el conocimiento sobre el funcionamiento de las unidades hidrogeológicas presentes en el área de estudio, identificar las zonas de recarga, tránsito y descarga, caracterizar los flujos locales, intermedios y regionales, determinar las características hidrogeoquímicas, las interconexiones con cuerpos de agua superficial y ecosistemas conexos.

Conforme se adquiere información en el marco del desarrollo de las actividades consideradas en la presente consultoría se contará con información que permita fortalecer el modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio. De conformidad con la tarea 2 de esta actividad, se deberán construir dos (2) versiones intermedias de modelos hidrogeológicos conceptuales que alimenten las versiones del modelo numérico de flujo y una (1) versión final como insumo para el modelo numérico de flujo final. Los documentos con las dos (2) versiones del modelo hidrogeológico conceptual, así como la versión final deberán contener los siguientes apartados:

- **Identificación de las unidades hidrogeológicas** (acuíferos, acuitardos, acuífugos o acuícludos), indicando el nombre de la formación o formaciones geológicas que la conforman y sus características litológicas, texturales y estructurales que condicionan y describen su posible comportamiento hidrogeológico. Así mismo, deberá establecerse su probable comportamiento

hidráulico, y la continuidad lateral o en profundidad de las unidades hidrogeológicas (acuíferos y no acuíferos) identificadas. En la primera versión del modelo conceptual se podrá emplear información secundaria, mientras que, para las demás versiones, incluyendo la final se deberá tener como principal insumo la información recolectada conforme el avance de las actividades 2.2.1, 2.2.2 y 2.3.2.

- **Modelo geológico-geofísico**, en el cual se determinen la profundidad del techo y base de las diferentes unidades identificadas, sus espesores promedio, extensión lateral y sus fronteras permeables, impermeables y semipermeables. Este modelo se deberá actualizar conforme se adquiera información en el marco del proyecto y será insumo para las versiones del modelo numérico de la Tarea 2 de la presente actividad. En este sentido la primera versión del modelo geológico-geofísico se podrá basar información secundaria, mientras que, para las demás versiones, se integrarán los resultados de campo de las actividades 2.2.1 y 2.2.2 y la información que se adquiera en el marco de la presente actividad precisando las condiciones geológico-estructurales particulares del área. La última versión del modelo deberá incluir como mínimo cuatro (4) secciones balanceadas, cuatro (4) perfiles geofísicos y al menos un (1) bloque diagrama que ilustren la geometría de las unidades hidrogeológicas.

- **Inventario de los puntos de agua subterránea**. Para la primera versión del modelo hidrogeológico conceptual se podrá emplear información secundaria recopilada mientras que las siguientes deberá partir de la síntesis de la información recolectada en el marco de la Actividad 2.3.2. teniendo en cuenta el análisis estadístico sobre la demanda actual de agua subterránea para consumo humano, uso doméstico, industrial, agropecuario o cualquier otro uso.

- **Determinación de las principales direcciones de flujo del agua subterránea**: a partir de los niveles freáticos y piezométricos medidos durante el inventario de puntos de aguas subterráneas realizado en el marco de la Actividad 2.3.2 incluyendo los mapas piezométricos que sean construidos, así como de información disponible para el área de estudio incluyendo estudios como los de Cañas et al. (2022), INGEOMINAS – UIS (2007) e INGEOMINAS (2009). Así mismo, esta etapa está estrechamente relacionada con las zonas potenciales de recarga identificadas a escala 1:100.000 y 1:25.000 así como de los métodos de verificación considerados también en dicha actividad. De igual forma se deberá considerar los resultados de la actividad 2.4.1. en materia de conexión entre agua superficial y subterránea.

- **Estimación de la recarga potencial de los acuíferos o sistemas acuíferos identificados**, conforme los resultados obtenidos en el marco de la de la actividad 2.4.1.

- **Caracterización hidráulica de los acuíferos**. A partir de la determinación de los parámetros hidráulicos conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y capacidad específica de los acuíferos identificados que cuenten con pozos en los cuales se pueda realizar pruebas de bombeo, justificando en cada caso, los métodos empleados para su adquisición e interpretación. Con base en el inventario de puntos de aguas subterráneas y de acuerdo con las condiciones logísticas se deberán realizar al menos cinco (5) pruebas hidráulicas en captaciones de aguas subterráneas que cuenten con sistema de bombeo instalado mediante el desarrollo de pruebas de bombeo a caudal constante. Si de acuerdo con las condiciones encontradas durante el inventario de puntos de aguas subterráneas y logísticas propias del área de estudio no es posible desarrollar pruebas a caudal constante en pozos, de común acuerdo con la supervisión del proyecto se emplearán otros ensayos para determinar los parámetros hidráulicos de acuíferos con captaciones muy someras o de gran diámetro o piezómetros, indicando las condiciones en las que

se realiza la prueba, los datos de campo y definir el alcance de los parámetros hidráulicos interpretados.

Para las pruebas hidráulicas se deberá suministrar los datos de campo (niveles vs tiempo y control del caudal durante la prueba en el pozo bombeado, y niveles vs tiempo en pozos de observación, siempre y cuanto sea posible contar con estos pozos de observación en el área de estudio y acceso a la medición de niveles en los mismos) y parámetros hidráulicos interpretados. La duración de las pruebas de bombeo realizadas en pozos que capten los acuíferos identificados deberá ser de por lo menos 24 horas siempre y cuando no se alcance un régimen estacionario en dicho periodo y la etapa de recuperación que alcance un 95 a 100% del abatimiento producido. La caracterización hidráulica de los acuíferos deberá complementarse con información secundaria disponible que cumpla con los mismos requisitos solicitados para la realización de dichas pruebas.

En la primera versión del modelo hidrogeológico conceptual se empleará información secundaria recopilada mientras que las versiones siguientes incorporarán la interpretación de la información adquirida descrita anteriormente.

- **Caracterización hidrogeoquímica**, En la primera versión del modelo hidrogeológico conceptual se empleará información secundaria recopilada mientras que las versiones siguientes incluirán los análisis fisicoquímicos realizados en la actividad 2.3.2 así como sus respectivas interpretaciones en cuanto a trayectorias y sistemas de flujos y zonas de recarga, tránsito y descarga, así como posibles mezclas con agua lluvia y superficial. Los resultados analíticos deberán ser presentados e interpretados mediante diagramas que se consideren adecuados como los de Piper, Stiff y Durov, Schoeller -Berkaloff, relaciones binarias, índice de saturación que conlleven a identificar facies y procesos hidrogeoquímicos.

Para realizar validación de la información y adquirir datos puntuales en campo que se requieran incluyendo pruebas hidráulicas, complemento al inventario de puntos de aguas subterráneas, toma de datos estructurales, se desarrollarán al menos dos comisiones de campo de 20 días con la participación de dos (2) profesionales idóneos dentro de los perfiles del equipo mínimo de trabajo definidos para la presente consultoría.

Nota: Sin perjuicio de la descripción de campañas de campo realizadas, el consultor podrá definir la participación de los profesionales o auxiliares adicionales que considere necesarios para la ejecución de las labores de campo.

Nota: En desarrollo de esta actividad se deberá involucrar a las comunidades locales en las campañas de campo para lo cual se dispondrá de por lo menos 40 jornales que serán distribuidos en función de las labores de campo previstas. Este involucramiento no se restringirá solo al apoyo de la jornada de campo y deberá implicar una transferencia de conocimientos que incluya los saberes y visión del actor comunitario, al igual que el propósito de la actividad desarrollada en el marco de los objetivos del proyecto.

Las versiones del modelo hidrogeológico conceptual deberán ser representadas mediante mapas utilizando la leyenda hidrogeológica internacional adoptada por el SGC. El mapa hidrogeológico incluirá la distribución de unidades hidrogeológicas, de puntos de agua (pozos, aljibes y manantiales), direcciones de flujo, datos hidroquímicos y parámetros hidráulicos. Estos mapas hidrogeológicos deberán estar acompañados de perfiles o cortes, bloques diagrama, en los que se pueden observar en profundidad, los espesores, los rasgos estructurales que definen las relaciones entre los sistemas acuíferos y las demás formaciones geológicas.

Las dos versiones de avance y el informe final del modelo hidrogeológico conceptual deberán incluir:

- Nombre de las unidades hidrogeológicas identificadas
- Evaluación geológica – geofísica con la cual se estimen la profundidad del techo y base de las diferentes unidades identificadas, sus espesores promedio, extensión lateral y sus fronteras permeables, impermeables y semipermeables.
- Características litológicas, texturales y estructurales que condicionan y determinan el comportamiento hidrogeológico.
- Tipos de captaciones y principales usos y usuarios del agua subterránea, con base en los inventarios de puntos de agua existentes
- Estimación de la recarga potencial.
- Caracterización hidrogeoquímica e isotópica.
- Parámetros hidráulicos disponibles (conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, capacidad específica, radio de influencia, entre otros).

Tarea 2. Desarrollar modelos numéricos de flujo y transporte de aguas subterráneas como soporte a la modelación conceptual

Esta tarea tiene por objeto desarrollar e implementar tres (3) modelos numéricos de flujo de aguas subterráneas y transporte de solutos, a partir de la representación conceptual preliminar del sistema acuífero y de su actualización progresiva. Estos modelos servirán para como herramientas para contrastar y ajustar el modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio, así como para evaluar la hipótesis sobre el comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero y los procesos de transporte en la zona de reserva temporal.

El Contratista deberá desarrollar modelos numéricos mediante un proceso iterativo, incorporando progresivamente la información disponible y ajustando el modelo conforme se avance en su calibración y validación. Estos modelos deberán permitir:

- Analizar el comportamiento del flujo subterráneo y su interacción con el sistema hídrico superficial.
- Evaluar hipótesis sobre las condiciones de flujo, recarga, descarga y conectividad hidráulica del sistema.
- Integrar progresivamente la información secundaria disponible y los datos levantados en campo en el marco de las actividades de los productos 2.1, 2.2 y 2.3.
- Ajustar y actualizar el modelo hidrogeológico conceptual conforme se integre nueva información.
- Simular escenarios predictivos de gestión del recurso hídrico subterráneo.

Las versiones del modelo constituirán un insumo técnico para la actualización progresiva del modelo hidrogeológico conceptual y un indicador de avance de la actividad.

Durante el desarrollo de la tarea se deberán surtir las siguientes etapas:

a) Definición inicial del modelo

En etapas tempranas, el Contratista deberá:

- Definir los objetivos específicos de modelación.

- Seleccionar y justificar el tipo de modelo numérico a emplear.
 - Delimitar preliminarmente el dominio del modelo.
 - Establecer la discretización espacial inicial.
 - Definir condiciones iniciales y condiciones de frontera, de acuerdo con la información hidrogeológica disponible y el modelo conceptual que se defina preliminarmente.
- b) Desarrollo de modelos intermedios que permitan:
- Evaluar de manera preliminar la interacción entre aguas superficiales y subterráneas.
 - Identificar vacíos de información.
 - Orientar las actividades de adquisición de datos en campo.
 - Revisar la coherencia del modelo hidrogeológico conceptual preliminar.
- c) Actualización e integración de información
- A medida que avance la adquisición de información, el contratista deberá:
- Actualizar los modelos mediante la incorporación progresiva de nuevos datos.
 - Generar versiones sucesivas debidamente documentadas.
 - Registrar los principales cambios realizados en la conceptualización, parametrización, condiciones de frontera y resultados del modelo numérico.
- d) Calibración y validación
- Para cada versión del modelo, el Contratista deberá:
- Realizar procesos de calibración con base en información observada.
 - Incluir, la calibración en estado estacionario de la carga hidráulica.
 - Evaluar el ajuste entre valores observados y simulados mediante métricas estadísticas.
 - Realizar la validación del modelo con información independiente, discutiendo su selección en este proceso.
 - Documentar y analizar los resultados obtenidos, incluyendo de forma explícita las limitaciones e incertidumbres.
- e) Simulación de escenarios
- La versión final del modelo deberá permitir la simulación de escenarios claramente definidos (base, tendencial, extremos), con la debida justificación técnica, incluyendo:
- Variaciones en la tasa de recarga.
 - Extracción de aguas subterráneas.
 - Cambios asociados a presiones antrópicas
 - Descarga de aguas subterráneas hacia cuerpos de agua superficiales.
 - Evaluación de efectos sobre niveles piezométricos.
 - Análisis de trayectorias preferenciales de flujo mediante el seguimiento de partículas (“particle tracking”) bajo escenarios hipotéticos.
 - Analizar el nivel de confianza de las predicciones realizadas, en función de la calidad y representatividad de la información disponible, el desempeño de la calibración y el análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo.

Nota: El análisis de trayectorias de flujo mediante seguimiento de partículas deberá realizarse sobre el modelo de flujo calibrado, en estado estacionario y/o transitorio, según la disponibilidad de información.

El desarrollo de la modelación deberá seguir buenas prácticas internacionales, incluyendo como referencia:

- Norma ASTM International D5718-13: documentación de modelos de flujo de aguas subterráneas.
- Norma ASTM International D5609: definición de condiciones de contorno.
- Norma ASTM International D5611: análisis de sensibilidad.

Así mismo, el modelo deberá ser consistente con las versiones definidas para el modelo hidrogeológico conceptual, la información geológica, geofísica e hidroquímica y el balance hidrológico superficial.

Requerimientos de documentación

El Contratista deberá mantener un registro completo y trazable de todas las versiones del modelo, incluyendo como mínimo:

- Tipo de modelo empleado y software utilizado
- Modelo hidrogeológico conceptual adoptado.
- Supuestos de modelación (justificaciones que soportan el modelo)
- Control de calidad de los datos empleados (validación, depuración y criterio de selección)
- Discretización espacial del modelo numérico, incluyendo la malla y su justificación.
- Distribución de parámetros hidráulicos.
- Definición de fuentes y sumideros.
- Condiciones iniciales y condiciones de frontera.
- Configuración del seguimiento de partículas, incluyendo criterios de liberación, dirección de seguimiento y análisis de tiempos de tránsito.
- Análisis de sensibilidad (local y/o global) de los parámetros hidráulicos y condiciones de frontera, justificando el método seleccionado.
- Discusión de las principales fuentes de información disponible, la conceptualización del sistema y la parametrización del modelo.
- Descripción del balance hídrico del modelo y análisis de sus componentes.
- Registro de versiones del modelo, incluyendo cambios en la conceptualización, parametrización y resultados.

Todos los archivos digitales asociados a los modelos (entradas, archivos nativos del modelo, archivos de resultados y archivos auxiliares, bases de datos, scripts, y archivos necesarios para la ejecución y reproducción del modelo) deberán ser entregados como parte integral del producto final.

Nota: Se priorizará el uso de herramientas de software libre.

Productos esperados

El Contratista deberá entregar:

- Dos (2) versiones intermedias del modelo numérico debidamente documentadas (en versión editable, en formato de construcción y de resultados).
- Un (1) modelo numérico final calibrado y validado (en versión editable, en formato de construcción y de resultados).
- Simulaciones de escenarios predictivos.
- Base de datos espacial con información de entrada

- Tres (3) informes técnicos detallados que incluyan resultados, análisis, incertidumbres y limitaciones de cada una de las versiones del modelo, esto es dos (2) documentos correspondientes a las versiones intermedias y uno (1) correspondiente a la versión final.
- Manual de usuario del modelo final.

Se deberán explicitar claramente las limitaciones del modelo numérico y su implicación en la interpretación de resultados y en la integración con el modelo hidrogeológico conceptual.

Tarea 3. Determinar la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

La vulnerabilidad intrínseca de un acuífero a la contaminación se define como las características propias de un acuífero que determinan la facilidad con que un contaminante derivado de actividades antrópicas o fenómenos naturales pueda llegar a afectarlo (Art. 2.2.3.1.1.3 Decreto 1076 de 2015). Para el desarrollo de esta tarea se realizará la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación en el área de estudio, a partir de la información adquirida en el marco de las demás actividades del proyecto y aplicando metodologías ya sea de simulación, estadísticas o de superposición como las descritas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010). En este sentido se evaluará la capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no saturada y en la zona saturada, la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes (en función del régimen hidráulico del acuífero, la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea) y las características litológicas de los materiales y los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes, como la pendiente del terreno. La selección del método empleado deberá ser sustentada técnicamente en función del tipo de acuífero y de la información disponible para la zona. Como resultado se generará un mapa de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación en cinco categorías que varían entre muy baja, baja, media, alta y muy alta.

El producto final con los resultados de la actividad compilará los informes intermedios y deberá incluir los siguientes apartados:

- h. **Resumen divulgativo** (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones)
- i. **Resumen de las actividades realizadas y resultados del producto 2.3.3**
- j. **Introducción**
- k. **Metodología** (fuentes de información empleadas, escala de trabajo, detalle de las campañas de campo, código seleccionado para la modelación, especificaciones del modelo numérico, método seleccionado para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación)
- l. **Resultados del modelo hidrogeológico conceptual** (unidades hidrogeológicas identificadas, modelo geológico-geofísico, Características litológicas, texturales y estructurales que condicionan y determinan el comportamiento hidrogeológico, resumen del inventario de puntos de aguas subterráneas y de uso del agua subterránea, estimación de la recarga potencial, zonas de recarga de acuíferos, Caracterización hidrogeoquímica e isotópica, parámetros hidráulicos (resultados de pruebas de bombeo desarrolladas), Determinación de las principales direcciones de flujo del agua subterránea y evaluación de conexión agua subterránea-agua superficial)
- m. **Resultados del modelo numérico de flujo y transporte** (Tipo de modelo empleado y software utilizado, Modelo hidrogeológico conceptual adoptado, Supuestos de modelación (justificaciones que soportan el modelo), Control de calidad de los datos empleados)

(validación, depuración y criterio de selección), Discretización espacial del modelo numérico, incluyendo la malla y su justificación, Distribución de parámetros hidráulicos, Definición de fuentes y sumideros, Condiciones iniciales y condiciones de frontera, Configuración del seguimiento de partículas, incluyendo criterios de liberación, dirección de seguimiento y análisis de tiempos de tránsito, Análisis de sensibilidad (local y/o global) de los parámetros hidráulicos y condiciones de frontera, justificando el método seleccionado, Discusión de las principales fuentes de información disponible, la conceptualización del sistema y la parametrización del modelo, Descripción del balance hídrico del modelo y análisis de sus componentes, Registro de versiones del modelo, incluyendo cambios en la conceptualización, parametrización y resultados, Simulación de escenarios claramente definidos (base, tendencial, extremos), con la debida justificación técnica, incluyendo: Variaciones en la tasa de recarga, Extracción de aguas subterráneas, Cambios asociados a presiones antrópicas, Descarga de aguas subterráneas hacia cuerpos de agua superficiales, Evaluación de efectos sobre niveles piezométricos, Análisis de trayectorias preferenciales de flujo mediante el seguimiento de partículas (“particle tracking”) bajo escenarios hipotéticos, Análisis del nivel de confianza de las predicciones realizadas, en función de la calidad y representatividad de la información disponible, el desempeño de la calibración y el análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo)

- n. **Resultados de la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de acuíferos a la contaminación** (evaluación por variable empleada y mapas resultantes)
- o. **Conclusiones y recomendaciones**
- p. Referencias
- q. **Anexos** (datos crudos y editables de todos los productos generados incluyendo secciones balanceadas, perfiles geofísicos, bloque diagrama, datos de campo de pruebas de bombeo, mapas hidrogeológicos, mapas de isopiezas, base de datos espacial con los resultados obtenidos, todos los archivos digitales asociados a los modelos numéricos (entradas, archivos nativos del modelo, archivos de resultados y archivos auxiliares, bases de datos, scripts, y archivos necesarios para la ejecución y reproducción del modelo))

9.3.3.7. **PRODUCTO 2.4 Documentos con la caracterización de la dinámica hídrica en términos de cantidad y calidad para las cuencas priorizadas del Páramo de Santurbán (Fase I)**

El presente producto tiene como objetivo generar conocimiento técnico sobre la dinámica hídrica en el Páramo de Santurbán y su Zona de Reserva Temporal (ZRT), como insumo fundamental para el ordenamiento del territorio alrededor del agua. Este conocimiento es clave para orientar la toma de decisiones ambientales en el marco del proyecto.

