



GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

2013

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ACTUALIZADO

CONEXIÓN VIAL ABURRÁ - ORIENTE



CONCESIÓN
TUNEL ABURRÁ-ORIENTE S.A.

CAPÍTULO 4 - DEMANDA, USO,
APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN
DE RECURSOS NATURALES



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL ACTUALIZADO



CONSULTORES PARTICIPANTES:

TABLA DE CONTENIDO

4	DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES	4-4
4.1	Aguas superficiales	4-7
4.1.1	Abastecimiento de agua para operación de las instalaciones provisionales de obra y edificios de control en operación	4-8
4.1.2	Abastecimiento de agua para instalaciones provisionales requeridas en la Construcción de las vías a cielo abierto del proyecto.....	4-13
4.1.3	Reporte de Análisis físico químicos y Microbiológicos realizados en las fuentes concesionadas.....	4-16
4.1.4	Abastecimiento para el acueducto para el sistema contraincendio del túnel el seminario	4-19
4.1.5	Abastecimiento para el acueducto para el sistema contraincendio del Túnel de Santa Elena y para las edificaciones de administración y control	4-19
4.2	Aguas subterráneas	4-20
4.2.1	Investigación Geoeléctrica	4-20
4.2.2	Valoración de la presencia de agua en los túneles	4-32
4.3	Vertimientos	4-36
4.3.1	Caracterización general de las aguas residuales	4-38
4.3.2	Determinación de los sitios de disposición, volúmenes y tratamiento previo	4-40
4.4	Ocupación de cauces	4-42
4.4.1	Vías Industriales.....	4-49
4.5	Materiales de construcción	4-51
4.5	Aprovechamiento forestal.....	4-52
4.5.1	Coberturas Vegetales de la zona de los Portales Norte (Marianito) y Sur (Palmas) del Túnel Seminario	4-53
4.5.2	Coberturas Vegetales de la Vía a cielo abierto sector occidental Túnel de Santa Elena	4-54
4.5.3	Coberturas Vegetales del Depósito Seminario.....	4-57
4.5.4	Coberturas Vegetales del Portal Occidental túnel Santa Elena.....	4-58
4.5.5	Coberturas Vegetales del Portal Oriental túnel Santa Elena y vía de acceso a la glorieta Sajonia	4-59
4.5.6	Resumen Aprovechamiento Total.....	4-61
4.5.7	Tramite de levantamiento de veda nacional.....	4-62
4.6	Emisiones atmosféricas	4-67
4.7	Residuos sólidos.....	4-68
4.7.1	Residuos sólidos domésticos.....	4-68
4.7.2	Impactos Ambientales causados	4-69
4.7.3	Estimativos de volúmenes a generar	4-69
4.7.4	Zonas de materiales sobrantes de excavación (Depósitos)	4-70

LISTADO DE TABLAS

Tabla 4-1 - Resumen Concesiones otorgadas al proyecto concesión vial Aburrá - Oriente	4-8
Tabla 4-2 - Infraestructura requerida para las concesiones domésticas del proyecto.....	4-8
Tabla 4-3 - Caudales Quebrada Sajonia	4-10
Tabla 4-4 - Parámetros Q. Aguadita y Q. Sajonia	4-12
Tabla 4-5 - Caudales Q. Aguadita.....	4-12
Tabla 4-6 - Caudales aforados por la Concesión Túnel Aburrá Oriente para la Q. Aguadita y Q. Sajonia	4-12
Tabla 4-7 - Usos del Agua Q. Sajonia	4-13
Tabla 4-8 - Infraestructura requerida para las concesiones requeridas en la construcción de la vía a Cielo Abierto ubicada en el costado occidental del Túnel Santa Elena	4-13
Tabla 4-9 - Caudales de diseño fuentes concesionadas vía a cielo abierto	4-16
Tabla 4-10 - Calidad del Agua Fuentes Concesionadas	4-17
Tabla 4-11 - Valoración de la presencia de agua en los túneles (l/s)	4-34
Tabla 4-12 - Caudales de Infiltración Túnel Santa Elena	4-35
Tabla 4-13 - Resumen puntos de vertimientos proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente	4-37
Tabla 4-14 - Caracterización típica de las aguas residuales domésticas originadas en las instalaciones provisionales	4-39
Tabla 4-15 - Caracterización típica de las aguas residuales industriales originadas al interior de los túneles en construcción	4-39
Tabla 4-16 - Dimensionamiento estructuras vía de acceso al Portal Oriente Túnel de Santa Elena	4-42
Tabla 4-17 - Dimensionamiento inicial de las estructuras vía de acceso al Portal Occidental del Túnel de Santa Elena	4-42
Tabla 4-18 - Dimensionamiento definitivo de las estructuras vía de acceso al Portal Occidental del Túnel de Santa Elena	4-44
Tabla 4-19 - Caudales de diseño para las cuencas menores a 1 km ²	4-47
Tabla 4-20 - Caudales de diseño cuentas mayores a 1 km ²	4-48
Tabla 4-21 - Fuentes de materiales de construcción.....	4-51
Tabla 4-22 - Volúmenes de madera a remover en el portal norte	4-53
Tabla 4-23 - Volúmenes de madera a en el portal sur	4-53
Tabla 4-24 - coberturas Vegetales vía de acceso portal occidental Túnel de Santa Elena	4-54
Tabla 4-25 - Riqueza y diversidad de epífitas vasculares de acuerdo al tipo de cobertura vegetal	4-55
Tabla 4-26 - Riqueza y diversidad de briófitos epífitos de acuerdo al tipo de cobertura vegetal	4-56
Tabla 4-27 - Riqueza y diversidad de briófitos terrestres de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal	4-56
Tabla 4-28 - Volúmenes de madera a remover por cobertura y especie dominante en la vía de acceso Portal Occidental del Túnel de Santa Elena.....	4-57
Tabla 4-29 - Volumen de madera encontrado en 20 parcelas circulares de 100m ²	4-57
Tabla 4-30 - Especies aprovechadas en el 2.011 en el Portal Occidental.....	4-59
Tabla 4-31 - Coberturas Vegetales Área de Influencia Puntual	4-60
Tabla 4-32 - Volumen de madera total a remover por cobertura Portal Oriental	4-60
Tabla 4-33 - - Volumen de madera total a remover en el Depósito la Querencia.....	4-61
Tabla 4-34 - Resumen aprovechamiento forestal proyecto	4-61
Tabla 4-35 - Número de árboles hospederos muestreados, especies e individuos de epífitas vasculares por sitio de muestreo.....	4-62
Tabla 4-36 - Número cuadrantes muestreados en 5 árboles por sitio, especies e individuos de briófitos epífitos	4-64
Tabla 4-37 - Número cuadrantes muestreados en 5 árboles por sitio, especies e individuos de briófitos epífitos	4-65
Tabla 4-38 - Ubicación de individuos vedados	4-66
Tabla 4-39 - Volumen de material de excavación sobrante	4-70
Tabla 4-40 - Sitios previstos para depósito en el EIA del año 2.000	4-70

