Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en el área de interventoría geotécnica en la empresa E.D. Ingeotecnia S.A.S.

Laura Daniela Rojas Arismendy

Proyecto de grado para optar al titulo de Ingeniera Civil

Director:

Wilfredo Del Toro Rodríguez

MSc. Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Contenido

Pág.

Introducción 11

1. Objetivos 13

1.1 Objetivo General 13

1.2 Objetivos Específicos 13

2. Marco de Referencia 14

2.1 Interventoría Geotécnica 14

2.2 El control como función de la Interventoría 14

2.3 Estudios geotécnicos 15

2.4 Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo (AVR) 15

2.5 Canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora 16

3. Proyecto: "Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con la inclusión del diseño de obras de ingeniería para la mitigación ante movimientos en masa, del canal de aducción del río Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora – POIR 19.1" 18

4. Metodología 20

5. Desarrollo Fase I 21

5.1 Estudio y análisis de la información existente y de referencia para el desarrollo del proyecto 22

5.2 Capacitación por parte de la empresa E.D. Ingeotecnia en los procedimientos de los trabajos de campo que se van a realizar en el proyecto.....24

5.3 Visitas de supervisión a campo para verificar que las actividades se desarrollen conforme a lo definido en los procedimientos y las especificaciones técnicas.....25

5.4 Seguimiento al cumplimiento de las especificaciones técnicas para la ejecución de los trabajos de campo.....26

6. Desarrollo Fase II.....27

6.1 Revisión de los documentos técnicos entregados por el contratista garantizando el cumplimiento a la metodología requerida y especificaciones técnicas del contrato. 28

6.1.1 Actividades de topografía 28

6.1.2 Metodología para el desarrollo de los estudios AVR 1:5000 y 1:2000 29

6.1.3 Exploración geotécnica básica para análisis de amenaza a escala 1:5000.....31

6.1.4 Definición de sitios críticos para AVR 1:2000 32

6.1.4.1 Sitio Crítico 1: K18+450..... 32

6.1.4.2 Sitio Crítico 2: K0+900..... 33

6.1.4.3 Sitio Crítico 3: K2+200..... 34

6.1.4.4 Sitio Crítico 4: Captación Arnania..... 35

6.1.4.5 Sitio Crítico 5: K18+500..... 36

6.1.5 Exploración geotécnica detallada AVR 1:2000 37

6.1.5.1 Sitio Crítico 1: K18+450..... 38

6.1.5.2 Sitio Crítico 2: K0+900..... 39

6.1.5.3 Sitio Crítico 3: K2+200..... 40

6.1.5.4 Sitio Crítico 4: Captación Arnania..... 40

6.1.5.5 Sitio Crítico 5: K18+500..... 41

6.1.6 Definición de sitios de revisión.....42

6.1.7 Trazabilidad laboratorios 42

6.2 Seguimiento y supervisión del desarrollo de la metodología aprobada para la ejecución de los estudios de AVR y Diseños geotécnicos de los sitios críticos.....43

6.2.1 AVR 1:5000.....43

6.2.1.1 Insumos. 44

6.2.1.2 Factores condicionantes. 45

6.2.1.2.1 Parámetros geotécnicos. 46

6.2.1.2.2 Modelo geológico geotécnico. 47

6.2.1.2.3 Determinación zonas homogéneas. 47

6.2.1.2.4 Perfiles geológico geotécnicos. 48

6.2.1.3 Factores detonantes. 49

6.2.1.3.1 Detonante lluvia 49

6.2.1.3.2 Detonante sismo. 50

6.2.1.4 Zonificación de la amenaza. 51

6.2.1.4.1 Requerimientos adicionales para calibración. 53

6.2.2 AVR 1:2000.....54

6.2.2.1 Insumos. 55

6.2.2.2 Factores condicionantes. 56

6.2.2.3 Perfiles geológico-geotécnicos. 56

6.2.2.4 Análisis de estabilidad y probabilidad de falla. 56

6.2.2.5 Diseño de obras de estabilización. 58

6.2.2.6 Análisis de Vulnerabilidad. 60

6.2.2.7 Evaluación del riesgo. 61

6.2.2.8 Control al cumplimiento de las actividades planteadas en el cronograma. 62

7. Desarrollo Fase III 63

7.1 Revisión de los reportes diarios de las actividades de campo desarrolladas por el contratista. 63

7.2 Elaboración de informes de los hallazgos y/o recomendaciones evidenciados en las visitas de campo. 64

7.3 Elaboración de informes de gestión semanal y mensual de la interventoría, reportando el avance y el cumplimiento en tiempo y calidad de trabajos desarrollados durante el periodo respectivo. 64

7.4 Asistencia a reuniones semanales para el seguimiento del avance del proyecto. 64

7.5 Elaboración de oficios técnicos requeridos durante el desarrollo de la interventoría. 65

8. Desarrollo Fase IV 65

9. Resultados 66

10. Conclusiones 67

11. Recomendaciones 69

Referencias Bibliográficas 70

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Microcuenca Tona. 18

Figura 2. Capacitación de las actividades de campo 24

Figura 3. Visitas de inspección 26

Figura 4. Supervisión actividades de exploración geotécnica 27

Figura 5. Etapas del levantamiento topográfico 29

Figura 6. Detalle franja de análisis propuesto 30

Figura 7. Revisión exploración geotécnic a básica 31

Figura 8. Exploración geotécnica básica aprobada 32

Figura 9. Vista panorámica sitio crítico 1 33

Figura 10. Vista panorámica sitio crítico 2 34

Figura 11. Análisis de amenaza sitio crítico 3 35

Figura 12. Fenómeno de remoción captación Arnania 36

Figura 13. Resultado amenaza sitio crítico 5 37

Figura 14. Seguimiento propuestas de exploración geotécnica sitios críticos 38

Figura 15. Exploración geotécnica Sitio Crítico 1 39

Figura 16. Exploración geotécnica Sitio Crítico 2 39

Figura 17. Exploración geotécnica Sitio Crítico 3 40

Figura 18. Exploración geotécnica Sitio Crítico 4 41

Figura 19. Exploración geotécnica Sitio Crítico 5 41

Figura 20. Ruta para análisis AVR 1:5000 44

Figura 21. Insumos para análisis AVR 1:5000 45

Figura 22. Factores condicionantes para análisis AVR 1:5000 46

Figura 23. Mapa de zonas homogéneas 47

Figura 24. Perfil geológico geotécnico AVR 1:5000 48

Figura 25. Evaluación del Pf a partir de las UGI y el Pf20 50

Figura 26. Amenaza sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga considerando fuentes sismogénicas individuales. 51

Figura 27. Parámetros geotécnicos para evaluación del factor de seguridad 52

Figura 28. Calibración mapa de amenaza 1:5000 53

Figura 29. Resultado del mapa de amenaza 1:5000 53

Figura 30. Metodología zonificación amenaza 1:2000 54

Figura 31. Ruta zonificación amenaza 1:2000 55

Figura 32 Resultados modelo de estabilidad análisis probabilístico 57

Figura 33. Probabilidad de falla anual 58

Figura 34. Metodología zonificación amenaza 1:2000 58

Figura 35. Modelación con obras propuestas 59

Figura 36. Diseño de obras de estabilización 60

Figura 37. Zonificación vulnerabilidad 61

Figura 38. Categorización del riesgo sin obras 62

Figura 39. Categorización del riesgo con obras 62

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Normativa para estudios geotécnicos. 23

Resumen

Titulo: Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería civil en el área de interventoría geotécnica en la empresa E.D. Ingeotecnia S.A.S.[*]

Autor: Laura Daniela Rojas Arismendy[**]

Palabras Claves: Interventoría técnica, Estudios geotécnicos, Estudios AVR, Fenómenos de remoción en masa.

Descripción

Uno de los retos a enfrentar en el funcionamiento, manejo y protección de obras lineales, como las redes de acueducto, refiere al control recurrente de los fenómenos de remoción en masa que pueden repercutir en su estado y funcionamiento. El canal de aducción del rio Tona, abastece la red de acueducto del municipio de Bucaramanga, y debido a que discurre por zonas de difícil topografía se encuentra expuesto a esta serie de factores, lo cual hace necesaria la implementación de estudios que garanticen el funcionamiento del mismo. Entre los trabajos desarrollados para tal fin, se contrató el desarrollo del estudio AVR por movimientos en masa a escala 1:2000 en sitios catalogados como críticos, a fin de evaluar y proponer obras de mitigación en los sectores catalogados con amenaza alta a procesos de remoción en masa. Debido a la complejidad técnica del estudio mencionado y a las fases que comprenden el desarrollo del mismo, se requirió la Interventoría técnica del contrato celebrado y se presenta en este artículo la metodología implementada para llevar a cabo el seguimiento, supervisión y control del proyecto en cuestión desde su planteamiento, ejecución y finalización, teniendo como referencia los lineamientos establecidos en las especificaciones técnicas del Contrato CTO-018-2020 del amb y la guía metodológica del SGC.

[*] Proyecto de grado

[**] Facultad de Ingenierías fisicomecanicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez, Msc. Ingeniería Civil

Abstract

Title: Business practice as a civil engineering assistant in the area of geotechnical intervention in the company E.D. Ingeotecnia S.A.S.[*]

Author: Laura Daniela Rojas Arismendy [**]

Keywords: Technical audit, geotechnical studies, AVR studies, mass removal phenomena..

Description

One of the challenges to solve in the operation, management and protection of linear works, such as aqueduct networks, refers to the recurrent control of mass removal phenomena that can affect their status and operation. The adduction channel of the Tona river supplies the aqueduct network of Bucaramanga city, and because it runs through areas of difficult topography it is exposed to this series of factors, which makes it necessary to implement studies that guarantee the operation. Among the works developed for this purpose, was contracted the AVR study for mass movements at a scale of 1: 2000 in sites classified as critical, in order to evaluate and propose mitigation works in the sectors classified as having a high threat to removal processes mass. Due to the technical complexity of the aforementioned study and the phases that comprise its development, the technical supervision of the contract signed was required and the methodology implemented to carry out the monitoring, supervision and control of the project in subject is presented in this article having as a reference the guidelines established in the technical specifications of the CTO-018-2020 Contract of the amb and the methodological guide of the SGC.

[*] Proyecto de grado

[**] Facultad de Ingenierías fisicomecanicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez, Msc. Ingeniería Civil

Introducción

Las Entidades públicas y privadas deben asegurar el cumplimiento del objeto y alcance de los contratos que celebran, para lo cual es necesario contar con un grupo de trabajo que permita tener la dirección general y la responsabilidad de ejercer el control y vigilancia de la ejecución del proyecto. Dicho seguimiento puede ser liderado por un equipo propio de la entidad contratante o mediante la subcontratación de una compañía externa (Interventoría) que realice la gestión de asesoramiento y cumpla con todos los lineamientos que se requieran. De manera general se puede establecer que la interventoría de un proyecto comprende el seguimiento técnico, administrativo y de calidad para el cumplimiento del contrato pactado entre una persona natural o jurídica y la Entidad correspondiente. (Garcés, Martínez, & Molano, s.f.).

La Planta de tratamiento La Flora hace parte del sistema de abastecimiento de agua potable del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. (en adelante amb). Desde los inicios de su construcción en el año 1961 hasta la fecha, se ha encargado del tratamiento de las aguas provenientes del río Tona obtenidas por las captaciones Golondrinas, Arnania y Carrizal y transportadas por un canal de aducción de una longitud de 23 Kilómetros. Posteriormente suministra las aguas tratadas en las redes norte, oriente y sur del sistema de distribución. La planta se encuentra localizada en el sector oriental del municipio de Bucaramanga (Santander), a la altura del sector Morrorico, entre los 1170 m.s.n.m. y 1195 m.s.n.m.

