

2. ANEXO CONDICIONES TÉCNICAS BÁSICAS OBLIGATORIAS

Subproyecto 1:

Adquirir información primaria y complementar con recopilación e interpretación de información secundaria, para desarrollar una caracterización y evaluación del componente hidrogeológico del Municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta, que derivé en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual representativo para él y/o (los) período (s) de precipitaciones correspondiente al tiempo de ejecución del contrato donde se evalué la interacción componente hídrico subterráneo con la industria de hidrocarburos.

ÁREA DE ESTUDIO

El área comprenderá Municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta. (Figura 1).

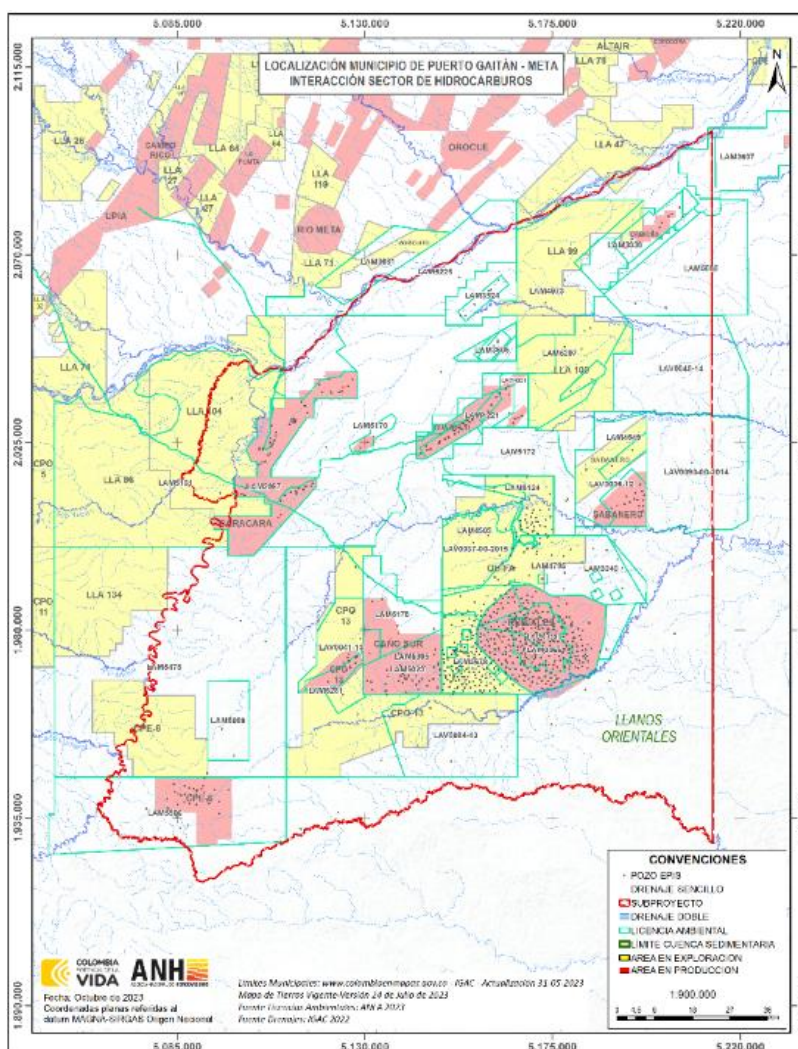


Figura 1. Localización área de estudio, Municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta.

METODOLOGÍA

El desarrollo de los subproyectos se debe realizar de manera paralela en la medida de lo posible cumpliendo como mínimo lo solicitado a continuación:

- **Escala de Trabajo**

La escala de trabajo para el levantamiento de información y generación de esta será según lo indicado en la tabla a continuación:

Subproyecto	Escala
Subproyecto 1	1:25.000
Subproyecto 2	1:25.000

1. Informe de Compilación y análisis de información secundaria.

Para el desarrollo del informe de compilación y análisis de información secundaria se deben realizar como mínimo las siguientes actividades:

Se deben consultar en las bases de datos y a su vez enviar una solicitud formal de información como mínimo las siguientes entidades y/o fuentes bibliográficas:

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).
- Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA).
- Corporaciones Autónomas Regionales (Corporinoquia – Alto Magdalena, según corresponda)
- Alcaldías y/o secretarías de ambiente
- Principales Empresas y universidades presentes en el área de estudios correspondiente.

Descripción y análisis de las fuentes de información secundaria consultadas

Una vez compilada la información secundaria esta se debe organizar y analizar determinando para cada componente (geología, geofísica, hidrología, calidad del agua superficial, inventario de puntos de agua subterránea, usos del agua subterránea, hidráulica, hidrogeoquímica, isotópica, calidad del agua subterránea, isotopía y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación) como mínimo:

- Nombre del estudio consultado y fuente de la información
- Presentar la distribución espacial de la información según el área de estudio
- Análisis de calidad de la información
- Descripción cualitativa de la información y conclusiones por fuente consultada
- Justificación técnica de la información secundaria tenida en cuenta por componente

Nota 1 El trámite de consulta y solicitud de la información secundaria para la adecuada ejecución del contrato será responsabilidad del ejecutor.

Nota 2. En este informe no se deben realizar reinterpretaciones de la información consultada para ello es cada informe que se describen más adelante.

2. Informe de Gestión Social y Ambiental.

Para el desarrollo del informe de gestión Social y Ambiental debe tener en cuenta como mínimo las siguientes fases:

Fase de Precampo

- Identificar los principales actores socioambientales y grupos de interés existentes en la zona de estudio para socializar las actividades y alcances del proyecto, a su vez indicar las actividades realizadas para el desarrollo del diagnóstico socioambiental de la zona.
- Identificar y agendar visita a las principales entidades del estado presente en el área de estudio (alcaldías, corporaciones autónomas regionales).
- Identificar principales actividades industriales
- Consultar los instrumentos de planificación presentes en el territorio EOT's POMCA's PMAA

Fase de Campo

- Llevar a cabo las reuniones pertinentes necesarias con todos los actores identificados en la fase previa, asegurando en lo posible una participación representativa de las comunidades presentes en el área del proyecto.

Para la Socialización del proyecto e identificación de los principales conflictos sociales y ambientales se deben llevar a cabo encuestas y material pedagógico pertinente con el fin de transmitir la información en un lenguaje sencillo y comprensible para las comunidades.

Fase de Poscampo

Se debe sistematizar la información recabada en las fases anteriores y presenta un informe que contenga el desarrollo de la siguiente estructura:

Diagnóstico Social

- ✓ Localización, límites geográficos del área de estudio
- ✓ Estructura Política
- ✓ Directorio de Juntas de Acción Comunal
- ✓ Elementos demográficos relevantes
- ✓ Diagnóstico de Servicios públicos y sociales, (Acueducto, Alcantarillado, recolección de residuos, fuentes de energía eléctrica entre otros)
- ✓ Principales actividades económicas (Economía primaria, secundaria y terciaria)
- ✓ Lineamientos participativos
- ✓ Acercamiento y alcance de información y participación
- ✓ Material pedagógico usado para las socializaciones
- ✓ Socializaciones Realizadas
- ✓ Resultados del proceso informativo y participativo.
- ✓ Sistematización de la información recabada en el instrumento de percepción.
- ✓ Inventario de actores sociales
- ✓ Identificación de principales conflictos sociales
- ✓ Identificación de fuentes de agua para consumo humano, doméstico y agroindustrial

Dimensión Ambiental

- ✓ Instrumentos de planificación
- ✓ Ordenamiento Territorial del (los) municipio
- ✓ Planes de ordenamiento territorial y/o Esquema de Ordenamiento Territorial

- ✓ Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca
- ✓ Zonificación Ambiental
- ✓ Plan General de Ordenamiento y Manejo Forestal
- ✓ Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico
- ✓ Determinantes Ambientales del Medio Natural
- ✓ Áreas protegidas RUNAP
- ✓ Ecosistemas estratégicos
- ✓ Análisis de las restricciones ambientales
- ✓ Análisis de los conflictos socioambientales y sus sinergias con la industria de los hidrocarburos

3. Informe de Geología y Geofísica

- **Geología**

Se debe realizar análisis de fotografías aéreas y/o imágenes satelitales para obtener información geológica e identificación de estructuras regionales.

Posteriormente se debe realizar la cartografía geológica del área de estudio a través de recopilación de información secundaria y levantamiento de información primaria, con la descripción litológica de las principales unidades. Incluir **tres** perfiles transversales que permitan identificar la secuencia estratigráfica local.

Dentro del informe se debe incluir la descripción y clasificación de las muestras de roca tomadas en campo con su respectivo registro fotográfico.

Se deben realizar mínimo **5** levantamientos de columnas estratigráficas que permitan identificar espesores, continuidades laterales y verticales, cambios de facies de las principales unidades geológicas. Adicionalmente se debe presentar la columna estratigráfica generalizadas del área de estudio.