Tabla 4-41 - Depósitos para el proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente 4-71

LISTADO DE FIGURAS

Figura 4-1 - Escala cromática de los valores de resistividad eléctrica.....	4-20
Figura 4-2 - Prospección geoelectrica Túnel Seminario	4-22
Figura 4-3 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 1	4-23
Figura 4-4 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 2	4-24
Figura 4-5 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 3	4-25
Figura 4-6 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 4	4-26
Figura 4-7 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 5	4-27
Figura 4-8 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 6	4-28
Figura 4-9 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 7	4-29
Figura 4-10 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 8	4-30
Figura 4-11 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 9	4-31
Figura 4-12 - Prospección Geoelectrica AMT Túnel Santa Elena	4-32
Figura 4-13 - Cuencas Acceso Portal Oriental Túnel de Santa Elena	4-46
Figura 4-14 - Cuencas Acceso Portal Occidental Túnel de Santa Elena	4-46
Figura 4-15 - Zonas de depósito sector occidental.....	4-72
Figura 4-16 - Zonas de depósito sector oriental.....	4-72
Figura 4-17. Procesos encontrados en la parte inferior del Depósito 1	4-74
Figura 4-18. Mapeo de cicatrices activas zona de Depósito 1	4-75
Figura 4-19. Deslizamiento sobre vía a Loreto	4-76
Figura 4-20 - Ubicación depósito Seminario.....	4-79
Figura 4-21 - Deposito Seminario. Obras hidráulicas de manejo de aguas	4-80
Figura 4-22 - Ubicación general depósito la Querencia	4-82
Figura 4-23 - Zonas de disposición depósito la Querencia	4-83

4 DEMANDA, USO, APROVECHAMIENTO Y/O AFECTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

La implementación del proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente, requiere para su ejecución del aprovechamiento y/o intervención de diferentes recursos naturales, a causa de la interacción del trazado del proyecto vial con algunos recursos naturales, las necesidades de insumos y/o materiales de construcción, y las necesidades de manejar adecuadamente los residuos líquidos y sólidos que las actividades diarias de la construcción y operación del proyecto pueden generar.

Así las cosas, en el desarrollo de éste capítulo se mencionaran y clasificaran los recursos naturales que serán demandados durante la construcción y operación del proyecto, dándose claridad de los permisos que se han obtenido previamente y se hará una descripción de la forma como se aprovecharán y manejarán en cada caso.

Tal como fue mencionado en el capítulo 1, el proyecto de Conexión Vial Aburrá Oriente posee Licencia Ambiental Ordinaria, razón por la cual no todos los permisos fueron otorgados con la Licencia Ambiental original del proyecto, ya que la gran mayoría de los mismos fueron tramitados antes del inicio de las actividades constructivas del proyecto, tal como se detalla más adelante.

Así las cosas y sin el ánimo de perder el carácter ordinario que posee la Licencia Ambiental del proyecto Conexión Vial Aburrá – Oriente, a continuación se presenta la información específica relacionada con los permisos de uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos que ya cuentan con éstos permisos y de aquellos que se tramitan con el presente informe; de tal forma que todos los permisos del proyecto queden implícitos en la modificación de la Licencia Ambiental del proyecto; aunque como fue mencionado anteriormente, el proyecto continuará con el régimen de Licencia Ambiental Ordinaria que posee.

En resumen, con la Resolución 1764 de 2002 de CORNARE otorga Licencia Ambiental Ordinaria para la ejecución y desarrollo de la Conexión Vial Aburrá – Oriente, y en el Artículo Tercero de la misma se otorgan los siguientes permisos, concesiones y autorizaciones:

- ♣ Permiso de vertimientos para aguas residuales domésticas e industriales generadas en las instalaciones del proyecto.
- ♣ Permiso de emisiones atmosféricas para las plantas de trituración y producción de asfaltos.
- ♣ Permiso de aprovechamiento forestal único para la construcción de las vías de acceso.
- ♣ Autorización de los sitios de depósito.

A continuación se transcribe los considerandos y decisiones tomados por Cornare en la resolución en mención:

“En torno a los permisos y autorizaciones de aprovechamiento de los recursos naturales. La comisión evaluadora concluye que el proyecto no requiere de merced de aguas en su etapa de operación toda vez que se abastecerá del acueducto Alto Vallejo Sajonia.

El informe determina:

Es viable otorgar al proyecto una concesión de aguas de las quebradas La Aguadita para el portal occidental por un caudal máximo de 10 lt/sg y por un plazo equivalente al de la duración de la construcción del proyecto y de la quebrada Sajonia para el sector oriental en las mismas condiciones y será objeto del cobro trimestral anticipado de la tasa por uso del recurso hídrico.

Es viable otorgar al proyecto un permiso de vertimientos para aguas residuales domésticas e industriales en las instalaciones acorde con los diseños presentados y detallados en los planos AO-F1-DB-ED-014, 15, 17 Y 18, por un plazo de 10 años.

Es viable otorgar un permiso de emisiones atmosféricas para las plantas de trituración y producción de asfaltos a ubicarse en ambos portales, garantizando el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de aire y por un plazo de 6 años.

Es viable otorgar un permiso de aprovechamiento forestal para una faja igual a la del diseño de sus vías de acceso a los portales e interconexión para el portal oriental hasta la empresa SIKA ANDINA.