Uno de los grandes retos a enfrentar en el funcionamiento, manejo y protección y de obras lineales, como las redes de acueducto, refiere al control recurrente de todos los fenómenos naturales y antrópicos que pueden repercutir antes, durante o después de concluido el proyecto.

Entre estos fenómenos se encuentran los movimientos en masa, definidos como desplazamientos de suelo y/o roca que pueden causar un gran impacto tanto en áreas rurales como urbanas y que, dependiendo de su dinámica y extensión, pueden ocasionar la destrucción y/o deterioro de infraestructura pública, viviendas, cultivos, etc.

La exposición a esta serie de factores que pueden incidir en el estado y funcionamiento del canal de aducción, hace necesaria la implementación de estudios de mayor detalle tales como análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para fenómenos de remoción en masa por medio de los cuales se estudien, identifiquen y mitiguen zonas críticas que puedan afectar el funcionamiento del servicio de acueducto.

Entre los trabajos desarrollados para el canal de aducción del río Tona se contrató el desarrollo del estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala 1:2000 en sitios catalogados como críticos, que permita evaluar y proponer obras de mitigación en los sectores catalogados con amenaza alta a procesos de remoción en masa.

En función de lo anterior, debido a la complejidad técnica del Proyecto mencionado y a las fases que comprenden el desarrollo del mismo, se llevó a cabo la Interventoría técnica, administrativa, de calidad y HSE del Contrato celebrado para dar cumplimiento a las especificaciones técnicas contractuales. La Empresa E.D. Ingeotecnia asumió el rol de Interventoría del contrato CTO-018-2020 del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga y con el fin de dar apoyo a las actividades contempladas se llevó a cabo la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en el área de Interventoría Geotécnica.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Apoyar como auxiliar de ingeniería civil en la interventoría técnica y de calidad del proyecto *"Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con la inclusión del diseño de obras de ingeniería para la mitigación ante movimientos en masa, del canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora - POIR19.1"*

1.2 Objetivos Específicos

Apoyar en el seguimiento, supervisión y control de los trabajos de campo, garantizando que cumplan con las especificaciones técnicas del Proyecto.

Apoyar en la revisión de los resultados de estudios de AVR y Diseños Geotécnico de sitios críticos.

Apoyar en la elaboración de los informes técnicos de gestión de la interventoría verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

2. Marco de Referencia

2.1 Interventoría Geotécnica

En este contexto, la interventoría se define como la actividad de supervisar e inspeccionar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones técnicas de un determinado proyecto. La Interventoría es responsable de que el tiempo de ejecución y la calidad del proyecto correspondan con lo establecido en un determinado contrato, así mismo debe estar presente en cada una de las etapas del proyecto incluyendo el Seguimiento, Supervisión, Control, Revisión y Aprobación de las diferentes actividades de campo y oficina realizadas por el Contratista de los Estudios y Diseños requeridos en el alcance del proyecto (Zambrano de la Garza, 1998).

2.2 El control como función de la Interventoría

El control es la acción necesaria para asegurar que se cumplan los objetivos, alcance, lineamientos, y especificaciones; es el establecimiento de sistemas que nos permiten detectar errores, desviaciones, causas y soluciones, de una manera expedita y económica. Partiendo de la base, de que todo proceso, requiere algún método periódico de chequeo de lo que sucede realmente, contra todas las metas propuestas, del análisis de las desviaciones presentadas y de la toma de decisiones correctivas para ajustarse nuevamente a las metas propuestas, la construcción no es una excepción. Por el contrario, el proceso constructivo al estar sometido a tantos imprevistos, exige un cuidadoso seguimiento y una decidida acción de corrección y ajuste (Orjuela, s.f.).

2.3 Estudios geotécnicos

El Estudio Geotécnico se define como el "Conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y/o construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas" (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2010).

2.4 Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo (AVR)

La gestión del riesgo es un proceso social que enmarca tres componentes principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, cuyo fin es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (Ley 1523 de 2012).

El análisis del riesgo implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir, mediante la relación cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa de la amenaza y la vulnerabilidad, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales, y sus probabilidades. Como resultado de la etapa de análisis del riesgo, se obtiene una estimación de daños, costos asociados y pérdidas potenciales.

La estimación de la amenaza ante fenómenos de remoción en masa, comprende tres fases principales: definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de análisis y zonificar la amenaza (mapas), esto involucra la identificación y cartografía de unidades geológicas para ingeniería, el análisis de elementos geomorfológicos, el desarrollo de la topografía a detalle y la exploración y caracterización de los materiales en profundidad con el fin de generar un modelo geológico-geotécnico del área de estudio, lo cual incluye la consideración de los factores condicionantes de inestabilidad prevalentes en el área de estudio. Estos configuran la predisposición del terreno a la inestabilidad y están directamente relacionados con las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno.

El análisis de la vulnerabilidad, por su parte comprende dos etapas fundamentales: la identificación de escenarios y la zonificación de la vulnerabilidad (mapas). Los escenarios se construyen con base en los escenarios de amenaza y consisten en la identificación de los tipos de daños esperados, para lo cual se consideran variables de entrada los elementos expuestos (bienes físicos y personas) y la fragilidad de tales elementos ante el tipo de amenaza definida en el escenario que se evalúa (Servicio Geológico Colombiano, 2016).

2.5 Canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora

Uno de los proyectos de mayor importancia en la historia del amb, es el sistema de aducción del río Tona, construido entre 1916 y 1920 hasta el kilómetro 12, de 1930 a 1945 hasta el kilómetro 24 y en 1959 hasta la quebrada Arnania. La construcción del canal se desarrolló inicialmente como una acequia en tierra, sin recubrimiento y más tarde, como un canal en concreto de sección rectangular.

Este sistema de abastecimiento de agua del amb está en la cuenca del rio Tona, donde se captan las quebradas principales Golondrinas, Arnania y Carrizal (R. Tona), a una elevación aproximada de 1400 msnm y las menores el Roble, el Brasil, el Puerto, el Volante, Hoyo 1, Hoyo 2, Campo hermoso y Ranas, además de otras pequeñas corrientes aprovechadas solamente en el periodo seco, por debajo de la cota 1350 msnm a lo largo de la aducción a las plantas de tratamiento de la Flora y Morrorico.

El aprovechamiento se hace mediante una conducción a gravedad de 23 km de longitud aproximadamente, iniciando en las captaciones y desarenadores de las tres quebradas principales (anteriormente mencionadas), continuando con un canal de concreto de sección rectangular, doble en algunos tramos, cubierto por losas de concreto; Durante los últimos años las paredes del canal se realzaron para aumentar su capacidad hidráulica teórica a 1240 l/s, aunque en la práctica se ha logrado transportar hasta 1400 l/s, la pendiente longitudinal promedia del canal es de 0.35%, el flujo es a superficie libre y en algunos sectores es presurizado.

El canal discurre por zonas de difícil topografía sobre la parte media y baja de la microcuenca del rio Tona (figura 1), este se encuentra localizado parcialmente en la jurisdicción rural del municipio de Tona en las veredas, Arnania y Caragua bajo, la parte restante transita por zona rural del municipio de Bucaramanga en las veredas Retiro Grande parte alta, Gualilo alto, Retiro Grande parte baja y la Malaña ya en la entrada a la Planta la Flora. Entre el 85% al 90% del caudal captado y transportado por el canal es entregado a la planta la Flora y el restante viaja hacia la planta Morrorico, esta condición de distribución cambia en época de verano cuando la totalidad del caudal se deja en la planta la Flora.

Figura 1.

Microcuenca Tona.

Nota Tomado de. amb.

3. Proyecto: "Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con la inclusión del diseño de obras de ingeniería para la mitigación ante movimientos en masa, del canal de aducción del río Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora – POIR 19.1"

Las lluvias presentadas durante el mes de diciembre de 2010, causaron una serie de deslizamientos y afectaciones en el canal de aducción del río Tona, ocasionando suspensiones en la prestación del servicio. Estos deslizamientos fueron solucionados inicialmente de manera provisional y posteriormente con la ejecución de las respectivas obras de estabilización.

Teniendo en cuenta lo anterior y la importancia que este sistema reviste en el suministro de agua para el área de prestación del servicio de acueducto, el amb realizó la contratación para el desarrollo de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de todo el sistema, los diseños de las obras de estabilización y mitigación de mínimo cinco (5) de los sectores o zonas con mayor criticidad o riesgo, con el fin de mitigar la vulnerabilidad y mejorar las condiciones de estabilidad

del canal de aducción del Río Tona, adicionalmente realizar el levantamiento topográfico de la planimetría y altimetría del canal en toda su extensión, de las estructuras de control, contención, así como la caracterización de la sección del canal, transiciones, material de su construcción, estado del mismo y en general toda la información que mediante la inspección visual permita determinar la condición en que se encuentra y opera el canal actualmente.

Los estudios AVR permiten localizar sitios de riesgo y analizar su amenaza y vulnerabilidad, con el fin de plantear obras de estabilización y mitigación que garanticen no se presenten afectaciones que puedan colocar en riesgo el funcionamiento del canal de aducción.

El estudio contribuirá a determinar la estabilidad o inestabilidad de la banca y las laderas del mencionado canal, donde entran en juego variables como el entorno geológico e hidrogeológico, el tipo de terreno, la pendiente, el agua, los sismos, los usos del terreno, los trabajos de campo y laboratorio, sin desconocer la importancia del juicio de los expertos en los procesos de evaluación y análisis integral de riesgos.

Los resultados estarán plasmados en los informes correspondientes acompañados con mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (Escala 1:5000) de acuerdo con su nivel de amenaza (alto, medio, bajo), a partir de los cuales se podrá determinar los sitos con mayor criticidad que requieran análisis detallado.

4. Metodología

Para llevar a cabo el desarrollo de la Interventoría del Proyecto, y con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos planteados para el desarrollo de la práctica empresarial se ejecutó la siguiente metodología por parte del practicante:

FASE I: Apoyo en el seguimiento, supervisión y control de los trabajos de campo, garantizando que cumplan con las especificaciones técnicas del Proyecto.

- Estudio y análisis de la información de referencia para el desarrollo del proyecto.
- Capacitación por parte de Ingeotecnia al practicante en los procedimientos de los trabajos de campo existentes dentro del proyecto.
- Visitas de supervisión a campo por parte del practicante para verificación del desarrollo de las actividades conforme a lo definido en los procedimientos y las especificaciones técnicas.
- Seguimiento al cumplimiento del cronograma de ejecución de los trabajos de campo.

FASE II: Apoyar en la revisión de los resultados de estudios de AVR y Diseños Geotécnico de sitios críticos.

- Revisión por parte del practicante de los documentos técnicos entregados por el Contratista garantizando el cumplimiento con la metodología requerida y especificaciones técnicas del contrato.
- Seguimiento y supervisión del desarrollo de la metodología aprobada para la ejecución de los estudios de AVR y diseños geotécnicos de los sitios críticos.

- Control al cumplimiento de las actividades planteadas en el cronograma.

FASE III: Apoyo en la elaboración de los informes técnicos de gestión de la interventoría verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

- Revisión de los reportes diarios de las actividades de campo desarrolladas por el contratista.
- Elaboración de informes de gestión semanal y mensual de la Interventoría, reportando el avance y el cumplimiento en tiempo y calidad de trabajos desarrollados durante el periodo respectivo.
- Elaboración de informes de los hallazgos y/o recomendaciones evidenciados en las visitas de campo.
- Asistencia a reuniones semanales para el seguimiento del avance del proyecto.
- Elaboración de oficios requeridos durante el desarrollo de la Interventoría.