Con base en la composición litológica se debe determinar inicialmente las unidades con mayor potencial hidrogeológico a su vez aquellas que actúan como sellos describiendo su espesor y continuidad lateral y vertical.

Para unidades geológicas fracturadas identificadas en el área de influencia, se debe realizar una descripción geológica que identifique lineamientos, fallas y fracturas indicando: buzamiento y orientación, espesor, permeabilidad, presencia de brechas, entre otras características, estableciendo su comportamiento general como barrera de baja o alta permeabilidad o condición preferencial de flujo. Se indica que la profundidad de investigación corresponde hasta al basamento hidrogeológico.

- **Geomorfología**

Se debe realizar una caracterización de las geoformas y de su dinámica, considerando los rangos de pendientes, patrón y densidad de drenaje, identificando las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio. Se debe incluir como parte del análisis geomorfológico, la fotointerpretación geomorfológica de imágenes de sensores remotos disponibles, junto con la verificación en campo, incluyendo las siguientes variables:

- Pendientes
- Áreas de erosión activa (erosión laminar, erosión lineal, cárcavas, cicatrices, grietas, canales, surcos y otros criterios geomorfológicos), materiales y grado de fracturamiento de la roca.
- Áreas de sedimentación activa (conos de talus, abanicos aluviales activos, lóbulos de sedimentación, barras de sedimentación activas, deltas y áreas en subsidencia relativa con acumulación de sedimentos).
- Cartografía de procesos de remoción en masa activos y latentes (caídas, deslizamientos, flujos).
- Clasificación geomorfológica que contemple las formaciones superficiales, unidades geomorfológicas, unidades de paisaje y subpaisaje, formas y procesos erosivos dominantes.

Con la anterior información se deben elaborar los siguientes mapas:

- Pendientes.
- De procesos morfodinámicos.
- De unidades geomorfológicas con énfasis en la morfogénesis y la morfodinámica.
- De susceptibilidad por la ocurrencia de procesos erosivos y de susceptibilidad ante procesos de movimientos en masa

- **Geofísica**

Se debe realizar un estudio geofísico representativo del área de influencia del proyecto, incluyendo los parámetros de adquisición, la descripción del(os) método(s) geofísico(s) empleado(s), justificando su selección de acuerdo con las condiciones geológicas-estructurales particulares del área. Se debe realizar la interpretación y correlación de las unidades geológicas con sus valores geofísicos obtenidos respecto a las unidades geológicas presentes. Adicionalmente, presentar un mapa y perfiles con la distribución espacial de los puntos de medición y captura de datos geofísicos. Se debe suministrar tanto los datos de campo, como la interpretación de estos incluyendo un análisis de certidumbre de resultados.

Para el desarrollo de este apartado se deberá realizar mediciones en campo de los diferentes métodos geofísicos según lo indicado en la tabla a continuación:

Método Geofísico	Subproyecto 1	Subproyecto 2
Sondeos eléctricos verticales	40	40
Tomografías eléctricas multielectrodo	40	40
Sondeos magnetotelúricos	40	40
Sondeos gravimétricos	40	40

La localización de los sondeos, tomografías y estaciones magnetotelúricas y gravimétricas serán definidos en conjunto y aprobados por parte de la supervisión del contrato. A su vez, se debe describir con detalle todas las actividades en campo realizadas en la campaña de adquisición geofísica.

Los Sondeos Magnetotelúricos se deberá tener en cuenta como mínimo lo siguiente:

- Los sitios seleccionados para los sondeos deben quedar lo más alejados posible de fuentes eléctricas y torres de energía, con el fin de evitar contaminación electromagnética en los datos.
- Indicar el
- Considerar las fuentes de ruido para la ubicación de los equipos
- En el caso del uso de lodo y agua salada para aumentar la conductividad se deberá indicar en el informe.

- Los registros deben ser de al menos 12 horas.
- Describir las posibles limitaciones que se hayan podido presentar y como estas afectan los resultados obtenidos.
- Todos los equipos, sensores e instrumentos deben estar calibrados, el proceso y evidencia de este desarrollo debe integrarse en el informe.
- Los equipos utilizados deben ser capaces de adquirir señales de largos periodos y modelar el subsuelo hasta 10 Km de profundidad.
- Los equipos utilizados deben ser calibrados, a su vez se verificar la calidad de las curvas de fase y de resistividad en cada una de las estaciones.
- Se debe aplicar un método de referencia remota en el procesamiento de datos
Se debe justificar la selección de la clase y la estrategia de inversión de datos que se tendrán en cuenta en la fase de procesamiento

Los Sondeos Gravimétricos se deberá tener en cuenta como mínimo lo siguiente:

- Los sitios seleccionados para los sondeos deberán estar en lo posible despejados de vegetación, estructuras con el fin que no obstruya la señal sobre las antenas receptoras.
- Se deberá tener una correcta nivelación de los equipos ajustando los parámetros postproceso.
- Describir el sistema de medición y las posibles limitaciones que se hayan podido presentar y como estas afectan la calidad de los resultados obtenidos.
- Se debe tener una estación base para el cierre periódico del circuito e indicar y describir el control horizontal y vertical del proceso de adquisición.
- Todos los equipos, sensores e instrumentos deben estar calibrados, el proceso y evidencia de este desarrollo debe integrarse en el informe.
- Construir los mapas de la anomalía de Bouguer simple, Bouguer total, residual y regional
- Se deben corregir los datos por mareas, deriva, latitud, aire libre, Bouguer y terreno.
- Se deberá construir un modelo de densidades representativo del área de interés seleccionada con base en el mapa de anomalías gravimétricas

Otros métodos geofísicos

Se deben realizar una búsqueda de información secundaria respecto presencia de líneas sísmicas realizadas en el área de estudio y de registros de pozos, las cuales se deben recopilar y utilizar para obtener una correlación litológica para el refinamiento del modelo geológico geofísico.

Con base en la información geológica y geofísica levantada, procesada e interpretada, se debe construir un modelo geológico-geofísico tridimensional (mínimo **tres**), en el cual, se determine la geometría de cada una de las unidades geológicas, la profundidad de techo y base, sus espesores promedio, total y saturado, continuidad y extensión lateral y sus fronteras permeables, impermeables y semipermeables, identificando las discontinuidades geológicas y estructurales (fallas, zonas fracturadas, karst), propiedades de las formaciones geológicas, porosidad y estructura del subsuelo, teniendo como límite de investigación hasta el basamento hidrogeológico del área de estudio.

4. Informe Hidrología

El informe de Hidrología debe contener como mínimo:

Meteorología

Identificar y recolectar, para el área según corresponda, los datos hidroclimáticos disponibles de la red nacional de referencia del IDEAM, así como de otras redes existentes en el ámbito regional. La escala

temporal de los datos debe ser diaria y la longitud mínima de la serie debe ser de quince (15) años en caso de existir. Se debe indicarse la longitud temporal de datos disponibles, el porcentaje de datos faltantes y realizar el respectivo tratamiento de datos cuando aplique (llenado de datos, homogeneidad, consistencia, detección de datos anómalos). Efectuar un análisis objetivo de la calidad y consistencia de los datos hidroclimáticos que incluya pruebas estadísticas paramétricas y/o no paramétricas sobre homogeneidad, consistencia e identificación de datos anómalos; hacer el completado de las series, indicando claramente el método adoptado y efectuar la caracterización estadística básica de las series de tiempo tratadas.

Realizar el análisis temporal y espacial de las variables climáticas referidas a: precipitación media anual y mensual; temperatura media, máxima y mínima mensual y anual y otras estimadas a partir de estas variables como la evapotranspiración potencial y real anual y mensual. Mediante un balance hídrico de largo plazo deberá ser de 30 años (en el caso de no existir información, el ejecutor deberá justificar y realizar el análisis con la escala temporal más larga posible según la disponibilidad de datos), aplicar diferentes metodologías para la estimación de la evapotranspiración potencial y real que sean aplicables a las características climáticas regionales en función de la información disponible para su validación, como caudales medios mensuales multianuales, reportando los grados de incertidumbre en el análisis.

En caso de existir, referenciar los datos del índice de aridez (IA) y el índice de retención y regulación hídrica (IRH) para las unidades de análisis hidrológico definidas, de acuerdo con la propuesta metodológica del IDEAM para la escala de trabajo (Evaluaciones Regionales del Agua - ERA), respecto a su estimación y representación espacial.