Es viable autorizar los sitios de disposición de estériles denominados Ventana 1, Ventana 2b, Ventana 2c y las Lomas acorde con los respectivos diseños, con sus obras, actividades y estudio de niveles de inundación de la Quebrada Chachafruto, considerando entre otros:

- ♣ Obras de preparación del terreno (descapote, almacenamiento).
- ♣ Diseño y dimensionamiento de las obras civiles (filtros, terraplenes, conducción de aguas lluvias y tributarias, sistemas de contención, cunetas, etc), considerando el tratamiento, protección y conservación de los amagamientos.
- ♣ Conformación final del depósito, engramado, revegetalización y reforestación.

El artículo tercero de la Resolución 1764 de 2002 otorga al Departamento de Antioquia los permisos, concesiones y autorizaciones que se enumeran a continuación:

- ♣ Permiso de vertimientos para las aguas residuales domésticas e industriales generadas en las instalaciones del proyecto, acorde con los diseños presentados y detallados en los planos AO-F1-DB-ED-014, 15, 7 Y 18, por un término de cinco años contados a partir de la iniciación de labores de construcción y ejecución.
- ♣ Permiso de emisiones atmosféricas para las plantas de trituración y producción de asfaltos a ubicarse en ambos portales por un plazo de cinco años contados a partir de operaciones de la planta. – este permiso se condiciona al cumplimiento de las normas de emisión de acuerdo a los resultados arrojados en los muestreos isocinéticos, los cuales deberán realizarse con una periodicidad de seis meses durante la etapa de funcionamiento de las plantas.
- ♣ Otorgar un permiso de aprovechamiento forestal único para la construcción de las vías de acceso a los portales de acuerdo a los diseños presentados para el proyecto, que incluye el trazado de la vía entre el portal oriental y la empresa SIKA ANDINA. El peticionario deberá presentar una información mensual sobre las especies aprovechadas, y así mismo, deberá compensar las especies sujeto al aprovechamiento de acuerdo al planteamiento contenido en el Plan de Manejo Ambiental que sustenta la obra. Los salvoconductos de movilización respectivos deberán ser tramitados por parte del interesado.
- ♣ Autorizar los sitios de disposición de estériles denominados Ventana 1, con una capacidad de almacenamiento de 125.000 metros cúbicos, ventana 2b y 2c con una capacidad de almacenamiento de 615.000 metros cúbicos y las Lomas con una capacidad de almacenamiento de 730.000 metros cúbicos, acorde con los respectivos diseños, con sus obras, actividades, estudios de niveles de inundación de la Quebrada La Chachafruto con sus recomendaciones y su respectivo plan de manejo ambiental. Esta autorización se da sin perjuicio de los derechos de terceros sobre los bienes inmuebles propuestos para el depósito de estériles, para lo cual el autorizado deberá obtener los debidos permisos de acuerdo con la ley.

- ❖ Ordenar la fijación de los avisos y la aplicación del trámite contenido en el decreto 154 de 1978, necesarios para el otorgamiento de la concesión de aguas para uso industrial en un caudal de 10 litros por segundo sobre cada una de las fuentes La Aguadita en el portal Occidental y Sajonia en el portal Oriental.

Posteriormente, y teniendo en cuenta el carácter de Licencia Ambiental Ordinaria que posee el proyecto, con la Resolución 112-0741 del 15 de febrero de 2.010, Cornare aprueba el Ajuste del Estudio de Impacto Ambiental realizado y en los considerandos de dicha resolución menciona la demanda para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales del proyecto, especificando que para el Recurso Agua se requieren los siguientes permisos:

- ❖ Captación de aguas superficiales: quebrada Yerbabuena (etapa de construcción en el sector Acceso Occidental) y quebrada Sajonia (Sector Acceso Oriental).
- ❖ Descarga de aguas residuales domésticas e industriales en el Acceso Oriental del Túnel de Santa Elena.
- ❖ Ocupación de cauces: Puentes localizados en las quebradas Caunces, la Pastora, El Chupadero, Mediagua, La Espadera, La Bocana y la Sajonia. Además de la construcción del boxculvert en la quebrada La Aguadita.

Para el Recurso Flora:

- ❖ Para la ejecución del proyecto en el sector Baltimore se requiere remover un volumen total de 322,43 m³ y 248,45 m³ de volumen comercial.

Para el Recurso Suelo:

- ❖ Se utilizará la extracción de materiales de la cantera Yarumal y de las excavaciones del portal Oriental del Túnel.
- ❖ Generación de residuos sólidos ordinarios y especiales.
- ❖ Implementación de Explosivos.
- ❖ Construcción temporal de campamentos.
- ❖ Establecimiento de sitios de acopio y de disposición de desechos.

Para el Recurso Aire:

- ❖ Emisiones atmosféricas debido a la actividad de la planta de triturado y producción de asfalto.

Permisos para el uso y aprovechamiento de recursos naturales que requiere tramitar el usuario:

- ❖ Concesión de aguas de las quebradas Yerbabuena (portal Occidental) y Sajonia (portal Oriental) acorde con los diseños y memorias presentados en el EIA.
- ❖ Ocupación de cauce para las quebradas Los Caunces, La Pastora, El Chupadero, Mediagua, La Espadera, la Bocana y la Sajonia. Además, de la construcción del box culvert en la quebrada La Aguadita.
- ❖ Explotación minera para la cantera Yarumal y excavaciones del portal oriental del Túnel.

Finalmente, en el ítem 20 de los considerandos de la mencionada Resolución y en el Artículo segundo de la parte resolutive, se concluye que antes de iniciar la ejecución del proyecto se entregue a CORNARE información relacionada con los permisos ambientales adicionales, tales como concesión de agua de las quebradas La Yerbabuena y Sajonia, y el permiso de ocupación de cauces para las quebradas Los Caunces, La Pastora, El Chupadero, Mediagua, La Espadera, La Bocana, La Aguadita y La Sajonia, la cual consiste en memorias de cálculo y diseño de las obras a

ejecutar. Los demás permisos otorgados a través de la resolución 1764 del 04 de Junio de 2002, siguen vigentes.