Los páramos colombianos, y en particular el páramo de Santurbán, cumplen una función estratégica en el ciclo del agua. Actúan como reguladores hidrológicos que captan, almacenan y liberan agua superficial y subterránea de forma sostenida, prestando servicios ecosistémicos fundamentales como la provisión de agua potable, la regulación de caudales y la mitigación de eventos extremos (sequías o inundaciones). En el caso de Santurbán, este ecosistema abastece a importantes centros urbanos y comunidades rurales de los departamentos de Santander y Norte de Santander. Sin embargo, presiones crecientes derivadas de actividades económicas, el cambio de uso del suelo y la variabilidad climática han incrementado la vulnerabilidad del sistema hídrico. Por ello, se requiere información precisa y actualizada sobre el funcionamiento hidrológico del páramo como base para diseñar estrategias eficaces de conservación, restauración y planificación territorial.

La comprensión del ciclo hidrológico en los páramos —*en términos de cantidad y calidad del agua*— constituye el punto de partida para integrar criterios ecosistémicos en los instrumentos de planificación ambiental. Conocer cómo se comportan los componentes del ciclo (precipitación, escorrentía, infiltración, almacenamiento en el suelo, flujo subsuperficial, entre otros) permite evaluar

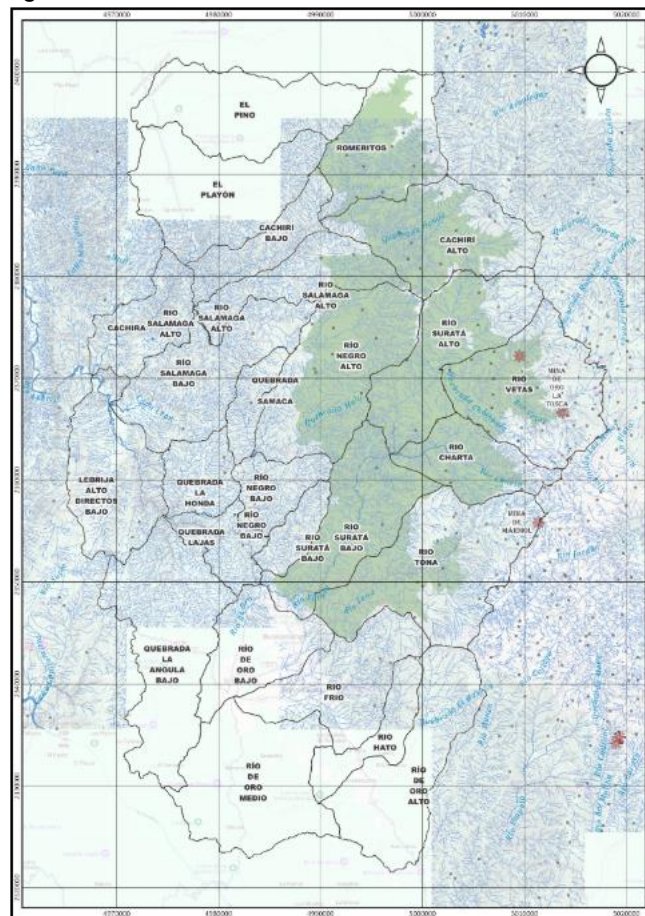
la sostenibilidad de la oferta hídrica y su capacidad de responder ante escenarios de cambio climático. Esta caracterización hidrológica también permite dimensionar los servicios ecosistémicos hídricos del páramo, incluyendo no solo la cantidad de agua suministrada, sino también su calidad, estabilidad temporal y relevancia socio-territorial.

Una de las herramientas más eficaces para analizar estas dinámicas es la modelación matemática, en particular la modelación hidrológica, hidrogeológica y la modelación de calidad del agua. Los modelos matemáticos ambientales son representaciones numéricas del comportamiento de los sistemas naturales que permiten simular, predecir y analizar cómo responden a distintas condiciones o escenarios. En el contexto del agua, un modelo hidrológico permite simular la trayectoria del agua en una cuenca hidrográfica desde su ingreso (precipitación) hasta su salida (escorrentía o infiltración), considerando las interacciones con el suelo, la vegetación y la topografía. Este tipo de herramienta permite entender cómo influyen los cambios de cobertura vegetal, el clima o el uso del suelo sobre los caudales, y facilita estimar indicadores clave como el flujo base, los coeficientes de escorrentía o el tiempo de residencia del agua.

Complementariamente, un modelo de calidad del agua permite simular la evolución de parámetros fisicoquímicos o biológicos del agua (por ejemplo, oxígeno disuelto, nutrientes, metales pesados o temperatura), en función de procesos como el arrastre superficial, la infiltración, la carga de contaminantes puntuales o difusos y la autodepuración natural de los ecosistemas acuáticos. Estos modelos son fundamentales para identificar zonas sensibles, evaluar riesgos para el abastecimiento o la biodiversidad acuática, y priorizar acciones de conservación o tratamiento.

Ambos tipos de modelación —*hidrológica (superficial y subsuperficial) y de calidad del agua*— se integran bajo un enfoque de modelación eco-hidrológica integrada, que considera simultáneamente los flujos y las calidades del recurso, permitiendo evaluar su comportamiento bajo distintas presiones ambientales o escenarios de gestión. Esta aproximación es especialmente útil en ecosistemas complejos como los páramos, donde los servicios ecosistémicos hídricos dependen de la integridad de múltiples procesos interconectados tal y como se pretende hacer en el área de estudio (Ver Figura 3).

Figura 3. Dominio de modelación – Cuencas Priorizadas



Fuente: DGIRH, 2025

El uso de modelos tiene múltiples ventajas en el contexto de Santurbán:

- Permite simular escenarios con y sin intervención, evaluando el impacto de actividades productivas, cambios de cobertura vegetal o estrategias de restauración.
- Favorece la identificación de áreas críticas para la regulación hídrica (por ejemplo, zonas de recarga o humedales), que pueden ser priorizadas para acciones de conservación o restauración como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).
- Facilita la integración del conocimiento técnico ambiental (POMCA, PORH, PMA) con los instrumentos de planificación territorial y productivo (EOT, POP), contribuyendo a la formulación de lineamientos basados en evidencia.
- Permite complementar vacíos de información en zonas con monitoreo limitado, mediante simulaciones calibradas con datos disponibles.

No obstante, es importante señalar que la caracterización del ciclo hidrológico no estaría completa si se limitara al componente superficial. En zonas de alta montaña como Santurbán, la interacción entre agua superficial y agua subterránea (acuíferos someros y profundos) desempeña un papel crucial en la regulación del recurso hídrico. Parte del agua que se infiltra en los suelos del páramo puede alimentar acuíferos que emergen luego como manantiales, generando un flujo base constante en las quebradas incluso durante las temporadas secas. Por esta razón, los ejercicios de modelación

hidrológica desarrollados en el marco del Producto 2.4 deben articularse con el Producto 2.3, el cual aborda el componente hidrogeológico y geoquímico subterráneo. Esta integración garantizará una lectura completa del sistema hídrico de Santurbán, permitiendo representar el ciclo hidrológico completo, desde la lluvia hasta la descarga superficial o subterránea.

De esta manera, el Producto 2.4 entregará las bases técnicas para comprender y simular la dinámica hídrica superficial en Santurbán, integrando conocimientos climáticos, geomorfológicos, edáficos y eco-hidrológicos. Su desarrollo representa un paso estratégico para avanzar hacia el ordenamiento del territorio alrededor del agua, desde un enfoque ecosistémico y adaptativo, acorde con los principios de la gestión integral del recurso hídrico, la adaptación al cambio climático y la conservación de los páramos como activos estratégicos para la vida y la biodiversidad del país.

- **Actividad 2.4.1 Caracterizar la dinámica de los componentes del ciclo hidrológico (climatología, almacenamiento de agua en el suelo, flujos subsuperficiales, escorrentía) en las cuencas priorizadas (Fase I)**

La Actividad 2.4.1 tiene como propósito desarrollar un ejercicio de modelación matemática que permita caracterizar la dinámica del ciclo hidrológico superficial en las cuencas priorizadas de la Zona de Reserva Temporal (ZRT) del macizo de Santurbán, mediante la construcción de un modelo hidrológico dinámico de tipo semi-distribuido o totalmente distribuido, operado a paso de tiempo mensual. Esta aproximación busca representar con precisión los flujos y almacenamientos del agua en los distintos compartimentos del sistema hidrológico, en especial aquellos que resultan fundamentales en ecosistemas de alta montaña como los páramos.

El modelo permitirá simular los principales componentes del ciclo hidrológico —*precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial, percolación profunda y almacenamiento en el suelo*—, con especial atención a la representación del comportamiento hidrológico típico de los suelos de páramo, caracterizados por su elevada capacidad de retención hídrica, baja conductividad hidráulica en profundidad, y significativa contribución al flujo base. La adopción de una escala temporal mensual busca capturar adecuadamente la variabilidad estacional y multianual, coherente con los periodos climáticos característicos del páramo de Santurbán.

La construcción del modelo hidrológico se basará en un enfoque conceptual soportado por análisis fisiográficos, climatológicos y edáficos, y estará regida por los lineamientos metodológicos establecidos en los protocolos de modelación hidrológica del IDEAM, así como por las recomendaciones técnicas y procedimentales desarrolladas por el profesor Efraín Domínguez en el contexto de cuencas altoandinas. Esto asegura la consistencia metodológica con prácticas reconocidas a nivel nacional, así como la trazabilidad y reproducibilidad de los resultados.

En su conjunto, la actividad permitirá no solo caracterizar de forma técnica la oferta hídrica en términos de cantidad, sino también entregar insumos fundamentales para el análisis de servicios ecosistémicos asociados al agua y la planificación del territorio alrededor de su dinámica. Además, el modelo servirá como plataforma base para acoplamientos posteriores con componentes de calidad del agua y flujos subterráneos, en articulación con el Producto 2.3.

Tarea 1. Recopilación, depuración y estructuración de información hidrometeorológica y geoespacial para modelación hidrológica

Esta tarea tiene como objetivo compilar, validar y organizar la información requerida para la implementación de un modelo hidrológico semi-distribuido o totalmente distribuido, a escala

mensual, en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán. El énfasis está en recolectar datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración, caudales, entre otros) y geoespaciales (uso del suelo, tipo de cobertura vegetal, geología, pedología, topografía) que permitan representar adecuadamente los procesos clave del ciclo hidrológico en ecosistemas de alta montaña. Se priorizarán fuentes oficiales como el IDEAM, el SIRH, autoridades ambientales regionales y estudios previos en la zona, aplicando criterios de calidad y completitud para la selección y validación de series (ver Tabla 05.)

Tabla 5. Categorización de variables para construcción del modelo

VARIABLE	TIPO	RESOLUCIÓN TEMPORAL	RESOLUCIÓN ESPACIAL	FUENTES
Precipitación	Hidrometeorología	Diaria Mensual	1:25.000	IDEAM Autoridades Ambientales Regionales Redes de Terceros CHIRPs Global Circulation Models (reanálisis)
Temperatura				
Humedad Relativa				
Brillo Solar				
Velocidad del Viento				
Modelo Digital de Terreno	Uso del Suelo	N/A	1:25.000	JAXA - ALOS PALSAR
Coberturas de la Tierra y Uso del Suelo			1:100.000	IDEAM AUTORIDADES AMBIENTALES REGIONALES
Pendiente	Suelo	N/A	1:25.000	JAXA - ALOS PALSAR
Propiedades Físicas del Suelo (Infiltración, Conductividad Hidráulica, Capacidad de Almacenamiento)			1:100.000	IGAC SOILS GRIDS AGROSAVIA AUTORIDADES AMBIENTALES REGIONALES
Unidades acuíferas	Geología	N/A	1:500.000 1:100.000	SGC AUTORIDADES AMBIENTALES REGIONALES UNIVERSIDADES ESTUDIOS INDEPENDIENTES

Fuente: DGIRH, 2025

Dado el rol estratégico del páramo de Santurbán en la provisión y regulación del recurso hídrico, esta tarea contempla una caracterización fisiográfica detallada del territorio, incluyendo la delimitación de cuencas y subcuencas, análisis de gradientes altitudinales y la identificación de unidades hidrográficas con condiciones contrastantes de oferta hídrica. Asimismo, se hará énfasis

en el análisis de suelos con capacidad de almacenamiento significativo, como los suelos orgánicos de alta porosidad típicos del ecosistema de páramo, esenciales para representar correctamente la dinámica de humedad del suelo y su influencia en el flujo base.

La información recopilada será organizada en un sistema de información geográfica (SIG) y en estructuras tabulares normalizadas, siguiendo los lineamientos establecidos en los protocolos de modelación del IDEAM y las recomendaciones técnicas del profesor Efraín Domínguez. Este insumo constituye la base técnica para la formulación del modelo hidrológico, permitiendo establecer condiciones de contorno, parámetros físicos e hipótesis de funcionamiento del sistema hídrico, y garantizar la trazabilidad y replicabilidad de los análisis posteriores.

Tarea 2. Definición del modelo matemático a implementar

Esta tarea tiene como propósito seleccionar y justificar técnicamente el modelo matemático que será implementado para simular el comportamiento hidrológico de las cuencas priorizadas en la ZRT Santurbán, bajo un enfoque semi-distribuido o distribuido a paso mensual. El modelo debe permitir representar de forma explícita los principales componentes del ciclo hidrológico —*precipitación, escorrentía superficial, almacenamiento en el suelo, escorrentía subsuperficial, evapotranspiración y percolación profunda*— con énfasis en el rol de los suelos paramunos como reguladores clave de los flujos hídricos. La selección se guiará por los objetivos definidos en el Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM: generar un entendimiento sistémico del funcionamiento hídrico de las cuencas, cuantificar la oferta hídrica y apoyar decisiones de ordenamiento del territorio.

El proceso incluirá la evaluación comparativa de modelos conceptuales y físicamente basados que hayan demostrado aplicabilidad en ecosistemas altoandinos, considerando criterios como: capacidad de representación de procesos eco-hidrológicos relevantes (almacenamiento y liberación lenta en suelos orgánicos), compatibilidad con la información disponible, facilidad de calibración y validación, interpretabilidad de parámetros, requerimientos computacionales y posibilidad de acoplamiento futuro con módulos de calidad del agua. Se contemplará, por ejemplo, la aplicabilidad de modelos en plataformas existentes como WEAP, HBV, TETIS, SWAT y/o desarrollos particulares en lenguajes de programación como Python, sin restringirse de antemano a una única herramienta, pero garantizando su idoneidad frente al comportamiento hidrológico específico del páramo de Santurbán.

La definición del modelo incluirá la elaboración del esquema conceptual del sistema hidrológico, el establecimiento de unidades hidrológicas homogéneas, la determinación de variables de entrada, parámetros y condiciones de borde, y el diseño de la estructura de simulación mensual. Este proceso se realizará en estricta coherencia con los lineamientos metodológicos del IDEAM y las prácticas desarrolladas por el profesor Efraín Domínguez, asegurando que el modelo cumpla los estándares técnicos nacionales para simulación hidrológica en cuencas de montaña, y pueda ser replicable y escalable en contextos similares a nivel nacional.

Tarea 3. Procesamiento de información

Esta tarea tiene como objetivo estructurar y transformar los datos hidroclimáticos, geospaciales y edáficos recopilados previamente, para alimentar de forma coherente y operativa el modelo hidrológico definido. En primera instancia, se desarrollarán actividades de minería de datos hidrometeorológicos, orientadas a depurar, homogeneizar y rellenar series temporales de precipitación, temperatura, caudal y otras variables relevantes, mediante métodos estadísticos y geoestadísticos apropiados. Paralelamente, se procesarán las coberturas de uso y cobertura de la

tierra, mediante análisis multitemporal y reclasificaciones orientadas a identificar las principales unidades funcionales de cobertura vegetal, con especial énfasis en coberturas naturales de alta retención hídrica como frailejonales, humedales y bosques altoandinos.

Desde la perspectiva edáfica, se priorizará la integración de estudios de suelos existentes en la región (perfiles físicos, morfología, mapas edafológicos) para estimar variables clave en el modelado del almacenamiento y transporte del agua en el suelo. Entre estas se incluyen: capacidad de infiltración, conductividad hidráulica saturada, densidad aparente y real, contenido de materia orgánica y capacidad de campo. Adicionalmente, se identificarán zonas con alta capacidad de captación lateral de humedad, que funcionan como corredores de redistribución hídrica subsuperficial, relevantes para la simulación de flujos base y regulación de caudales. En el caso de ecosistemas de páramo, la caracterización de estos suelos es crítica por su papel en el retardo y modulación de la escorrentía.

Con base en la información procesada, se procederá a la delimitación de las Unidades de Análisis Hidrográfica (UAH) en caso de modelación semi-distribuida, y/o a la definición del tamaño óptimo de celda (resolución espacial) en caso de optar por una modelación distribuida. Este paso se fundamenta en criterios fisiográficos, edafológicos y de distribución de coberturas, buscando una representación adecuada del comportamiento espacial del ciclo hidrológico. Las UAH y/o celdas serán asociadas a parámetros hidrológicos homogéneos y servirán como base para la estructuración del modelo en su componente espacial, garantizando un equilibrio entre precisión, escalabilidad y disponibilidad de datos.

Tarea 4. Levantamiento de Información Primaria

Esta tarea comprende el diseño y ejecución de una campaña de campo orientada a la obtención de información primaria en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, con el objetivo de complementar y validar los datos secundarios utilizados en la estructuración y calibración del modelo hidrológico. Dado el carácter estratégico del ecosistema de páramo y su alta heterogeneidad espacial, el levantamiento de datos *in situ* es esencial para reducir la incertidumbre en los parámetros clave del modelo y asegurar una representación realista de la dinámica hídrica. La tarea se enfoca en tres componentes principales: aforos de caudal (líquido y sólido), caracterización física de suelos y pruebas de infiltración y conductividad hidráulica.

En primer lugar, se realizarán hasta 46 aforos de caudal líquido en puntos estratégicos de la red hídrica de las cuencas seleccionadas, preferentemente en sectores representativos de las unidades de análisis hidrográfico (UAH) definidas previamente. Los aforos se realizarán mediante métodos velocimétricos o volumétricos según el caudal, y permitirán establecer referencias para la calibración del componente de escorrentía superficial del modelo. De manera complementaria, se ejecutarán hasta 46 aforos de carga sólida, considerando tanto sólidos suspendidos como carga de fondo. Esto se realizará a través de muestreo en condiciones de caudal base y creciente, empleando métodos gravimétricos y trampas de fondo, con el fin de evaluar la relación entre los pulsos de escorrentía y la generación de sedimentos, aspecto crítico en cuencas de alta pendiente y suelos frágiles como los de páramo.

En segundo lugar, se llevará a cabo una campaña de toma de hasta 90 muestras de suelo en distintas unidades fisiográficas de acuerdo con los estudios de suelo existentes del IGAC, considerando gradientes altitudinales, tipos de cobertura vegetal y condiciones de humedad. Las muestras serán analizadas en laboratorio para determinar propiedades físicas relevantes como textura, densidad aparente y real, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, capacidad

de campo y punto de marchitez. Estos parámetros permitirán estimar con mayor precisión el comportamiento de los almacenamientos edáficos y flujos subsuperficiales, variables clave en los modelos que buscan representar la regulación hídrica propia de los suelos de alta montaña. Se dará especial atención a suelos orgánicos tipo histosoles o andisoles, frecuentes en el páramo, por su alta capacidad de retención hídrica y lento drenaje.

Finalmente, se desarrollarán hasta 16 pruebas de infiltración en campo, mediante métodos como el infiltrómetro de doble anillo o de carga constante, y ensayos de conductividad hidráulica *in situ*, para caracterizar directamente la capacidad de transmisión vertical y lateral del agua en el perfil edáfico. Estos ensayos permitirán contrastar las estimaciones teóricas obtenidas de la literatura o de análisis de laboratorio con condiciones reales de campo, capturando la variabilidad espacial que incide en los procesos de recarga, escorrentía y almacenamiento. Los resultados obtenidos de esta tarea serán sistematizados y georreferenciados para su incorporación al modelo hidrológico, mejorando la asignación espacial de parámetros y fortaleciendo la robustez de las simulaciones en escenarios actuales y futuros.

Tarea 5. Construcción del Modelo (Calibración y Validación)

La presente tarea contempla la implementación operativa del modelo hidrológico definido previamente, incluyendo su estructuración espacial y temporal, la parametrización inicial, y los procesos de calibración y validación conforme a los lineamientos del Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM. Esta fase constituye el núcleo del proceso de simulación, en tanto que permite representar cuantitativamente los procesos del ciclo hidrológico en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, y evaluar el grado de ajuste entre los resultados del modelo y la información observada. En esta etapa se integran los datos procesados, los insumos primarios recolectados y los criterios metodológicos establecidos para lograr una representación coherente de la dinámica hídrica a escala mensual.