- **Hidrológico**

Presentar las principales características morfométricas (área, perímetro, pendiente media, índice de compacidad, factor de forma, tiempos de concentración, índice de sinuosidad, densidad de drenaje y corrientes, patrones de drenaje regionales y locales) de las unidades de análisis hidrográficas asociadas a los principales cuerpos lóticos y lóticos, así como las zonas susceptibles a inundación, con su respectiva toponimia, presentes en el área, así como a nivel de unidad hidrográfica de análisis (como mínimo niveles subsiguientes¹ de las subzonas en la que se encuentra localizada el área de estudio del proyecto y áreas de drenaje de cuerpos de agua). Dentro de las características de la cuenca, identificar: área, longitud de la corriente principal, longitud axial, ancho y profundidad del cauce, altura media, pendiente media, pendiente del cauce, curva hipsométrica, índice de compacidad, índice de forma, orden de la cuenca y densidad de drenaje, entre otros.

Presentar los criterios y análisis de la aplicabilidad de la metodología seleccionada. El balance hídrico será un insumo y deberá ser consecuente con los valores de recarga hídrica subterránea, por lo que se requiere aplicar una metodología que incluya características multitemáticas de manera que se ajuste a las condiciones presentes en el área de estudio, presentar los criterios y análisis de la aplicabilidad de la metodología seleccionada.

Realizar el análisis con indicadores hidrológicos relacionando la oferta hidrológica estimada, respecto a la demanda hidrológica inventariada para cada una de las cuencas del área de influencia del componente a la escala previamente definida, mediante la estimación de Índice de Uso de Agua (IUA), Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH) e Índice de Regulación Hídrica (IRH) y el índice de aridez (IA), de acuerdo con la propuesta metodológica del IDEAM para las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA), respecto

¹ En caso de no existir niveles subsiguientes, se deben definir unidades hidrográficas de análisis, hasta el nivel de detalle requerido, conservando los criterios de codificación establecidos por el IDEAM.

a su estimación y representación espacial. El marco metodológico se encuentra consignado en el ENA-2014, ENA-2018 y ENA-2022.

Se debe incluir el análisis multitemporal de la dinámica fluvial, a partir de fotografías aéreas, sensores remotos y otra información secundaria de diferentes épocas, caracterizando factores como: tamaño de la corriente, aspecto temporal de la corriente, material del lecho, terrenos inundables, diques naturales, incisión, límites del cauce, cobertura vegetal, sinuosidad, tipo de corriente, validación del ancho y evaluación del desarrollo de meandros y divagación del cauce. Esta información debe ser la base de la clasificación geomorfológica descrita para el informe de geología, de manera que permita identificar los insumos necesarios para los modelos geomorfológicos por medio de los cuales se estiman las reacciones de los cauces ante las intervenciones propuestas en el proyecto.

- **Calidad del agua del Agua Superficial**

Se debe realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica representativa de la calidad del agua de los principales cuerpos lénticos y lóticos presentes en el área de estudio, los puntos objeto de muestreo serán mínimo **veinte (20)**. La ubicación de los cuales deberá presentarse a la supervisión del contrato para ser aprobados.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mínimos que deben ser caracterizados

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos e hidrobiológicos a caracterizar en cuerpos superficiales presentes en el área de estudio

PARÁMETROS	UNIDADES
Generales	
Conductividad eléctrica	(μ S/cm)
Caudal	l/s
Demanda química de oxígeno (DQO)	(mg/L O ₂)
Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco (5) días (DBO ₅)	(mg/L O ₂)
Fenoles	mg/L
Grasas y Aceites	mg/L
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L
Potencial Oxido Reducción (Eh)	mV
pH	Unidades de pH
Sólidos Totales (ST)	mg/L
Sólidos Sedimentables (SS _{ED})	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT).	mg/L
Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM)	mg/L
Temperatura.	(°C)
Cationes	Unidades
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L
Calcio (Ca ⁺⁺)	mg/L
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg/L
Potasio (K ⁺)	mg/L
Sodio (Na ⁺)	mg/L
Hierro Total (Fe)	mg/L
Manganeso (Mn)	mg/L
Aniones	Unidades
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁼)	mg/L
Carbonato (CO ₃ ⁼)	mg/L

Bicarbonato (HCO_3^-)	mg/L
Cianuro (CN^-)	mg/L
Sulfuro (S^{2-})	mg/L
Fluoruros (F^-)	mg/L
Hidrocarburos	Unidades
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L
Compuestos orgánicos volátiles	mg/L
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y orto, meta y para-Xileno)	mg/L
Otros Parámetros para Análisis y Reporte	Unidades
Acidez Total	mg/L CaCO_3
Alcalinidad Total	mg/L CaCO_3
Dureza Total	mg/L CaCO_3
Microbiológicos	Unidades
Coliformes totales	NMP/100 mL
E. Coli	NMP/100 mL
Nutrientes	Unidades
Fósforo Total (P)	mg/l
Ortofosfatos (P- PO_4-3)	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l
Nitrógeno Amoniacal	mg/l
Nitratos (N- NO_3)	mg/l
Nitritos (N- NO_2)	mg/l
Metales y Metaloides	Unidades
Aluminio (Al)	mg/L
Arsénico (As)	mg/L
Bario (Ba)	mg/L
Bromo (Br)	mg/L
Cadmio (Cd)	mg/L
Cinc (Zn)	mg/L
Cobalto (Co)	mg/L
Cobre (Cu)	mg/L
Cromo Total	mg/L
Estroncio (Sr)	mg/L
Litio (Li)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Níquel (Ni)	mg/L
Plata (Au)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L
Selenio (Se)	mg/L
Vanadio (V)	mg/L

Fuente: Modificado de ANLA, 2021

- Consideraciones de muestreo y análisis de resultados

Para puntos de muestreo en cuerpos lóticos se debe realizar el aforo de caudal presentando la sección mojada y hacer entrega del formato de estimación de caudal, reportando allí las velocidades, el ancho superficial, el área mojada, el perímetro mojado, la velocidad media, la profundidad media, la velocidad máxima y el caudal.

El monitoreo debe regirse bajo lo establecido en el Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua", elaborado por el IDEAM (2021) o aquella que la modifique o sustituya. Todos los muestreos deben

realizarse a través de laboratorios acreditados por el IDEAM, o la entidad responsable de su acreditación, tanto para la toma de muestras como para el análisis de parámetros. En caso de que no haya laboratorios acreditados para el análisis de algún parámetro, los laboratorios acreditados por el IDEAM para la toma de muestra pueden enviar la misma a un laboratorio internacional acreditado en su país de origen o por un estándar internacional, mientras se surte el proceso de acreditación en los laboratorios nacionales. Se debe presentar el informe sobre la toma de muestras, el cual debe relacionar los protocolos de monitoreo, toma, preservación, transporte y análisis de muestras, con su respectivo registro fotográfico y copia de la cadena de custodia.

A si mismo se deben estimar los Índices de Calidad (ICA, ICOMO, ICOMI, ICOSUS e ICOTRO).

- **Calidad Fisicoquímica de Sedimentos**

Se debe realizar una caracterización fisicoquímica de la capa de sedimentos activos y de fondo, garantizando la representatividad espacial de las muestras obtenidas acorde a la extensión del cuerpo de agua y en profundidad según el tipo de material que conforme el lecho, para los sistemas lénticos en el área de estudio, a su vez, se deben caracterizar al menos **10 puntos**. La ubicación de puntos de muestreo debe corresponder con los ensayos de conductancia que se solicitan más adelante, la ubicación de los puntos deberá ser aprobados por parte de la supervisión del contrato.

En la Tabla 2 se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mínimos que deben ser caracterizados en los sedimentos.

Tabla 2. Relación de los parámetros fisicoquímicos generales que se deben medir para la caracterización de la capa de sedimentos de fondo de los cuerpos de agua.

PARÁMETRO	
Generales	Unidades
Fenoles de la capa de fondo	mg/kg
Porosidad	(%)
Permeabilidad	m/d
Granulometría	(%)
Grasas y aceites de la capa de sedimentos de fondo	mg/kg
pH	Unidades de pH
Temperatura	(°C)
Conductividad eléctrica	(μS/cm)
Hidrocarburos	Unidades
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/kg
Hidrocarburos Totales (HTP) de la capa de sedimentos de fondo	mg/kg
Metales y Metaloides	Unidades
Arsénico (As)	mg/L
Cadmio (Cd)	mg/L
Cromo (Cr+6)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L

Fuente: Modificado de ANLA, 2021

Se debe presentar un análisis espacial de los resultados fisicoquímicos obtenidos, evaluando el potencial de contaminación a los acuíferos en caso de presentar una conexión hidráulica entre ambas matrices hídricas.

5. Informe de Recarga Real y Potencial

Para el desarrollo del informe de Recarga Real y Potencial se deben realizar las siguientes actividades

- **Interconexión agua superficial y subterránea**

Establecer la conexión hidráulica entre los diferentes cuerpos de agua léntico y lóticos identificados en el área de estudio con los diferentes niveles acuíferos calculando el flujo base para cada cuerpo de agua, realizando **20 mediciones de conductancia en el lecho**, así como un análisis de las fluctuaciones estacionales que pueden presentarse en dicha conexión. Para la validación de este requerimiento se debe utilizar la información de niveles freáticos y piezométricos, hidrogeoquímicos e isotópicos solicitados más adelante.