FASE IV: Elaboración del documento final

- Elaboración el documento técnico que evidencie el desarrollo y resultado de la Interventoría técnica del Proyecto, dando cumplimiento a los objetivos propuestos y enunciando las respectivas conclusiones obtenidas del trabajo ejecutado.

5. Desarrollo Fase I

Apoyo en el seguimiento, supervisión y control de los trabajos de campo, garantizando que cumplan con las especificaciones técnicas del Proyecto.

5.1 Estudio y análisis de la información existente y de referencia para el desarrollo del proyecto.

Se llevó a cabo la revisión de los documentos pertinentes al proyecto tales como las especificaciones técnicas del Contrato, la normativa vigente para el desarrollo de las actividades de campo, los textos técnicos establecidos para el desarrollo del estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, y paralelo a esto se analizaron los resultados obtenidos en diferentes proyectos que ha desarrollado la Empresa E.D. Ingeotecnia con el mismo enfoque técnico a fin de relacionar al practicante con la metodología a implementar por parte del Contratista.

Teniendo en cuenta que las especificaciones técnicas del Proyecto indican seguir los lineamientos establecidos en la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (en adelante SGC) escala detallada para desarrollar las actividades pertinentes al estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se llevó a cabo la revisión y el estudio pertinente de esta guía a fin de establecer los parámetros de revisión, control y seguimiento con los cuales se daría pie al desarrollo de las actividades de la Interventoría técnica y de calidad del Proyecto.

Por otro lado, a fin de dar el seguimiento requerido en campo de las actividades de exploración geotécnica a realizar, se procedió a la revisión y estudio de las normas técnicas y de calidad de los ensayos pactados contractualmente por parte del amb y el Contratista como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Normativa para estudios geotécnicos.

Ensayo	Norma
Penetración estándar	ASTM-D-6066
Rotación	ASTM-D-6066
Down Hole	ASTM-D-7400
Refracción sísmica	ASTM-D-577
MASW	ASTM-D-1586
Tomografías Geoeléctricas	ASTM-D-6431
Calicatas-apiques	CTO-018-2020
Permeabilidad in situ	INV E-130-07
Corte directo	ASTM-D-1556
Compresión inconfinada	INV-E-152
Clasificación de muestras	ASTM-D-2487
Contenido de humedad	ASTM-D-2216,
Límites de Atterberg	ASTM D-423,
Peso unitario	ASTM-D-3080

Nota. Tomado de: SGC.

Se revisaron detalladamente las especificaciones técnicas del proyecto para las actividades de topografía, estudio geotécnico y análisis AVR, teniendo en cuenta que allí se contemplan los lineamientos establecidos para dar cumplimiento a las actividades a ejecutar y supervisar.

5.2 Capacitación por parte de la empresa E.D. Ingeotecnia en los procedimientos de los trabajos de campo que se van a realizar en el proyecto.

Para las actividades de seguimiento, supervisión y control de los procedimientos de campo, E.D. Ingeotecnia realizó una fase de capacitación detallada de la metodología a implementar antes, durante y después de las visitas de campo proyectadas. Dicha metodología contemplaba primeramente la etapa de estudio y análisis de información existente de los procedimientos a supervisar, seguidamente se realizaron visitas de acompañamiento en la ejecución de ensayos de campo a fin de contextualizar de forma práctica lo aprendido teóricamente como se muestra en la figura 2, y por último, se procedía con la realización de informes técnicos de dichas visitas.

Figura 2.

Capacitación de las actividades de campo

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

5.3 Visitas de supervisión a campo para verificar que las actividades se desarrollen conforme a lo definido en los procedimientos y las especificaciones técnicas.

Para el desarrollo de las visitas de supervisión de campo fueron solicitados previamente al Contratista los procedimientos técnicos y de calidad específicos en los cuales se debía detallar la metodología a implementar para la adecuación, ejecución y finalización de las actividades de campo. Estos procedimientos fueron revisados y aprobados por parte de la Interventoría teniendo como referencia el cumplimiento de la normativa técnica vigente y el criterio de expertos por parte de la Empresa E.D. Ingeotecnia.

Una vez aprobados los procedimientos, se realizaron durante el transcurso de ejecución de las actividades, veinte (20) visitas de campo donde se brindó el seguimiento, supervisión y control requerido a los ensayos aprobados para exploración geotécnica básica y detallada, ensayos in situ y extracción de muestras alteradas e inalteradas como se muestra en la figura 3.

Estas visitas se llevaron a cabo teniendo en cuenta el cronograma semanal enviado por el Contratista y la capacitación por parte de E.D. Ingeotecnia para realizar la supervisión de las actividades programadas.

Una vez realizadas las visitas de inspección se reporta por medio de Informes los hallazgos técnicos, de calidad y HSE encontrados con su respectiva ubicación y descripción de las actividades supervisadas, verificando el cumplimiento de los procedimientos aprobados por la Interventoría y las normas técnicas y de calidad de los estudios. En los casos de incumplimiento en alguna de las actividades supervisadas, se reporta en los documentos de gestión a fin de comunicar al amb sobre lo ocurrido y de esta forma solicitar al Contratista un plan de acción para subsanar o corregir.

Figura 3.

Visitas de inspección

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

5.4 Seguimiento al cumplimiento de las especificaciones técnicas para la ejecución de los trabajos de campo.

En el transcurso del proyecto, la Interventoría realizó el seguimiento al desarrollo de las actividades de campo tanto de exploración geotécnica como de topografía por medio de las visitas de inspección, este seguimiento comprendió la supervisión del cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto, así como la calidad en el desarrollo de las actividades. Por otro lado, los reportes de actividades diarias solicitadas al Contratista permitieron evidenciar el avance en las actividades de campo y de esta forma llevar un control técnico de las mismas.

La figura 4 muestra los parámetros establecidos para dar seguimiento a las actividades de campo y su desarrollo.

Figura 4.

Supervisión actividades de exploración geotécnica

SUPERVISIÓN ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA		
ACTIVIDAD	**SEGUIMIENTO**	
Penetración estándar (ASTM-D-6066)		•Supervisión de la extracción y conservación de las muestras obtenidas durante la ejecución del ensayo. •Revisión del formato de campo llevado para registro de la perforación. •Certificado de calibración del equipo de perforación. •Medición de la profundidad del pozo de perforación
Rotación (ASTM-D-6066)		
Down Hole (ASTM-D-7400)		•Supervisión de la adecuación del sitio para la ejecución del ensayo. •Acompañamiento durante la ejecución del ensayo supervisando que la toma de datos sean limpias, es decir, procurando la menor cantidad de ruido posible. •Medición del pozo de ejecución de ensayo. •Calibración y licencia de los equipos correspondientes.
Refracción sísmica - MASW (ASTM-D-577, ASTM-D-577)		•Medición de la línea de ejecución del ensayo, espacios entre geofónos y adecuación de los mismos. •Verificación del estado de los geófonos azules o rojos según el tipo de línea. •Reconocimiento del terreno para una mejor ubicación de la línea. •Supervisión de ejecución de los golpes para toma de datos •Calibración y licencia de los
Tomografías Geoeléctricas (ASTM-D-6431)		
Calicatas-apiques (CTO-018-2020)		•Adecuación del sitio de excavación •Extracción y conservación de muestra de suelo para análisis. •Medición de las paredes de la excavación, •Registro de campo para caracterización visual

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6. Desarrollo Fase II

Apoyo en la revisión de los resultados de estudios de AVR y Diseños Geotécnico de sitios críticos.

6.1 Revisión de los documentos técnicos entregados por el contratista garantizando el cumplimiento a la metodología requerida y especificaciones técnicas del contrato.

Comprende la revisión y aprobación de los documentos técnicos entregados por el Contratista tales como metodología a implementar para el desarrollo de las actividades que comprenden los estudios de AVR y el levantamiento topográfico del Canal.

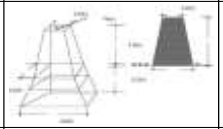
6.1.1 Actividades de topografía

El alcance de este ítem corresponde a la revisión, supervisión y control de las actividades de topografía contempladas contractualmente dentro del Proyecto sobre la información a levantar del canal y demás estructuras del sistema de aducción Tona.

La figura 5 presenta las etapas contempladas para la ejecución de las actividades topográficas y el seguimiento respectivo por parte de la Interventoría.

Figura 5.

Etapas del levantamiento topográfico

ETAPAS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO		
ACTIVIDAD	**ESPECIFICACIÓN TÉNICA**	**METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO**
Mojones	Para los 23 kilómetros de canal de aducción, se realizarán 30 pares de mojones, Los mojones deben ser creados con base en la Red MAGNA – ECO del IGAC, la cual consta de 46 estaciones GNSS dispuestas estratégicamente en el territorio nacional y que tienen como función servir como base de referencia para los levantamientos diferenciales.	Carteras de campo de los posicionamientos: se entregarán las planillas de cada uno de los puntos posicionados donde se registra la posición de referencia, tipo de equipo, altura y tipo de antena, además de un croquis y descripción del acceso al punto, para su posterior localización.
Materialización mojones		Visitas de inspección y reporte de actividades
Georreferenciación mojones	Para la verificación de coordenadas, se realizará un rastreó GPS utilizando como apoyo las estaciones CORS del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Las coordenadas de las estaciones MAGNA-ECO deben ser procesadas semanalmente con precisión milimétrica, en cooperación con el Centro de Análisis Regional del Servicio Internacional GPS (IGS-RNAAC-SIR: Regional Network Associate Analysis Center – SIRGAS), lo cual garantiza su orientación permanente dentro de mismo sistema de coordenadas al que se refieren los satélites GNSS.	Revisión de los archivos rinex e informes de georreferenciación correspondientes al posicionamiento y triangulación de los puntos de amarre materializados y posicionados en
Levantamiento poligonales	El levantamiento planímetro y altimétrico debe realizarse mediante el empleo de estaciones totales, cuya precisión angular sea menor o igual a 3" (segundos). En los sitios señalados como críticos se deberá complementar el levantamiento topográfico, de acuerdo con lo solicitado por el geotecnista o la interventoría, mediante el uso de un GPS submetrico.	
Levantamiento secciones transversales	No pueden ser menores de 30 metros (quince (15) metros a lado y lado del eje del canal). Las secciones se realizarán a lo largo del alineamiento del canal cada 20 metros. También se deberán ubicar todos los elemntos presentes en el canal. El ancho del corredor será de mínimo treinte (3) metros.	Visitas de inspección y reporte de actividades
Ejecución apiques de caracterización	Apiques de 1.0 m de ancho, cada 20 m (deberá cada apique coincidir con la sección transversal levantada), en ese sitio se alzarán las tapas del canal que sean necesarias para caracterizar la estructura del canal y se deberá dejar registro fotográfico con identificación de cada uno de los sitios donde se efectúe esta actividad, la zona intervenida con los apique se deberá dejar en igual o superior estado al que se encontró antes de realizar la intervención correspondiente.	Formatos de caracterización del canal

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.2 Metodología para el desarrollo de los estudios AVR 1:5000 y 1:2000

Al inicio del desarrollo del proyecto se encontró una diferencia entre las especificaciones técnicas del contrato y la guía metodológica del SGC, por lo cual fue necesario definir en conjunto con la amb y el contratista la metodología a implementar.