Así las cosas, la Gobernación de Antioquia a través de la Concesión Túnel Aburrá Oriente, con el radicado 131-3402 del 12 de agosto de 2.011, solicita los permisos de Concesión de Aguas Superficiales para uso industrial y doméstico requeridos para la construcción y operación del proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente, y CORNARE con la Resolución 131-0820 del 12 de octubre de 2.011 otorga los siguientes permisos:

- ♣ Concesión de aguas en un caudal total de 10 lt/sg, distribuidos de la siguiente manera: para uso doméstico 0,040 l/s y para uso industrial (construcción y operación) 9,96 l/s a derivarse de la Quebrada Sajonia en beneficio del proyecto en un sitio con coordenadas GPS X:847.732, Y:1.175.352, Z:2.187.
- ♣ Concesión de aguas en un caudal total de 10 l/s distribuidos de la siguiente manera: para uso doméstico 0,040 l/s y para uso industrial (construcción y operación) 9,96 l/s a derivarse de la Quebrada Aguadita en beneficio del proyecto, en un sitio con coordenadas GPS; X:840.011, Y:1.180.396, Z:1.992.

Con los radicados 131-4154 y 131-4155 del 4 de octubre de 2011 se solicita permiso de ocupación de cauce y CORNARE con la Resolución 131-0839 del 14 de octubre de 2.011 otorga permiso de ocupación de cauce, playas y lechos para la implementación de obras de drenaje, alcantarillas de cajón o boxculvert en fuentes hídricas y puentes vehiculares dada la construcción de la vía tanto del sector Occidental como Oriental, incluida la vía industrial del proyecto.

Con la Resolución 131-1047 del 13 de diciembre de 2.011 CORNARE otorga a favor del proyecto una concesión de aguas en un caudal de 14 l/s, distribuidos así: 0,017 lt/s para uso doméstico y 1,983 lt/s para uso industrial a derivarse de un afluente de la Quebrada Sajonia; 0,017 lt/s y 1,983 l/s a derivarse de una fuente sin nombre; 0,017 lt/s para uso doméstico y 4,983 l/s a derivarse de la Fuente la Pastora y 0,017 l/s para uso doméstico y 4,983 l/s para uso industrial a derivarse de la Quebrada La Espadera.

Con la Resolución 112-5284 del 3 de diciembre de 2.012 se otorga Permiso de Ocupación de Cauce de playas y lechos requeridos para la construcción de la vía industrial de acceso al portal occidental del Túnel de Santa Elena.

Con la Resolución 112-4487 de octubre 25 de 2012 se otorga permiso de ocupación de cauce para la adecuación de unos gaviones sobre la Quebrada Sajonia en la zona de acceso al portal oriental, tendientes a prevenir procesos de socavación que se vienen presentando sobre esta quebrada.

Así las cosas y con el fin de unificar en un solo documento, pero sin el ánimo de perder el carácter de Ordinario que posee la Licencia Ambiental del proyecto, se realiza un recuento de cada uno de los permisos y autorizaciones requeridos para la construcción y operación del proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente.

4.1 Aguas superficiales

El proyecto requiere durante la construcción y operación del proyecto de la utilización de aguas provenientes de diferentes cuerpos de agua.

Durante la construcción del proyecto se requiere de aguas para uso doméstico a ser usadas en las instalaciones provisionales de obra y para la operación de los edificios de control en la etapa de operación.

Dado que las instalaciones provisionales a implementarse durante la construcción del proyecto y los edificios de control requeridos para la operación del proyecto se ubicaran cerca de las plazoletas de los portales oriental y occidental del Túnel de Santa Elena, se ha previsto obtener el agua necesaria de las quebradas Sajonia y La Aguadita respectivamente.

De otro lado, para la construcción de las vías a cielo abierto, se requiere obtener agua de uso industrial y doméstico a ser usada en los diferentes procesos industriales de obra, tales como mezclas de materiales y concretos, humedecimientos de materiales y control de material particulado, los cuales se plantean tomar de una fuente afluyente de la Q. Sajonia, fuente sin nombre (denominada Q. La India), Q. La Pastora y Q. La Espadera.

En el siguiente cuadro se puede observar las diferentes concesiones de agua requeridas para el desarrollo de la construcción y operación del proyecto, la fuente y caudales que fueron concesionados y los permisos que ya fueron otorgados:

Tabla 4-1 - Resumen Concesiones otorgadas al proyecto concesión vial Aburrá - Oriente

Fuente de agua	Caudal/uso	Etapa del proyecto	Coordenadas		
			X	Y	Z
<i>Resolución No. 131-0820 de octubre/2011</i>					
Quebrada Sajonia	0.040 l/s- Doméstico	Construcción- Operación	847732	1175352	2187
	9.96 l/s- Industrial				
Quebrada La Aguadita	0.040 l/s - Doméstico	Construcción- Operación	840911	1180396	1992
	9.96 l/s- Industrial				
<i>Resolución No. 131-1047 de diciembre/2011</i>					
Afluyente Quebrada Sajonia	0.017 l/s-Doméstico	Construcción	847732	1175352	2187
	1.983 l/s-Industrial				
Fuente sin nombre (Quebrada La India)	0.017 l/s-Doméstico	Construcción	837134	1180443	1851
	1.983 l/s-Industrial				
Quebrada La Pastora	0.017 l/s-Doméstico	Construcción	838398	1180072	1934
	4.983 l/s-Industrial				
Quebrada La Espadera	0.017 l/s-Doméstico	Construcción	839942	1180235	2043
	4.983 l/s-Industrial				

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.1.1 Abastecimiento de agua para operación de las instalaciones provisionales de obra y edificios de control en operación

A continuación se presenta la descripción de la infraestructura que se planea construir para captar el recurso hídrico, por fuente de abastecimiento:

Tabla 4-2 - Infraestructura requerida para las concesiones domésticas del proyecto