Nota 1. La ubicación de las mediciones de conductancia de lecho debe coincidir con los puntos de caracterización fisicoquímica de lecho. La ubicación de las mediciones se debe presentar a la supervisión del contrato para su aprobación.

Nota 2. La metodología para la determinación de la conductancia debe incluir pruebas hidráulicas en lecho.

- **Caracterización Hidráulica del Suelo**

De deben definir las unidades cartográficas del suelo presentes en el área de estudio, donde se determine el contenido pedológico como mínimo a nivel de familia textural, de acuerdo con la metodología vigente del IGAC para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines multipropósito - IGAC, 2016 y el Instructivo para la etapa de campo de levantamiento de suelos IGAC – 2017 o aquellas que las modifiquen o sustituyan. A su vez, se deben determinar los perfiles modales correspondientes.

Para la determinación de la permeabilidad del suelo, se deben realizar mínimo **20 ensayos de infiltración** asegurando que este sea de doble anillo. La ubicación de estos ensayos deberá ser representativa de las unidades cartográficas de suelo identificadas y a su vez, deberá presentarse ante la supervisión para ser aprobados.

Los resultados obtenidos deben ser tenidos en cuenta para la estimación de la recarga y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación.

- **Estimación de la Recarga Real y Potencial**

Se debe realizar un balance hídrico y una evaluación hidrológica identificando las fuentes que aportan a la recarga del sistema hidrogeológico o aquellas que son alimentadas por el sistema, indicando la tasa de recarga real y potencial, el tipo y la distribución espacial, para el escenario medio climático. Para ello se debe emplear una metodología reconocida y publicada en revistas indexadas, artículos nacionales o internacionales o acogida por instituciones nacionales o internacionales, que aplique a las condiciones del área de estudio. La metodología escogida debe sustentarse ante la supervisión del proyecto para ser aprobada. Para la estimación de la recarga real, se deben tener en cuenta la variación del nivel freático y /o potenciométrico, datos tomados del inventario de puntos de agua y en los datos de los sensores de monitoreo automático.

Se debe analizar la diferencia entre la recarga real y potencial identificando las principales condiciones de la zona que intervienen en la diferencia entre ambos resultados.

A su vez se debe estimar la recarga real y potencial para el escenario crítico el cual debe considerar los efectos climáticos de los fenómenos ENSO (Niño) y Niña y cambio climático, considerando los escenarios 2040, 2070 y 2100. Se debe realizar un análisis comparativo de los resultados indicando las recomendaciones correspondientes.

6. Informe Inventario de puntos de agua subterránea.

El informe de inventario de puntos de agua debe contener como mínimo:

Realizar un inventario representativo en área y profundidad de los puntos de agua subterránea presentes en el área de estudio según corresponda; incluyendo pozos, manantiales, aljibes y piezómetros. Como mínimo se deben inventariar al menos **250 puntos**, del total de puntos identificados por el ejecutor. Los puntos seleccionados deberán presentarse a la supervisión del contrato para ser aprobados. A su vez, se indica que es el ejecutor es quien debe consultar ante las corporaciones y demás entidades los inventarios existentes.

Cada punto debe estar georreferenciado y nivelado topográficamente indicando: profundidad, nivel estático, unidad geológica e hidrogeológica captada, caudal de extracción o descarga (l/s), usos y usuarios del agua, y su estado (en uso, inactivo, abandonado o desmantelado).

Presentar el Formulario Único Nacional – FUNIAS, totalmente diligenciado para todos los puntos inventariados. Todos los puntos inventariados deben estar correctamente codificados y mantener esta numeración o codificación en cada uno de los componentes del modelo hidrogeológico conceptual. En todos los puntos se deben tomar los parámetros in situ de Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH, Potencial Redox y Oxígeno Disuelto, el análisis de estos resultados debe realizarse en el informe de hidrogeoquímica.

El nivel estático del agua para todos los puntos inventariados debe reportarse en metros, al igual que en términos de la cota del terreno (en metros sobre el nivel del mar -m.s.n.m), siempre tomando como referencia el nivel del terreno (NE), tal como se indica en la figura 3:

Figura 3. Representación gráfica para la toma de Niveles Estáticos en los puntos hidrogeológicos



Los niveles de agua deben ser reportados al nivel del SUELO (NE).

H (altura desde el nivel del suelo hasta la boca del pozo) = $h1 + h2$

$NE = N - H$

Fuente: SGC 2019

Nota. En caso en que en el tiempo de ejecución del proyecto se presente dos períodos de precipitación bien definidos (bajas y altas precipitaciones), el inventario debe realizarse en el periodo más próximo al inicio del contrato y con base en el inventario y en las condiciones evidenciadas en campo, se deben elegir un número representativo de puntos para el monitoreo de niveles en el siguiente período de precipitaciones.

– - *Instalación de transductores de presión*

Se deberán instalar al menos **10 transductores de presión tipo Divers** para el registro continuo de niveles con un intervalo de hora a hora. La duración del registro continuo deberá ser de al menos 3 meses en puntos hidrogeológicos representativos en área y profundidad. En caso de el tiempo de ejecución del proyecto se presente dos periodos de precipitación bien definidos (bajas y altas precipitaciones), se deberá asegurar que los equipos registren los niveles en ambos periodos así se exceda el tiempo por más de 3 meses de registros.

La información recolectada por los traductores deberá ser integrada para el análisis de líneas de flujo, estimación de la recarga real y se deberá realizar un análisis de variación de niveles.

– ***Uso actual del agua subterránea***

Con base en los resultados del inventario de puntos de agua subterránea se deben determinar los caudales de extracción y descarga de cada punto, así como los usos que actualmente se le da al agua subterránea, teniendo en cuenta el análisis estadístico sobre la demanda actual y futura del agua para consumo humano, uso doméstico, industrial, agropecuario o cualquier otro uso.

– ***Sistemas de flujo subterráneo.***

A partir del modelo, geológico, geofísico y de los niveles freáticos y piezométricos medidos en la (s) campaña (s) de inventario de puntos de agua subterránea, se debe construir el mapa de niveles piezométricos y/o de isopiezas presentando como mínimo tres cortes o perfiles longitudinales y tres cortes o perfiles transversales, que permita visualizar la dirección del agua subterránea para cada unidad geológica con interés hidrogeológico presente en el área del proyecto, determinando así los sistemas de flujo locales, intermedios y regionales. Para la determinación de los sistemas de flujo se debe considerar:

- Efectos de la geología (estratificación, aparición de lentes y anisotropía).
- Efectos de las fallas (permeabilidad de la falla, espesor de la zona de falla, permeabilidad de las rocas en contacto con la falla, buzamiento y orientación de la falla).
- Efectos de la geometría de la cuenca (límites y forma de la cuenca, carga hidráulica y profundidad relativa de la cuenca).

Se debe representar en un bloque diagrama de las direcciones de flujo, las zonas de recarga, tránsito y descarga (en la medida que estas se encuentren dentro del área de estudio), indicando claramente la dirección del agua subterránea mediante la elaboración de la red de flujo (líneas equipotenciales y de flujo), explicando el (los) método (s) de interpolación o elaboración de los mapas de isopiezas o piezométricos. De presentarse alguna conexión hidráulica entre unidades geológicas realizar su respectiva explicación con sustento hidrogeológico.

Para la construcción de los mapas de isopiezas se debe garantizar que los niveles piezométricos hayan sido medidos en puntos hidrogeológicos que cumplan las siguientes condiciones:

- Se conozca la (s) unidad (es) hidrogeológica (s) captado (s) (ubicación de filtros, espesor, diámetro y profundidad total).
- Cuento con nivelación topográfica con un grado de precisión de mínimo 0.05 m en x, y y z.
- Tengan una distribución espacial representativa en superficie y profundidad.
- Cuento con condiciones técnicas en campo e instrumentos de medida adecuados (sonda de nivel, transductores de presión, etc.) para la toma de niveles.
- Sea posible obtener niveles estáticos (sin bombeo y sin interferencia de pozos cercanos en aprovechamiento).

- Las mediciones de los niveles freáticos o piezométricos se hayan tomado en un mismo período climático (épocas de alta y baja precipitación).
- Para la validación del sistema de flujo subterráneo se debe utilizar la información de la caracterización hidrogeoquímica e isotópica solicitada más adelante.

Por lo anterior se debe presentar una descripción de cada uno de los puntos considerados para la construcción de las isopiezas, anexando la información detallada soportada con los registros fotográficos correspondientes.