El alcance del proyecto contempla el estudio AVR 1:2000 de cinco (5) sitios críticos sobre el trazado del canal de aducción, sin embargo, no es claro en la metodología a implementar para llegar a dicho análisis. Para tales fines el SGC establece una metodología que requiere el análisis

AVR 1:5000 como insumo para determinar, según la zonificación de la amenaza aquellos sectores que presentan mayor criticidad.

Por otro lado, el análisis AVR 1:5000 requiere definir, como lo muestra la figura 6, la franja de estudio para la ejecución del levantamiento cartográfico, lo cual permite la caracterización geológica y geotécnica del canal de aducción, y debido a que las especificaciones técnicas del contrato no contemplaron la definición de este insumo, fue necesaria la evaluación de una propuesta que contemplara el levantamiento cartográfico, su procesamiento y a partir de allí la caracterización básica del canal de aducción.

Figura 6.

Detalle franja de análisis propuesto

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

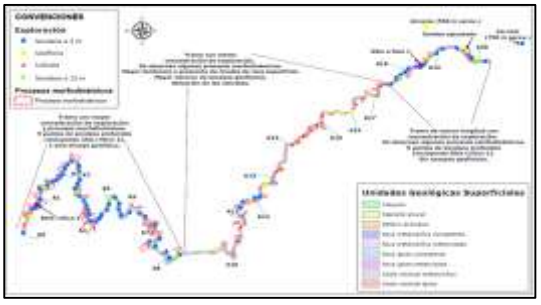
Una vez definida la franja del levantamiento cartográfico para la ejecución del estudio de amenaza básica, se determinó implementar la guía metodológica del SGC para el desarrollo de los estudios AVR 1:5000 y 1:2000.

6.1.3 Exploración geotécnica básica para análisis de amenaza a escala 1:5000

Una vez definida la franja de estudio del levantamiento cartográfico a 170m, se procedió a la evaluación de la propuesta de exploración geotécnica básica presentada por el Contratista, la cual se muestra en la figura 7 con los comentarios realizados por parte de la Interventoría.

Figura 7.

Revisión exploración geotécnic a básica

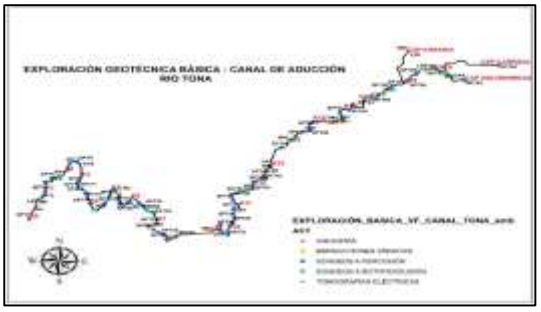


Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Siguiendo los lineamientos establecidos por el SGC en la guía metodológica para estudios AVR por movimientos en masa en el parágrafo *"3.1.1.5. Exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio"* se realizó la evaluación de la propuesta de exploración geotécnica básica, garantizando el cumplimiento de los términos contractuales de recursos en cuanto a cantidades de ensayos para exploración. A partir de los criterios anteriormente mencionados, la Interventoría en su fase de revisión emitió comentarios para ajuste de la propuesta, presentándose en total seis (6) versiones de la misma. Finalmente, la propuesta aprobada para ejecución (figura 8) garantizó el cumplimiento de las especificaciones técnicas del Contrato y la guía metodológica del SGC.

Figura 8.

Exploración geotécnica básica aprobada



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.4 Definición de sitios críticos para AVR 1:2000

Teniendo en cuenta los términos contractuales del Proyecto, se estableció definir cinco (5) sitios críticos que representen amenaza sobre el trazado del canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora, lo anterior a fin de intervenir dichos sitios con obras de estabilización que garanticen el funcionamiento y protección del sistema de acueducto de la ciudad de Bucaramanga.

En el transcurso del Proyecto estos sitios fueron definidos teniendo en cuenta diversos factores tales como antecedentes de movimientos en masa sobre los taludes superior e inferior de canal, inspección visual por parte de los geotecnistas del Contratista y la Interventoría, reporte de daños de los trabajadores del amb y los resultados obtenidos de la zonificación de la amenaza a escala 1:5000.

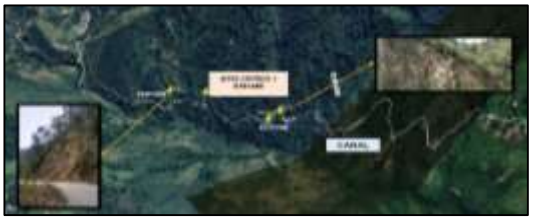
6.1.4.1 Sitio Crítico 1: K18+450. El sitio crítico 1 evidencia procesos de erosión y escorrentía activos, que fueron descritos por el personal operativo del amb como recurrentes

cuando se presentan temporadas lluviosas. La geología en la zona corresponde a un suelo de tipo residual de roca ígnea granítica, ocasionalmente, en algunos sectores aún aflora el material rocoso, con alto grado de meteorización y oxidación. Hacia el talud superior del canal, existen cambios de cobertura y usos del suelo por manipulación antrópica.

La figura 9 presenta lo observado durante una visita de inspección realizada al sitio por parte del grupo técnico de la Interventoría y el Contratista, donde se evidenció la criticidad que representaba según la geoforma del sitio y obras de estabilización ya implementadas con anterioridad las cuales no habían sido suficientes para contener los problemas de erosión que se presentaban.

Figura 9.

Vista panorámica sitio crítico 1



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.4.2 Sitio Crítico 2: K0+900. El sitio crítico 2 posee el antecedente de hace 3 años cuando los habitantes de las viviendas ubicadas en la parte superior del talud tuvieron que ser desalojados, ya que este amenazaba con desplomarse de nuevo como había ocurrido en años pasados, el problema se agudiza en tiempos de altas precipitaciones, sumándose a esto las fuertes pendientes que maneja el talud. Así mismo, la geología de la zona corresponde a una roca metamórfica foliada, de textura néisica, con evidencia de diaclasamiento y meteorización que ha

permitido el desarrollo de suelo residual. Esta litología es afectada por el fuerte control estructural del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta en el Macizo de Santander.

Teniendo en cuenta antecedentes de movimientos en masa reportados en la zona fue realizada una visita de inspección al sitio por parte del grupo técnico de la Interventoría y el Contratista donde se permitió identificar la criticidad que representaba (figura 10).

Figura 10.

Vista panorámica sitio crítico 2

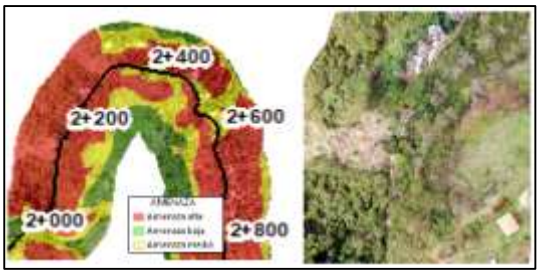
Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.4.3 Sitio Crítico 3: K2+200. Este sitio evidencia según el orto mosaico y registro fotográfico la presencia de fenómenos de remoción en masa en el talud inferior, así como pendientes abruptas, se reporta por parte del Contratista la presencia de deslizamiento activo con evidencia de reptación y cambios notables en la cobertura de uso de suelo debido a intervención antrópica del sector. Estos fenómenos se pueden corroborar a partir de la información suministrada y analizada por el Contratista y en los resultados de la zonificación de la amenaza a escala 1:5000 como se muestra en la figura 11, donde es identificado como un sitio de amenaza alta, por lo tanto, se considera pertinente la evaluación de la amenaza a escala detallada en este sitio, para la

mitigación de futuros eventos que puedan afectar la estructura y funcionamiento del canal de aducción.

Figura 11.

Análisis de amenaza sitio crítico 3



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.4.4 Sitio Crítico 4: Captación Arnania. Este sitio es reportado por parte de los Ingenieros del amb el día 26/11/2020 debido a un deslizamiento ocasionado por altas precipitaciones en la zona como lo muestra la figura 12, teniendo en cuenta que se encuentra localizado exactamente en la bocatoma de la captación Arnania representa alta amenaza al funcionamiento del canal. Por otro lado, es cartografiado como un proceso en masa activo, por las evidencias actuales reportadas en campo, de tipo complejo, pues presenta caída de bloques, y deslizamiento traslacional con una superficie de ruptura en la corona del talud.

De acuerdo a la visita y la necesidad urgente de intervención de este sitio, se catalogó este punto como sitio crítico y se propone la realización de exploración geofísica y geotécnica necesaria, con el fin de evaluar el comportamiento del talud afectado y proponer diseños para la mitigación del proceso activo en referencia dando rápida solución a los procesos que actualmente

están generando complicaciones en la operación de la captación Arnania y pone en riesgo el personal y la estructuras pertenecientes al canal allí localizadas.

Figura 12.

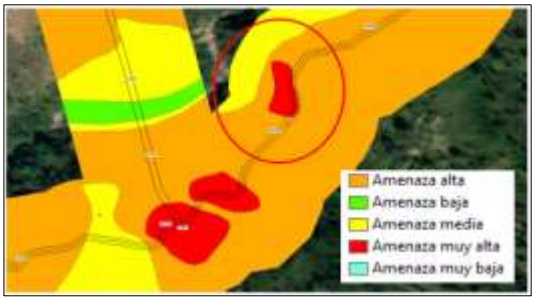
Fenómeno de remoción captación Arnania

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.4.5 Sitio Crítico 5: K18+500. Teniendo en cuenta los resultados del mapa de amenaza a escala 1:5000 (figura 13) y los fenómenos morfodinámicos cartografiados, se identificó el sitio crítico 5, el cual, había sido descrito con anterioridad como un proceso en masa activo complejo, pues presenta evidencias de deslizamiento, así como caída de bloques y sin ningún tipo de obra de mitigación existente actualmente, lo que ocasiona inestabilidad para el canal de aducción hacia su costado externo. Los antecedentes reportados por los tomeros del acueducto evidencian el aumento gradual de los procesos de remoción en masa a gran escala que se agudizan en temporadas de altas precipitaciones y han obligado la realización de obras de mitigación en el sector y el reforzamiento de sectores puntuales del canal de aducción.

Figura 13.

Resultado amenaza sitio crítico 5



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5 Exploración geotécnica detallada AVR 1:2000

A partir de los resultados del mapa de zonificación de la amenaza a escala 1:5000, el alcance contractual del Proyecto contempla la definición de cinco (5) sitios críticos para estudio AVR a escala detallada, además del diseño de obras de ingeniería para la estabilización de dichos sitios críticos si así lo requieren.

Para tales fines, se requirió la revisión de las propuestas de exploración geotécnica básica de los sitios críticos definidos. Estos planes de exploración presentados por el Contratista fueron evaluados teniendo en cuenta los criterios establecidos por el SGC en la guía metodológica para estudios de AVR por movimientos en masa.

Loa criterios de supervisión de las propuestas de exploración geotécnica detallada se basaron en tres (3) ítems claves:

- **Distribución estratégica de los ensayos propuestos:** Procurando la caracterización del talud superior, inferior y banca de la vía.

- **Ubicación del canal de aducción:** Teniendo en cuenta que su protección es el objeto del estudio.

- **Accesibilidad a los sitios de exploración:** Garantizando la ejecución de los ensayos y el traslado de las máquinas.

De esta forma se llevó a cabo la definición y seguimiento de los planes de exploración de los sitios críticos como se muestra en la tabla 2

Figura 14.