Quebrada Sajonia	
Descripción	Características

Quebrada Sajonia	
Obras de derivación	Dique de 1,5m de altura por 3,80m de ancho con captación por medio de rejilla en fondo, seguido de una estructura de control de caudales para 10l/s por medio de orificio y comunicado con una cámara de succión para bombeo de 10 l/s. Proyectados en concreto reforzado.
Caseta de Bombeo	Una vez se garantice el caudal otorgado, este será bombeado hasta un tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento que se proyecta instalar contará con sistema de control de flujo y medidor de caudal.
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de oficinas, planta de concretos y el portal oriental mediante tubería de PVC.
Quebrada La Aguadita	
Obras de derivación	Se construirá una captación lateral con rejilla de fondo., la cual contará a su vez con obra de control de caudal.
Cajas de inspección	De la obra de control se derivará por medio de tubería de pvc hasta dos cajas de inspección, luego llegará el caudal hasta un tanque desarenador.
Tanque Desarenador	El tanque desarenador contará con 3 compartimentos y una tubería de rebose que conduce el caudal de exceso a la fuente. Después de que el caudal pase por el tanque desarenador llegará hasta el tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento a instalar contará con sistema de control de flujo y medidor de caudal
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de oficinas y el portal occidental mediante tubería de PVC.

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.1.1.1 Determinación de consumos para los diferentes usos

Para el uso doméstico otorgado en la concesión de aguas se determinó que el consumo por persona sería de 50l/hab/día y en total se plantea que trabajaran 140 empleados, 70 por cada fuente, para el resto de las actividades industriales que consisten en: preparación de concreto para obras de muros y revestimiento del túnel, planta de trituración, perforación con Jumbo, entre otras, se consideró que sería necesario un caudal de 9.96 L/s por fuente, sin embargo una vez se comience con las actividades y se instale el medidor de caudal se tendrán datos más exactos acerca del caudal utilizado.

Para el consumo doméstico en la fase constructiva se utilizará agua de botellón.

En el Anexo 2.1 - AO-VI-HI-BOC-01 y AO-VI-HI-BOC-02, se pueden observar los diseños de las diferentes obras de captación para las fuentes que fueron concesionadas para el proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente.

4.1.1.2 Descripción de las Microcuencas de las Quebradas Sajonia y La Aguadita

La Microcuenca de la Quebrada Sajonia se encuentra ubicada en la Cuenca Rionegro, subcuenca Chachafruto. El Río Negro Nace un poco al sur de la región y por el costado oriental de la cordillera de Las Palmas a unos 2.800 m.s.n.m, en el Cerro Vaca. Históricamente dividía el valle en dos: El Valle de Llanogrande y el Valle de San Nicolás.

Corre en dirección nordeste y es alimentado por el lado derecho por las quebradas del Hato, la Pereira y Cimarronas. Por la izquierda recibe las quebradas Tablazo, Tablacito, Chachafruto, Malpaso, La Mosca y La Porquera.

En su nacimiento se le conoce con el nombre de Río Pantanillo, alimenta la represa de La Fé con los caudales de los ríos Buey y Piedras, a partir de esta represa toma el nombre de Río Negro; en Santa Rita toma el nombre de Nare.

Con el río, las Empresas Públicas de Medellín construyeron la Central Hidroeléctrica de Guatapé con el embalse de Santa Rita. Hoy el complejo hidroeléctrico del Oriente Antioqueño consta de cinco centrales, dos de propiedad de las Empresas Públicas de Medellín: Playas y Guatapé y tres de ISAGEN: San Carlos, Jaguas y Calderas.

La explotación de materiales para la construcción en las playas del Río Negro ha originado la formación de una cantidad de lagos, que son utilizados para surtir de agua los cultivos de flores y para la pesca. Uno de los más importantes es el lago Santander por su origen natural y su significación cultural.

Por otro lado la subcuenca de la quebrada Chachafruto tiene un área de 34.28 km² y de ella hace parte la quebrada Sajonia. Esta cuenca ha sufrido grandes transformaciones por la construcción de obras civiles de gran envergadura como el aeropuerto José María Cordova y la zona franca.

La Microcuenca Sajonia hace parte de la cuenca que drena hacia el altiplano correspondiente a la quebrada Yarumito. Corresponde a una corriente juvenil, la cual de manera incipiente está labrando su cauce, aunque presenta varios tributarios de mediana longitud. Esta corriente está enmarcada dentro de colinas medias de topes redondeados y lomos largos.

Se caracteriza por presentar un cordón de rastrojo alto, lo que separa esta corriente de amplias áreas de potreros limpios y enmalezados; el agua es ligeramente turbia, el sustrato está compuesto por rocas, piedras y material vegetal; el cauce es amplio; en el sitio de muestreo se perciben malos olores provenientes de la descomposición del material vegetal, que se acumula en algunos puntos dentro de la corriente.

En esta zona, muchas de las quebradas se caracterizan por presentar un cauce superficial y estrecho, donde el sustrato está constituido por lodo, con plantas enraizadas emergentes u ocasionalmente acuáticas, ofreciendo sustrato para un número limitado de especies de macroinvertebrados bioindicadores, recorriendo terrenos, que en la mayoría de los casos, son potreros limpios y enmalezados. En las áreas aledañas a las corrientes, se observan suelos blandos y pantanosos, con establecimiento de macrófitas, que dan idea de ser un fenómeno permanente.

A continuación se presentan los caudales de la Quebrada Sajonia para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años:

Tabla 4-3 - Caudales Quebrada Sajonia

Cuenca	Area	Pendiente	Longitud	Intensidad (mm/hr)	Caudal (m3/s)
--------	------	-----------	----------	--------------------	---------------

No.	Abcisa	Nombre	(km ²)	(%)	(m)	25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
1	km18+570	Q. Sajonia	0,081	27,8	360	203	221	250	3,70	4,00	5,20
2	km18+817		0,014	46,4	140	380	473	558	1,09	1,35	1,59
3	km18+980		0,074	22,9	480	265	298	342	4,09	4,59	5,28
4	km19+250		3,284	11,5	3.000	86	92	99	59,03	64,65	71,24
5	km19+350		0,128	19,0	780	203	221	250	5,50	5,97	6,75
6	km19+350		0,064	20,0	450	265	298	342	3,63	5,00	5,00

Fuente: Inteinsa 2011

De otro lado la Microcuenca La Aguadita hace parte de la Cuenca Santa Elena, la cual se encuentra ubicada en la zona centro oriental del municipio de Medellín, en el centro del departamento de Antioquia, al interior de un rectángulo de coordenadas extremas: 834402E -844463E y 1.176.398N - 1.185.301N. Limita al norte con las Microcuencas de las quebradas El Ahorcado, El Molino y parte de Piedras Blancas, por el oriente con la cuchilla la Gulupera, al sur con el municipio del Retiro y las cuencas de las quebradas La Presidenta y La Poblada y al occidente con el Río Aburrá. Nace en el cerro Espíritu Santo en la cota 2720, recorriendo tramos rurales y urbanos y desemboca al río Medellín en la cota 1445. En el área urbana la conforman las comunas Villa Hermosa, Buenos Aires y la Candelaria.