7. Informe Hidráulica

El informe de Hidráulica debe contener como mínimo:

Con base en el inventario de puntos hidrogeológicos, verificando el estado mecánico y diseño de estos, el ejecutor debe proponer los puntos objeto de ensayos hidráulicos, asegurando que estos sean representativos en área y profundidad, teniendo en cuenta que serán como mínimo **20 puntos objeto de ensayo**. Los puntos seleccionados deberán presentarse a la supervisión del contrato para ser aprobados.

El tipo de ensayo hidráulico debe ser acorde al tipo de medio a caracterizar el cual debe estar debidamente justificado (poroso, fracturado o kárstico). Con base en los ensayos hidráulicos realizados se debe estimar los parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, radio de influencia, capacidad específica y rendimiento o producción específica,) de las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del proyecto.

En caso de realizar pruebas de bombeo, estas deben permitir conocer espacial y temporalmente el comportamiento del cono de abatimiento generado tanto en el pozo bombeado como en el pozo de observación que permita estimar los parámetros hidráulicos durante los tiempos de bombeo y recuperación. La medición de los niveles de abatimiento y recuperación se debe utilizarse por medio de transductores de presión tipo Divers, realizando la debida corrección barométrica en caso de requerirlo.

Inicialmente la etapa de bombeo siempre y cuando las condiciones del área lo permitan debe tener una duración **de 24 siempre** y cuando no se alcance un régimen estacionario en las primeras **12 a 20 horas** y la etapa de recuperación alcance un 95 a 100% del abatimiento registrando en el pozo bombeado y las condiciones locativas y los dueños de los predios lo permitan. Adicionalmente se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Determinar e indicar la profundidad del nivel del agua antes del inicio del bombeo.
- Realizar al menos dos mediciones del nivel para verificar la profundidad inicial.
- Asegurar que otros pozos de bombeo no estén operando en la zona cercana al pozo de bombeo durante la prueba.
- Asegurar que la descarga del pozo de bombeo no retorne al área cercana del pozo de bombeo.
- Indicar que uso y/o gestión se le dio al agua subterránea derivada de las pruebas de bombeo.
- Asegurar que la tubería de descarga es mantenga en lo posible horizontal
- Registrar las especificaciones técnicas de la bomba utilizada.
- Medir las elevaciones o alturas de las tuberías de descarga y de los puntos donde se realiza la medición de la profundidad del nivel del agua
- Medir y registrar las variables fisicoquímicas in situ Temperatura, Conductividad Eléctrica, pH, Potencial Redox y Oxígeno Disuelto en cada punto objeto de ensayo.

- Se debe presentar registros fotográficos para cada configuración hidráulica realizada para las pruebas de bombeo, que permita ver la descarga, la ubicación del medidor de caudal, la boca del pozo entre otros.
- Indicar la profundidad de los sensores instalados y sus especificaciones técnicas indicado si cuentan con corrección barométrica.
- Se debe realizar una prueba de caudal variable o pretest para seleccionar el caudal máximo de bombeo, indicando cual fue el caudal máximo seleccionado por punto.

Con base en los datos registrados en la prueba se debe determinar la curva de tendencia natural del nivel freático o piezométrico de la unidad geológica acuífera a caracterizar, midiendo los niveles mínimos una semana antes del inicio de las pruebas. La frecuencia de medición de niveles (abatimiento y recuperación) debe garantizar alrededor de 10 observaciones por ciclo logarítmico del tiempo para elaborar la curva de abatimiento vs tiempo. Para la interpretación de los datos, se deben utilizar gráficas diagnósticas que permitan identificar el tipo de acuífero y/o las condiciones de frontera del sistema (p. ej. goteo, cargas constantes, efectos del pozo, etc.), y así justificar los métodos analíticos o numéricos empleados para la estimación de los parámetros hidráulicos.

Para las pruebas hidráulicas se debe contemplar el uso de pozos de observación que capten los mismos niveles acuíferos del pozo bombeado en caso de ser viable. Se podrán usar pozos existentes, siempre y cuando se conozca su diseño, capten la misma unidad geológica acuífera de la cual se hace el bombeo, la toma de muestra y la suspensión del bombeo por lo menos 24 horas consecutivas previas a la realización de la prueba. Se debe suministrar (en formato de campo y editable - Excel) los datos de campo niveles vs tiempo y control del caudal durante la prueba en el pozo bombeado, a su vez niveles vs tiempo en pozos de observación, (siempre y cuando sea posible contar con estos pozos de observación en el área de estudio) y parámetros hidráulicos interpretados.

Se debe realizar y presentar mapas de las propiedades hidráulicas para cada unidad geológica acuífera caracterizada y analizar su isotropía, determinando su estado de confinamiento (libre, semiconfinado, confinado). Cuando se empleen ensayos diferentes a las pruebas de bombeo p.ej. pruebas de pulso o "slug", Lefranc, Lugeon, Gilg-Gavard, u otro tipo de pruebas (pruebas de carga ascendente, descendente y de cabeza constante; pruebas con empaques, etc.), se deberán presentar e interpretar los resultados en el marco de la caracterización hidráulica de las unidades geológicas, justificando e indicando la validez de los parámetros interpretados en cuanto a su extensión espacial.

Para los diferentes ensayos hidráulicos realizados se debe presentar el respectivo análisis e interpretación, los soportes de campo y salidas gráficas, el software utilizado y evaluación de la representatividad de los datos y de certidumbre de los resultados obtenidos para los parámetros.

8. Informe de Isotropía

Se debe realizar una caracterización de isótopos estables y radiactivos en cuerpos de agua superficial (lóticos y/o lénticos), subterránea (pozos, manantiales, aljibes y piezómetros) y agua lluvia, conforme a los parámetros y número de puntos indicados en la Tabla 3. La ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea, superficial y lluvia, se deben seleccionar mediante técnicas geoestadísticas; teniendo en cuenta que el número de muestreos presentados en continuación. Los puntos seleccionados a muestrear deberán presentarse a la supervisión del contrato para ser aprobados.

Para el desarrollo del componente isotópico se debe tener en cuenta lo siguiente:

- *Consideraciones del muestreo generales*

Las condiciones de muestreo, transporte y almacenamiento de muestras deben seguir las directrices establecidas en los protocolos estandarizados por el Laboratorio de Análisis de Isótopos estables en agua líquida del S.G.C., el Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua”, elaborado por el IDEAM (2021) o aquella que la modifique o sustituya y/o protocolos internacionales que apliquen debidamente justificadas.

Todos los muestreos deben realizarse a través de laboratorios acreditados por el IDEAM, o la entidad responsable de su acreditación, tanto para la toma de muestras como para el análisis de parámetros. En caso de que no haya laboratorios acreditados para el análisis de algún parámetro, los laboratorios acreditados por el IDEAM para la toma de muestra pueden enviar la misma a un laboratorio internacional acreditado en su país de origen o por un estándar internacional, mientras se surte el proceso de acreditación en los laboratorios nacionales. Se deben anexar los formatos de campo para la toma de muestras, cadenas de custodia y reportes de laboratorio.

Nota. El muestreo de Tritio debe considerar el enriquecimiento electrolítico y los resultados reportados deben ser corregidos por el laboratorio.

- *Consideraciones del muestreo del agua lluvia*

Se debe caracterizar el ^{18}O y ^2H en la lluvia, de manera mensual promedio durante al menos 4 meses del periodo de ejecución, en caso del que el periodo de toma de muestras sea inferior se deberá acordar y validar con la supervisión.

Con el fin determinar la firma química del agua lluvia en el periodo de estudio, se deben instalar **3 totalizadores** de agua lluvia tipo palmex. Para su instalación se debe tener en cuenta las condiciones de altitud, considerando instalar cada una con una diferencia máxima altitudinal de 400 m (cuando en el área de estudio se presenten diferencias de altitud). Se recomienda instalar los totalizadores próximos a estaciones climáticas.

Se debe calcular y reportar el exceso de deuterio para las muestras de isótopos estables en agua lluvia descartando aquellos resultados que estén por debajo de los 5% de exceso y justificando si se presenta esta evaporación de las muestras.

Nota. La caracterización de Tritio ^3H y de CFC's solo se deberá realizar una vez en el agua lluvia.

- *Análisis e interpretación de los resultados Isótopos Estables*

Con base en los resultados se deben realizar un análisis específico por matriz muestreada y a su vez un análisis conjunto donde se establezcan las relaciones existentes entre aguas lluvia, superficiales y subterráneas, identificando las zonas de recarga, tránsito y descarga,

Para el análisis de los resultados de los isótopos estables (^2H y ^{18}O) se debe hacer una relación con el monitoreo isotópico de la precipitación analizando los efectos latitudinales, continentales, estacionales y de intensidad. Como parte de la interpretación de los resultados isotópicos, a su vez se deben construir las curvas Deuterio- $\text{O}18$ vs altura, conductividad vs altura, y potencial redox vs altura para los puntos de monitoreo, realizando una interpretación conjunta de datos fisicoquímicos e isotópicos. Presentar un análisis comparativo e interpretación de la firma isotópica de cada uno de los acuíferos monitoreados, respecto a las firmas isotópicas de las aguas superficiales y lluvia. Se deben analizar los resultados de las caracterizaciones isotópicas vs la línea meteórica local y mundial, las cuales pueden ser construidas con base en las estaciones presentes en la red isotópica mundial (GNIP) y nacional (RNI) ubicando la más cercana al área del proyecto.