Seguimiento propuestas de exploración geotécnica sitios críticos

PROPUESTA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DETALLADA			
SITIO CRÍTICO	ENSAYO	CANTIDAD	SEGUIMIENTO
SITIO CRÍTICO 1: K18+450	Sondeo de rotación	2	Ejecutado en su totalidad, no representó retrasos ni costos adicionales a los términos del Proyecto y los resultados obtenidos fueron de utilidad como insumos para la realización de los modelos geológico geotécnicos, y el diseño de la obra de estabilización respectiva.
	Sondeo de penetración estándar	1	
	Calicata	5	
	Tomografía	1	
	Refracción sísmica	2	
	Down Hole	1	
	Permeabilidad in situ	5	
SITIO CRÍTICO 2: K0+900	Sondeo de rotación	2	
	Sondeo de penetración estándar	1	
	Calicata	5	
	Tomografía	1	
	Refracción sísmica	2	
	Down Hole	1	
	Permeabilidad in situ	5	
SITIO CRÍTICO 3: K2+200	Sondeo de rotación	2	En ejecución, debido a su proceso de definición y ajustes requeridos a la propuesta de exploración representó retrasos en términos de tiempo del Contrato, sin embargo, cumple con las cantidades de exploración geotécnica pactadas.
	Sondeo de penetración estándar	1	
	Calicata	2	
	Tomografía	1	
	Refracción sísmica	1	
	Down Hole	1	
	Permeabilidad in situ	1	
SITIO CRÍTICO 4: ARNANIA	Calicata	3	
	Tomografía	2	
	Refracción sísmica	2	
SITIO CRÍTICO 1: K18+450	Sondeo de rotación	4	
	Sondeo de penetración estándar	2	
	Calicata	3	
	Tomografía	1	
	Refracción sísmica	1	
	Down Hole	1	
	Permeabilidad in situ	1	

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5.1 Sitio Crítico 1: K18+450. A continuación, la figura 14 presenta la distribución de la exploración geotécnica aprobada para el sitio definido como Sitio crítico 1: K18+450.

Figura 15.

Exploración geotécnica Sitio Crítico 1

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5.2 Sitio Crítico 2: K0+900. A continuación, la figura 15 presenta la distribución de la exploración geotécnica exploración geotécnica aprobada para el sitio definido como Sitio crítico 2: K0+900.

Figura 16.

Exploración geotécnica Sitio Crítico 2

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5.3 Sitio Crítico 3: K2+200. A continuación, la figura 16 presenta la distribución de la exploración geotécnica exploración geotécnica aprobada para el sitio definido como Sitio crítico 3: K2+200.

Figura 17.

Exploración geotécnica Sitio Crítico 3

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5.4 Sitio Crítico 4: Captación Arnania. A continuación, la figura 17 presenta la distribución de la exploración geotécnica exploración geotécnica aprobada para el sitio definido como Sitio crítico 4: Captación Arnania

Figura 18.

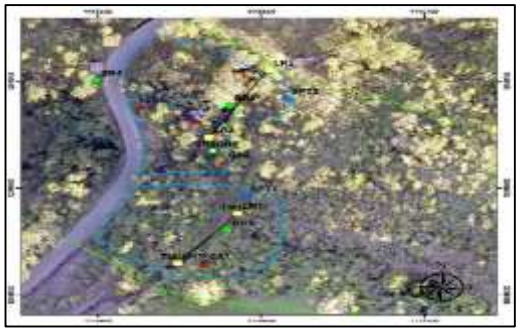
Exploración geotécnica Sitio Crítico 4

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.5.5 Sitio Crítico 5: K18+500. A continuación, la figura 18 presenta la distribución de la exploración geotécnica exploración geotécnica aprobada para el sitio definido como Sitio crítico 5: K18+500.

Figura 19.

Exploración geotécnica Sitio Crítico 5



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.1.6 Definición de sitios de revisión

Una vez definidas las propuestas de exploración geotécnica de los cinco (5) sitios críticos y ejecutada la exploración básica del canal de aducción, aún se contaba con cantidades de exploración geotécnica considerando los términos contractuales del Proyecto.

Teniendo en cuenta esto y con el fin de obtener el mejor aprovechamiento de los recursos contractuales, la Interventoría propuso la definición de sitios de revisión para caracterización, análisis e interpretación de los ensayos realizados a fin de dar las respectivas recomendaciones aplicadas a cada sitio según los resultados obtenidos.

A partir de la calibración del mapa de amenaza escala 1:5000 se definieron como sitios de revisión aquellas zonas donde se presentó amenaza muy alta según los criterios del Consultor y se solicitó que la exploración geotécnica propuesta para cada sitio de revisión sea localizada de manera estratégica y optimizada a fin de obtener la mejor caracterización geotécnica del sitio.

6.1.7 Trazabilidad laboratorios

Todas las muestras obtenidas en la fase de exploración debían trasladarse de forma adecuada a un laboratorio de suelos, seguidamente el Contratista debía enviar el documento que evidenciara la trazabilidad que se les daría a las muestras, de tal forma que la Interventoría pudiera revisar y estar al tanto del tratamiento que se les daría a las muestras, así como el cumplimiento de las cantidades contractuales de ensayos de laboratorio.

La trazabilidad de los laboratorios era revisada en función de los lineamientos establecidos por el SGC en la guía metodológica, y teniendo en cuenta las muestras extraídas se solicitaba realizar una distribución estratégica de los ensayos identificando aquellas muestras que evidenciaban el mismo tipo de suelo y procurando la caracterización física de los materiales que permitiera la obtención de los parámetros geotécnicos para la modelación.

6.2 Seguimiento y supervisión del desarrollo de la metodología aprobada para la ejecución de los estudios de AVR y Diseños geotécnicos de los sitios críticos.

Teniendo como referencia las especificaciones técnicas del Proyecto y la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del SGC se llevó a cabo la revisión de la metodología implementada por el Contratista para la ejecución de las fases que contemplan el estudio AVR a escala 1:5000 y a escala detallada 1:2000 sobre el trazado del canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora, las cuales se describen a continuación.

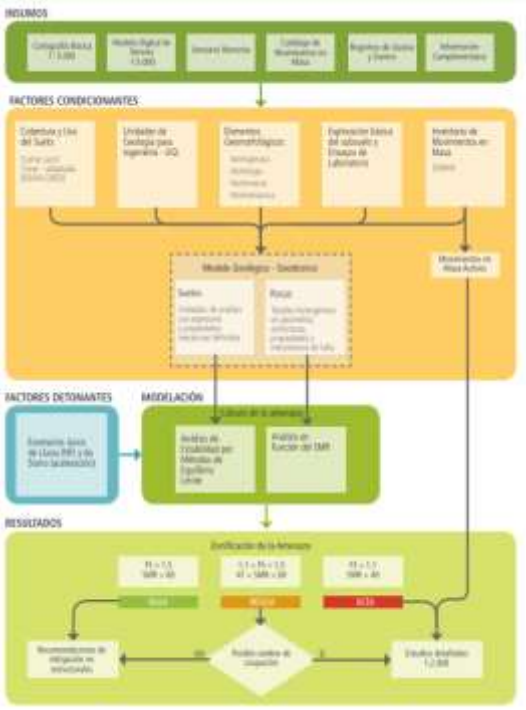
6.2.1 AVR 1:5000

Para la revisión de los estudios AVR 1:5000 se planteó al Contratista un plan de trabajo basado en las especificaciones técnicas del Contrato y la metodología propuesta por el SGC.

Este plan de trabajo, el cual se muestra en la figura 19, fue de gran utilidad como mecanismo de seguimiento y control al verificar el cumplimiento de los lineamientos establecidos para cada etapa del estudio AVR 1:5000.

Figura 20.

Ruta para análisis AVR 1:5000

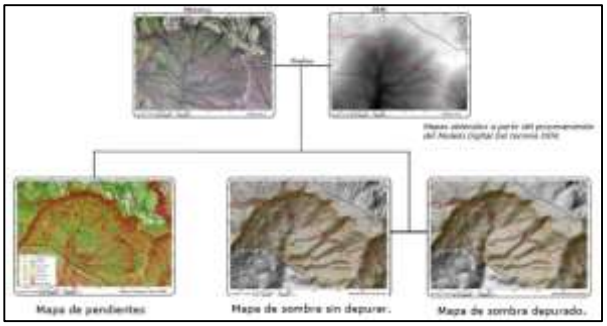


Nota. Tomado de: SGC

6.2.1.1 Insumos. La revisión de los insumos correspondió a la cartografía básica del área de estudio a escala 1:5000, información base a partir de la cual se genera la cartografía temática como lo muestra la figura 20. Así mismo, se revisó el inventario de movimientos en masa y su registro histórico.

Figura 21.

Insumos para análisis AVR 1:5000

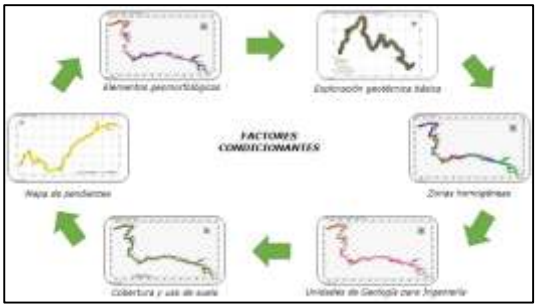


Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.1.2 Factores condicionantes. A escala básica 1:5000, la revisión de los factores condicionantes compone la elaboración de cartografía temática, correspondiente a la identificación de cobertura y uso del suelo, unidades de geología para ingeniería, elementos geomorfológicos (morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica), ejecución de la exploración básica del subsuelo y ensayos de laboratorio, e inventario de movimientos en masa. A partir de la revisión y análisis de estos factores se definió el modelo geológico – geotécnico. La figura 21 muestra el resultado de los mapas temáticos mencionados anteriormente como factor condicionante del estudio de amenaza.

Figura 22.

Factores condicionantes para análisis AVR 1:5000



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

La Interventoría en calidad de supervisión procedió a la revisión de los mapas temáticos presentados por el Contratista verificando que los resultados obtenidos fueran coherentes con el Inventario de procesos morfodinámicos y la cartografía de la zona.

6.2.1.2.1 Parámetros geotécnicos. Tras la ejecución de la propuesta de exploración geotécnica básica aprobada, se tomaron los resultados de los ensayos de laboratorio y los resultados de las correlaciones geotécnicas de diseño a partir de velocidad de las ondas p y ondas s para definir las propiedades geotécnicas de diseño según el modelo constitutivo de Mohr Coulumb, esta revisión se realizó asumiendo los valores medios obtenidos de ensayos de laboratorio para la unidad geotécnica definida, tal y como lo enuncia la guía metodológica del SGC (2016). Se verificó que los resultados obtenidos fueran coherentes con las Unidades de Suelo correspondiente.

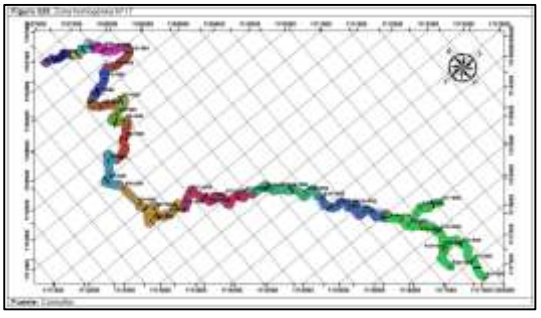
Para la caracterización de la unidad de Roca se contemplaron los resultados obtenidos en el ensayo de compresión según la norma E-INV.152 para los testigos de roca obtenidos durante la exploración.