El nacimiento de esta quebrada está ubicado al oriente, limitando por la derecha con la microcuenca de la quebrada El Cerro y por la izquierda con la microcuenca de la quebrada El paraíso. Cuenta con siete nacimientos, todos con una deficiente protección arbórea y de ellos el ramal principal nace en el cerro del Espíritu Santo Corregimiento Santa Elena¹.

La cuenca tiene una superficie total de 45,08 km² y una longitud del cauce principal de 15,40 km, la cual nace a 2.674 msnm y desemboca en el río Aburrá a 1.438 msnm, con una pendiente media de 1,27%.

La red de drenaje total de la quebrada Santa Elena tiene 146.07 km de canal natural, 12.28 km de canal artificial y 26.06 Km de coberturas. En la cuenca hay inventariados 187 afloramientos y 206 captaciones, distribuidas así: 2 de carácter municipal, 4 son veredales, 32 comunitarias y 168 particulares.

El aprovechamiento del agua es fundamentalmente para el uso doméstico y agrícola.

Con respecto a los usos del suelo, la quebrada Santa Elena presenta condiciones aceptables, pues el uso predominante es el protector, aunque debe tenerse muy presente, que no siempre las coberturas vegetales que componen este uso son las más indicadas. Otro uso de extensión considerable es el uso pecuario, en el cual no siempre se respetan los retiros a las fuentes hídricas y nacimientos; igual sucede con las áreas de protección-producción, donde en muchos casos los residuos de la explotación forestal son arrojados al cauce.

En cuanto a tenencia de la tierra, se tiene un alto grado de conflicto, pues muchos de los predios no cumplen con lo estipulado en la normatividad que en el momento rige con respecto a áreas.

Los principales afluentes de la Quebrada Santa Elena son:

¹ Hydra e instituto Mi Rio, 1997

Vertiente norte: quebradas Cedro, Santa Bárbara, El Chiquero, El Sapero, La Castro, San Antonio, La Arenera, Chorro Hondo, Pativilca, La Aguadita, La Loca, El Ñato y La Gallinaza.

Vertiente sur: San Pedro, Bocana, La Espadera, La Seca, La Salada, Media Agua, El Chupadero, La Pastora, El Vergel, La India, La Cangreja, La Milagrosa y La Palencia.

La red de drenaje de la cuenca en la vertiente Norte presenta cauces largos y sinuosos, en la vertiente sur los cauces son cortos y rectilíneos. La orientación de las corrientes en la parte alta tiene tres formas: oriente-occidente, norte-oriente y sur-norte llegando a la parte media de la cuenca. En la zona media y baja se presenta orientación de los cauces sur-norte, sur-occidente, noroccidente y oriente-occidente en la zona cubierta hasta la confluencia con río Aburrá.

Después de conocer algunas generalidades de la cuenca de la Quebrada Santa Elena se procederá a describir Microcuenca La Aguadita, la cual es una vertiente escarpada asociada al cañón de esta corriente, constituida por anfibolitas de grano fino, color gris oscuro a negro y bandeamiento cerrado, en general subhorizontal.

Los afloramientos de roca son discontinuos por la presencia de vegetación y algunos botones de suelo limo-arcilloso que alcanzan los siete metros de espesor.

En el siguiente cuadro se resumen los parámetros más importantes de las Quebradas Sajonia y la Aguadita:

Tabla 4-4 - Parámetros Q. Aguadita y Q. Sajonia

Parámetro	Q. La Aguadita	Q. Sajonia
Área (km ²)	0,977	3.507
Pend(%)	37,1	11.5
Long.(m)	1400	3000
Tc min (°C)	20	16,2
Caudal ecológico (l/sg)	10.81	25.7
Caudal medio (l/sg)	42.68	164

Fuente: Inteinsa 2011

A continuación se presentan los caudales de la Quebrada La Aguadita para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años:

Tabla 4-5 - Caudales Q. Aguadita

Cuenca			Area (km ²)	Pendiente (%)	Longitud (m)	Intensidad (mm/hr)			Caudal (m ³ /sg)		
No	Abscisa	Nombre				25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
36	km10+290	Q. Aguadita	0,977	37,10	1400	180,62	195,7	221	40,44	47,80	56,25

Fuente: Inteinsa 2011

En el siguiente cuadro se presentan también los datos de caudales de las Quebradas Sajonia y La Aguadita que han sido tomados directamente por la Concesión Túnel Aburrá Oriente:

Tabla 4-6 - Caudales aforados por la Concesión Túnel Aburrá Oriente para la Q. Aguadita y Q. Sajonia

Fecha de muestra	Caudal l/s	
	Q. Sajonia	Q. Aguadita
10/01/2010	83,7	

Fecha de muestra	Caudal l/s	
	Q. Sajonia	Q. Aguadita
02/02/2010	34,4	
03/03/2010	41	
10/03/2010	55	
10/04/2010	57	
18/05/2010	96,2	
21/06/2010	158,7	33,46
02/08/2010	172	50,66
01/09/2010	194	187,3
01/01/2011	241,6	48
01/02/2011	256,2	48,13
20/03/2011	290,2	99,89
20/05/2011	290,6	68
20/06/2011	263,9	39,01
25/07/2011	283,8	36,98
18/08/2011	173,3	48,41
26/09/2011	173,3	49,18
Promedio	159,16	64,46