Para el análisis de los resultados del ^{13}C , se debe identificar la fuente del carbono del agua subterránea, con base en la mineralogía de las rocas y con la concentración de carbono orgánico e inorgánico total y disuelto y las demás variables asociada al carbono.

- *Análisis e interpretación de los resultados Isótopos Radiactivos*

Con base en los resultados de isótopos radiactivos (^{14}C y ^3H), se debe realizar la datación del agua, determinando los tiempos medios de tránsito y residencia del agua subterránea en el sistema, para cada unidad hidrogeológica.

En el caso del uso del ^{14}C se debe corregir la actividad inicial, con las concentraciones de ^{13}C y la concentración de carbono inorgánico disuelto y demás parámetros asociados al carbono, justificando el método de corrección empleado.

- *Análisis e interpretación de los resultados de CFC's*

La determinación de la edad media del agua subterránea se debe complementar con la caracterización y análisis de clorofluorocarbonos (CFC's) CFC 11, CFC 12 y CFC 113, disueltos en el agua. Para la estimación de la edad media se debe tener en cuenta factores como la profundidad del pozo, la temperatura del agua y la historia de las concentraciones de los CFC's de interés en la atmósfera. El modelo de datación por CFS's escogido debe ser justificado y atender a las condiciones del área de estudio.

Tabla 3. Isótopos por caracterizar en el recurso hídrico presente en el área de estudio.

Matriz	Número de Puntos a Muestrear	Isotopos Estables a Muestrear	Unidades de Medida	Isotopos Radiactivos a Muestrear	Unidades de Medida	Gases	Unidades de Medida
Agua lluvia	3 (totalizadores tipo palmex)	Deuterio 2H	‰	Tritio ^3H	UT	CFC 11	pc/kg
		Oxígeno Pesado ^{18}O	‰			CFC 12	pc/kg
						CFC 13	pc/kg
Agua Superficial	20	Deuterio 2H	‰	Tritio ^3H	UT	N/A	
		Oxígeno Pesado ^{18}O	‰				
		Carbono ^{13}C	‰				
Agua subterránea	30	Deuterio 2H	‰	Tritio ^3H	UT	CFC 11	pc/kg
		Oxígeno Pesado ^{18}O	‰	Carbono ^{14}C	%CM	CFC 12	pc/kg
		Carbono ^{13}C	‰			CFC 113	pc/kg

Fuente: ANH 2024

9. Informe Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea

El informe de Hidrogeoquímica y Calidad del Agua debe contener como mínimo:

Con base en el inventario de puntos hidrogeológicos, se deben estimar mediante técnicas geoestadísticas, los puntos donde se realizará el muestreo hidroquímico e isotópico, teniendo en cuenta que serán como mínimo **50 puntos objeto de muestreo**. Los puntos seleccionados a muestrear deberán ser representativos en área y profundidad del área de estudio y deberán presentarse a la supervisión del contrato para ser aprobados.

Nota 1. En caso en que en el tiempo de ejecución del proyecto se presente dos periodos de precipitación bien definidos (bajas y altas precipitaciones), se realizarán dos muestreos (25 puntos por cada campaña), asegurando que el primer muestreo se realice en el periodo de precipitaciones más próximo al inicio del contrato.

Se deberán monitorear todas las unidades hidrogeológicas identificadas, de ser posible, teniendo en cuenta los parámetros presentados en la Tabla 4 y considerando algunos elementos adicionales si es el caso según las particularidades del área de estudio.

– *Consideraciones del muestreo*

Los puntos de agua subterránea a caracterizar deben ser pozos manantiales y aljibes, los cuales deben cumplir las siguientes condiciones:

- Ser objeto de una georreferenciación y nivelación topográfica. La nivelación topográfica de precisión debe realizarse en la boca del pozo y de la cota del terreno según aplique.
- Para pozos se debe tener disponible el diseño, identificando ubicación de filtros o niveles acuíferos captados y profundidad total.
- Realizar la purga de los puntos, previa al monitoreo, se debe garantizar la extracción de agua del acuífero (no agua estancada) y la toma de las muestras se debe efectuar después de la estabilización de los parámetros fisicoquímicos in situ (pH y conductividad eléctrica). En el informe se debe indicar cuáles fueron los valores de pH y conductividad eléctrica de estabilización.
- Los puntos seleccionados para el muestreo hidroquímico deben incluir todos los pozos objeto de ensayo hidráulico de ser posible.

El monitoreo debe registrarse bajo lo establecido en el Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua”, elaborado por el IDEAM (2021) o aquella que la modifique o sustituya. Todos los muestreos deben realizarse a través de laboratorios acreditados por el IDEAM, o la entidad responsable de su acreditación, tanto para la toma de muestras como para el análisis de parámetros. En caso de que no haya laboratorios acreditados para el análisis de algún parámetro, los laboratorios acreditados por el IDEAM para la toma de muestra pueden enviar la misma a un laboratorio internacional acreditado en su país de origen o por un estándar internacional, mientras se surte el proceso de acreditación en los laboratorios nacionales. Se deben anexar los formatos de campo para la toma de muestras, cadenas de custodia y reportes de laboratorio.

Nota. Para el muestreo de aniones y cationes se debe filtrar la muestra, en el informe se debe anexar el registro fotográfico de estas tareas en campo.

- *Control de calidad de los resultados de laboratorio*

- Calcular y presentar el valor del error del balance iónico para cada una de las muestras que se tomen en el programa de monitoreo, el error máximo aceptable es de $\pm 15\%$, el cual debe ser reportado por el mismo laboratorio que analice las muestras, determinando de esta forma el nivel de confiabilidad de los valores de concentración reportados.

$$(\%) \text{ diferencia} = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} \times 100\%$$

- Se debe reportar y realizar un análisis comparativo entre la conductividad eléctrica tomada in situ Vs la conductividad eléctrica tomada en laboratorio para cada muestra, justificando si es el caso, las diferencias entre las conductividades eléctricas. Esta diferencia no puede variar \pm el 10%.
- Se deben anexar los formatos de campo para la toma de muestras, cadenas de custodia y reportes de laboratorio, incluyendo los análisis de balances iónicos y de error analítico originales y a su vez presentar los resultados analíticos en formato Excel.

- *Análisis e interpretación de los resultados*

Con los datos hidroquímicos in situ adquiridos en el desarrollo del inventario de puntos de agua subterránea, se debe realizar los mapas de distribución para los parámetros fisicoquímicos: temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y potencial redox, para cada unidad geológica acuífera presente en el área de estudio.

Los resultados hidroquímicos se representarán en diagramas de relación (Piper, Stiff, Schoeller, Mifflin y Gibbs), que permitan determinar las facies hidrogeoquímicas. Así mismo, se debe analizar e interpretar los resultados con el fin de determinar el origen, circulación y evolución hidrogeoquímica del agua en el sistema hidrogeológico. El análisis debe identificar relaciones que contribuyan a la definición de aspectos como: zonas de recarga, tipos de roca con las que el agua ha estado en contacto y a partir de esto establecer aspectos como: evolución hidrogeoquímica, procesos de intercambio y mezclas entre tipos de agua, eventos de disolución o precipitación de fracciones iónicas, interconexiones hidráulicas, circulación, tiempo de residencia e indicadores de contaminación.

En caso de realizarse dos campañas de muestreo se deberá proporcionar un análisis comparativo de las diferencias y similitudes en la química del agua respecto a las dos campañas.

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a caracterizar en las unidades geológicas y niveles acuíferos presentes en el área de estudio.