La construcción del modelo inicia con la configuración de su estructura espacial, asignando parámetros edafológicos, fisiográficos y de cobertura a cada Unidad de Análisis Hidrográfica (UAH) o celda (según el tipo de modelo seleccionado). Posteriormente, se procede a la definición de los parámetros hidrológicos iniciales —*ya sea empíricos o derivados de datos observados*— para simular los procesos de escorrentía directa, flujo subsuperficial, percolación profunda, evapotranspiración y almacenamiento en el suelo. En esta fase se emplean los algoritmos de cálculo internos del modelo para simular balances hídricos mensuales en cada unidad espacial y, en conjunto, generar hidrogramas sintéticos en puntos de control definidos en la red hidrográfica.

Una vez implementado el modelo, se lleva a cabo el proceso de calibración, mediante el ajuste iterativo de los parámetros clave para minimizar la diferencia entre las salidas del modelo (caudales simulados) y los datos observados (caudales aforados o estimados). El procedimiento de calibración se orienta por las mejores prácticas establecidas en el Protocolo del IDEAM, y podrá realizarse de forma manual o automática según la herramienta empleada. Se utilizará un periodo específico de la serie histórica para calibración (por ejemplo, 70% del total de datos disponibles), garantizando independencia del conjunto de validación. La calibración busca no solo un buen ajuste estadístico, sino también una coherencia hidrológica del comportamiento simulado frente al conocimiento técnico de la cuenca.

En paralelo, se implementa el proceso de validación del modelo, aplicando el conjunto de datos no utilizado durante la calibración (ej. 30% restante), para verificar su capacidad de replicar el comportamiento hidrológico bajo condiciones diferentes. Esta fase permite evaluar la robustez y la

generalización del modelo, evitando ajustes forzados que comprometan su aplicabilidad. La validación se realiza sin modificar los parámetros calibrados, y sus resultados son analizados bajo los mismos criterios y métricas empleados en la etapa anterior. Esta distinción entre calibración y validación es indispensable para garantizar la confiabilidad de las simulaciones, especialmente si se desea aplicar el modelo en escenarios futuros de uso del suelo o clima.

Durante ambos procesos se aplicarán métricas de desempeño hidrológico estandarizadas, como el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), el error cuadrático medio (RMSE), el coeficiente de determinación (R^2) y el error porcentual de volumen (PBIAS). Estas métricas permiten cuantificar la eficiencia del modelo en términos de ajuste general, representación de extremos, sesgo sistemático y correlación temporal. Se considerarán como criterios mínimos de aceptabilidad los rangos sugeridos por el Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM, por ejemplo: $NSE > 0,5$, $PBIAS < \pm 25\%$ y $R^2 > 0,6$, aunque se buscará alcanzar valores superiores dependiendo de la calidad de los datos disponibles. Se incluirá también un análisis gráfico de hidrogramas observados vs simulados y de dispersión de caudales.

Como resultado, se obtendrá un modelo calibrado y validado que reproduce adecuadamente la dinámica hídrica mensual en las cuencas de estudio, incluyendo la representación de eventos húmedos, periodos secos, flujos base y escorrentía superficial. Este modelo podrá ser utilizado como herramienta de análisis en escenarios de presión antrópica, variabilidad climática y uso del suelo, así como para integrar componentes adicionales como calidad del agua o recarga subterránea. Adicionalmente, el proceso será completamente documentado, incluyendo los valores de parámetros, supuestos, alcances y limitaciones, garantizando su trazabilidad, replicabilidad y utilidad para la toma de decisiones en el marco del ordenamiento del territorio alrededor del agua en la región de Santurbán.

Tarea 6. Análisis de Escenarios de Intervención

Esta tarea tiene como finalidad utilizar el modelo hidrológico calibrado y validado para simular diferentes escenarios de intervención sobre las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, con el objetivo de analizar su impacto sobre los componentes del ciclo hidrológico. La simulación de escenarios permite explorar la respuesta del sistema hídrico ante cambios inducidos por factores como alteraciones en la cobertura vegetal, implementación de estrategias de restauración ecológica, variaciones en el uso del suelo o modificaciones en el régimen climático. De esta forma, se identifican zonas críticas, se cuantifican impactos potenciales y se priorizan acciones de conservación o manejo, en línea con un enfoque de gestión adaptativa y territorial del recurso hídrico.

Los escenarios serán definidos conjuntamente con el equipo técnico del proyecto y en concordancia con las presiones y oportunidades identificadas en territorio, e incluirán, por ejemplo: **(i)** pérdida progresiva de cobertura vegetal natural por expansión agropecuaria o actividades antrópicas; **(ii)** restauración ecológica mediante soluciones basadas en la naturaleza (SbN); y **(iii)** escenarios climáticos alternativos (años secos o húmedos extremos). Cada escenario será implementado en el modelo mediante la modificación controlada de variables de entrada o parámetros estructurales (como el coeficiente de escorrentía, cobertura del suelo o capacidad de almacenamiento), siguiendo los lineamientos del Protocolo de Modelación Matemática del IDEAM para simulaciones comparativas.

El análisis de resultados se enfocará en la evaluación de indicadores hidrológicos clave como el caudal medio mensual, el flujo base, la escorrentía máxima y mínima, y el balance hídrico total. Se

presentarán comparativos gráficos y tabulares que permitan evidenciar los efectos esperados de cada escenario, así como recomendaciones para su gestión en el contexto de ordenamiento del territorio alrededor del agua. Esta tarea busca proporcionar evidencia técnica sólida que respalde decisiones de política pública, en particular aquellas relacionadas con la conservación del páramo, la planificación hídrica regional y la adaptación al cambio climático.

Tarea 7. Caracterización de la demanda

La Tarea 7 tiene como propósito identificar, cuantificar y sistematizar los usos y usuarios del recurso hídrico en las microcuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, con el fin de establecer una línea base de la presión antrópica ejercida sobre la oferta hídrica modelada en las tareas anteriores. Esta caracterización permitirá relacionar la dinámica de disponibilidad de agua —*simulada mediante el modelo hidrológico*— con los requerimientos actuales y potenciales de los sectores productivos, domésticos, comunitarios, ambientales y de abastecimiento urbano-rural. La tarea se basa en la recopilación de información oficial proveniente de los instrumentos de administración del agua (RURH–SIRH, concesiones vigentes, PUEAA, permisos y reportes de las autoridades ambientales), complementada con verificaciones en 4 visitas de campo y con el acompañamiento de las autoridades ambientales y la comunidad.

El análisis incluirá la clasificación de los usuarios según tipo (doméstico, agrícola, pecuario, industrial, minero, ambiental, institucional), modalidad de uso (consuntivo o no consuntivo), caudal concesionado, caudal realmente utilizado y sistemas de captación empleados. Se incorporará la variabilidad espacial —*por subcuenca o unidad de análisis hidrográfica*— para identificar zonas de mayor demanda relativa o posibles conflictos entre oferta y uso. Adicionalmente, se evaluará el grado de formalidad o informalidad de los usuarios, el cumplimiento de obligaciones asociadas a los permisos y la relación entre demanda y estacionalidad de la oferta hídrica mensual simulada. Estos elementos permitirán estimar niveles de presión hídrica comparables en el tiempo y entre cuencas.

La demanda será integrada conceptualmente al modelo hidrológico mediante indicadores de sostenibilidad (relaciones oferta–demanda mensuales y anuales, índices de estrés hídrico, análisis de déficits potenciales). Esta integración permitirá identificar microcuencas o periodos del año en los que la demanda compromete la funcionalidad hidrológica natural del páramo o aumenta la vulnerabilidad frente a variabilidad climática. Los resultados de esta tarea constituirán un insumo esencial para la formulación de lineamientos de manejo sostenible, así como para la toma de decisiones en materia de administración del recurso hídrico por parte de autoridades territoriales y ambientales.

Tarea 8. Lineamientos para el manejo sostenible de microcuencas abastecedoras

Esta tarea tiene como objetivo elaborar un conjunto de lineamientos técnicos y estratégicos para el manejo sostenible de las microcuencas abastecedoras en la ZRT Santurbán, a partir de un análisis integral de los resultados obtenidos en las caracterizaciones y modelaciones desarrolladas en los componentes de hidrología superficial (2.4.1), hidrogeología (Producto 2.3) y calidad del agua (Actividad 2.4.2).

La articulación de estos insumos permitirá construir una visión ecohidrológica completa del funcionamiento de las microcuencas, identificando factores críticos que afectan la disponibilidad, regulación y calidad del agua, y estableciendo las condiciones necesarias para su conservación y uso sostenible.

El análisis se centrará en integrar la información sobre dinámicas hidrológicas —*como la capacidad de almacenamiento del suelo, los patrones de escorrentía superficial e infiltración, la magnitud del flujo base y la respuesta mensual de caudales*— con la caracterización de los acuíferos someros y de los procesos de recarga-descarga que influyen en la continuidad del suministro.

A su vez, se incorporarán los patrones de calidad del agua, identificando riesgos asociados a presencia de sedimentos, metales traza o contaminantes derivados de actividades antrópicas, así como la capacidad de autodepuración y regulación biofísica de los ecosistemas de páramo. Mediante esta integración interdisciplinaria se podrán delimitar unidades funcionales de manejo, identificar zonas de recarga críticas, áreas de alta sensibilidad ecológica y sitios prioritarios para restauración o conservación bajo enfoques de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN).

A partir de este análisis, se formularán lineamientos orientados a fortalecer la sostenibilidad hídrica, que incluirán recomendaciones sobre: protección y restauración de coberturas estratégicas; regulación de actividades productivas en zonas de recarga; manejo del suelo orientado a minimizar erosión y sedimentación; fortalecimiento del monitoreo hidrológico y de calidad; criterios para priorización de inversiones; y orientaciones para integrar estos lineamientos en instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio.

Asimismo, se propondrán acciones para armonizar la oferta hídrica con las demandas actuales y futuras, fortaleciendo la resiliencia de las microcuencas frente a escenarios de variabilidad y cambio climático. Estos lineamientos constituirán la base para una gestión territorial del agua fundamentada en evidencia científica, sostenibilidad ecosistémica y seguridad hídrica para las comunidades que dependen del Páramo de Santurbán.

- **Actividad 2.4.2 Desarrollar un modelo de calidad del Agua para las Cuencas Prioritarias**

La Actividad 2.4.2 tiene como propósito desarrollar un modelo de calidad del agua para las cuencas prioritarias de la Zona de Reserva Temporal (ZRT) del Macizo de Santurbán, integrando todos los insumos técnicos generados en fases previas del proyecto. Estos insumos incluyen las líneas base geoquímicas, isotópicas y radiométricas, así como modelos hidrogeológicos y meteorológicos previamente elaborados. A partir de esta información, se construirá un modelo hidrológico-químico sistémico enfocado en caracterizar y predecir la calidad del recurso hídrico superficial, con énfasis en variables fisicoquímicas clave y contaminantes de preocupación regional.

El modelo estará orientado a dos objetivos centrales:

- **Identificar impactos antrópicos en la calidad del agua:** Se evaluarán las alteraciones en las características fisicoquímicas del agua atribuibles a presiones antropogénicas, tales como la minería aurífera (legal e ilegal), las actividades agropecuarias (por ejemplo, cultivos de alta montaña) y la expansión urbana o de infraestructura en las microcuencas. Esto incluirá el análisis de contaminantes típicamente asociados a dichas actividades (ej. metales pesados de la minería, nutrientes y sedimentos de la agricultura, carga orgánica de asentamientos urbanos).
- **Generar insumos para la gestión integral y la integridad ecosistémica:** El modelo proveerá información y herramientas para apoyar la gestión integrada de las microcuencas abastecedoras, permitiendo a las autoridades y comunidades entender las dinámicas de calidad del agua bajo diferentes escenarios de uso del suelo y clima. Esto fortalecerá la toma de decisiones orientadas a conservar la integridad de ecosistemas estratégicos, como páramos, bosques y humedales altoandinos, los cuales dependen de una calidad de agua óptima. La modelación de la calidad del agua se reconoce como una herramienta fundamental para la

administración del recurso hídrico, ya que permite caracterizar los procesos de transformación en los cuerpos de agua y simular escenarios futuros para orientar decisiones de planificación. De hecho, el uso de modelos de calidad es requerido en instrumentos de ordenamiento hídrico (POMCA, planes de manejo de cuencas) y en evaluaciones ambientales de vertimientos, lo que asegura que los resultados de esta actividad serán directamente aprovechables en la formulación de políticas y medidas de manejo para Santurbán.

Para lograr estos objetivos, el alcance técnico de la actividad abarca el desarrollo de un modelo integrado tanto en su componente conceptual como numérico. Inicialmente se construirá un modelo conceptual que sintetice el funcionamiento hidrológico-químico de las cuencas, incorporando los hallazgos de las líneas base (por ejemplo, la procedencia de las aguas determinada por isotopía, la presencia natural de ciertos minerales trazadores, y los flujos subterráneos identificados en los modelos hidrogeológicos previos). Sobre este fundamento conceptual se implementará un modelo numérico computacional que permitirá cuantificar los procesos de transporte y transformación de contaminantes en diferentes escalas.

Dado el carácter sistémico del modelo hidrológico, se contemplará la integración de modelos complementarios según sea necesario para representar todos los procesos relevantes.

Asimismo, podría ser necesaria la utilización de un modelo hidráulico para representar con detalle el transporte en cauces y la dispersión de contaminantes a lo largo de los ríos principales. En tramos de ríos o quebradas donde se requiera simular procesos de calidad del agua detallados (oxígeno disuelto, nutrientes, temperatura), se evaluará la conveniencia de modelos especializados, flexible para ríos, embalses o lagos). La selección de herramientas no se restringirá a una sola plataforma; por el contrario, se definirá con base en criterios técnicos y de disponibilidad de datos, asegurando la adecuación del modelo a los propósitos del estudio (ver más adelante). En todos los casos, se velará porque las distintas componentes modeladas (escorrentía, flujo subterráneo, transporte de contaminantes) queden acopladas de manera consistente, integrando el modelo de calidad del agua en el contexto más amplio del modelo hidrológico sistémico de la cuenca.

Otro aspecto crítico en el alcance es la definición de las escalas de modelación apropiadas. Se establecerá el alcance espacial del modelo a nivel de microcuencas prioritarias, detallando las subcuencas y tramos fluviales de interés (por ejemplo, desde nacimientos en el páramo hasta puntos de captación de acueducto o confluencias relevantes). La resolución espacial deberá ser suficiente para identificar fuentes de contaminación localizadas (por ejemplo, descargas de minas específicas o vertimientos puntuales) sin perder de vista el efecto acumulativo a escala de cuenca.

En cuanto a la escala temporal, se adoptará una resolución que capture las variaciones estacionales y eventuales eventos críticos: típicamente, se preferirá una escala diaria o mensual de simulación durante varios años hidrológicos representativos, con posibilidad de ajustar a pasos horarios si ciertos procesos rápidos requieren resoluciones más finas (por ejemplo, para modelar eventos de lluvia extremos que provocan arrastre súbito de sedimentos contaminados). De igual modo, se considerará la necesidad de simular escenarios a largo plazo (varias décadas) para evaluar tendencias, incluyendo potenciales impactos del cambio climático en los patrones de precipitación y, por ende, en la calidad del agua.

En el diseño de esta actividad se definirán también criterios mínimos para la selección de las herramientas de modelación y la configuración del modelo. Dichos criterios incluirán: la capacidad

del software para representar las variables de interés (por ejemplo, no todas las herramientas manejan metales pesados de forma predeterminada, por lo que se evaluará si es posible incorporarlos como sustancias conservativas o mediante módulos especializados); la disponibilidad y resolución de los datos de entrada (un modelo complejo solo se justificará si se cuenta con datos suficientes para alimentarlo y calibrarlo, caso contrario se optará por enfoques más simples pero robustos); la escala espacial/temporal que soporta el modelo y su correspondencia con la requerida en este proyecto; la aceptación y uso local de la herramienta; y consideraciones prácticas como costos de licenciamiento, requerimientos computacionales y facilidad de uso/interpretación por parte de los técnicos del proyecto. Conforme a lineamientos nacionales, la selección e implementación de la herramienta de modelación más adecuada debe seguir un protocolo riguroso, evaluando las particularidades de cada cuenca de estudio. Este protocolo implicará comparar las alternativas de software bajo escenarios de uso concretos y optar por la que mejor responda a los objetivos planteados.

Finalmente, el alcance de la actividad abarca la definición de los parámetros de entrada y salida esperados del modelo. Entre los datos de entrada figurarán: información climatológica (series de precipitación, temperatura, etc.), hidrológica (caudales medidos en puntos de control, aportes base escorrentía superficial y subterránea), características físicas de la cuenca (uso del suelo, cobertura vegetal, tipo de suelos y geología superficial que influya en la calidad del agua, pendientes y red de drenaje), y fundamentalmente datos de calidad del agua observados en la línea base (pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, concentraciones de metales y otros solutos).

También se incluirán datos sobre fuentes contaminantes antrópicas: ubicación y caudal de descargas de aguas residuales municipales (si las hay), plantas de beneficio minero o relaveras, puntos de minería artesanal identificados, zonas agrícolas intensivas con potenciales aportes difusos de fertilizantes o pesticidas, etc., junto con estimaciones de las cargas contaminantes que aportan (por ejemplo, concentraciones de metales pesados en efluentes mineros, carga de nitrógeno y fósforo por hectárea de cultivos, sólidos suspendidos originados por erosión del suelo en áreas despejadas, entre otros). Respecto a los parámetros de salida, el modelo deberá proporcionar series de tiempo y distribuciones espaciales de las principales variables de calidad del agua en cada tramo de río o cuerpo de agua modelado. Esto incluye variables básicas (pH, conductividad, turbidez, temperatura, OD, DBO, etc., según correspondan a las problemáticas identificadas) y los metales traza o elementos potencialmente peligrosos priorizados (por ejemplo, concentraciones de As, Hg, Pb, y posiblemente otros como Cd, Cr o CN^- si aplican a la actividad minera).

El modelo permitirá generar resultados como mapas de calidad del agua a lo largo de la cuenca, identificando tramos con mayor contaminación, así como estadísticos y gráficos temporales que muestren la variabilidad diaria/estacional de los parámetros. Estos resultados se compararán contra criterios normativos (ej. estándares de calidad para agua potable o para protección de vida acuática) para evaluar el estado de la cuenca y los riesgos asociados en cada escenario simulado.

En síntesis, el alcance de la Actividad 2.4.2 abarca la formulación de un modelo integrado de calidad del agua que aproveche al máximo la información técnica disponible, que represente fielmente la realidad de las cuencas de Santurbán en cuanto a fuentes de contaminación y procesos naturales, y que genere productos útiles para la gestión ambiental. El modelo será tanto una herramienta de comprensión (explicando cómo interactúan los diferentes componentes del sistema hídrico-químico) como de predicción (permitiendo visualizar futuros impactos y evaluar medidas de manejo). Todo el desarrollo se documentará de manera técnica, de modo que pueda incorporarse directamente en el

Documento Técnico del Proyecto como Producto 2.4: Modelo hidrológico sistémico (Fase II), complementando los esfuerzos de conservación y planificación en la región de Santurbán.

Tarea 1: Complementación y Consolidación de Insumos Técnicos y Análisis Preliminar de la Calidad del Agua

Se iniciará con la recopilación exhaustiva de datos provenientes de los productos previos del proyecto y de otras fuentes secundarias confiables. En particular, se integrarán: resultados de las líneas base geoquímicas, informes de líneas base isotópicas, datos de líneas base radiométricas y cualquier dato geoquímico de sedimentos o suelos que incida en la calidad del agua (por ejemplo, contenidos de metales pesados en sedimentos de cauces).

Adicionalmente, se obtendrán los resultados y configuraciones relevantes de los modelos hidrogeológicos previos (que describen el flujo subterráneo y posibles conexiones entre fuentes subterráneas y superficiales) y de los modelos hidrológicos/meteorológicos (que representan la generación de escorrentía y el balance hídrico bajo diferentes condiciones climáticas). Todos estos insumos serán organizados en una base de datos única georreferenciada, normalizando unidades, sistemas de coordenadas y formatos, para facilitar su análisis conjunto.