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

A continuación se presenta la demanda del recurso hídrico en la Quebrada Sajonia, según las concesiones otorgadas por CORNARE, ya que sobre la Q. La Aguadita no existen concesiones legalmente otorgadas por Corantioquía:

Tabla 4-7 - Usos del Agua Q. Sajonia

Quebrada Sajonia		
Uso	No. De Concesiones	Caudal (l/s)
Doméstico	184	99,34
Riego	70	1,38
Pecuario	36	1,75
Psicicola	12	5,06
Generación energía	2	16,00
NA	6	
Total	310	123,54

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.1.2 Abastecimiento de agua para instalaciones provisionales requeridas en la Construcción de las vías a cielo abierto del proyecto

A continuación se presenta la descripción de la infraestructura que se planea construir para captar el recurso hídrico, por fuente de abastecimiento:

Tabla 4-8 - Infraestructura requerida para las concesiones requeridas en la construcción de la vía a Cielo Abierto ubicada

en el costado occidental del Túnel Santa Elena

Afluyente Q Sajonia	
Descripción	Características
Obras de derivación	Dique de 1,5m de altura por 4,6 m de ancho con captación por medio de rejilla en fondo de 0,50 x 0,18 m para captar hasta 10 l/s, seguido de una estructura de control de caudales por medio de orificio y comunicado con una cámara de succión para bombeo de 10 l/s y un vertedero de control. Proyectados en Concreto reforzado.
Caseta de Bombeo	Cuarto donde se aloja el sistema de bombeo y se ubica una bomba de caudal con capacidad de 10 l/s. Una vez se garantice el caudal otorgado, este será bombeado hasta un tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento que se proyecta instalar contará con sistema de control de flujo (flotador regulador) y medidor de caudal. De este sitio se hace la distribución a los diferentes puntos de consumo.
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de obras mediante tuberías de PVC en los diámetros calculados.
Fuente Sin Nombre (Quebrada La india)	
Obras de derivación	Se construirá una captación lateral con rejilla de fondo (0.30 x 0.10 m). El dique de captación y control tendrá una longitud de 4.5 m y una altura de 0.90 m la cual contará a su vez con obra de control de caudal y vertedero de excesos. Estas obras se proyectan construir las en concreto reforzado.
Cajas de inspección	De la obra de control se derivará por medio de tubería de PVC hasta dos cajas de inspección, luego llegará el caudal hasta un tanque desarenador.
Tanque desarenador	El tanque desarenador contará con 3 compartimentos y una tubería de rebose que conduce el caudal de exceso a la fuente. Después de que el caudal pase por el tanque Desarenador llegará hasta el tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento a instalar contará con sistema de control de flujo y medidor de caudal.
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de oficinas y el portal occidental mediante tuberías de PVC de los diámetros calculados.
Fuente Q. La Espadera	
Obras de derivación	Se construirá una captación lateral con rejilla de fondo (0.30 x 0.10 m). El dique de captación y control tendrá una longitud de 4.5 m y una altura de 0.90 m, la cual contará a su vez con obra de control de caudal y vertedero de excesos. Estas obras se proyectan construir las en concreto reforzado.

Cajas de inspección	De la obra de control se derivará por medio de tubería de pvc hasta dos cajas de inspección, luego llegará el caudal hasta un tanque desarenador.
Tanque desarenador	El tanque desarenador contará con 3 compartimentos y una tubería de rebose que conduce el caudal de exceso a la fuente. Después de que el caudal pase por el tanque desarenador llegará hasta el tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento a instalar contará con sistema de control de flujo y medidor de caudal.
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de puentes y vía occidental mediante tuberías de pvc de los diámetros calculados.
Fuente Q. La Pastora	
Obras de derivación	Se construirá una captación lateral con rejilla de fondo (0.30 x 0.10 m). El dique de captación y control tendrá una longitud de 4.5 m y una altura de 0.90 m la cual contará a su vez con obra de control de caudal y vertedero de excesos. Estas obras se proyectan construirlas en concreto reforzado.
Cajas de inspección	De la obra de control se derivará por medio de tubería de PVC hasta dos cajas de inspección, luego llegará el caudal hasta un tanque desarenador.
Tanque desarenador	El tanque desarenador contará con 3 compartimentos y una tubería de rebose que conduce el caudal de exceso a la fuente. Después de que el caudal pase por el tanque desarenador llegará hasta el tanque de almacenamiento.
Tanque de almacenamiento	El tanque de almacenamiento a instalar contará con sistema de control de flujo y medidor de caudal.
Conducción	Del tanque de almacenamiento se conducirá el caudal hasta la zona de oficinas y el portal occidental mediante tuberías de PVC de los diámetros calculados.

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.1.2.1 Determinación de consumos para los diferentes usos

Para el uso doméstico otorgado en la concesión de aguas se determinó que el consumo por persona en cada frente sería de 50l/hab/día y en total se plantea que laboren 30 trabajadores por cada fuente, para el resto de las actividades industriales que consisten en: preparación de concretos y mezclas para obras, humectación de materiales y de áreas desprovistas de acabados, se consideró que sería necesario un caudal de 4.9 l/s para las Quebradas la Espadera y la Pastora y de 1.98 l/s para el afluente de la Q. Sajonia y para la Fuente Sin Nombre (Quebrada La India), sin embargo una vez se comience con las actividades y se instale el medidor de caudal se tendrán datos más exactos acerca del caudal utilizado.

Para el consumo doméstico en la fase constructiva se utilizará agua de botellón.

En el Anexo 2.1 – Plano AO-VI-HI-BOC-02, 01 – Plano AO-VI-HI-BOC-04, Plano AO-VI-HI-BOC-03, Plano AO-VI-HI-BOC-05, se pueden observar los diseños de las diferentes obras de captación que fueron concesionadas para el proyecto de Conexión Vial Aburrá Oriente.