PARÁMETROS FÍSICOS	UNIDADES
Nivel Estático	m
Caudal de explotación	l/s
Altura sobre el nivel del mar	msnm
Unidad geológica captada	
PARÁMETROS IN SITU (tomados por el laboratorio en el momento del muestreo)	UNIDADES
Conductividad Eléctrica	μ S/cm
Oxígeno Disuelto	mg/L
pH	Unidades de pH
Potencial Redox	mV
Temperatura	°C
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/L
Profundidad de toma de muestra	m
PARÁMETROS GENERALES	UNIDADES
Acidez Total	mg/L CaCO ₃
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L
Carbono Inorgánico Total (CIT)	mg/L
Carbono Orgánico Disuelto (COD)	
Carbono Inorgánico Disuelto (CID)	
Conductividad Eléctrica (CE) (Muestra laboratorio)	μ S/cm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l O ₂

Demanda Química de Oxígeno	mg/l O ₂
Dióxido de carbono (CO ₂)	mg/L
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃
Dureza Total	mg/L CaCO ₃
Nitrógeno Amoniacal	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l
pH (Muestra laboratorio)	Unidades pH
Sílice Total (SiO ₂)	mg/L
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (laboratorio)	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mL/L
Sólidos Totales (ST)	mg/L
HIDROCARBUROS	UNIDADES
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L
Compuestos orgánicos volátiles	mg/L
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y orto, meta y para-Xileno)	mg/L
Metano	mg/L
IONES	
CATIONES	UNIDADES
Calcio (Ca ⁺⁺),	mg/L
Estroncio (Sr ²⁺)	mg/L
Hierro Total (Fe)	mg/L
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg/L
Manganeso (Mn)	mg/L
Potasio (K ⁺)	mg/L
Sodio (Na ⁺)	mg/L
ANIONES	UNIDADES
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg/L
Carbonatos (CO ₃)	mg/L
Cloruros (CL ⁻)	mg/L
Fosfatos (PO ₄ ⁼)	mg/L
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	mg/L
METALES	UNIDADES
Aluminio (Al)	mg/L
Arsénico (As)	mg/L
Bario (Ba)	mg/L
Bromo (Br)	mg/L
Cadmio (Cd)	mg/L
Cinc (Zn)	mg/L
Cobalto (Co)	mg/L
Cobre (Cu)	mg/L
Cromo (Cr+6)	mg/L
Estroncio (Sr)	mg/L
Litio (Li)	mg/L
Mercurio (Hg)	mg/L
Níquel (Ni)	mg/L
Plata (Au)	mg/L
Plomo (Pb)	mg/L
Selenio (Se)	mg/L
Vanadio (V)	mg/L
MICROBIOLÓGICOS	UNIDADES

Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL
Coliformes totales	NMP/100 mL
<i>Escherichia. Coli</i>	NMP/100 mL

Fuente: Modificado de ANLA, 2021

- **Calidad del agua subterránea**

Se debe realizar un análisis estadístico y si es el caso estacional de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos determinados en campó. Para ello se debe realizar un análisis detallado e independiente de los parámetros in situ, hidrocarburos, metales y microbiológicos.

Se debe indicar la calidad del agua subterránea para los usos del agua identificados en las unidades geológicas acuíferas presentes en el área de influencia del proyecto y comparando los resultados con los criterios de calidad definidos en la normativa vigente, según el uso identificado y los parámetros reglamentados.

- **Fuentes potenciales de contaminación de acuíferos**

Se debe identificar todas las actividades antrópicas existentes en el área de estudio que puedan catalogarse como potencialmente contaminantes del agua subterránea, en especial de los acuíferos someros, con el fin de proponer y/o recomendar medidas de manejo adecuadas, con base en su superposición con el mapa de vulnerabilidad a la contaminación, así como de su cercanía a fallas geológicas y zonas de fractura.

- **Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación**

Se debe determinar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación para cada unidad geológica acuífera presente en el área de estudio. Para la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación es necesario considerar entre otras variables, análisis de la recarga real, del suelo y estimación de la conductividad hidráulica de las unidades acuíferas. Para la determinación de la vulnerabilidad se debe tener en cuenta la Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los Acuíferos a la contaminación (MADS, 2010) o aquella que la modifique o sustituya. Se debe realizar un análisis detallado e interpretación de cada una de las capas para la elaboración del mapa de vulnerabilidad, así como de los resultados obtenidos integrando en el análisis de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación los resultados de CFC's solicitados en el informe de isotopía.

Se debe entregar el mapa de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación del agua subterránea a una escala 1:25.000.

10. Informe Final Modelo hidrogeológico conceptual

- **Unidades hidrogeológicas**

Con base en la información geológica-geofísica e hidráulica se debe Identificar y clasificar las unidades hidrogeológicas presentes en el área de influencia del proyecto, indicando el nombre de la formación o formaciones geológicas que la conforman y sus características litológicas, texturales y estructurales que condicionan y describen el comportamiento hidrogeológico. Presentar el mapa hidrogeológico con mínimo tres cortes o perfiles longitudinales y tres cortes o perfiles transversales (acorde con el mapa geológico) a una escala 1:25.000 o mayor detalle. Tanto las formaciones geológicas como los puntos de agua subterránea deben estar representados en el mapa y en las secciones. La nomenclatura de las

unidades hidrogeológicas debe realizarse según la metodología de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH), (UNESCO, 1995).

- **Modelo hidrogeológico conceptual**

A partir de la compilación, análisis, integración de la información geológica y estructural, geofísica, unidades hidrogeológicas, identificación de zonas de recarga, tránsito y descarga, inventario de puntos de agua subterránea, descripción litológica de perforaciones – registros del nivel piezométrico y resultados de ensayos y pruebas realizadas en el sondeo, información de la red piezométrica, resultados analíticos de pruebas de bombeo e hidráulicas, los resultados de la caracterización de sistemas de flujo subterráneo, superficies piezométricas, información hidrogeoquímica, determinaciones asociadas a la caracterización e interpretación de análisis isotópicos, resultados de las determinaciones de calidad del agua subterránea y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, se debe conformar y presentar el Modelo Hidrogeológico Conceptual – MHC, para cada área de estudio según subproyecto, que represente las condiciones del sistema para el periodo de estudio.

Se debe describir y sintetizar detalladamente el comportamiento hidrogeológico (dinámica, cantidad y calidad) de cada unidad hidrogeológica definida en el estudio, definiendo el comportamiento hidrogeológico a cada unidad geológica identificada en la columna estratigráfica hasta el basamento hidrogeológico.

Se deben presentar salidas gráficas que representen tridimensionalmente la distribución física de los componentes del sistema hidrogeológico. El sistema a su vez debe contener la información de caracterización de los parámetros hidráulicos de las unidades hidrogeológicas, las determinaciones de los ensayos de permeabilidad en suelo y de conductancia de lechos, las características hidráulicas asociadas a las zonas fracturadas, los datos de hidrogeoquímica, a su vez presentar un mapa que relacione los atributos numéricos y/o descriptivos para cada componente que integra el MHC (geología, geofísica, unidades hidrogeológicas, hidrología, inventario de puntos de agua subterránea, usos del agua subterránea, sistemas de flujo subterráneo, hidráulica, hidrogeoquímica, isotópica, calidad del agua subterránea, isotopía y vulnerabilidad intrínseca a la contaminación). Señalando, límites de baja y alta permeabilidad, zonas de recarga, tránsito y descarga, flujo, movimiento, interconexión hidráulica y dirección del agua subterránea.

Con base en el MHC, se deben identificar los acuíferos o zonas de los acuíferos objeto de medidas de manejo, protección según los análisis realizados, así como zonas de recarga, zonas de interconexión hidráulica con fuentes de aguas superficiales, zonas con alta vulnerabilidad a la contaminación, perímetros de protección de pozos en especial los de abastecimiento doméstico, existencia de actividades potencialmente contaminantes, sinérgicas y acumulativas con las actividades del proyecto, entre otros.

Todos y cada uno de los componentes espaciales y no espaciales del modelo hidrogeológico conceptual deben ser reportados en su totalidad y consolidados en una geodatabase la cual debe presentarse dando cumplimiento al informe 13.

11. Informe Interacción del componente hidrogeológico con la industria petrolera

El informe de interacción del componente hidrogeológico con la industria petrolera debe establecer todas las actividades que desarrolla la industria en el área de estudio que pueden tener un grado de interacción con el componente hidrogeológico (concesiones de agua subterránea, inyección para recuperación secundaria, inyección para disposal, análisis de derrames que hayan afectado el componente, entre otros).

Para ello se debe realizar un análisis detallado dando alcance como mínimo a lo siguiente ítems

- ***Concesiones de agua subterránea***

Se debe realizar un análisis detallado de la cantidad de agua subterránea que usa el sector en el área de estudio para ello se debe determinar:

- Número de concesiones de agua subterránea otorgadas en el área de estudio del proyecto, determinado fechas de concesión, caudal, regímenes de uso, caudal promedio utilizado, autoridad ambiental quien hizo la autorización.
- Unidades hidrogeológicas aprovechadas.
- Identificar el número de pozos de agua subterránea presentes en el área de estudio, describiendo la profundidad del mismo, coordenadas, diámetros, tipo de medidores de flujo utilizados, estado del pozo (activo, reserva uso).

Se debe presentar un mapa con la ubicación de los pozos de agua subterránea concesionados, a su vez un análisis del volumen estimado acumulado del agua subterránea utilizada por bloque y sector en su conjunto.