6.2.1.2.2 Modelo geológico geotécnico. Las condiciones intrínsecas que determinan la estabilidad del terreno, como tipo de material, espesor, pendiente, condiciones de agua, cobertura, etc., presentan variabilidad espacial; por lo tanto, resulta conveniente identificar unidades geotécnicamente homogéneas, con el fin de plantear en cada caso un modelo conceptual que involucre en forma consistente las características geológicas y geomorfológicas y los parámetros geotécnicos, de modo que se puedan hacer cálculos de estabilidad para obtener en cada zona la amenaza por remoción en masa de manera determinística, basada en el cálculo de los factores de seguridad (SGC-UNAL,2016).

6.2.1.2.3 Determinación zonas homogéneas. En la determinación de las zonas geotécnicas homogéneas se realizó un análisis en función del tipo, características geológico-geotécnicas, distribución de los materiales predominantes y demás condiciones geomorfológicas encontradas. De este análisis se definieron 12 zonas homogéneas sectorizadas como lo muestra la figura 22:

Figura 23.

Mapa de zonas homogéneas



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Estas zonas son adecuadas para calibrar los resultados obtenidos del cruce de mapas de UGI y elementos geomorfológicos, ya que corresponden a características geológicas similares según los recorridos de campo desarrollados.

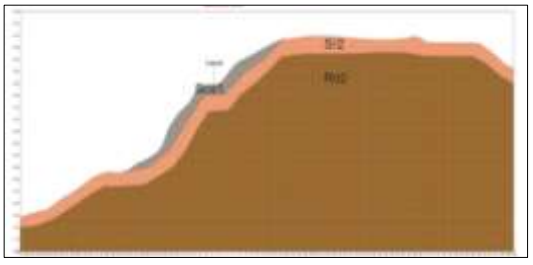
Teniendo en cuenta que estas zonas homogéneas no corresponden a las unidades de análisis utilizadas para la evaluación de la ecuación del factor de seguridad, se solicitó al Contratista aclarar dentro del documento para evitar confusión en las terminologías.

6.2.1.2.4 Perfiles geológico geotécnicos. Para las zonas de estudio, se revisaron 26 perfiles geológico-geotécnicos representativos como lo muestra la figura 21, de los diferentes sectores en base a los resultados de la exploración geotécnica y geofísica los cuales permiten visualizar la distribución de las UGI en profundidad a lo largo del mismo, requeridos para los análisis de estabilidad de laderas realizados.

Esta revisión se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los sondeos realizados en la etapa de exploración geotécnica y el procesamiento de los ensayos geofísicos.

Figura 24.

Perfil geológico geotécnico AVR 1:5000



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.1.3 Factores detonantes. La revisión de los detonantes compone la determinación de los escenarios probables de lluvias y sismos, mediante la exploración directa, indirecta y recopilación de registros históricos. La revisión se basó de acuerdo a la metodología establecida por la Guía Metodológica del SGC para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

6.2.1.3.1 Detonante lluvia

- Se analizó la información de las estaciones meteorológicas UIS y GALVICIA a fin de evaluar la fluctuación del nivel freático en función de la precipitación.
- Se definieron el número de curva y el uso del suelo para cada una de las UGI definidas en el estudio.
- Debido a la ausencia de nivel freático, se realizó el proceso como lo indica el SGC: Definiendo la superficie potencial de falla a partir de la información recopilada en campo y de la exploración geotécnica.
- Como resultado, en la tabla 3 se puede observar el cálculo de la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 20 años de periodo de retorno (Pf20).

Figura 25.

Evaluación del Pf a partir de las UGI y el Pf20

UNIDADES DE SUELOS	Profundidad de falla (mm)	55	58	61	66	71	79	81	82	85	98
Sr1	2694,05	1,67	1,70	1,73	1,76	1,78	1,77	1,76	1,76	1,73	1,41
Sr2	3182,35	1,84	1,87	1,90	1,93	1,95	1,95	1,94	1,94	1,92	1,60
Sta	3000,00	1,73	1,76	1,79	1,82	1,84	1,84	1,83	1,82	1,80	1,48
Sc1	3000,00	1,73	1,76	1,79	1,82	1,84	1,84	1,83	1,82	1,80	1,48
Sc2	4500,00	2,62	2,66	2,69	2,73	2,76	2,77	2,76	2,76	2,74	2,44
Sa1	4000,00	2,32	2,36	2,39	2,43	2,45	2,46	2,45	2,45	2,43	2,12
Rb1	2362,00	1,35	1,38	1,41	1,43	1,45	1,44	1,43	1,43	1,40	1,08
Rb2	3000,00	1,73	1,76	1,79	1,82	1,84	1,84	1,83	1,82	1,80	1,48
Sta	3000,00	1,73	1,76	1,79	1,82	1,84	1,84	1,83	1,82	1,80	1,48
Sa2	3000,00	1,73	1,76	1,79	1,82	1,84	1,84	1,83	1,82	1,80	1,48
Sc3	3500,00	2,03	2,06	2,09	2,13	2,15	2,15	2,14	2,14	2,11	1,80

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.1.3.2 Detonante sismo. Para este detonante, se definieron las fallas potencialmente activas sobre la zona de estudio (falla Bucaramanga Santa Marta, falla del Suarez, Salinas y la Frontal de los llanos Orientales), se identificaron los eventos sísmicos principales, históricos y actuales registrados en el área de estudio, posterior a esto se sintetiza a dos: fallas Bucaramanga-Santa Marta y Frontal Llanos Orientales.

Seguidamente se realizó la estimación de la amenaza sísmica basados en la zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (INGEOMINAS 2001) como lo muestra la tabla 4, acorde a lo que establece la guía, la cual menciona que para ciudades que cuenten con estudio de amenaza sísmica se pueden utilizar las curvas de amenaza sísmica. Siendo así, se definen los valores de Aceleración para estás fallas, sin embargo, por experiencia en análisis simplificados realizados anteriormente, los valores de Aa son inferiores a los establecidos en la NSR-10 para el sitio donde se localiza el área de estudio, siendo este valor de 0.25, a diferencia del obtenido en el estudio mencionado anteriormente:

Figura 26.

Amenaza sísmica del Área Metropolitana de Bucaramanga considerando fuentes sismogénicas individuales.

FUENTE SÍSMICA	Am (g)
Todas las fuentes (200 km)	0.247
Frontal de los Llanos Orientales	0.214
Bucaramanga – Santa Marta	0.166
Salinas	0.118
Suárez	0.106
Benioff Profunda 0.078	0.078
Uribante Caparo	0.044
Boconó	0.025
Cimitarra	0.024
Palestina	0.023
Puerto Rondón	0.018

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

El coeficiente sísmico de diseño para análisis pseudoestático de taludes Kst tiene valor inferior o igual al de amax y se admiten los siguientes valores mínimos de Kst/amax dependiendo del tipo de material térreo (reforzado o no) y del tipo de análisis.

Teniendo en cuenta el tipo de material identificado en la exploración de campo y en lo observado en la visita de campo, se asume un valor de Kst/ amax= 0,80, obteniendo un valor de Kst de 0.2 para simular las Condiciones pseudoestáticas.

6.2.1.4 Zonificación de la amenaza. Para la zonificación de la amenaza, se realizó una calibración del mapa obtenido donde primeramente se presentó el mapa de zonificación a partir de análisis e interpretación de perfiles geológico geotécnicos trazados sobre el canal en cada zona homogénea identificada. Por otro lado, se realizó otro mapa dando cumplimiento a lo establecido por la guía metodológica del SGC, donde se debe determinar el factor de seguridad de cada unidad de trabajo, definido por la malla y las columnas de suelo obtenidas. Este cálculo se basa en el método de equilibrio límite. En este caso, se debe aplicar la ecuación de factor de seguridad para talud infinito (Ecuación 1) en cada una de las celdas de trabajo (SGC-UNAL,2016):

Ecuación 1. *Evaluación del factor de seguridad para talud infinito.*

$$FS = \frac{(c'b\sec\alpha + (\gamma bh\cos\alpha - khbh\sin\alpha - \gamma_w h_w \cos^2\alpha)\tan\Phi')}{\gamma bh\sin\alpha + khbh\cos\alpha}$$

Esta expresión permite calcular el factor de seguridad para una delgada columna de suelo, que proyectada a la superficie corresponde a un pequeño polígono en planta. Dado que con la herramienta SIG es posible representar la superficie del terreno como una malla compuesta de celdas, cada una caracterizada mediante capas atributos, los valores de factor de seguridad se obtienen con facilidad mediante la ejecución de operaciones SIG (SGC, 2018) asignado los parámetros respectivos para cada unidad de suelo como se presenta en la tabla 5.

Figura 27.

Parámetros geotécnicos para evaluación del factor de seguridad

Tabla 103. Parámetros de resistencia para la evaluación del Factor de seguridad.

Descripción	Resultados de los parámetros según Mohr Coulumb			Profundiadda de la falla
	ϕ	γ (KN/m3)	c (KPA)	h (m)
Sr1	28,8	19,5	16	2,89
Sr2	27,7	19,1	213	3,18
Stla	29,4	18	15,0	3,00
Sc1	25,5	18,1	10	3,00
Sc2	30,23	18,95	12,5	4,50
Sa1	36,1	19,5	18,0	4,00
Rb1	31,6325	18,8725	12,60525	2,36
Rb2	38,745	19,9	19,85	3,00
Stta	27,26	18,65	30,4017	3,00
Sa2	30,0	23,0	29,5	3,00
Sc3	28,64	18,675	12,7491	3,50

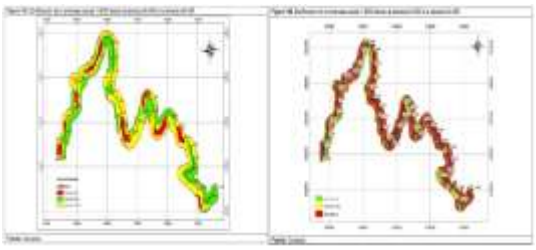
Fuente: Consultor

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

A partir de la revisión de los resultados obtenidos de la zonificación de la amenaza a escala 1:5000 del tramo K0+000-K8+400, se evidencia en la figura 24 una diferencia significativa en los mapas resultantes de las metodologías de análisis utilizadas como se muestra a continuación: (Izq, perfiles de análisis e interpretación. Der, algebra de mapas según ecuación de talud infinito):

Figura 28.

Calibración mapa de amenaza 1:5000

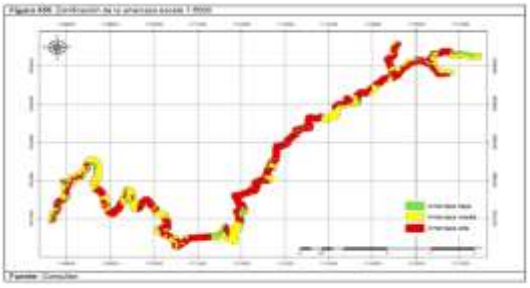


Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Teniendo en cuenta esto, se realizó una calibración de los resultados obtenidos, a fin de obtener una zonificación acorde a lo observado en campo y a lo evidenciado en la exploración geotécnica obteniendo el mapa de zonificación de la amenaza del canal de aducción que se presenta en la figura 25.

Figura 29.

Resultado del mapa de amenaza 1:5000



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.1.4.1 Requerimientos adicionales para calibración. La ecuación de talud infinito definida en la metodología del SGC considera una condición de evento extremo al incluir ambos

detonantes (lluvia y sismo) para el cálculo del factor de seguridad. Se solicitó al Contratista evaluar diferentes escenarios de los detonantes lluvia y de sismo a fin de calibrar el modelo a condiciones más probables de amenaza.