Como complemento a esta recopilación secundaria, se contempla una campaña de levantamiento de información primaria en campo orientada a cubrir variables críticas para la modelación de calidad del agua y la evaluación de impactos acumulativos, que no han sido abordadas en detalle por otros componentes del proyecto. Esta campaña incluirá el monitoreo de parámetros fisicoquímicos básicos —como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, temperatura, conductividad, turbidez y sólidos suspendidos— en puntos estratégicos de las microcuencas abastecedoras priorizadas. La selección de sitios buscará representar tanto zonas con influencia antrópica directa (por ejemplo, aguas abajo de zonas mineras o agrícolas) como áreas de referencia con menor intervención. Asimismo, se desarrollarán aforos en tramos clave, con el fin de obtener datos actualizados de caudal superficial que permitan alimentar y validar los componentes hidrodinámicos del modelo de calidad del agua.

Complementariamente, se incorporará un componente hidrobiológico, mediante la caracterización de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua. La recolección de estos datos, bajo protocolos nacionales estandarizados, permitirá evaluar la integridad ecosistémica de los tramos fluviales y reforzar el análisis de impactos acumulativos desde una perspectiva biológica, en paralelo con los parámetros fisicoquímicos.

Una vez consolidados los datos secundarios y primarios, se llevará a cabo un análisis exploratorio y diagnóstico. Esto incluye la elaboración de mapas temáticos y gráficos que muestren las distribuciones espaciales de variables de calidad del agua en las cuencas. Por ejemplo, se mapearán las concentraciones de metales pesados (As, Hg, Pb, etc.) y radionucleares en puntos de muestreo a lo largo de los ríos y quebradas, identificando puntos de mayor interés de contaminación coincidentes con actividades antrópicas (minería en sectores de Vetas y California, áreas agrícolas en zonas más bajas, etc.).

Del mismo modo, se analizarán parámetros como pH y alcalinidad para detectar evidencias de drenaje ácido producto de minería (pH anómalamente bajos y elevadas concentraciones de sulfatos pueden indicar lixiviación ácida). Se evaluarán tendencias temporales si existen datos de múltiples campañas o años: por ejemplo, comparar resultados de calidad entre campañas de lluvia vs. sequía para ver la influencia de eventos climáticos, o entre distintos años para percibir si la calidad está

mejorando o deteriorándose. En caso de existir registros continuos (de estaciones de monitoreo automático) de variables como conductividad eléctrica o turbidez, se procesarán estas series para caracterizar la variabilidad diaria y eventos extremos.

Durante este análisis, se prestará especial atención a comparar los datos con estándares ambientales y normativos. Cada parámetro de calidad del agua recopilado se contrastará con los límites permisibles nacionales (como pueden ser la Resolución 2115 de 2007 para agua potable, la normativa de vertimientos Decreto 1594 de 1984 o su actualización, y criterios ecológicos si disponibles). Esto permitirá determinar cuáles parámetros exceden niveles seguros y en qué puntos, enfatizando así los principales riesgos. Asimismo, se identificará la presencia de parámetros convencionales fuera de rango (por ejemplo, si alguna quebrada muestra DBO5 o coliformes altos por actividades pecuarias o domésticas). Estos resultados preliminares delinearán los focos de contaminación principales y las posibles fuentes causales.

Al finalizar esta tarea se tendrá un Informe de Análisis Preliminar de Calidad del Agua, que incluirá: (1) la base de datos compilada de calidad del agua y variables asociadas (en formato tabular y SIG, con sus metadatos); (2) mapas y figuras diagnósticas que muestren la condición actual de las cuencas (por ejemplo, mapas de distribución de concentraciones de metales pesados, gráficos comparativos de parámetros por estación); (3) una descripción narrativa de los principales hallazgos, identificando áreas con contaminación significativa, posibles fuentes puntuales y difusas, y brechas de información; y (4) un anexo con la documentación de los insumos utilizados (fichas técnicas de los estudios previos, resumen de modelos hidrogeológicos/hidrológicos existentes y resultados del levantamiento de campo). Este informe servirá como punto de partida para las siguientes tareas, asegurando que el equipo de modelación comprenda plenamente el contexto y disponga de los datos necesarios para construir el modelo conceptual y numérico de la calidad del agua.

Tarea 2: Formulación del Modelo Conceptual de la Calidad del Agua:

La formulación del modelo conceptual iniciará con sesiones de trabajo multidisciplinario, involucrando a parte del profesional modelador de calidad del agua a los demás profesionales de los otros componentes del proyecto. Partiendo de la información consolidada en la tarea previa, se delimitará el sistema a modelar, es decir, los límites espaciales de cada microcuenca y los puntos de control (por ejemplo, nacientes, confluencias, bocatomas). Se elaborarán esquemas o diagramas de la cuenca donde se ubiquen: (a) las entradas principales de agua al sistema (precipitación incidente en la cuenca, infiltración hacia acuíferos, aportes de flujo subterráneo emergente en manantiales, y entradas de agua provenientes de áreas adyacentes si las hay), (b) las salidas o egresos de agua (escorrentía superficial que sale del límite de la cuenca en el punto de cierre, extracción de agua por acueductos u otros usos antropogénicos, percolación profunda que sale del sistema, evapotranspiración), y (c) las fuentes y sumideros de contaminantes relevantes.

En este contexto, “fuentes” incluye tanto fuentes puntuales (como los vertimientos de minas identificadas, descargas de aguas residuales de pequeña urbanización, drenes de desmonte minero que generen lixiviados, etc.) como fuentes difusas (por ejemplo, escorrentía que arrastra fertilizantes o agroquímicos de áreas agrícolas, erosión de suelos con metales naturales o contaminados, deposición atmosférica de contaminantes). Los sumideros de contaminantes podrían ser procesos o lugares donde la carga contaminante se reduce, como la retención de sedimentos (y asociados metales) en un embalse natural o laguna, la filtración del agua a través de turberas de páramo que retienen ciertos solutos, la degradación natural de materia orgánica en el cauce, o la dilución al mezclarse con aguas de mejor calidad de tributarios no impactados.

Siguiendo lineamientos metodológicos, el modelo conceptual incluirá la identificación de los procesos fisicoquímicos dominantes que afectan la calidad del agua en Santurbán. Se hará una lista de procesos a considerar, tales como: oxidación-reducción (por ejemplo, oxidación de sulfuros metálicos expuestos por la minería, que conduce a drenaje ácido y solubilización de metales), precipitación y adsorción de metales, transporte de sedimentos (que es crucial porque muchos metales pesados viajan adsorbidos a sedimentos; la erosión de suelos y la remoción de la cobertura vegetal en áreas mineras o agrícolas pueden incrementar la carga de sólidos en los ríos, afectando turbidez y transportando contaminantes asociados), mezcla y dilución (por la confluencia de tributarios limpios con otros impactados, atenuando o agravando localmente las concentraciones), procesos biológicos (por ejemplo, consumo de oxígeno por degradación de materia orgánica, o bioacumulación de metales en biota acuática, si bien esto último puede no modelarse explícitamente pero es parte de la conceptualización ambiental) y procesos hidráulicos (velocidades de flujo, tiempos de residencia en lagunas, que influyen en la capacidad de autodepuración del sistema).

Cada proceso será incorporado conceptualmente indicando dónde ocurre y qué efectos tiene: por ejemplo, en tramos de quebradas con alta pendiente se espera alta re-aeración (lo cual mejora los niveles de oxígeno disuelto), en sectores de ciénagas o lagunas la sedimentación será importante (removiendo sólidos suspendidos y metales ligados a ellos), en zonas de infiltración a acuíferos podría estar ocurriendo atenuación natural de algunas sustancias, etc.

Además de los procesos, el modelo conceptual destacará las variables de calidad del agua que serán objeto de simulación y seguimiento. Basándonos en los problemas detectados, se confirmará la inclusión de variables fisicoquímicas básicas y de metales traza o contaminantes específicos (como As, Hg, Pb, Cd, posiblemente cianuro total si hay uso de cianuración en minería, y otros elementos característicos de la mineralogía local como el zinc o el cobre si aparecieron en la línea base).

La selección final de variables considerará tanto las actividades presentes como las problemáticas de contaminación identificadas. Por ejemplo, si no se evidenció presencia significativa de nutrientes de origen agrícola, quizás no sea prioritario simular nitrógeno; pero dado que sí se evidenciaron metales pesados sobre los límites permisibles, estos serán variables obligadas en el modelo. La guía nacional de modelación sugiere elegir un conjunto mínimo de variables en función de los usos del agua y contaminantes relevantes. En este caso, al ser cuencas abastecedoras de agua potable, se priorizan parámetros ligados a salud humana (metales tóxicos, patógenos si hay riesgo, turbidez) y al mantenimiento del ecosistema (oxígeno, pH, etc.).

Un elemento fundamental del modelo conceptual será la esquematización del sistema hídrico. Se elaborarán diagramas esquemáticos (tipo carta de flujo o mapa conceptual) en los cuales se representen los tramos de río y sus tributarios principales como segmentos interconectados. En dichos esquemas se indicarán: los puntos de ingreso de agua (precipitación distribuida y caudales frontera), los puntos de vertimiento contaminante (marcados con sus cargas aproximadas o rangos de concentración conocidos), y la subdivisión de los ríos en tramos homogéneos según criterios hidrológicos y de calidad. Por ejemplo, se podría dividir cada río en: tramo alto prístino (en el páramo, sin influencia humana, con agua de alta calidad), tramo medio con influencia minera (cerca de zonas de Vetas/California, incorporando descargas de minas -> aquí esperaríamos ver descensos de pH, aumentos de metales, etc.), tramo bajo agrícola/urbano (más abajo, donde quizás pequeñas poblaciones y cultivos introducen materia orgánica o nutrientes).

Esta segmentación inicial seguirá criterios de cambios notables en gradientes o entradas de cargas, complementando con la información de campo: por ejemplo, se segmentará antes y después de cada afluente significativo o de cada punto de vertido conocido. Cada segmento o subcuenca estará descrito con sus características (longitud, pendiente, uso de suelo predominante, etc.) para contextualizar su rol en el sistema.

Durante la formulación conceptual, se documentarán los supuestos de modelación. Dado que ningún modelo conceptual puede reflejar absolutamente toda la complejidad del entorno real, se harán suposiciones informadas. Estos supuestos serán listados y justificados con base en evidencia. En caso de incertidumbre sobre algún proceso, se lo anotará para evaluación posterior (posiblemente vía análisis de sensibilidad en la calibración).

El resultado principal será un Documento de Modelo Conceptual de la Calidad del Agua para las cuencas de Santurbán. Este documento incluirá: (1) Diagramas esquemáticos claros de cada cuenca priorizada, mostrando ríos, tributarios, fuentes de contaminación y divisiones de segmentos; (2) una descripción detallada en prosa del funcionamiento del sistema, explicando cómo el agua se mueve y qué transformaciones sufre, incorporando las interacciones superficie-subsuelo y las influencias antrópicas; (3) una tabla o lista de variables seleccionadas para la modelación, con justificación; (4) la enumeración de procesos considerados y de las hipótesis simplificadoras adoptadas; (5) identificación de lagunas de conocimiento (si las hay) que el modelo numérico deberá abordar con supuestos o parámetros estimados.

Este modelo conceptual servirá como guía para la siguiente tarea de selección de la herramienta de modelación y desarrollo del modelo numérico, asegurando que ese modelo a implementar sea congruente con la realidad representada cualitativamente. Asimismo, proporcionará un medio de comunicación sencillo para explicar a stakeholders (autoridades, comunidad) cómo y por qué la calidad del agua se ve afectada en Santurbán, antes incluso de mostrar resultados cuantitativos.

Tarea 3: Selección de Herramientas de Modelación y Desarrollo del Modelo Numérico Integrado:

La metodología para la Tarea 2.4.2.3 se centra en seleccionar la herramienta o conjunto de herramientas más adecuadas para implementar el modelo numérico de calidad del agua en las cuencas priorizadas de la ZRT Santurbán, y avanzar en su configuración inicial. Para ello, se inicia con un análisis comparativo de diversas plataformas de modelación reconocidas, como SWAT, HEC-RAS, WASP, QUAL2K y MIKE, entre otras. Esta evaluación se realiza considerando criterios técnicos clave: la capacidad del software para representar variables de calidad del agua relevantes (como metales pesados, parámetros fisicoquímicos básicos y sólidos suspendidos), la escala espacial y temporal de operación, la facilidad de calibración, los requerimientos de entrada en relación con los datos disponibles en el proyecto, y la experiencia previa del equipo con dichas herramientas.

Con base en este análisis, se elige la herramienta (o combinación de herramientas) que mejor se ajuste a las características de las cuencas y a los objetivos del modelo. En caso de requerirse enfoques acoplados, por ejemplo, un modelo hidrológico como SWAT para simular escorrentía y cargas difusas, junto con un modelo de calidad del agua como WASP o QUAL2K para el transporte y transformación en cauces, se establecerán los flujos de información entre ellos. Esta selección será debidamente justificada en un informe técnico que documente el razonamiento detrás de la decisión, considerando fortalezas, limitaciones y viabilidad práctica de implementación.

Una vez definida la herramienta, se procederá con la configuración inicial del modelo numérico. Esto implica la delimitación de subcuencas y tramos fluviales con base en información geoespacial e hidrológica, la parametrización del terreno (pendientes, usos del suelo, tipos de suelo), el ingreso de fuentes contaminantes puntuales y difusas identificadas en fases anteriores, y la definición de condiciones de frontera e iniciales. También se incorporarán parámetros fisicoquímicos necesarios para simular los procesos relevantes, como tasas de decaimiento, sedimentación o adsorción de contaminantes. Se realizará una primera corrida de prueba del modelo para verificar su operatividad y consistencia, lo cual permitirá hacer ajustes antes de entrar en la etapa de calibración.

Todo el proceso será documentado en una memoria técnica de configuración, garantizando la trazabilidad de decisiones, la consistencia de supuestos y la preparación adecuada del modelo para las tareas posteriores. Además, se aplicarán controles de calidad sobre los datos y estructuras del modelo, asegurando su funcionalidad como herramienta robusta para la simulación de escenarios y evaluación de impactos sobre la calidad del agua en el contexto de gestión de las cuencas de Santurbán.

Los entregables de esta tarea incluirán: (1) un Informe de Selección de Herramienta(s) de Modelación, que resumirá el análisis comparativo realizado, los criterios considerados y la justificación de la herramienta escogida (o combinación de herramientas), con aprobación del equipo técnico; (2) la implementación inicial del modelo numérico, consistente en archivos de proyecto del software elegido, debidamente organizados por cuenca; (3) una Memoria de Configuración del Modelo, documento técnico donde se describen todos los detalles de la configuración: discretización adoptada, parámetros base usados, fuentes y sumideros implementados, supuestos realizados y resultados preliminares de prueba.

Esta memoria servirá para que cualquier miembro nuevo del equipo o evaluador externo entienda cómo está construido el modelo. En conjunto, al finalizar esta tarea se contará con un modelo numérico integrado de las cuencas de Santurbán, estructurado y listo para ser alimentado con datos de calibración en la siguiente fase.

Tarea 4: Calibración y Validación del Modelo de Calidad del Agua:

La metodología para esta tarea tiene como objetivo ajustar el modelo numérico de calidad del agua para que sus resultados reproduzcan, con un nivel aceptable de precisión, los datos reales observados en las cuencas priorizadas, y posteriormente verificar su capacidad predictiva en condiciones distintas a las de calibración. Para ello, el proceso inicia con la calibración del componente hidrológico del modelo, asegurando que las simulaciones de caudal representen adecuadamente los registros disponibles en estaciones de monitoreo o en puntos de aforo realizados por el proyecto. Esta etapa es fundamental, ya que la calidad del agua depende en gran medida del comportamiento del caudal y su variabilidad.

Una vez calibrado el flujo hídrico, se avanza en la calibración de los parámetros de calidad del agua. Esto se realiza comparando las concentraciones simuladas de parámetros clave (como pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, metales pesados, entre otros) frente a los datos observados en campañas de muestreo. Los ajustes se hacen de forma iterativa sobre parámetros sensibles como cargas de contaminantes, tasas de decaimiento, coeficientes de sedimentación y partición agua-sedimento, manteniéndose siempre dentro de rangos físicamente razonables. La calibración considera tanto la adecuación de valores absolutos como la representación de patrones temporales y espaciales. En casos con escasa información, se prioriza lograr coherencia con tendencias observadas y no únicamente el ajuste numérico.

Al concluir la calibración, se realiza la validación del modelo aplicándolo a un conjunto de datos distinto al usado en el ajuste inicial. Esto puede incluir otros periodos de tiempo, estaciones no consideradas en la calibración o incluso técnicas de validación cruzada si los datos son limitados. El objetivo es comprobar que el modelo no solo ajusta los datos conocidos, sino que también es capaz de simular adecuadamente situaciones independientes, lo cual le otorga valor como herramienta predictiva.

Durante todo el proceso se utilizarán indicadores estadísticos para evaluar el desempeño del modelo, tales como el coeficiente de determinación (R^2), el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), errores relativos o absolutos, y métricas específicas por parámetro. Se aplicarán también controles de calidad para asegurar que los parámetros calibrados conserven validez física y que el modelo mantenga consistencia interna en todas sus salidas.

Finalmente, se documentarán los parámetros finales, las estrategias de ajuste, los resultados de desempeño y las limitaciones del modelo, generando un informe técnico de calibración y validación que respalde el uso del modelo en la simulación de escenarios futuros y la toma de decisiones sobre gestión de la calidad del agua en las cuencas de Santurbán.

El principal producto será el Modelo calibrado y validado de calidad del agua para las cuencas de Santurbán, en su versión final implementada en la herramienta seleccionada, con todos los parámetros ajustados. Junto con el modelo mismo (archivos digitales con parámetros finales) se generará un Informe de Calibración y Validación que incluirá: (1) descripción de la metodología de calibración utilizada, con tablas de parámetros iniciales vs calibrados; (2) resultados del ajuste en forma de gráficos comparativos (por ejemplo, hidrogramas observados vs simulados, gráficos de barras de concentraciones medidas vs simuladas en cada punto de muestreo, curvas de duración de concentración, etc. según aplique); (3) métricas numéricas de desempeño alcanzadas para cada variable y discusión de si cumplen criterios aceptables; (4) un apartado de validación mostrando cómo el modelo reproduce los datos independientes, con sus métricas; (5) discusión de las incertidumbres remanentes (por ejemplo, “el modelo tiende a subestimar el mercurio en eventos de lluvia intensa, posiblemente por procesos no incluidos como resuspensión de sedimentos – se recomienda cautela en ese aspecto”). Se incluirá también una lista de parámetros finales del modelo para referencia inmediata en el documento. Este informe dará fe de que el modelo está listo para utilizarse como herramienta predictiva en escenarios hipotéticos, con un nivel conocido de confianza en sus resultados.

Tarea 5: Simulación de Escenarios de Presiones Antrópicas y Evaluación de Impactos en la Calidad del Agua:

El desarrollo de esta tarea está orientado a aprovechar el modelo calibrado de calidad del agua como herramienta de análisis prospectivo y de gestión territorial, mediante la simulación de diversos escenarios que representen presiones antrópicas actuales y futuras en las cuencas priorizadas. El objetivo es estimar el comportamiento del sistema hídrico bajo diferentes condiciones de intervención, evaluar los impactos sobre los parámetros de calidad del agua y generar insumos técnicos para la toma de decisiones informadas en el contexto de la ZRT Santurbán.

El proceso inicia con la definición participativa y técnica de los escenarios a simular. Estos escenarios pueden incluir cambios en el uso del suelo (como aumento de la urbanización, expansión agrícola o ganadera), escenarios de intensificación o formalización minera, implementación de prácticas de manejo (como barreras vegetales o humedales construidos), y escenarios de conservación o restauración. Para cada escenario se deben especificar claramente las condiciones

de entrada modificadas respecto a la línea base: nuevas cargas contaminantes puntuales o difusas, alteraciones en coberturas, variaciones en la escorrentía, entre otras.

Una vez definidos, estos escenarios son configurados dentro del modelo, manteniendo consistentes los demás parámetros previamente calibrados. Cada escenario es simulado con el objetivo de estimar la respuesta de la cuenca en términos de concentraciones de contaminantes, indicadores de calidad del agua (como el índice ICA o el cumplimiento de normas ambientales), y cambios en la distribución espacial de los impactos. Se pueden establecer zonas críticas, puntos de superación de estándares o tramos con vulnerabilidad incrementada.