- ***Inyección para recuperación Mejorada***

Se debe realizar un análisis detallado de la inyección subterránea para recuperación mejorada en el área de estudio para ello se debe determinar:

- Descripción litoestratigráfica, espesor, profundidad, extensión lateral, condiciones hidráulicas, porosidad (porcentaje del volumen de poro), permeabilidad (expresada en milidarcys), conductividad hidráulica, presión de poro y fractura, capacidad de recepción de las unidades identificadas para la inyección para recuperación mejorada.
- Inventario de las diferentes técnicas que actualmente son utilizadas para la recuperación mejorada.
- Estimar los volúmenes de inyección de fluidos por unidad geológica inyectada para recuperación mejorada.
- Análisis de afectaciones al componente hidrogeológico por actividades de inyección subterránea para la recuperación mejorada
- Proponer medidas de manejo y mitigación según las afectaciones identificadas
- Proponer medidas de aprovechamiento y gestión de las aguas de formación que se originan en esta área.

- ***Inyección subterránea para disposición final***

Se debe realizar un análisis detallado de la inyección subterránea para disposición final en el área de estudio para ello se debe determinar

- Descripción litoestratigráfica, espesor, profundidad, extensión lateral, condiciones hidráulicas, porosidad (porcentaje del volumen de poro), permeabilidad (expresada en milidarcys), conductividad hidráulica, presión de poro y fractura, capacidad de recepción de las unidades identificadas para la inyección para disposición final.
- Análisis estructural de las fallas y discontinuidades estructurales presentes en el área de estudio que pudieran ser un camino de comunicaciones entre las unidades objeto de inyección con la superficie y/o unidades suprayacentes.

- Indicar y caracterizar las unidades sellos identificadas indicando sus características litoestratigráficas, espesor máximo, mínimo y promedio, extensión lateral, continuidad y uniformidad, análisis estructural donde se determine su posible afectación por discontinuidades estructurales (fallas, pliegues y fracturas), calidad del agua, características hidráulicas (conductividad hidráulica horizontal y vertical).
- Estimar los volúmenes de agua que son inyectados actualmente por unidad geológica objeto de inyección.
- Análisis de la inyección acumulada por unidad geológica inyectada, mínimo los últimos 5 años.
- Características fisicoquímicas del agua antes del tratamiento y posterior al tratamiento objeto de inyección realizando un análisis de la eficiencia de los sistemas de tratamiento.
- Características fisicoquímicas del agua presente en las unidades a inyectar
- Análisis de las Presiones de inyección Vs las presiones de fractura de las unidades geológicas objeto de inyección, mínimo los últimos 5 años.
- Análisis de afectaciones al componente hidrogeológico por actividades de inyección subterránea para la disposición final.
- Registros de contingencia reportadas por las actividades de inyección subterránea para disposición, mínimo los últimos 5 años.
- Análisis de sismicidades reportadas en estas zonas, consultado a las comunidades por daños en infraestructura, haciendo una ventana de análisis de los registros menores a 16 km de profundidades y de magnitudes mayores a 3.
- Análisis de la información de las Formas 13 y 14
- Proponer medidas de manejo y mitigación según las afectaciones identificadas.
- Proponer medidas de aprovechamiento y gestión de las aguas de formación que se originan en esta área.

12. Informe poster del proyecto y presentación power point

Se debe presentar un poster y realizar una presentación en formato power point, que sintetice los principales resultados de cada informe, resultados que se deberán exponer según las indicaciones de la supervisión al finalizar la ejecución del contrato. Ambos productos deben presentarse en español e inglés.

13. Informe SIG con la geodatabase asociada que incluya toda la información espacial generada por el proyecto.

Todos los productos deben ser entregados de acuerdo con el manual de entrega de información del Banco de Información – EPIS. En este manual, se definen los procedimientos, productos, formatos y medios para la entrega de documentación al Banco de Información Petrolera del Servicio Geológico Colombiano, de toda la información adquirida o generada en el marco del desarrollo de los contratos de evaluación, exploración y producción de Hidrocarburos en Colombia.

El manual de entrega de información del EPIS puede ser consultado en la siguiente dirección electrónica:

En caso de que el manual presente actualizaciones durante el tiempo de ejecución del contrato se deben tener en cuenta.

Se debe obtener la constancia de cumplimiento de información de parte del EPIS y se debe asegurar de conocer los lineamientos generales y los anexos técnicos correspondientes.

Nota 1. El sistema de coordenadas deberá ser el oficial indicado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Nota 2. Toda la información generada en el marco del presente contrato en propiedad de la ANH por lo cual, para su reproducción se requiere expresa autorización por parte de esta Agencia.

Base de Datos SQL Server. Elaborar y entregar la base de datos SQL y archivo de copia de seguridad (backup) del proyecto los cuales deben contener toda la información recopilada y generada con compatibilidad para SQL Server Management Studio versión 19.0.2 o las más reciente disponible.

Consideraciones Adicionales

Para el desarrollo de los informes objeto del contrato deben tener en cuenta las siguientes indicaciones adicionales

- **Fotografías**

Todas las fotografías generadas en el marco de la ejecución del contrato y utilizadas como evidencias en el desarrollo de los informes deberán tener las coordenadas, fecha y hora como se presenta en el ejemplo a continuación.



Fuente ANLA, 2022



Fuente ANLA, 2023

A su vez, se debe presentar registros fotográficos de todos los equipos instalados en campo cumpliendo lo solicitado. No se aceptarán registros fotográficos en los informes ni anexos que no cumplan con lo solicitado.

- **Expresión de Magnitudes Físicas**

Todas las magnitudes físicas que se registren en los informes deben estar expresadas en las unidades previstas en la Norma Técnica Colombiana NTC 1000 Metrología, empleando donde se estime necesario, los símbolos y prefijos asociados a ellas, tanto para las magnitudes del Sistema Internacional de

Unidades (SI) como para otras que son aceptadas por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM).

- **Adicionales de Forma**

Todos los informes deben contener lo siguiente:

- Recomendaciones
- Conclusiones
- Bibliografía

A continuación, se presenta una síntesis resumen los productos y de las cantidades descritas en el presente anexo

PRODUCTOS

1. Informe de Compilación y análisis de información secundaria.
2. Informe de Gestión Social y Ambiental.
3. Informe de Geología y Geofísica
4. Informe Hidrología
5. Informe de Recarga Real y Potencial
6. Informe Inventario puntos de agua subterránea.
7. Informe Hidráulica
8. Informe de Isotopía
9. Informe Hidrogeoquímica y Calidad del Agua del Agua Subterránea
10. Informe Final Modelo hidrogeológico Conceptual
11. Informe Interacción del componente hidrogeológico con la industria petrolera.
12. Poster del proyecto y presentación power point con comentarios. Ambos productos en inglés
13. Proyecto SIG con la geodatabase asociada que incluya toda la información espacial generada por el proyecto.

CANTIDADES

3. Informe de Geología y Geofísica		
Descripción	Cantidad Subproyecto 1	Cantidad Subproyecto 2
Perfiles transversales - Geología	3	3
Levantamientos de columnas	5	5
Sondeos eléctricos verticales	40	40
Tomografías eléctricas multielectrodo	40	40
Sondeos magnetotelúricos	40	40
Sondeos gravimétricos	40	40
Perfiles Modelo geológico-geofísico tridimensional	3	3
4. Informe Hidrología		
Caracterización fisicoquímica y microbiológica cuerpos superficiales	20	20
Caracterización fisicoquímica de la capa de sedimentos	10	10
5. Informe de Recarga Real y Potencial		
Mediciones de conductancia en el lecho	20	20
Ensayos de infiltración doble anillo	20	20

6. Informe Inventario de puntos de agua subterránea.		
Puntos hidrogeológicos a inventariar	250	250
Instalación de transductores de presión tipo Divers	10	10
7. Informe Hidráulica		
Ensayos hidráulicos - Pruebas de Bombeo	20	20
8. Informe de Isotopía		
Instalación de totalizadores tipo palmex	3	3
Muestreo isotópico agua superficial isótopos estables y radiactivos	20	20
Muestreo isotópico agua subterránea isótopos estables y radiactivos	30	30
9. Informe Hidrogeoquímica y Calidad del Agua Subterránea		
Caracterización fisicoquímica y microbiológica agua subterránea	50	50
10. Informe Final Modelo hidrogeológico conceptual		
Perfiles Modelo hidrogeológico Conceptual	3	3

PARÁGRAFO: El ejecutor deberá entregar los productos finales aprobados por la supervisión de la ANH al EPIS del Servicio Geológico Colombiano - SGC, de acuerdo con el manual de entrega de la referida entidad y deberá subsanar cualquier requerimiento que ésta allegue, como resultado de la revisión de los informes finales de los productos; con el objeto de obtener la constancia cumplimiento de entrega de la información técnica. Este documento es requisito para la etapa de liquidación pues funge como paz y salvo técnico.

Para el pago final de cada uno de los cuatro subproyectos, el contratista deberá entregar a la supervisión de la ANH la comunicación que informa del *transmital* de entregade los informes finales al EPIS.