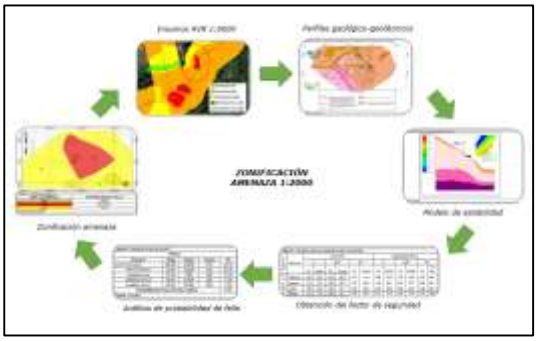
- Detonante lluvia y sismo al 100%
- Detonante sismo al 100% y lluvia al 0%
- Detonante lluvia al 100% y sismo al 0%
- Detonante lluvia y sismo al 50%
- Detonante lluvia y sismo al 0%

6.2.2 AVR 1:2000

Para el desarrollo del estudio AVR 1:2000 se planteó la metodología representada en la figura 26 basado en los parámetros establecidos en la guía metodológica del SGC.

Figura 30.

Metodología zonificación amenaza 1:2000

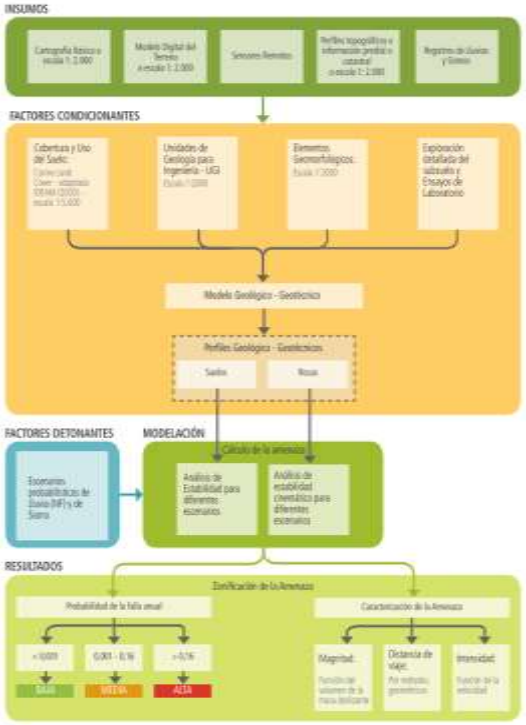


Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Para la revisión de esta metodología se llevó a cabo el plan de trabajo que se presenta en la figura 27.

Figura 31.

Ruta zonificación amenaza 1:2000



Nota. Tomado de: SGC

6.2.2.1 Insumos. Los sitios críticos y de revisión para estudio AVR a escala detallada fueron definidos en conjunto por la Interventoría y el Contratista con base a los resultados del estudio AVR 1:5000 como insumo principal, así como los productos obtenidos de la cartografía a escala 1:2000.

6.2.2.2 Factores condicionantes. Con el inventario de procesos morfodinámicos como insumo para la determinación de las UGI, uso de suelo y elementos geomorfológicos se procedió a la ejecución de la propuesta de exploración aprobada para cada sitio que requería estudio AVR detallado.

Con las muestras recuperadas de los apiques, perforaciones y ensayos de penetración estándar propuestos se procede a realizar los ensayos de laboratorio para la estimación de propiedades físicas y mecánicas que permitan definir el comportamiento del suelo y la roca.

Así mismo, se realiza el procesamiento de las líneas de refracción sísmica, MASW, Down Hole y tomografía eléctrica con el fin de establecer perfiles sísmicos y obtener un modelo del subsuelo.

La Interventoría, por medio de revisiones parciales garantizó el cumplimiento de los estándares establecidos para el tratamiento de las muestras y las relaciones para la determinación de los parámetros geotécnicos de las unidades de suelo.

6.2.2.3 Perfiles geológico-geotécnicos. Para las zonas de estudio, se trazaron perfiles geológico-geotécnicos representativos de los diferentes sectores en base a los resultados de la exploración geotécnica y geofísica los cuales permitieron visualizar la distribución de las UGI en profundidad a lo largo del mismo, requeridos para los análisis de estabilidad realizados.

6.2.2.4 Análisis de estabilidad y probabilidad de falla. Para llevar a cabo la revisión de los modelos de estabilidad se solicitó al Contratista el análisis de diferentes escenarios de falla en condiciones estáticas, dinámicas y con variaciones en los niveles de humedad de suelo. Lo anterior,

a fin de determinar la probabilidad de falla de cada sitio de estudio y de esta forma, enfocar la solución a la mitigación de la misma.

Los modelos de estabilidad se realizaron utilizando el método de equilibrio límite según lo establecido por el SGC, se realizaron para movimientos en masa superficiales y profundos a partir de los modelos geológico - geotécnicos de cada zona definidos con base en la información temática de cartografía base, sensores remotos, geología para ingeniería UGI, elementos geomorfológicos y resultados de la exploración geotécnica efectuadas.

En el proceso de revisión por parte de la Interventoría se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos a partir de las variaciones de los escenarios de falla para cada perfil geológico geotécnico como lo muestra la tabla 6.

Figura 32

Resultados modelo de estabilidad análisis probabilístico

Tabla 51. Resultado modelo de estabilidad análisis probabilístico

PERFIL	METODO	ESTATICO						PSEUDOESTÁTICO					
		0		0,25		0,5		0		0,25		0,5	
		FS	% falla	FS	% falla	FS	% falla	FS	% falla	FS	% falla	FS	% falla
PERFIL A-A	Fellenius	1,09	32,9	0,93	89,9	0,75	91,8	0,85	84,8	0,76	95,4	0,62	99,2
	Spencer	1,18	15,7	0,85	82,7	0,57	99,8	1,09	88,1	0,82	87,7	0,65	99,1
	Janbu	1,09	34,8	0,78	91,1	0,47	99,8	0,83	96,5	0,59	98,5	0,46	99,9
	Bishop	1,16	17,9	0,88	81,7	0,54	99,8	0,91	75,5	0,88	73,6	0,63	94,4

De esta forma, y con base a los resultados obtenidos se determinó la probabilidad de falla anual para cada escenario planteado (tabla 7).

Figura 33.

Probabilidad de falla anual

Tabla 56. Probabilidad de falla anual perfil 1.

PERFIL 1				
Escenario	%falla	%lluvia	%sismo	Pfi
ESTATICO RU=0.25	80.90%	63.60%	91%	46.7%
ESTATICO RU=0.5	97.8%	39.50%	91%	35.1%
DINAMICO RU=0	82.2%	100%	20%	16.3%
DINAMICO RU=0.25	88.8%	63.60%	20%	11.3%
DINAMICO RU=0.5	96.9%	39.50%	20%	7.6%
PROBABILIDAD TOTAL DE FALLA ANUAL				0.762

Fuente: Consultor

A partir de esto, se revisó el resultado del mapa de amenaza de los sitios críticos (figura 28), teniendo en cuenta los parámetros establecidos en la guía metodológica del SGC.

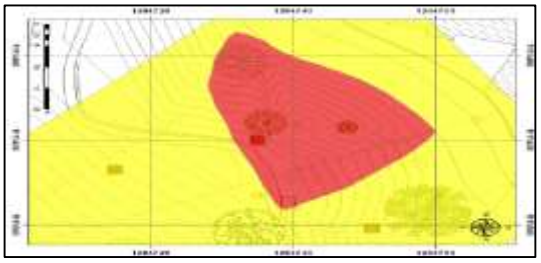
Figura 34.

Metodología zonificación amenaza 1:2000

Tabla 57. Niveles de amenaza

NIVEL DE AMENAZA	PROBABILIDAD DE FALLA
Baja	<0.001
Media	0.001-0.16
Alta	>0.16

Fuente: SGC (2016)



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.2.5 Diseño de obras de estabilización. A partir de los resultados obtenidos de la zonificación de la amenaza en los sitios críticos, se determinó el área correspondiente a amenaza alta, la Interventoría solicitó al Contratista la evaluación de diferentes alternativas de solución enfocadas en las necesidades de cada sitio.

Se evaluaron términos de costo, mantenimiento, durabilidad y función de cada alternativa a fin de emitir un concepto sobre la misma y de esta forma proceder al diseño de la obra de estabilización correspondiente.

Así mismo, se revisaron los modelos de estabilidad de los perfiles geológico geotécnicos con la implementación de las obras propuestas como se presenta en la figura 29, a fin de evaluar la variación del factor de seguridad y de esta forma emitir un concepto sobre la viabilidad de la obra.

Figura 35.

Modelación con obras propuestas

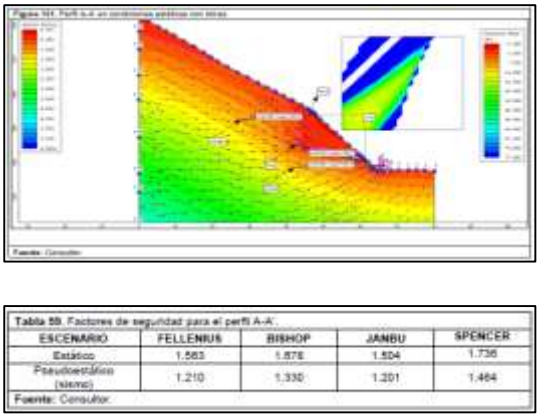


Tabla 59. Factores de seguridad para el perfil A-A'.

ESCENARIO	FELLENIUS	BISHOP	JANBU	SPENCER
Estático	1.563	1.678	1.504	1.736
Pseudoestático (sismo)	1.210	1.330	1.201	1.464

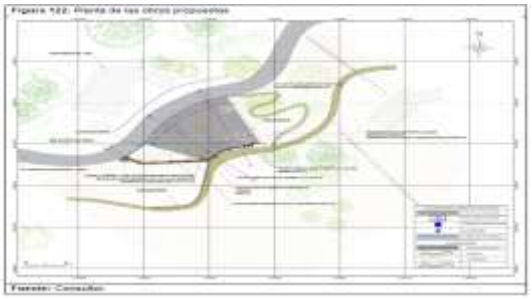
Fuente: Consultor

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Una vez revisado el análisis de las alternativas propuestas y mediante reuniones técnicas en conjunto con el amb, la Interventoría y el Contratista se seleccionó la alternativa más adecuada según el sitio. A partir de esto, se procedió con el diseño de la obra seleccionada (figura 30), y finalmente a la revisión final y aprobación del informe, planos, especificaciones técnicas, presupuestos y cantidades de la obra.

Figura 36.

Diseño de obras de estabilización



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.2.6 Análisis de Vulnerabilidad. Teniendo en cuenta que el objeto de análisis del proyecto es el canal de aducción, el elemento expuesto para revisión de la vulnerabilidad fue dicho canal, para tal fin se llevó a cabo la siguiente metodología:

- Reconocimiento general del canal en el sitio crítico en estudio.
- Levantamiento y verificación de las condiciones estructurales del canal.
- Análisis de la fragilidad de la estructura según el SGC.
- Revisión de la evaluación de la intensidad del posible deslizamiento generado en la estructura.

De esta forma, fue posible corroborar el cálculo de la vulnerabilidad de la estructura en cada sitio específico y cuyo resultado se presenta en la figura 31.

Figura 37.