La evaluación de impactos se realiza mediante la comparación de los resultados de cada escenario frente al escenario base. Se analizarán tendencias, magnitudes y localización de impactos, así como el comportamiento de variables clave bajo condiciones contrastantes. Este análisis permitirá identificar cuáles presiones generan los efectos más significativos, qué medidas de manejo podrían mitigar los impactos, y qué zonas requieren mayor atención desde una perspectiva preventiva o correctiva.

Se generarán mapas temáticos, gráficos comparativos y tablas resumen para facilitar la interpretación de resultados. Además, los hallazgos serán sistematizados en un informe técnico de simulación de escenarios, que incluirá las condiciones modeladas, los supuestos adoptados, los resultados obtenidos y las recomendaciones derivadas. Este documento será clave para orientar decisiones relacionadas con el ordenamiento ambiental, la regulación de actividades productivas, la conservación de ecosistemas estratégicos y la gestión integral de las microcuencas abastecedoras.

Finalmente, los resultados serán socializados con actores clave del territorio para validar su utilidad y pertinencia, y para fortalecer procesos de apropiación social del conocimiento generado por el modelo.

El output principal será un Informe de Simulación de Escenarios e Impactos en la Calidad del Agua. Este informe, altamente estratégico, contendrá: (1) la definición de cada escenario (tabla de supuestos y cambios de parámetros para cada uno); (2) resultados cuantitativos de las simulaciones, presentados mediante gráficos comparativos y mapas – por ejemplo, gráficos de barras comparando concentraciones promedio de contaminantes en distintos escenarios, perfiles longitudinales de calidad del agua para cada escenario sobrepuestos, mapas temáticos mostrando zonas fuera de norma en cada caso, etc.; (3) análisis escrito de los impactos, identificando cuáles escenarios generan los impactos más críticos y en qué variables; (4) identificación de áreas sensibles (tal vez se resalte que cierta subcuenca es un “punto débil” que en cualquier escenario negativo se degrada fuertemente, lo que sugiere priorizarla para conservación); (5) discusión de las implicaciones para uso del agua – por ejemplo, si bajo cierto escenario el agua cruda ya no sería potabilizable sin tratamientos avanzados, o si la biodiversidad acuática podría colapsar en ciertos tributarios; (6) recomendaciones preliminares atadas a cada escenario, que luego se ampliarán en la siguiente tarea.

Adicionalmente, este informe servirá como base científica para argumentar la necesidad de ciertas acciones (por ejemplo, reforzar la moratoria minera, o invertir en tratamiento de efluentes) al mostrar con datos simulados las consecuencias de no hacerlo. Asimismo, proveerá insumos directos para la planificación: por ejemplo, aportará criterios para actualizar los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (POMCA) incorporando límites de carga contaminante que no deben sobrepasarse, basados en la capacidad de asimilación del río observada en las simulaciones.

Tarea 6 Evaluación de Impactos Acumulativos:

Esta tarea busca identificar, analizar y evaluar los impactos acumulativos sobre la calidad del agua generados por múltiples actividades mineras presentes o proyectadas dentro del área de estudio en la Zona de Reserva Temporal (ZRT) Santurbán. La evaluación de impactos acumulativos es especialmente relevante en contextos de alta densidad de proyectos extractivos, donde los efectos individuales de cada proyecto pueden no ser significativos por sí solos, pero su combinación en el espacio y el tiempo puede generar afectaciones severas y persistentes sobre los sistemas hídricos y ecosistemas asociados.

La metodología inicia con la identificación y caracterización de los proyectos y actividades mineras dentro de la ZRT. Para ello, se hará uso de los títulos vigentes, solicitudes mineras, procesos de formalización, y otras actividades registradas ante la ANM y autoridades ambientales, integrando esta información en una base georreferenciada. Se considerarán tanto los proyectos activos como los proyectados a futuro, así como los de pequeña, mediana y gran escala, incluyendo minería tradicional y de formalización. A cada proyecto se le asignará un nivel estimado de presión sobre los recursos hídricos, tomando en cuenta factores como el tipo de mineral, procesos de extracción y beneficio, ubicación relativa a fuentes hídricas, generación de drenaje ácido de mina (DAM), y presencia de elementos potencialmente peligrosos (como metales pesados y arsénico).

Una vez identificadas las fuentes de presión, se procederá a modelar el efecto combinado de estas actividades sobre la calidad del agua, utilizando el modelo previamente calibrado. Para ello, se generarán escenarios que representen diferentes configuraciones espaciales y temporales de proyectos mineros, incluyendo escenarios de máximo desarrollo, escenarios progresivos o de acumulación por subcuencas. El modelo simulará las concentraciones acumuladas de contaminantes a lo largo del sistema hídrico, permitiendo visualizar cómo se superponen las contribuciones individuales y cuáles son los puntos de mayor vulnerabilidad. Este enfoque permitirá distinguir entre impactos locales y regionales, así como entre impactos sinérgicos, aditivos o de umbral.

Además de la modelación, se integrará una lectura cualitativa desde la ecología del paisaje y la gestión territorial, considerando aspectos como la fragmentación de coberturas naturales, alteración de zonas de recarga y pérdida de servicios ecosistémicos. Se evaluará la capacidad de asimilación de las fuentes hídricas frente a la carga total acumulada, y se compararán los resultados obtenidos con los límites normativos de calidad establecidos por la normativa colombiana, así como con criterios internacionales si aplica.

El producto final de esta tarea será un informe técnico de evaluación de impactos acumulativos, que incluirá mapas de concentración acumulada, tramos críticos, análisis espacial de presiones mineras, y una síntesis de los riesgos asociados. Este informe servirá como base para recomendaciones específicas sobre control ambiental, ordenamiento minero, restauración estratégica y aplicación del principio de precaución en áreas de alta sensibilidad. También aportará argumentos técnicos sólidos para la toma de decisiones por parte de autoridades ambientales y de planificación territorial, en el marco de la gestión integral de la ZRT Santurbán.

Tarea 7: Formulación de Recomendaciones para la Gestión Integral de las Cuencas y Conservación Ecosistémica:

Esta tarea tiene como propósito sintetizar los hallazgos del modelo de calidad del agua, los escenarios simulados y el análisis de impactos, para derivar un conjunto de recomendaciones

técnicas, estratégicas y operativas orientadas a la gestión integral de las microcuencas priorizadas y la conservación de su integridad ecosistémica. La metodología se estructura en torno a tres líneas de trabajo: análisis técnico de resultados, articulación con políticas y planes vigentes, y validación participativa de recomendaciones.

En primer lugar, se realizará una lectura técnica integrada de los resultados de las tareas previas: comportamiento del modelo bajo condiciones actuales, impactos identificados en los diferentes escenarios, zonas críticas, factores de presión, y variables sensibles a intervenciones. Este análisis se complementará con información sobre vulnerabilidad ecológica, estado de conservación, conectividad de ecosistemas y servicios ecosistémicos asociados al recurso hídrico, ya sea a partir de insumos del proyecto o fuentes secundarias (por ejemplo, planes de ordenación, estudios de biodiversidad, o caracterizaciones de coberturas).

A partir de esta síntesis se construirán recomendaciones diferenciadas por unidad de gestión (subcuenca, tramo fluvial, ecosistema estratégico o punto crítico). Las recomendaciones cubrirán aspectos como: reducción de presiones contaminantes (fuentes puntuales y difusas), implementación de buenas prácticas productivas, restauración ecológica en zonas de recarga o corredores ribereños, regulación del uso del suelo en áreas sensibles, fortalecimiento del monitoreo participativo, mejora de capacidades institucionales, e incorporación de criterios de calidad del agua en instrumentos de planificación (como POT, POMCA, o planes de manejo ambiental). Cada recomendación será formulada con claridad, incluyendo su justificación técnica, el impacto esperado, actores responsables y horizonte temporal sugerido (corto, mediano o largo plazo).

Paralelamente, se hará una revisión de los marcos normativos, planes existentes y compromisos institucionales vigentes en la región (como la Resolución 0221 de 2025, planes de manejo de reservas, políticas de agua y biodiversidad), para asegurar que las recomendaciones propuestas sean viables, pertinentes y estén alineadas con las estrategias de gestión territorial y ambiental ya definidas. También se buscará identificar oportunidades de articulación con proyectos en curso o potenciales fuentes de financiación, especialmente en el marco de estrategias como el Fondo para la Vida y la Biodiversidad.

Finalmente, se adelantará un ejercicio de validación y enriquecimiento de las recomendaciones con actores locales e institucionales, mediante espacios participativos (talleres técnicos, mesas de trabajo o diálogos territoriales), con el fin de aumentar su legitimidad, viabilidad práctica y apropiación por parte de los tomadores de decisiones y comunidades.

El resultado será una sección o capítulo dentro del Documento Técnico del Proyecto dedicado a Recomendaciones de Gestión y Conservación fundamentadas en el modelo. Este incluirá: (1) una enumeración de las recomendaciones prioritarias, redactadas en formato propositivo, por ejemplo, con viñetas o subtítulos para cada ámbito (minería, agricultura, bosque protector, monitoreo, institucional); (2) la justificación técnica de cada recomendación, referenciando los hallazgos del estudio; (3) una guía básica de implementación o consideraciones para cada recomendación (actores clave, posibles fuentes de financiamiento, sinergias con programas existentes); (4) productos esperados o metas si se sigue la recomendación (como reducciones en contaminantes, mejoras en índices de calidad del agua, etc.). Todo esto en conjunto servirá como un plan de acción técnico derivado del estudio, que podrá ser incorporado en la planeación ambiental regional.

Adicionalmente, como parte de los productos, se generará un resumen ejecutivo de estas recomendaciones, pensado para comunicarse a tomadores de decisión de alto nivel, enfatizando la

urgencia de ciertas acciones. Este resumen puede tomar la forma de una presentación o un informe sintetizado que acompañe al documento principal.

En conclusión, al culminar esta tarea, el proyecto no solo habrá creado un modelo numérico avanzado, sino que habrá cerrado el ciclo ciencia-política, entregando herramientas concretas para la gestión del agua y la conservación de los ecosistemas estratégicos de Santurbán, asegurando que el conocimiento generado se traduzca en acciones que protejan la calidad de agua para las generaciones presentes y futuras.

De manera particular, con la obtención de este producto se pretende abordar las temáticas de caracterización y modelación hidrológica, de calidad de aguas, caracterización de la demanda e integridad y manejo de microcuencas abastecedoras que se encuentran en el componente de Aguas Superficiales y abastecimiento de agua que hace parte del Cronograma adoptado en el Artículo 9 de la Resolución 0221 de 2025 que declara la Reserva Temporal de Santurbán.

9.3.3.8. Producto 2.5 Documentos con los análisis de huella espacial humana para identificar el impacto de las actividades que generan conflictos socioambientales en las cuencas priorizadas

Las actividades previstas buscan reunir los elementos técnicos necesarios para evaluar la integridad ecológica de las cuencas priorizadas en la ZRT Santurbán. El trabajo combina el análisis de los cambios en la cobertura de la tierra, la revisión de la conectividad entre los ecosistemas, la identificación de las presiones humanas presentes en el territorio.

Este proceso, desarrollado en los municipios de la ZRT Santurbán, permitirá entender cómo las actividades productivas y otras intervenciones han influido en la estructura del paisaje y en la aparición de conflictos socioambientales. Para ello se utiliza información cartográfica, registros históricos, herramientas de análisis espacial y verificaciones puntuales en campo, con el apoyo de las entidades que tienen competencia en el área. La integración de estos componentes ofrece una base sólida para reconocer las áreas más sensibles, orientar decisiones de manejo y fortalecer la gestión territorial en el macizo de Santurbán.

Actividad 2.5.1: Identificar coberturas de la tierra en las cuencas priorizadas del proyecto entre el periodo 2010 a 2026

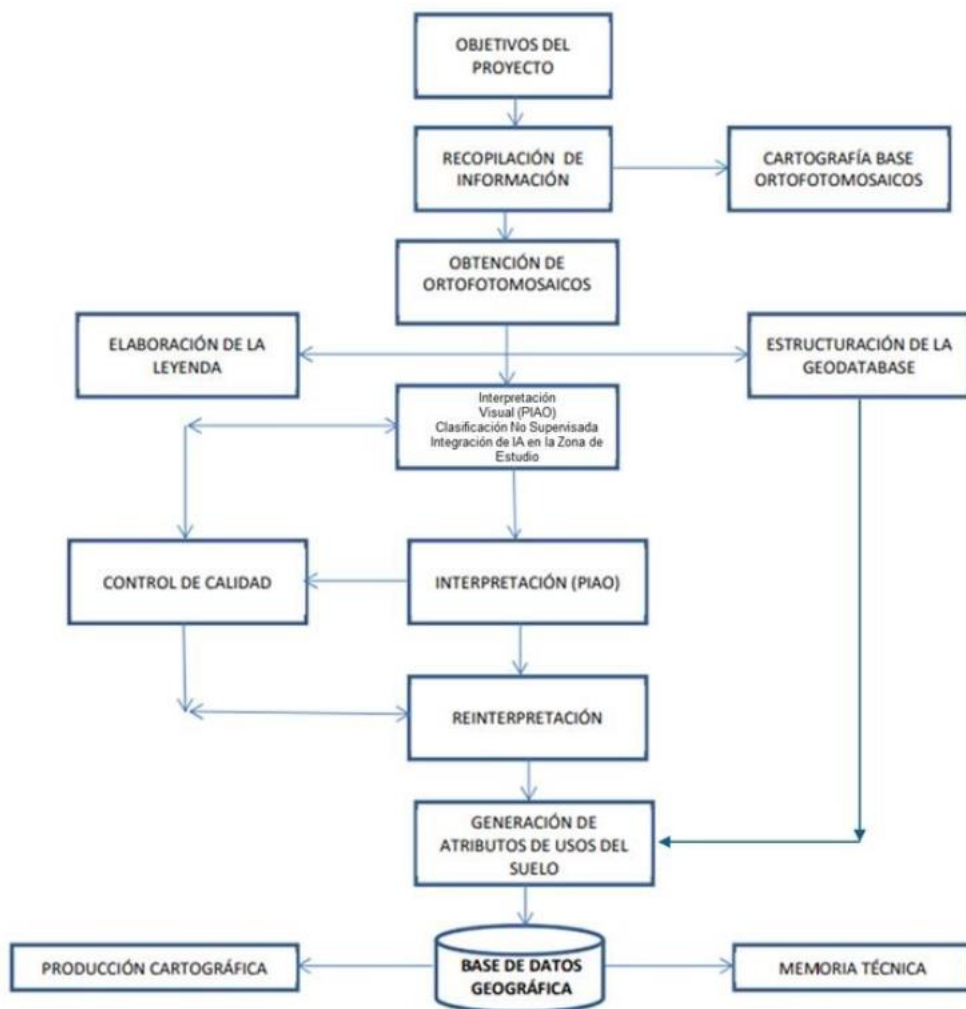
- La identificación de las coberturas de la tierra es fundamental para entender cómo se ha transformado el territorio durante el periodo de análisis y los impactos en los ecosistemas. El análisis busca identificar tendencias de cambio, áreas de cambio de las coberturas naturales y las áreas de presión por desarrollo de actividades humanas.
- Este resultado será el insumo técnico que permitirá orientar evaluaciones posteriores sobre conectividad ecológica, presión antrópica y manejo del paisaje, para una planificación coherente con la realidad del área de estudio.
- Con el desarrollo de esta actividad se busca realizar el análisis multitemporal del periodo entre 2010-2016 de la transformación de coberturas de la tierra en las cuencas hidrográficas priorizadas en el área de estudio global (ZRT + franja altoandina).
- Se deberá respetar la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, tanto en su parte conceptual como operativa, llevando la leyenda hasta un cuarto nivel, coherente con la publicación de la cartografía a escala 1:25.000, la interpretación visual, directamente en pantalla (PIAO) de ortofoto mosaicos digitales; complementando con técnicas de inteligencia artificial tales como machine learning, deep learning, entre otras que permitan la complementación de la identificación de coberturas en el área de estudio.

- A continuación, se detallan los elementos mínimos a considerar para el procesamiento cartográfico:
- **OBJETIVO GENERAL:** Identificar coberturas de la tierra a través de un análisis multitemporal del periodo entre 2010-2026 para verificar la transformación de coberturas cuencas hidrográficas priorizadas apoyados de ortofoto mosaicos, inteligencia artificial (machine learning o deep learning) a escala 1:25.000. Teniendo como base los lineamientos de la LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA “*Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*” (IDEAM, 2010) y lo consignado en el Protocolo denominado: “ELABORACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA ESCALA 1:25.000” (IGAC,2021).
- **METODOLOGIA:**
- Generalidades:
- Para el desarrollo de esta actividad se respetará la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, tanto en su parte conceptual como operativa, llevando la leyenda hasta un cuarto nivel, coherente con la publicación de la cartografía a escala 1:25.000, la interpretación visual, directamente en pantalla (PIAO) de ortofotomosaicos digitales; complementando con técnicas de inteligencia artificial tales como machine learning, deep learning, entre otras que permitan la complementación de la identificación de coberturas en el área de estudio.
- Desarrollo de la metodología, durante el procesamiento se deben contemplar como mínimo las siguientes acciones:
- Recopilación de la información: Se requiere contar con las ortofotos, imágenes de satélite y la cartografía básica y temática del área de estudio, de fuentes oficiales que se encuentren a escala 1:25.000 o la mejor escala disponible. Teniendo en cuenta, que se debe realizar el análisis multitemporal se seleccionaran ortoimágenes rectificadas de por lo menos tres años diferentes con una temporalidad mínima de 4 años entre estas, buscando seleccionar las que tengan nubosidad de menos del 10%.
- Estructuración de la GDB: Se estructurará la base de datos geográfica para el Proyecto, la cual, permita obtener un control en la disposición y almacenamiento de los datos.
- Estructuración de la leyenda: A partir de la leyenda CORINE Land Cover (CLC), IDEAM, Colombia y la leyenda de uso del IGAC; considerando la escala de trabajo, 1:25.000, se estructurará una leyenda que permita mapear todas las coberturas y usos de la tierra presentes en el área de estudio. Las vigencias de esta información deben ser las más actualizadas.
- Interpretación visual y clasificación no supervisada: Estos procesos deben garantizar la veracidad de las coberturas en la interpretación de las imágenes satelitales. Las clases de coberturas y usos de la tierra incluidos en la leyenda se identificarán de acuerdo a los insumos IDEAM e IGAC.
- Interpretación visual área piloto: Considerando la diversidad de coberturas, usos de la tierra y la accesibilidad se seleccionarán áreas piloto para dar inicio al proceso de interpretación.
- Interpretación PIAO y uso de inteligencias artificiales: Con los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los patrones típicos para cada cobertura y uso de la tierra, se procederá con la interpretación para toda el área de estudio complementando con técnicas de inteligencia artificial tales como machine learning, deep learning, entre otras que permitan la complementación de la identificación de coberturas en el área de estudio.
- Control de calidad: Es el proceso de revisión y corrección continua y sistemática de la interpretación. Su finalidad es garantizar la calidad temática, topológica y geométrica del producto final.
- Consolidación de la base de datos: Acatando las directrices del CLC Colombia y los estándares nacionales, se procederá a la consolidación y depuración de la base de datos

en sus aspectos temático, geométrico y topológico. Esta debe estar en origen único nacional de acuerdo con la Resolución 370 de 2021 del IGAC.

- Análisis y resultados de la comparación multitemporal: este proceso comparativo deberá contemplar la entrega de resultados en formato geográfico y alfanumérico que permitan identificar: patrones de cambio de cada una de las coberturas, elementos de cambios en los ecosistemas, cambios en el uso del suelo, áreas con presencia de presión antrópica, entre otros.
- Producción cartográfica: A partir de la base de datos depurada se procede a la producción de la cartografía temática en formato análogo y digital.
- Memoria técnica: Comprende la descripción del proceso metodológico, los resultados obtenidos, las conclusiones y la bibliografía.
- Entrega de metadatos: este debe contemplar los metadatos de los insumos geográficos usados y los productos finales obtenidos en cada caso.
- Entrega de información geográfica: se deberá hacer entrega de todos los insumos geográficos, documentales, alfanuméricos usados durante el proceso.