Zonificación vulnerabilidad

Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

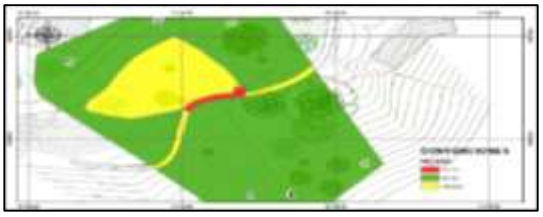
6.2.2.7 Evaluación del riesgo. Atendiendo a la metodología propuesta por el SGC, se procedió a la revisión de la evaluación del riesgo sobre el canal de aducción en cada sitio crítico. Para la valoración de los costos del bien físico en análisis se verificó el análisis de las consecuencias teniendo en cuenta costos de reposición de tramo del canal y los costos derivados generados por suspensión del servicio de acueducto durante los arreglos realizados.

Para la determinación de la categorización del riesgo, se realizó el análisis del costo aproximado del daño, en el cual se relaciona el costo del daño y el costo comercial del elemento expuesto, a partir de este valor se estima el % del costo aproximado del daño según el resultado obtenido en el riesgo, este resultado se analiza antes de la construcción de las obras y posterior a la construcción de las obras de mitigación.

A partir de los resultados obtenidos y de acuerdo a la categorización presentada se realiza el análisis de Riesgo en el área en estudio antes (figura 31) y después (figura 32) de construidas las obras de mitigación.

Figura 38.

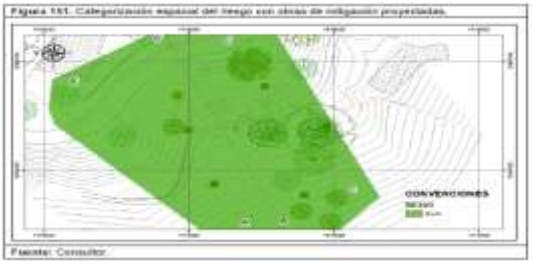
Categorización del riesgo sin obras



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

Figura 39.

Categorización del riesgo con obras



Nota. Tomado de: E.D. INGEOTECNIA S.A.S

6.2.2.8 Control al cumplimiento de las actividades planteadas en el cronograma. Considerando las etapas de planificación, ejecución, seguimiento y control de las actividades del proyecto, se planteó un cronograma inicial donde se contemplaron las actividades de campo, laboratorio y oficina. Este cronograma facilitó la supervisión a dichas actividades, controlando los términos de tiempo y recursos pactados contractualmente.

Así mismo, semanalmente se realizó seguimiento a las actividades programadas por medio de cronogramas semanales, a fin de coordinar las visitas de campo necesarias para supervisar las actividades de exploración, ensayos in situ y extracción de muestras para análisis.

Para dar seguimiento y control a los términos contractuales de recursos y cantidades, se llevó a cabo la revisión de las propuestas de exploración geotécnica, ordenes de laboratorio y propuestas de ejecución de actividades topográficas y geotécnicas enfocado en la optimización de los recursos contractuales del Proyecto, de esta forma la Interventoría realizó un balance entre las necesidades del proyecto según las características geológicas de la zona de estudio y las cantidades contractuales de ensayos geotécnicos para exploración y caracterización del terreno.

7. Desarrollo Fase III

Apoyo en la elaboración de los informes técnicos de gestión de la interventoría verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

7.1 Revisión de los reportes diarios de las actividades de campo desarrolladas por el contratista.

Durante la ejecución de las actividades de campo se realizó la revisión de los reportes de avance diarios con los cuales fue posible evidenciar el avance de los trabajos de campo, inconvenientes presentados, control de cantidades y programación de visitas de supervisión de campo.

7.2 Elaboración de informes de los hallazgos y/o recomendaciones evidenciados en las visitas de campo.

Para cada visita de técnica de inspección se elaboró un informe reportando los hallazgos técnicos encontrados, indicando las recomendaciones y observaciones a tener en cuenta a fin de garantizar el cumplimiento de la normativa en la ejecución de las actividades de campo.

7.3 Elaboración de informes de gestión semanal y mensual de la interventoría, reportando el avance y el cumplimiento en tiempo y calidad de trabajos desarrollados durante el periodo respectivo.

A partir de la revisión de los reportes diarios de actividades, las visitas técnicas de inspección y el seguimiento de las actividades de laboratorio y oficina se elaboraron informes de gestión semanal y mensual en el periodo de tiempo respectivo, por medio de los cuales se dio trazabilidad de la supervisión y control de los términos de tiempo y recursos contractuales pactados.

7.4 Asistencia a reuniones semanales para el seguimiento del avance del proyecto.

Semanalmente fueron realizadas reuniones entre las partes interesadas del proyecto (Contratista, Interventoría y amb), las cuales permitían evidenciar el avance del proyecto, los inconvenientes presentados, los hallazgos reportados por la Interventoría y las necesidades adicionales del proyecto para cumplir con el objeto del mismo.

7.5 Elaboración de oficios técnicos requeridos durante el desarrollo de la interventoría.

Los oficios técnicos fueron utilizados para dar respuesta a las inquietudes presentadas por el Contratista relacionadas a las especificaciones técnicas del Proyecto y los comentarios emitidos por la Interventoría de las diferentes propuestas técnicas presentadas.

8. Desarrollo Fase IV

Se llevó a cabo la elaboración del documento técnico por medio del cual se dio evidencia del desarrollo y resultado de la Interventoría técnica del Proyecto “Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo con la inclusión del diseño de obras de ingeniería para la mitigación ante movimientos en masa, del canal de aducción del rio Tona hasta la planta de tratamiento de agua potable La Flora - POIR19.1”, indicando el cumplimiento a los objetivos propuestos y enunciando las respectivas conclusiones obtenidas del trabajo ejecutado.

Se elaboró y presentó como aporte al área de Interventoría geotécnica de la Empresa E.D. Ingeotecnia el formato para llevar a cabo el proceso de seguimiento, supervisión y control del desarrollo de la Interventoría, el cual resultará de gran utilidad para futuros Contratos de Interventoría geotécnica en la empresa.

9. Resultados

En el transcurso de las etapas de planificación, ejecución, seguimiento y control de las actividades del proyecto en estudio, la Interventoría dando desarrollo a su labor de supervisar e inspeccionar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones técnicas del proyecto, hizo entrega al amb de los documentos que evidencian el cumplimiento de dichas actividades tales como:

- Informes de actividades semanales.
- Informes de gestión mensuales.
- Informes de visitas de inspección con los respectivos hallazgos y comentarios.
- Revisiones técnicas de los insumos entregados por el Contratista
- Conceptos técnicos de los resultados de los estudios.
- Actas de reunión.
- Formatos de seguimiento de actividades.
- Reportes de cumplimiento del cronograma de actividades
- Relación del cumplimiento del Contratista de los términos de tiempo y recursos contractuales.
- Informe de gestión de la Interventoría con la recopilación de las actividades desarrolladas.

Los cronogramas de actividades fueron de gran utilidad como mecanismo de control durante el desarrollo del proyecto para el debido seguimiento por parte de la Interventoría ya que de esta forma se pudo garantizar la supervisión técnica y de calidad de las actividades ejecutadas.

Para la supervisión de las actividades de campo y ejecución de ensayos, los reportes diarios fueron de gran utilidad ya que mediante la revisión de los mismos se planificaron las visitas de inspección técnica y de calidad a estas actividades.

Por medio de informes diarios y visitas de inspección se dio seguimiento a los términos contractuales de tiempo, controlando el rendimiento proyectado para cada una de las actividades de campo.

Los informes de visita resultaron ser de gran apoyo en el proceso de revisión de resultados de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo ya que según lo evidenciado en campo se podía tener un panorama más aterrizado de los resultados esperados y de esta forma se obtuvo una calibración de los mismos.

Las revisiones y conceptos técnicos emitidos por la Interventoría permitieron al Contratista y al amb obtener un resultado del estudio AVR 1:5000 y 1:2000 adecuado a las especificaciones técnicas del contrato dando cumplimiento a la normativa vigente y a la guía metodológica del SGC.

10. Conclusiones

- El estudio AVR 1:5000 permitió definir cuarenta y dos (42) sitios críticos sobre el trazado del canal con la calibración realizada al mapa de amenaza. A cinco (5) de estos sitios

críticos se les realizó diseños detallados de obras de mitigación teniendo en cuenta el diagnóstico geotécnico de cada uno, garantizando la protección del canal de aducción como objeto principal del estudio realizado.

- Debido a la complejidad técnica y conceptual del proyecto fue necesario adoptar los criterios establecidos en la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano para dar desarrollo al estudio AVR. Esto permitió determinar aquellas áreas con mayor susceptibilidad a presentar fenómenos de remoción en masa y de esta forma priorizar la realización de estudios, diseños y obras de ingeniería en aquellas zonas donde el funcionamiento y estado del canal se vea afectado.

- El proyecto presentó un retraso de 2 meses, debido a la falta de claridad en las especificaciones técnicas del Contrato, lo cual implicó una adición en tiempo y recursos para todas las partes involucradas. Por lo tanto, se considera de suma importancia que las especificaciones técnicas sean elaboradas y revisadas por personal experto en el objeto del proyecto.

- Se evidencia en el desarrollo del Proyecto la importancia de contar con una Interventoría técnica especializada en el objeto del mismo, ya que esto garantiza que las actividades desarrolladas por el Contratista cuenten con el criterio de expertos y a su vez cumpla con los requerimientos del contrato.

- La metodología planteada por la Interventoría para llevar a cabo el seguimiento, supervisión y control de las actividades desarrolladas fue ejecutada con éxito y se vio evidenciado en la calidad y cumplimiento de las especificaciones técnicas del Contrato en asunto.

11. Recomendaciones

- Se recomienda continuar invirtiendo en la Interventoría técnica para la ejecución de Proyectos extensos y complejos que requieran el criterio de expertos en el objeto del mismo.
- Se recomienda que las entidades Contratantes deben ser suficientemente claras en la elaboración de las especificaciones técnicas de los Proyectos con el fin de que los proponentes puedan abarcar todos los insumos requeridos para dar cumplimiento al alcance del contrato, así mismo, garantizar la comprensión del alcance por parte de los ofertantes a fin de evitar reclamaciones o pagos de adicionales.
- Se recomienda que el principal criterio de selección en la etapa de licitación no sea en función del precio de los proponentes, sino de la calidad certificada de los mismos, el tiempo de experiencia en el área técnica de estudio y la experiencia en proyectos similares que puedan garantizar la calidad y cumplimiento esperado.

Referencias Bibliográficas

Demirkesen, S., & Ozonhon, B. (2017). Sciene Direct, Impact of Integration management on construction project management performance. *Inf. J. Proj. Manag, vol. 35, no. 8*, 1639-1654.

Garcés, O., Martínez, R., & Molano, D. (s.f.). *Guía técnica para la interventoría de un proyecto de construcción de un acueducto obra civil.* Ibagué: [Tesis de pregrado]. Universidad Cooperativa de Colombia.

I. D. E. L. Contenido,. (s.f.). *Guía para la Gerencia de Proyectos de Construcción, Ggpc.*

Orjuela, N. (s.f.). *Desarrollo de modelo de gestión, que optimice el proceso de control administrativo de la interventoría, aplicado a la ejecución de proyectos de infraestructura pública.* Bogotá: [Tesis de posgrado]. Universidad Católica de Colombia.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. (2010). *Capítulo H- Estudios geotécnicos, numeral H-2.1.1*.

Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de masa escala detallada.* Bogotá D.C.

Zambrano de la Garza, A. L. (1998). *administración de proyectos. Universidad Autonoma de Nuevo León UANL, Ciudad Universitaria.* México .