Figura 4. Flujo metodológico recomendado para el proceso de identificación de coberturas



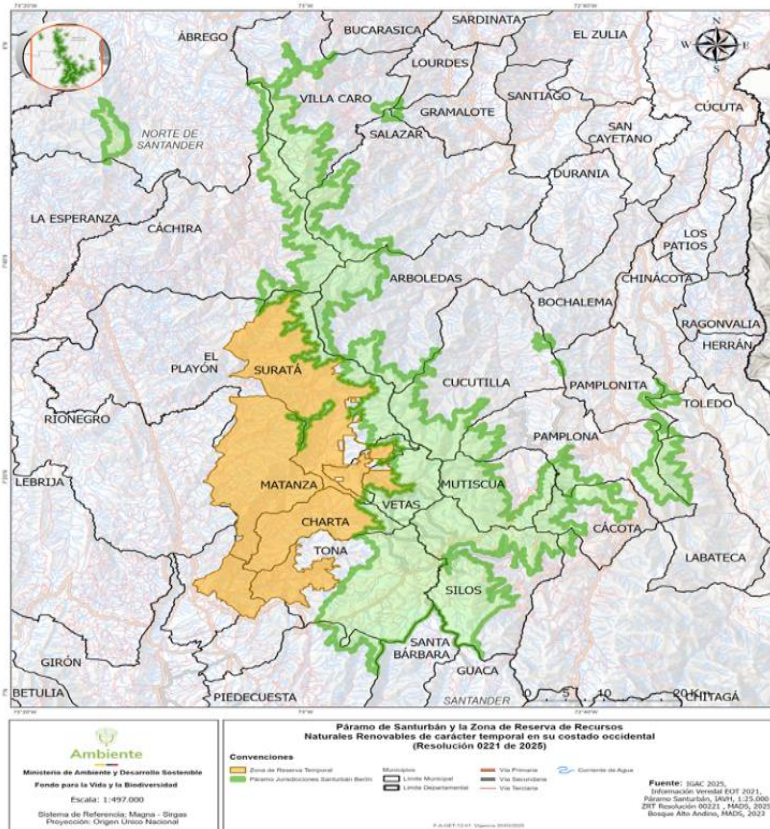
Fuente: Minambiente – DBBSE- FVB, 2026

Para el análisis multitemporal se deben revisar como ámbito de análisis las unidades hídricas, con especial atención en los municipios de Vetás, California, Suratá, Tona y Charta del área de estudio.

Bajo el anterior enfoque, el producto incluye:

- Cartografía temática con los resultados de identificación de coberturas de la tierra entre el periodo de 2010-2026, de tres años con un intervalo máximo de cuatro años. Para el periodo más reciente la leyenda de coberturas se complementará o detallará respecto a las comunidades vegetales particulares encontradas en el área de estudio producto de las visitas de campo.
- Análisis multitemporal del cambio de la cobertura de la tierra, para el área de estudio, utilizando la clasificación de la Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el IDEAM a escala 1:25.000. Sobre los recursos de teledetección, se debe especificar los tipos de sensor empleados, la fecha de captura de las imágenes y la escala espacial que permita la generación de información a la escala de detalle, anteriormente requerida.
- Subproducto documental y geográfico con la anterior caracterización y análisis multitemporal, de manera puntual para las coberturas naturales en el área de estudio, que representarían el bosque andino, y los bosques altoandinos. Dicha caracterización deberá ser presentada en unidades de análisis que corresponderán a cada una de las unidades hidrográficas de los ríos Suratá, Tona, Frío y Cachirá Sur que rodean el páramo de Santurbán (Figura 1), relacionadas con la subzona hidrográfica del río Lebrija.

Figura 5. Mapa Páramo de Santurbán y ZRT Santurbán (Resolución 0221 de 2025)



Fuente: MADS – 2025

El producto final deberá contener como mínimo los siguientes apartados:

a. Introducción

- Justificación del análisis multitemporal para entender la evolución del territorio en el periodo 2010-2026.
- Contextualización de la importancia de las coberturas vegetales en las cuencas de los ríos Suratá, Tona, Frío y Cachirá Sur para la regulación hídrica del Área Metropolitana de Bucaramanga.

b. Metodologías

- Descripción de la aplicación de la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia por el IDEAM.
- Detalle del procesamiento digital de imágenes de los sensores Landsat y Sentinel o las disponibles.
- Protocolo de verificación de campo para detallar las comunidades vegetales particulares encontradas.
- Definición de las tres (3) ventanas de tiempo (mínimo 4 años de intervalo) analizadas para identificar la magnitud del cambio.

c. Resultados

- Espacialización de la cobertura y uso actual del suelo a escala de detalle 1:25.000.
- Cuantificación de las coberturas de acuerdo con la metodología corine land cover.
- Subproducto específico con la caracterización puntual de los Bosques Altoandinos distribuidos por unidades hidrográficas.
- Matriz de cambio de cobertura (matriz de transición) que identifique la dirección de las transformaciones paisajísticas.

d. Análisis y Conclusiones

- Análisis de las tendencias de cambio y procesos de transformación de los ecosistemas de alta montaña.
- Diferenciación de áreas donde las coberturas naturales han persistido frente al avance de actividades humanas.
- Evaluación de la pérdida de cobertura vegetal esencial para la regulación hídrica detectada históricamente.

e. Recomendaciones

- Insumos técnicos para orientar evaluaciones posteriores de conectividad ecológica y presión antrópica.
- Lineamientos para el manejo del paisaje y la priorización de áreas de restauración en los municipios de Vetás, California, Suratá, Tona y Charta.

f. Referencias

- Citas de cartografía oficial del IDEAM (series CORINE), IGAC y autoridades ambientales (CDMB/CORPONOR).
- Metadatos de las imágenes satelitales y recursos de teledetección empleados.

h. Anexos

- Geodatabase (GDB) denominada "AnexoCartografico" estructurada según los estándares del Ministerio y el IGAC.
- Metadatos por cada *Feature Class* bajo la norma NTC-4611.
- Registro fotográfico y fílmico georreferenciado de las jornadas de verificación en campo.
- Soportes técnicos de exactitud temática y validación de la clasificación.

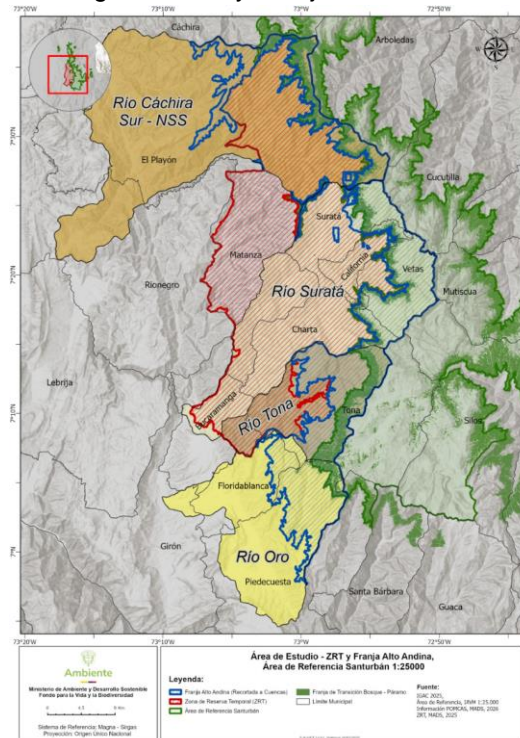
Actividad 2.5.2. Caracterización de la vegetación del Bosque Altoandino en las cuencas hidrográficas priorizadas

I). Caracterización Bosque Alto Andino

La caracterización biótica está dirigida a la caracterización de la vegetación natural de la franja de la alta montaña, en las cuencas de los ríos: Cáchira Sur, Suratá, Tona, río Oro, que sería el área de estudio para este producto.

Esta franja altitudinal a ser utilizada como referencia para el estudio de la vegetación, se ubica entre el límite del área de referencia del páramo de Santurbán proporcionado por el IAVH y hasta una altitud de 2000 m s.n.m., en la cual se esperaría que, con las variaciones en la distribución de estos bosques entre localidades, por cuenta de factores climáticos y fisiográficos, se pueden encontrar los bosques de la alta montaña: bosque andino y bosque altoandino, de interés. Dicha franja puede ser identificada en el siguiente mapa como franja altoandina:

Figura 6. ZRTy Franja Alto andino



Fuente: MADS – 2025

La caracterización biótica deberá realizarse a partir de muestreos de las coberturas naturales del área de estudio a partir de los anteriores resultados (2.5.1.). Dentro del área de estudio, los muestreos de la vegetación deberán ser desarrollados por unidades de análisis, las cuales son equivalentes a cada una de las unidades hidrográficas del área de estudio mencionadas anteriormente en las cuencas de los ríos: Cáchira Sur, Suratá, Tona, río Oro. De esta manera, el muestreo de la vegetación natural se debe realizar por cada unidad hidrográfica y abordando un diseño de captura de información en el gradiente altitudinal.

Cada muestreo de la vegetación, deberá ser planificado y desarrollado en fases o de manera sistemática, que lleven a conseguir el producto con la caracterización de la vegetación por cada unidad de análisis y, en su conjunto, para el área de estudio, donde - como mínimo -, se tenga en cuenta el desarrollo organizado de lo siguiente:

✓ **Fase de revisión de información secundaria y planificación de trabajo de campo.**

Esta fase comprende la consecución, sistematización y estructuración de información de estudios de caracterización de la vegetación en cada unidad de análisis del área de estudio; la revisión previa de cartografía base e identificación de coberturas vegetales (información proveniente del producto anterior y de otros estudios) y la planificación de actividades de trabajo de campo. En esta fase es determinante tener en cuenta que para el área existen diferentes estudios donde ha habido caracterizaciones de flora, de tal manera que la revisión de información secundaria y su estructuración, es importante a la hora de seleccionar los sitios o localidades de muestreo y efectuar los muestreos de vegetación.

✓ **Selección de los sitios o localidades de estudio o muestreo:**

Sobre cada unidad hidrográfica o unidad de análisis: microcuencas de los ríos Cáchira Sur, Suratá, Tona, río Oro, seleccionarse como mínimo un sitio o localidad de estudio, donde se realizarán las jornadas de campo para la realización de los muestreos de la vegetación y la consecuente caracterización de los bosques de la alta montaña del área de estudio: bosque andino superior y bosque altoandino.

Así, se buscará capturar la información de las características de la vegetación, de manera diferencial por cada unidad de análisis o unidad hidrográfica como se ha venido indicando, considerando que, para la región, existen diferencias en la expresión de la vegetación entre las diferentes vertientes, en respuesta a los diferentes regímenes bioclimáticos entre unidades hidrográficas.

La selección de cada sitio o localidad de estudio o muestreo en cada unidad de análisis-unidad hidrográfica, dependerá de la información secundaria revisada y estructurada en la en la fase anterior, donde se debe propender por identificar, qué cuencas o localidades en ellas, no han sido caracterizadas previamente en otros estudios, y de esta manera, dar valor agregado a la información que se capture en el presente estudio, generando nueva información frente a la ya existente. De igual manera, la selección de los sitios de muestreo debe tener estrecha relación con los resultados de las coberturas naturales actuales, conforme los resultados del numeral 2.5.1.

✓ **Fase de trabajo de campo**

Comprende el desarrollo del muestreo de la vegetación, en cada sitio o localidad de estudio o muestreo por unidad de análisis (unidad hidrográfica) conforme lo anteriormente estructurado. Estos muestreos comprenden el levantamiento de la información de la vegetación de los bosques de la franja altoandina en estudio: bosque andino superior y altoandino, identificados en las coberturas (producto previo), para conseguir la caracterización de la vegetación presente en el gradiente altitudinal en cada unidad hidrográfica del área de estudio.

En cada sitio o localidad de muestreo seleccionados por cada unidad de análisis, deberá establecerse un diseño del muestreo, a partir de la aplicación de metodologías para los levantamientos de flora vascular y no vascular, que, por un lado capturen la variación de la vegetación en el gradiente altitudinal de la franja altoandina en estudio, y por otro lado, metodologías

que permitan la caracterización de hábitos de crecimiento de la vegetación altoandina; es decir, es necesario considerar métodos que capturen la información de la vegetación leñosa de menos de 10 cm de DAP, hasta 2,5 cm, tal como podría encontrarse en la franja altoandina propiamente dicha.

En este sentido, se debe tener en cuenta que, el diseño del muestreo para cada sitio o localidad debe ser desarrollado a través de transectos, para lo cual se sugiere la utilización de la metodología del inventario rápido de Gentry (Gentry, 1982), donde, por sitio o localidad de muestreo o estudio (para cada unidad hidrográfica), sean muestreadas 0,1 hectáreas a través de la distribución de 10 transectos de 50 x 2 metros (ubicados en cartografía de manera individual), en este caso, distribuidos en el gradiente altitudinal, a fin de propender porque se capture la variación de la vegetación en dicho gradiente en cada una de las unidades hidrográficas.

Para cada transecto de 50 x 2 metros, deberán ser registrados todos los parámetros para determinar la diversidad, composición y estructura de la vegetación, diligenciamiento de libretas de campo, descripción de los transectos, registros fotográficos y colecta de muestras botánicas. Por cada transecto se deberá contar con los siguiente:

- ✓ La descripción del paisaje y cobertura vegetal por cada transecto y su asociación a un tipo de vegetación: bosque andino superior, bosque altoandino o zonas de transición (ecotonos o ecoclinas). En esta descripción, es importante que se verifique en campo las condiciones de los bosques de la alta montaña en estudio y la presencia de actividades antrópicas en dicho paisaje, así como la estructura de los bosques, diferenciando estados sucesionales como bosque maduro, bosque secundario y rastrojos.
- ✓ Se debe incluir metodologías estandarizadas para muestreo de especies epifitas y del sotobosque como bromelias, orquídeas, helechos, musgos, líquenes, anthocerales y demás asociadas.
- ✓ La determinación taxonómica, elaboración y depuración de bases de datos, con la realización, depuración y determinación hasta nivel taxonómico posible de las muestras botánicas (donde se incluye el trabajo de determinación en herbario); fotografías de las morfo-especies identificadas en campo, y todas las bases de datos generadas en archivos originales. **NOTA:** En caso de realizarse efectivamente colectas de material florístico, estas deben estar amparadas bajo el permiso para la recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de elaboración de estudios ambientales, ante la autoridad ambiental correspondiente.
- ✓ La descripción, caracterización y análisis de forma detallada, del estado de la vegetación en el transecto de muestreo, según su fisionomía y composición florística, abordando parámetros ecológicos y de composición para explicar la presencia de comunidades, dominancias, análisis de riqueza y diversidad, abundancia, estructura, y registro de observaciones de Historia Natural (p.e: uso del bosque, fenología e interacción). Se deberán utilizar el cálculo y análisis de indicadores disponibles para cada parámetro: Shannon, Simpson, diversidad verdadera, curvas de rarefacción, estructura vertical del bosque, biomasa aérea y almacenamiento de carbono.
- ✓ Inventario detallado de especies identificadas bioclima, mediante metodologías estandarizadas.
- ✓ Los listados de especies deben incluir como mínimo: nombre científico y vernáculo de la especie, familia botánica, hábito de crecimiento (árbol, arbusto, hierba, epífitas, hemiepífita, parásita, hemiparásita, liana, etc.)
- ✓ El análisis de la diversidad deberá incluir curvas de acumulación de especies. Esto justificará la representatividad y validación de los muestreos realizados.

- ✓ Análisis de estructura y composición de especies.
- ✓ Listados de especies identificadas, categorías de amenaza, vedas nacionales y distribución de las especies a nivel nacional.
- ✓ Perfiles de vegetación idealizados, elaborados con la información proveniente de los análisis estructurales.
- ✓ Demás parámetros propios de la caracterización de la vegetación
- ✓ Estructuración de un primer informe con todos los resultados para cada una de las unidades hidrográficas (documentos descriptivos, cartografía y bases de datos en archivos originales). El informe por cuenca debe contar con dos abordajes:
 - La descripción y análisis de la vegetación, por cada uno de los transectos en cada sitio de muestreo, reconociendo a través de las características de la vegetación, si se trata de bosque andino superior, bosque altoandino o zonas de transición.
 - La descripción y análisis de la vegetación de los boques en estudio a nivel de cada unidad hidrográfica; es decir, donde se comparen, asocien, analicen, etc., integralmente los resultados de los 10 transectos que componen las 0,1 hectáreas muestreadas por cada microcuenca. Así mismo, a partir de ello, i) identificar e indicar, las diferencias de los tipos de vegetación encontrados en el gradiente altitudinal; ii) el reconocimiento o sugerencia del límite inferior de estos bosques de la alta montaña en cada unidad hidrográfica; iii) la relación de la vegetación entre el bosque andino, el bosque altoandino y el páramo, que representan y aseguran la necesidad de la continuidad de los procesos ecológicos; y iv) la relación de estos bosques con actividades humanas.
- ✓ Análisis de la estructura de los relictos de bosque enmarcado en el contexto de como los diferentes cambios en los componentes de las coberturas pueden afectar los recursos florísticos y su capacidad de brindar el servicio de provisión de agua.
- ✓ Identificación de los límites inferiores de los bosques de alta montaña y su punto de contacto con áreas intervenidas o actividades antrópicas.
- ✓ Listado y localización de especies con estatus especial de conservación y especies sombrilla detectadas en campo.

- **Análisis de segundo nivel.**

Una vez se cuente con los informes de la caracterización de la vegetación de la alta montaña generada para cada una de las unidades hidrográficas conforme lo indicado anteriormente, complementada con la información secundaria revisada, se deberá generar un segundo informe, en el cual se aborde lo siguiente para el área de estudio global (ZRT + franja altoandina):

- ✓ Se desarrollen los análisis que permitan consolidar, comparar, asociar, relacionar, etc., las características de la vegetación entre las diferentes unidades hidrográficas analizadas, de manera que este nivel, permita tener una descripción y análisis de la vegetación para el área de estudio.
- ✓ De igual manera, se deberá identificar e indicar, las variaciones entre las diferentes vertientes de las unidades hidrográficas estudiadas, de los tipos de vegetación de los bosques en estudio.
- ✓ A partir de la caracterización de los diferentes tipos de vegetación, se deberá generar el Modelo cartográfico con su respectiva explicación, con la distribución espacial de los bosques andinos y altoandinos en el gradiente altitudinal en cada unidad hidrográfica y con la identificación de las variantes bioclimáticas de los bosques andinos y altoandinos entre cuencas, conforme el resultado anterior. Dentro de la explicación y cartografía del modelo, deberá correlacionarse con

la clasificación de coberturas de la actividad 2.5.1, a fin de reconocer los tipos de vegetación de dichas coberturas, de utilidad para los próximos análisis.

- ✓ Adicionalmente, a partir de esta información, se deberá generar el modelo cartográfico con su respectiva explicación, de la distribución potencial de los bosques andinos y altoandinos, en el área de estudio, en áreas con coberturas actuales antropogénicas o transformadas, en el gradiente altitudinal de las diferentes vertientes de las unidades hidrográficas que rodean el páramo de Santurbán hacia su vertiente occidental.
- ✓ Para los modelos de la distribución espacial actual y potencial de los bosques andinos y altoandinos, se debe considerar metodologías para la modelación de nicho ecológico. El modelado de nicho ecológico permite estudiar la distribución geográfica de las especies e identificar aquellos factores ambientales que la limitan. En general, los modelos de nicho ecológico relacionan datos de presencia (y algunas veces también de ausencia) de las especies con una serie de parámetros ambientales para generar una aproximación de las condiciones que favorecen la presencia de las poblaciones de la especie (el nicho ecológico). El ejecutor, deberá plantear claramente la metodología de modelación de nicho ecológico para generar los modelos solicitados, en los cuales se debe asegurar:
 - Los criterios de selección de la metodología para la generación de los modelos espaciales solicitados. El nicho ecológico de las especies vegetales ha sido ampliamente interpretado en términos de clima, puesto que el clima condiciona en gran medida las respuestas fisiológicas y la ecología de las especies. En consecuencia, los modelos de distribución de especies o modelos de nicho ecológico (Peterson et al. 2011) utilizan principalmente variables climáticas, ya que son generalmente accesibles, no obstante, existen otras variables que también se relacionan con el desempeño fisiológico.
 - Descripción de la metodología de nicho ecológico, herramientas estadísticas, matemáticas y computacionales (Ej. NicheToolBox - paquete de R, para estimar la relación entre variables ambientales y la presencia de las especies que cuenta con funciones para descargar el flujo de trabajo (workflow); MaxEnt), con la descripción de como mínimo las principales etapas: (i) obtención de datos georreferenciados de presencia (y algunas veces de ausencia) de especies, (ii) depuración de las bases de datos, (iii) ajuste de un modelo de distribución utilizando variables de información ambiental y los registros depurados y (iv) validación del modelo, v) Indicaciones de transferencia de la metodología a otras épocas o regiones.
 - Los resultados de los modelos espaciales de la distribución actual y potencial de los bosques andinos y altoandinos, bajo el concepto de nicho ecológico, que busca la aproximación de la distribución de las especies altoandinas a través de sus nichos ecológicos.
 - Planteamientos de escenarios posibles frente a la variabilidad climática.

El producto final deberá contener como mínimo los siguientes apartados y, en todo caso, en ellos se deberá desarrollar plenamente lo solicitado anteriormente:

a. Introducción

- Justificación de la caracterización biótica como base para la protección integral del Bosque Alto Andino, reconociéndolo como una pieza fundamental de la integridad funcional de la alta montaña y la recarga de acuíferos.
- Contextualización de la interdependencia entre el bosque y el páramo de Santurbán para garantizar el recurso hídrico.

b. Metodologías

- Descripción del diseño de muestreo estratificado por unidades hidrográficas (ríos Suratá, Tona, Frío y Cachirá sur, entre las demás mencionadas) y por gradiente altitudinal.
- Protocolos estandarizados para la caracterización de la composición florística, estructura y composición (perfiles de vegetación) y grupos funcionales.
- Se debe incluir metodologías estandarizadas para muestreo de especies epifitas y del sotobosque como bromelias, orquídeas, helechos, musgos, líquenes, anthocerales y demás asociadas.
- Debe hacerse el mayor esfuerzo posible para identificar los individuos de flora hasta el nivel de especie. Para ello se debe contemplar el permiso para la recolección de muestras para identificación en herbarios mediante certificado de identificación.
- Técnicas de modelamiento espacial para generar modelos de distribución actual y potencial de los bosques.

c. Resultados

- Inventario detallado de especies identificadas por unidad de análisis (cuenca) y bioclima, mediante metodologías estandarizadas.
- Los listados de especies deben incluir como mínimo: nombre científico y vernáculo de la especie, familia botánica, hábito de crecimiento (árbol, arbusto, hierba, epífitas, hemiepífita, parásita, hemiparásita, liana, etc.)
- Descripción de la estructura de los bosques, diferenciando estados sucesionales como bosque maduro, bosque secundario y rastrojos. Los análisis de flora se deben realizar en relación con la composición, diversidad, dominancia, abundancia (No. de individuos) y las observaciones de Historia Natural (p.e: uso del bosque, fenología e interacción).
- Análisis de la estructura de los relictos de bosque enmarcado en el contexto de como los diferentes cambios en los componentes de las coberturas pueden afectar los recursos florísticos y su capacidad de brindar el servicio de provisión de agua.
- Identificación de los límites inferiores de los bosques de alta montaña y su punto de contacto con áreas intervenidas o actividades antrópicas.
- Listado y localización de especies con estatus especial de conservación y especies sombrilla detectadas en campo.

d. Análisis y Conclusiones

- Análisis de la relación biótica entre el bosque andino, el altoandino y el páramo que asegura la continuidad de los procesos ecológicos en especial el relacionado con el servicio de provisión de agua.
- Evaluación de la variabilidad biológica entre la vertiente occidental debido a factores fisiográficos y bioclimáticos.
- Conclusiones sobre el estado de conservación y la resiliencia del ecosistema frente a presiones como la megaminería y el cambio climático.

e. Recomendaciones

- Lineamientos técnicos para la definición de áreas sujetas a protección ambiental que no se encuentren en instrumentos vigentes.
- Priorización de áreas para la restauración basadas en la pérdida de capacidad de autodepuración y regulación hídrica de la vegetación.

f. Referencias

- Citas de estudios bióticos previos (IAvH, CDMB) y literatura científica especializada en ecología andina.

g. Cartografía

- Mapas de distribución espacial de bosques altoandinos por cuenca.
- Mapa de distribución potencial de los bosques en áreas actualmente transformadas.
- Localización de hábitats críticos para especies en amenaza y áreas de transición (ecotonos).

h. Anexos

- Formularios de campo y bases de datos con los registros botánicos.
- Registro fotográfico georreferenciado de las parcelas de muestreo y las especies identificadas.
- Reportes de identificación y validación taxonómica por expertos.
- Fotografías de las muestras o individuos con características fenológicas que permitieron la identificación.
- Perfiles de vegetación de los tipos de bosques identificados

II) Descripción y análisis de los servicios ecosistémicos asociados a los bosques altoandinos caracterizados e identificados en cada una de las unidades de análisis (cuencas).

Se realizará, a partir de una evaluación de los recursos naturales presentes y la capacidad de las áreas de estos ecosistemas para proveer los diferentes servicios ecosistémicos, realizando una evaluación paralela, pero de manera diferencial, para las áreas de distribución actual y las áreas de distribución potencial de los bosques altoandinos, generadas.

Deberán evaluarse bienes (recursos naturales) y servicios ecosistémicos (funciones ecosistémicas de las cuales el humano se beneficia: provisión, regulación, culturales, soporte), a partir de la selección de diferentes atributos que permitan la valoración funcional de cada uno, en el área total del estudio (ZRT y franja altoandina de las cuatro cuencas). Los atributos que permitan esta valoración de los bienes y servicios ecosistémicos, deberán, además de información secundaria, incluir la información resultante de todo el estudio:

- i) Los resultados obtenidos a escala de paisaje en el análisis multitemporal de coberturas;
- ii) Los resultados del análisis de la vegetación de la franja altoandina estudiada;
- iii) Los resultados de los estudios hidrogeológicos e hidrológicos para el área estudiada en los productos 2.4., con lo cual se logre correlacionar las áreas de importancia para la protección de zonas de recarga, flujos y descarga, de los cuales dependen acueductos locales y el metropolitano de Bucaramanga.
- iv) Información proveniente de todos los productos generados en el estudio integralmente.

Deberá indicar claramente el planteamiento para la evaluación de bienes y servicios ambientales, la metodología por fases, los atributos seleccionados para la valoración, y los resultados y análisis correspondientes, siempre asociando los resultados a cada una de las unidades de análisis (cuencas) y en general al área de estudio global, como ha sido enfocado todo el estudio.

El producto final deberá contener como mínimo los siguientes apartados y, en todo caso, en ellos se deberá desarrollar plenamente lo solicitado anteriormente:

a. Introducción

- Justificación de la valoración de los servicios ecosistémicos como base para el ordenamiento territorial alrededor del agua.
- Contextualización de la importancia de la estrella hídrica de Santurbán para el abastecimiento de más de 1,3 millones de habitantes en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

b. Metodologías

- Descripción de la metodología para la evaluación diferencial de servicios en áreas de distribución actual y potencial de los bosques.
- Protocolo para la estimación del servicio de regulación climática (captura de carbono) como estrategia de mitigación al cambio climático.
- Metodología de contraste entre los hallazgos bióticos y los estudios hidrogeológicos para identificar zonas de recarga y descarga hídrica.
- Procedimiento de valoración económica preliminar de los servicios ecosistémicos frente a los costos ambientales de posibles actividades mineras, utilizando como referencia la Resolución 1084 de 2018.

c. Resultados

- Cuantificación de la oferta de servicios ecosistémicos (regulación hídrica, captura de carbono, mantenimiento de biodiversidad) por unidad de análisis (cuenca).
- Identificación espacial de áreas críticas para la protección de acuíferos de los que dependen los acueductos locales y el metropolitano.
- Evaluación de la capacidad de autodepuración de los ecosistemas acuáticos frente a riesgos de Drenaje Ácido de Mina (DAM).
- Matriz de valoración económica que contraste el patrimonio natural con los beneficios potenciales de la explotación minera.

d. Análisis y Conclusiones

- Análisis de la interdependencia entre el Bosque Alto Andino y el Páramo en la prestación de servicios hídricos.
- Evaluación de la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos frente a impactos acumulativos y sinérgicos de la minería intensiva.
- Conclusiones sobre la viabilidad económica de la conservación frente a los pasivos ambientales proyectados.

e. Recomendaciones

- Lineamientos para la implementación de esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) u otros incentivos económicos en áreas estratégicas.
- Insumos técnicos para la propuesta de zonificación y el mecanismo de ajuste minero-ambiental.

f. Referencias

- Citas de la Resolución 1084 de 2018, Guía de Valoración Económica Ambiental y estudios previos del MADS y la CDMB.

g. Cartografía

- Mapa de servicios ecosistémicos asociados a bosques altoandinos (1:25.000).
- Mapa de importancia para la protección de zonas de recarga y descarga hídrica.
- Mapa de áreas prioritarias para la mitigación del cambio climático (sumideros de carbono).

h. Anexos

- Hojas de cálculo y modelos económicos utilizados para la valoración.
- Bases de datos con indicadores de regulación hídrica y capacidad de autodepuración.
- Reportes de información secundaria analizada de la Oficina de Negocios Verdes y Sostenibles.

Actividad 2.5.3. Realizar el análisis de conectividad estructural de las coberturas naturales en las cuencas prioritizadas

Considerando que el paisaje es el resultado de la interacción dinámica entre las actividades antrópicas y la naturaleza, en este componente se deberá buscar relacionar los patrones estructurales del territorio (aspectos geográficos) con los procesos ecológicos y flujos biofísicos que tienen lugar en el mismo.

En este sentido, se deberá evaluar la función ecológica de los hábitats en los fragmentos que han sido alterados (de ser el caso), y los beneficios de la conectividad actual y potencial entre dichos fragmentos, que podrían permitir las dinámicas locales y regionales de las poblaciones silvestres, los procesos ecológicos y la oferta de los servicios ecosistémicos.

Lo anterior, parte de la premisa que el paisaje se conforma por un mosaico de parches de distintos tipos de hábitat y que la disposición espacial de ellos afecta el funcionamiento de los sistemas ecológicos, específicamente los patrones de diversidad y distribución de recursos y servicios ecosistémicos.

El análisis de conectividad ecológica permite identificar, por una parte, la magnitud y dirección de los cambios en el paisaje, e implicará la identificación de la estructura del paisaje y los análisis de ella con la conectividad funcional de los bosques en estudio. Estos aspectos, tal como en el muestreo de vegetación, deberán ser desarrollados por cada unidad de análisis-unidades hidrográficas en estudio, y que corresponderán ahora para este producto, a unidades de fragmentación (unidades hidrográficas en estudio).

Para llevar a cabo el análisis de conectividad, se requiere contar con cartografía actualizada de coberturas de la tierra (actividad 2.5.1): en este sentido, los análisis aquí solicitados deberán ser realizados por cada período analizado. Esto quiere decir que, por unidad hidrográfica, deberán ser realizados tres análisis, considerando los períodos de tiempo abordados en la multitemporalidad de las coberturas.

De igual manera, el análisis de conectividad, a esta altura del estudio, deberá ser enriquecido con la información detallada proveniente de la caracterización de la vegetación natural y los modelos de distribución de las variantes de bosques de la actividad 2.5.2, de tal manera que las clases que utiliza la metodología Corine Land Cover, sean interpretadas entendiendo los tipos de vegetación que las componen y con ello, las deducciones, comprensiones, y conclusiones en este análisis, se reflejen funcionalmente desde una perspectiva ecológica, no exclusivamente desde el uso del suelo.

La integridad y conectividad ecológica histórica y actual de los ecosistemas caracterizados identificados y diferenciados con los productos anteriores (bosque andino y sus variantes entre cuencas, y para cada tipo de bosque altoandino y sus variantes entre cuencas), a fin de identificar cómo se relacionan entre sí los parches de vegetación natural y qué tan eficiente es el territorio para mantener el movimiento de especies, el flujo genético y los procesos ecológicos propios de los ecosistemas de la alta montaña en estudio: bosque altoandino.

Caracterización estructural de los patrones del paisaje en mapas de fragmentación:

Se deberá generar una descripción de cada una de las unidades de fragmentación (unidades de análisis-unidades hidrográficas), con el propósito de conocer los patrones espaciales del paisaje natural presente. Para esto, se hará un análisis descriptivo de la estructura del paisaje por unidad, teniendo en cuenta distintos atributos a calcularse y que se relacionan con indicadores o métricas

espaciales para cada una de las coberturas naturales existentes en la unidad de fragmentación o análisis (cuenca), conforme se indica en la Tabla 9.

Tabla 6. Indicadores espaciales para la caracterización de fragmentación para cada cobertura natural analizada. Adaptado de Sinchi, 2018

Atributos ecológicos	Definición	Indicadores
Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales
		Extensión de unidades espaciales naturales
Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (hectáreas)
		Perímetro
		Número de parches
		Área núcleo (hectáreas)
		Forma
Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Distancia euclidiana (m)
		Proximidad
		Continuidad altitudinal (m)

A partir de los resultados en cada unidad de fragmentación (cuenca), se deberán entregar las descripciones e interpretaciones y la cartografía correspondiente, para cada uno de los atributos ecológicos de la anterior Tabla, de tal manera que a este punto tendremos el escenario de fragmentación por cada cuenca estudiada y la identificación de las rutas o redes de conectividad existentes o potenciales, para la reconexión de hábitats fragmentados.

El producto final deberá contener como mínimo los siguientes apartados y, en todo caso, en ellos se deberá desarrollar plenamente lo solicitado anteriormente:

a. Introducción

- Justificación de la necesidad de integrar la conectividad biológica con el análisis de presiones humanas para entender la integridad funcional de la alta montaña en especial en lo relacionado con el servicio de provisión del agua.
- Contextualización de la importancia de mantener corredores funcionales para el flujo genético y la regulación hídrica en las cuencas de los ríos Suratá, Tona, Frío y Cáchira.

b. Metodologías

- Descripción del cálculo de métricas de paisaje para evaluar cuantitativamente la complejidad y fragmentación del territorio a escalas espacial y temporal.

c. Resultados

- Documento que contenga la caracterización (heterogeneidad, configuración espacial y continuidad) e identificación de los patrones de fragmentación para cada una de las unidades de análisis seleccionadas de bosque alto andino.

- Identificación y especialización de corredores ecológicos estructurales y funcionales entre parches de Bosque Alto Andino y Páramo.

d. Análisis y Conclusiones

- Evaluación de la eficiencia del territorio para mantener el movimiento de especies y los procesos ecológicos frente a la fragmentación.
- Análisis de la pérdida del servicio de provisión de agua por pérdida y fragmentación del bosque alto andino.

e. Recomendaciones

- Definición de áreas críticas que requieren intervención administrativa o restauración para restablecer la conectividad.
- Lineamientos estratégicos para la toma de decisiones orientadas a la protección y gestión del territorio basados en las tendencias de transformación identificadas.

f. Referencias

- Fuentes sobre ecología de paisaje, manuales de software especializado y estudios de zonificación del MADS y autoridades regionales.

g. Cartografía

- Mapa de conectividad ecológica histórica y actual (1:25.000).

h. Anexos

- Reportes técnicos de calibración de indicadores espaciales.
- Memorias del intercambio con actores locales para la validación de la realidad territorial.
- Matriz de pesos y criterios utilizados en el modelamiento de escenarios.

Actividad 2.5.4. Recolectar y analizar datos para generar la capa de la huella espacial humana con énfasis en las actividades que generan conflictos socio-ambientales.

La construcción de la huella espacial humana tiene como finalidad reconocer y elaborar dos (2) frentes:

Subactividad i) Realizar los análisis correspondientes para reconocer, en las diferentes unidades de fragmentación y en los períodos de tiempo analizados, qué tipo de presiones por las actividades humanas dan explicación a los procesos de fragmentación.

Para ello, a partir de la información generada en los anteriores productos, es necesaria la recopilación y organización y análisis de la información relacionada con las presiones antrópicas presentes en el territorio como infraestructura, asentamientos, áreas mineras, zonas de agrícolas y ganaderas, áreas con conflictos socioambientales, incendios y en general coberturas de la tierra transformadas, con el fin de elaborar unidades cartográficas que las representen y que muestren la intensidad y distribución de estas presiones en el área de estudio, para lo cual se deberá abordar lo siguiente:

- a) A partir del análisis de coberturas y las jornadas de verificación en campo, se debe generar una capa cartográfica con su correspondiente texto explicativo para cada unidad de fragmentación (unidad de análisis o unidad hidrográfica) y cada periodo de tiempo analizado, donde se establezcan las **unidades de interacción antrópica**, relacionadas con unidades espaciales funcionales socioeconómicas, para lo cual se deberá precisar sobre la metodología y criterios de selección. Como indicativo, se mencionan las siguientes (SINCHI, 2018), no obstante, según

los resultados que se obtengan de las anteriores actividades, deberán clasificarse más de este tipo de unidades como áreas de mayor densidad de vías por kilómetro cuadrado, densidad poblacional por kilómetro cuadrado, etc., siempre que se establezcan los criterios de su selección:

- ✓ Unidades de interacción antrópica de producción: unidad espacio temporal que se basa en el manejo de ecosistemas naturales y transformados y cuya actividad principal es el tipo agropecuario.
 - ✓ Unidades de interacción antrópica de extracción: Maneja las proporciones de territorio rural, donde su componente principal son los ecosistemas silvestres y manejados para la extracción de recursos.
 - ✓ Unidades de interacción antrópica de asentamiento: unidad de análisis que funciona bajo una lógica socioeconómica de habitación y generación de servicios, acopio, transformación y comercialización de recursos. Su componente principal son los ecosistemas urbanos, con transiciones a veces graduales hacia paisajes suburbanos y abruptos hacia paisajes cultivados y manejados (Etter y Villa 2001).
 - ✓ Las demás generadas para vías, densidad poblacional, etc.
- b) Para cada unidad de fragmentación y por cada período de coberturas abordado en la actividad 2.5.1., se deberá desarrollar un análisis donde se evalúe la relación entre la capa anterior de unidades de interacción antrópica, con el patrón espacial del paisaje encontrado en el análisis de conectividad estructural de las coberturas naturales. Con este análisis, se deberán obtener modelos espaciales que permitan identificar, explicar y prever procesos de fragmentación para cada una de las unidades hidrográficas, reconociendo cuáles unidades de interacción antrópica pueden explicar mejor la estructura de fragmentación encontrada, según las métricas espaciales calculadas, que permitan reconocer las dinámicas de pérdida de estos bosques y su relación con factores físicos y sociales del territorio

Este análisis deberá permitir entender, cómo estas dinámicas han ido moldeando el paisaje y ofrece una base sólida para orientar decisiones de manejo y conservación en las cuencas priorizadas.

Para generar la capa de huella espacial humana, para cada una de las unidades de fragmentación y por cada período de tiempo utilizado en el análisis multitemporal, se deben realizar las siguientes actividades:

Subactividad ii) Elaboración de los mapas de huella espacial humana para el área de estudio en los diferentes periodos analizados en el análisis multitemporal de coberturas, bajo la recomendación de la utilización de la metodología utilizada por el Instituto Alexander von Humboldt basada en Etter et al. (2011): Etter, A., McAlpine, C. A., Seabrook, L., & Wilson, K. A. (2011). Incorporating temporality and biophysical vulnerability to quantify the human spatial footprint on ecosystems. *Biological Conservation*, 144(5), 1585–1594. En caso de utilizarse una metodología diferente a la sugerida, la misma deberá ser presentada y aprobada en comité técnico o en los espacios técnicos que permitan validar la metodología propuesta.

Para Colombia, Etter et al., (2011), proponen medir la influencia humana en Colombia por medio de un índice total de huella humana, categorizado en dimensiones, donde cada dimensión es un subíndice constituido por variables de igual peso:

1. Dimensión de la intensidad del uso de la tierra, que incluye:
 - a. Densidad de la población rural (Hab/km)

- b. Distancia a vías (km)
 - c. Distancia a asentamientos
 - d. Índice de fragmentación
 - e. Índice de Biomasa relativa
 - f. Cobertura de uso del suelo
2. Dimensión temporal
- a. Tiempo en años de intervención
3. Dimensión de vulnerabilidad biofísica, que incluye:
- a. Pendiente
 - b. Índice de fertilidad del suelo
 - c. Índice de disponibilidad de humedad
 - d. Riqueza de especies endémicas o rango pequeño (número de especies)

El producto final deberá contener como mínimo los siguientes apartados y, en todo caso, en ellos se deberá desarrollar plenamente lo solicitado anteriormente:

a. Introducción.

- Contextualización de la importancia de mantener corredores funcionales para el flujo genético y la regulación hídrica en las cuencas de los ríos Suratá, Tona, Frío y Cáchira y demás unidades hidrográficas mencionadas.
- Contextualización de la importancia y utilidad del desarrollo de las dos subactividades contempladas anteriormente.

b. Metodologías

- Descripción del abordaje metodológico para el análisis de unidades de interacción antrópica (Subactividad i).
- Protocolo para la construcción del modelo de Huella Espacial Humana, detallando la integración de variables como infraestructura, minería, agricultura y conflictos socioambientales (Subactividad ii)
- Metodología de calibración y validación de modelos con actores locales y datos de campo.

c. Resultados

- Análisis de unidades de interacción antrópica (Subactividad i).
- Mapa de intensidad y distribución de la huella espacial humana actual en el área de la ZRT y el área asociada a la presencia de bosque alto andino (Subactividad ii).
- Modelos espaciales de predicción que muestren las dinámicas de pérdida de bosque andino y altoandino para escenario proyectado (Subactividad ii).

d. Análisis y Conclusiones

- Análisis comparativo entre unidades de fragmentación de los efectos de las presiones antrópicas sobre la dinámica socioambiental de las cuencas analizadas (Subactividad i).
- Análisis de los resultados de la subactividad ii.
- Conclusiones sobre la vulnerabilidad del ecosistema frente a la gestión del riesgo y el cambio climático.

e. Recomendaciones

- Definición de áreas críticas que requieren intervención administrativa o restauración para restablecer la conectividad.

- Lineamientos estratégicos para la toma de decisiones orientadas a la protección y gestión del territorio basados en las tendencias de transformación identificadas.

f. Referencias

- Fuentes sobre ecología de paisaje, manuales de software especializado y estudios de zonificación del MADS y autoridades regionales.

g. Cartografía

- Mapa de conectividad ecológica histórica y actual (1:25.000).
- Mapa de la huella espacial humana detallada por municipio.
- Mapas de escenarios tendenciales de transformación del paisaje.

h. Anexos

- Reportes técnicos de calibración de indicadores espaciales.
- Memorias del intercambio con actores locales para la validación de la realidad territorial.
- Matriz de pesos y criterios utilizados en el modelamiento de escenarios.

9.3.3.9. Actividad 4.1.1 Promover la gestión social de actores institucionales y comunitarios en el páramo de Santurbán

Las actividades de gestión social y el acercamiento con los diferentes sectores poblacionales del área de estudio del proyecto son primordiales para lograr la viabilidad de los diferentes estudios y el interés de la población local en los mismos. Para el desarrollo de este producto se deberán seguir las tareas consignadas en el Anexo 1. Documento Técnico del proyecto. En el marco de esta actividad se deberán:

-Realizar cuatro (4) Jornadas de diálogo habilitantes en cabeceras municipales localizadas dentro del área del proyecto, considerando la participación representativa de actores del territorio. Se prevé, en promedio, la asistencia de 100 participantes a cada uno de los espacios. La selección de las cabeceras municipales en las que se realizarán las jornadas habilitantes será definida de común acuerdo con la supervisión, en función de las dinámicas del territorio, priorizando aquellos municipios en donde se prevea el desarrollo de las actividades de campo de los demás productos del proyecto. Se garantizarán las condiciones logísticas necesarias para el desarrollo de las jornadas, esto es: suministro de refrigerios, almuerzo, estación de café y alquiler de salón, sillas, mesas, video beam o pantalla de transmisión para espacios abiertos de ser necesario, sonido y telón. De igual forma, se garantizará la transmisión por internet de dos (2) de estos espacios. Se contará además con un (1) bus por cada uno de los cuatro (4) espacios para movilizar a miembros de comunidades desde corregimientos hacia las cabeceras urbanas en las que se desarrollen las jornadas. Considerando la posible variabilidad en el número de asistentes a los espacios, el contratista en acuerdo con la supervisión del contrato podrá realizar ajustes o modificaciones en términos logísticos, mientras éstas no vayan en detrimento de la calidad de los encuentros.

En marco de estas jornadas de diálogo habilitantes, además de divulgar el propósito del estudio y su importancia, se deberán considerar y sistematizar las necesidades que los actores manifiesten con relación a los propósitos del estudio, llegando a consensos para la facilitación de las actividades del proyecto.

De igual forma, el contratista en medio del desarrollo de estos espacios de interacción con los actores comunitarios deberá implementar por lo menos cinco (5) entrevistas semiestructuradas, que relacionen estas necesidades manifiestas.

El contratista, de conformidad con los canales de comunicación establecidos junto con el FONDO y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, realizará las gestiones pertinentes para realizar las invitaciones correspondientes a las jornadas habilitantes a las entidades de orden nacional y regional entre las cuales se encuentran: Ministerio de Minas y Energía, Agencia Nacional de Minería-ANM, Corporación Autónoma Regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga-CDMB, Gobernación de Santander, Defensoría del Pueblo, Personerías Municipales, Procuraduría General de la Nación, incluyendo la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios y la Procuraduría Regional de Instrucción Santander.

De igual forma, en el marco de esta actividad se realizará un acompañamiento permanente de los profesionales del equipo de trabajo en los municipios que hacen parte del área de estudio del proyecto para el relacionamiento y levantamiento de la información primaria que permita consolidar los productos requeridos según la metodología definida por el consultor. Así mismo, apoyarán, según se requiera, el desarrollo de las labores de campo que realicen los equipos de trabajo asociados a las demás actividades de la presente consultoría. Para tal fin el contratista deberá disponer de por los menos 390 días de campo distribuidos entre los tres (3) profesionales idóneos que hacen parte del equipo mínimo de trabajo.

De la realización de las jornadas de diálogo habilitante y del acompañamiento a las labores de campo, se generará un informe que detalle los resultados generales de cada espacio y un resumen de las gestiones y acompañamiento realizados, donde a su vez se incluyan los correspondientes soportes o evidencias, siendo estos el registro de asistencia (número de participantes desagregado), filmico o fotográfico en los casos que se puedan generar.

Tanto la implementación de la metodología como la base de actores territoriales para la construcción del mapa de actores será parte del entregable de esta actividad (avance 1 del producto final), consolidando un documento que recoja los resultados puntuales de las jornadas de diálogo habilitante, así como las matrices de actores según corresponda.

Nota: En desarrollo de esta actividad se deberá involucrar a las comunidades locales en las campañas de campo para lo cual se dispondrá de por lo menos 120 jornales que serán distribuidos en función de las labores de campo previstas. Este involucramiento no se restringirá solo al apoyo de la jornada de campo y deberá implicar una transferencia de conocimientos que incluya los saberes y visión del actor comunitario, al igual que el propósito de la actividad desarrollada en el marco de los objetivos del proyecto.

9.3.3.10. Actividad 4.1.2 Fomentar espacios de participación desde la reconstrucción del proceso del proyecto y la construcción de escenarios posibles.

Los resultados obtenidos de esta actividad alimentarán el conocimiento de los conflictos socioambientales, a partir de un acercamiento a la comprensión de la estructura de gobernanza ambiental y su relación con el proyecto. Esto brindará una línea guía de posibles pasos a seguir, en cuanto al monitoreo y seguimiento de los páramos, desde la perspectiva socioambiental local. En el marco de esta actividad se deberá:

-Realizar cuatro (4) Jornadas pedagógicas distribuidas en cabeceras municipales o corregimientos dentro del área del proyecto, contemplando en cada una la asistencia como mínimo de 50 participantes. En el marco de estos espacios el equipo social del proyecto acompañado de expertos temáticos, comunicaran en un lenguaje comprensible las actividades que estén realizando en el marco del proyecto. Es importante que en esta actividad participen de forma activa los miembros de la comunidad que fueron vinculados a las labores de campo del proyecto.

La selección de los lugares en los que se realizarán las jornadas pedagógicas será definida de común acuerdo con la supervisión, en función de las dinámicas del territorio, la localización de las jornadas de diálogo habilitantes y donde se prevea el desarrollo de las actividades de campo de los

demás productos del proyecto. Se garantizarán las condiciones logísticas necesarias para el desarrollo de las jornadas, esto es: suministro de refrigerios, almuerzo, estación de café y alquiler de salón, sillas, mesas, video beam, sonido y telón. De igual forma, se garantizará la transmisión por internet de dos (2) de estos espacios. Sin embargo, considerando la variabilidad en el número de asistentes a los espacios, el contratista en acuerdo con la supervisión del contrato podrá realizar ajustes o modificaciones en términos logísticos, mientras éstas no vayan en detrimento de la calidad de los encuentros.

En estas jornadas pedagógicas, el contratista deberá recopilar y sistematizar las experiencias tanto positivas como negativas que los participantes rescaten de su relacionamiento con el desarrollo del proyecto.

De igual forma, el contratista en medio del desarrollo de estos espacios de interacción con los actores comunitarios deberá implementar por lo menos cinco (5) entrevistas semiestructuradas, que relacionen estas experiencias (positivas como negativas) frente al proyecto.

De la realización de estas jornadas pedagógicas, se generarán un informe que detalle los resultados generales de cada espacio, donde a su vez se incluyan los correspondientes soportes o evidencias, siendo estos el registro de asistencia (número de participantes desagregado), fílmico o fotográfico en los casos que se puedan generar.

Se propone como entregable de esta actividad (avance 2 del producto final), documento que recoja la consolidación del mapeo de actores, al igual que la formulación inicial de las estrategias de relacionamiento con cada grupo de actor territorial.

Mapa de actores que incluya como mínimo:

- A) Metodología implementada
- B) Identificación de los actores (base de datos-matriz de actores)
- C) El mapeo de actores debe incluir un análisis de relaciones, intereses-influencia, que refleje las necesidades y conocimientos (alrededor del ecosistema)
- D) Estrategia de relacionamiento por cada uno de los grupos de actores resultado del mapeo
- E) Conclusiones y recomendaciones

Estrategia de relacionamiento debe incluir:

- A) Identificación y caracterización de actores
- B) Análisis de contexto territorial
- C) Definición de objetivos de relacionamiento
- D) Mecanismos de participación y relacionamiento
- E) Gestión de información y retroalimentación
- F) Enfoque de riesgos y conflictos

Nota: En desarrollo de esta actividad se deberá involucrar a las comunidades locales en las campañas de campo para lo cual se dispondrá de por lo menos 60 jornales que serán distribuidos en función de las labores de campo previstas. Este involucramiento no se restringirá solo al apoyo de la jornada de campo y deberá implicar una transferencia de conocimientos que incluya los saberes y visión del actor comunitario, al igual que el propósito de la actividad desarrollada en el marco de los objetivos del proyecto.

9.3.3.11. Actividad 4.1.3 Socializar los resultados de los estudios

Para esta actividad se compartirán los resultados sociales y técnicos, así como las experiencias alrededor del proceso del proyecto, incluyendo una retroalimentación y en la medida de lo posible, la estructura o la guía de compromisos o de futuros proyectos que surjan desde ahí. Los espacios a desarrollar permitirán cerrar el proyecto de una manera participativa, ya que se convocará a los habitantes de las áreas de estudio y se buscará contar con la representación de todos los actores sociales del contexto del área de estudio. Con este propósito el CONTRATISTA deberá:

-Realizar cuatro (4) Jornadas de socialización de los resultados del proyecto en cabeceras municipales y corregimientos dentro del área del proyecto, contemplando en cada una la asistencia como mínimo de 100 participantes. La selección de los lugares en los que se realizarán las jornadas de socialización será definida de común acuerdo con la supervisión, en función de las dinámicas del territorio, la localización de las jornadas de diálogo habilitantes y dónde se hayan desarrollado de las actividades de campo de los demás productos del proyecto. Se garantizarán las condiciones logísticas necesarias para el desarrollo de las jornadas, esto es: suministro de refrigerios, almuerzo, estación de café y alquiler de salón, sillas, mesas, video beam, sonido y telón. De igual forma, se garantizará la transmisión por internet de los cuatro (4) espacios, así como un (1) bus por cada uno de los cuatro (4) espacios para movilizar a miembros de comunidades desde corregimientos hacia las cabeceras urbanas en las que se desarrollen las jornadas. Sin embargo, considerando la variabilidad en el número de asistentes a los espacios, el contratista en acuerdo con la supervisión del contrato, podrá realizar ajustes o modificaciones en términos logísticos, mientras éstas no vayan en detrimento de la calidad de los encuentros.

El contratista, de conformidad con los canales de comunicación establecidos junto con el FONDO y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, realizará las gestiones pertinentes para realizar las invitaciones correspondientes a las jornadas habilitantes a la Defensoría del Pueblo, Personerías Municipales, Procuraduría General de la Nación, incluyendo la Procuraduría Delegada para Asuntos Ambientales y Agrarios y la Procuraduría Regional de Instrucción Santander.

Como resultado del desarrollo de los espacios de socialización el contratista deberá realizar un informe donde se relacionen los soportes correspondientes a cada uno de los eventos realizados, incluyendo: registros de asistencia o población efectivamente alcanzada, registros fotográficos, actas, encuestas y un resumen que incluya la retroalimentación realizada por cada uno de los actores clave que participaron en los espacios.

Los resultados de la presente actividad deberán ser considerados como insumo y parte integral del informe final del producto.

Tabla 7. Espacios de participación previstos

Tipo de espacio	Número de espacios	Número de asistentes
Jornada habilitante	4	100
Jornada pedagógica	4	50
Jornada de socialización	4	100

Producto final

Por su parte, el Informe final de esta y las demás actividades asociadas al Producto 4.1, es decir el diagnóstico de las condiciones socioambientales de los municipios del área de estudio, deberá incluir:

- A) Resumen divulgativo (Máximo 20 páginas. Dirigido a las comunidades del área del proyecto en el que se desarrolle, en un lenguaje cercano al público general y priorizando el uso de esquemas e imágenes, los resultados del producto. Deberá incluir los apartados: introducción, metodología, resultados, conclusiones y recomendaciones)

- B) Resumen
- C) Introducción
- D) Metodología (recopilación de información, detalle de las actividades de campo, encuestas, mesas de trabajo)
- E) Resultados y análisis (mapeo de actores con análisis de intereses-influencia, necesidades y conocimientos (alrededor del ecosistema), al igual que la estrategia general de relacionamiento por grupos de actor según resultado del mapeo).
- F) Análisis de problemáticas, conflictos, oportunidades y recomendaciones
- G) Conclusiones
- H) Referencias
- I) Anexos (incluyendo soportes de jornadas)

9.3.4. Procesos Participativos

Estos se desarrollarán de conformidad con lo detallado en las actividades 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3.

9.4. Declaración de Confidencialidad

Todos los datos e información recibida por parte del FPVB deberán ser tratados de manera confidencial y deberán ser utilizados únicamente en relación con la ejecución de las tareas mencionadas en el presente Alcance de la Consultoría y las reglas de los Términos de Referencia. Los derechos de propiedad intelectual derivados de la ejecución de las tareas descritas en el presente Alcance de la Consultoría y las reglas de los Términos de Referencia. serán asignados a la entidad contratante. A excepción de los documentos que harán parte del cuarto de datos, los contenidos de materiales escritos obtenidos y utilizados para la ejecución de esta consultoría no deberán ser compartidos con ningún tercero sin la previa autorización escrita por parte del FPVB.

REFERENCIAS

Cañas, H., Herrera, W., Ruiz, D., Manotas, D., Galvis, M., Viana, F., Ocampo, E., Becerra, J., Sotelo, A. y Porras, A. (2022). Generación de conocimiento hidrogeológico que permita establecer la ocurrencia, origen y conexión entre los flujos de agua subterránea de la cuenca alta de las quebradas La Baja y Angosturas con el Páramo de Santurbán mediante técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/10.14.2022.1028>

Estudios Industriales LTDA (1973) Estudio general de suelos para fines agrícolas de los municipios de Floridablanca, Tona, Matanza, California y Suratá (departamento de Santander). Disponible en: https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/631.4986.27_157e12.pdf y [https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/631.4986.27_157e12\(1\)Mapa.pdf](https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/631.4986.27_157e12(1)Mapa.pdf)

Gómez-Isidro, S. and Gómez-Ríos, V. L. (2016). Análisis de flujo base usando curvas maestras de recesión y algoritmos numéricos en cuencas de montaña: Cuenca del río Suratá y cuenca del Río de Oro (Santander, Colombia). DYNA (Colombia), 83(196), 213–222. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n196.53222>

Gómez-Isidro, S., Taupin, J. D. and Rueda, A. (2015). Estudio hidrodinámico, geoquímico e isotópico de las formaciones acuíferas de la región de Bucaramanga (Colombia). Revista Peruana Geo-Atmosférica Rpga, 4(4), 44–61. https://web2.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2015_vol04/paper4.pdf

Herrera, W., Manotas, D., Viana, F., Ocampo, E., Galvis, M., Valbuena, J. (2023). Interacción del ciclo del agua con la actividad minera en la cuenca La Baja del municipio de California, Santander - Páramo de Santurbán. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano. Disponible en: https://recordcenter.sgc.gov.co/B21/791_2022-HidroSanturban/Documento/PDF/InfoHidroParaSanturban.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam & Invemar (2021). Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Agua. Bogotá, D. C., 631 páginas. Disponible en: <https://www.ideam.gov.co/file-download/download/public/2880>

Ideam (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Ideam. Bogotá, D. C., 512 páginas. Disponible en: https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-27/estudio_nacional_del_agua_2022.pdf

Ideam (2025) Procedimiento para la generación de datos de la Red Nacional de Isotopía. Código GDI-P021 Versión 02. Bogotá D.C., 17 páginas. Disponible en: https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/mapa-de-procesos/gdi-p021_procedimiento_para_la_generacion_de_datos_de_la_red_nacional_de_isotopia_0.pdf

INGEOMINAS (2009) INFORME HIDROGEOLOGICO DEL MACIZO DE SANTANDER. 91 páginas. Disponible en: https://santurban.minambiente.gov.co/images/Pdf_santurban/Propuestas/Otras_regiones/INFORME_HIDROGEOLOGICO_DEL_MACIZO_DE_SANTANDER.pdf

INGEOMINAS- UIS (2007) MEMORIA EXPLICATIVA DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA EN EL MACIZO DE SANTANDER - PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLOGICA EN LA REGION CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER TOMO 1 Acuerdo específico 002/05. 91 páginas. Disponible en: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B10/22005005024661/documento/pdf/2105246611101000.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2015) Levantamiento Semidetallado de Suelos en las áreas de influencia de los Páramos de Colombia. Distrito de Páramos Santander. Convenio 005 (13-014). Disponible en: <https://datos.icde.gov.co/maps/9746e6e7e6224e88aa8b287d772ec70c/explore> y <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-85.98093860351526,-6.956162576586616,-62.5141417285215,16.817933207023213,4686&b=igac&u=0&t=43&servicio=7465>

Lara, N. M., Arias, H. D., Moyano, I. E., Robayo, A., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Torrado, S., Rojas, O., & Prieto, G. (2021). Integration of geophysical information with geological cartography for research in mineral resources and other applications in Colombia: examples in the Serranía de San Lucas, Antioquia Batholith and eastern Amazonia. *Boletín Geológico*, 48 (Spl.1), 25-44. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.48.Spl.1.2021.654>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (2010) Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la Contaminación. Bogotá D.C., 45 páginas. Disponible en: <https://archivo.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuiferos/Propuesta-metodologica-Vulnerabilidad-Intrinseca-de-lo-Acuiferos-a-la-Contaminacion.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014) Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. Bogotá D.C: 88 páginas. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-38.-Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planes-de-manejo-ambiental-de-acuiferos-PMAA-1.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2026) Resolución 0017 de 2026 “Por la cual se adopta la Guía Metodológica para la Identificación de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos”. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0017-de-2026/>

Moyano, I., Lara, N., Arias, H., Gómez, E., Ospina, D., Puentes, M., Robayo, A., Rojas, O. y Torrado, S. (2023). Mapa de anomalías geofísicas de Colombia, versión 2022: Memoria explicativa. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano. Disponible en: https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/828_2023MapaAnomaliasGeofisicasV2022/Documento/Pdf/InformeMAGC2022.pdf

Toro-Espitia (2023) Documento técnico: Rectas meteóricas generadas con cuatro métodos y estadística descriptiva de los datos isotópicos de las muestras de lluvia abordada en el ENA 2022. Bogotá D.C.: Ideam Disponible en: https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/anexo_6_isotopia.pdf

SGC (2024) Concepto técnico geocientífico, soporte para la declaratoria de la reserva temporal en Soto Norte, Santander. Bogotá D.C.: Servicio Geológico Colombiano. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/11/Resol-a-consulta-publica-20241127T170033Z-001.zip>

Velandia, F. A. (2017). Cinemática de las fallas mayores del Macizo de Santander - énfasis en el modelo estructural y temporalidad al sur de la Falla de Bucaramanga. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63257>

FIN DEL DOCUMENTO