4.1.2.2 Descripción de las Microcuencas de las Quebradas La Pastora, La Espadera, afluente de la Q. Sajonia y Fuente Sin Nombre (Q. la India)

A continuación se presentan los caudales de las Quebradas La Pastora, La Espadera, afluente de la Q. Sajonia y Fuente Sin Nombre (Q. La India) para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años:

Tabla 4-9 - Caudales de diseño fuentes concesionadas vía a cielo abierto

Cuenca		Área (km ²)	Pendiente (%)	Longitud (m)	Intensidad (mm/hr)			Caudal (m ³ /s)		
No.	Nombre				25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
1	Afluente Q Sajonia	0,244	25,92	849	241,96	273,80	305,36	12,0	14,3	16,9
2	Fuente Sin Nombre – A. La India	0,189	18,80	909	241,96	273,80	305,36	9,3	11,0	13,1
3	La pastora	0,244	46,18	1,256	325,05	373,7	418,18	16,2	19,5	23,1
4	La Espadera	4,373	20,11	4,009	325,05	373,71	418,18	113,7	130,7	149,17

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.1.3 Reporte de Análisis físico químicos y Microbiológicos realizados en las fuentes concesionadas

En la caracterización ambiental del proyecto se realizaron muestreos físico - químicos y microbiológicos para las Quebradas Sajonia, Afluente Q. Sajonia, La Aguadita, La Pastora, La Espadera y fuente sin nombre (quebrada La India), en los siguientes puntos de muestreo:

Subcuenca	Código	Nombre De La Quebrada	Referencia	Coordenadas			Q (L/S)
				X	Y	Z	
Vía Cielo abierto	CA1	Q. La Espadera Aguas arriba del eje		839963	1180342	1946	96,2
	CA2	Espadera aguas abajo		839986	1180522	1909	123,5
	CA5	Q. La Pastora aguas abajo		838342	1180178	1911	1
	CA10	Q. La India Aguas abajo	Rebose del tanque la pastora	837156	1180645	1804	3,7
Santa Elena	SE23	Q. La Aguadita (Portal Occidental)	Portal Occidental	840971	1180302	2011	5,9
Salazar	S8	Q. Salazar o Sajonia portal oriental	Portal oriental	847730	1175359	2205	133,2
	S9	Afluente - Salazar	Vía doble calzada (finca Castanesa)	848369	1175090	2200	2,1

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

Los niveles de pH en el agua son muy importantes sobre todo para el suministro de agua potable ya que es un factor a considerar en los procesos de coagulación, desinfección, ablandamiento y control de corrosión; y en los procesos de tratamiento biológico, en donde el pH debe ser controlado de tal forma que no afecte el crecimiento y adecuado desempeño bacteriano. El pH en los afluentes estudiados varía entre 7,02 el valor más bajo, para la quebrada Sajonia y 8,2 el valor más alto, para el Afluente de la Quebrada Sajonia, según Roldan (1992), los valores de pH en las

aguas naturales varía entre 6 y 9, entonces se puede decir que las corrientes de agua estudiadas están dentro de este rango, tal como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 4-10 - Calidad del Agua Fuentes Concesionadas

Estación	CA1	CA2	CA5	CA10	SE23	S8	S9
Variable	Q. La Espadera Aguas arriba	Espadera aguas abajo	Q. La Pastora aguas abajo	Fuente Sin Nombre Q. La India Aguas abajo	Q. La Aguadita	Q. Salazar o Sajonia	Afluente1 - Sajonia
Coordenada X	839952	839985	838339	837135	840968	847727	848366
Coordenada Y	1180335	1180517	1180171	1180634	1180295	1175352	1175083
Coordenada Z	1946	1909	1911	1804	2011	2205	2200
T agua(°C)	16,2	16,2	17,2	18	14,9	17,1	16,1
Oxígeno Disuelto (mg/l)	7,75	7,62	7,63	7,8	6,35	7,07	6,72
Saturación de Oxígeno (%)	102,3	101,1	100,6	96,1	9,65	95,1	65
Conductividad (µS/cm)	164	189	281	202	174	51	27,1
pH	7,78	7,61	7,24	7,1	7,1	7,02	8,4
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	6,88	6,87	8,7	5,22	7,91	7,55	6,72
DBO (mg/L)	1,89	1,89	1,86	4	1,89	1,89	1,89
DQO (mg O ₂ /L)	2,46	2,46	2,46	17	9,2	36	21
Turbiedad (N.T.U)	0,93	0,67	2,37	8,29	0,91	2,5	11,2
Alcalinidad Total (mg CaCO ₃ /L)	62	59,5	98,5	40	56,5	18,5	12
Acidez Total (mg CaCO ₃ /L)	2	3	5	3	3	2	4
Amonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	0,06	0,06	0,06	0,47	0,06	0,092	0,06
Nitritos (mg NO ₂ ⁻ /L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nitratos (mg NO ₃ ⁻ /L)	3,971	3,798	1,62	0,25	1,53	0,322	0,252
Fósforo Total (mg P/L)	4,281	0,065	1,312	0,171	0,065	2,706	3,293
Potasio (mg K ⁺ /L)	1,9	2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9
Hierro Total (mg Fe/L)	0,31	0,08	0,19	0,74	0,071	0,648	0,508
Sólidos Totales (mg ST/L)	100	102	169	163	93	46	37
Sólidos Disueltos Totales (mg SDT/L)	93	101	159	143	89	43	17
Sólidos Suspendidos Totales (mg SST/L)	6,6	4,23	8,6	21	4,3	4,23	20

Estación	CA1	CA2	CA5	CA10	SE23	S8	S9
Variable	Q. La Espadera Aguas arriba	Espadera aguas abajo	Q. La Pastora aguas abajo	Fuente Sin Nombre Q. La India Aguas abajo	Q. La Aguadita	Q. Salazar o Sajonia	Afluente1 - Sajonia
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0	0	0	0,2	0	0	0
Sulfatos (mg SO ₄ ⁻² /L)	5,03	6,69	12,83	34,65	7,878	1,508	1,36
Cloruros (mg Cl/L)	4,54	7,41	14,57	6,39	9,653	2,002	1,831
Grasas/o Aceites(mg Grasas y Aceites/L)	12	9,32	13	9,32	9,32	9,32	9,32
Fenoles (mg C ₆ H ₆ /L)	0,001	0,001	0,012	0,009	0,001	0,001	0,001
Detergentes (mg SAAM/L)	0,05	0,05	0,11	6,06	0,05	0,05	0,076
Dureza Calcica (mg CaCO ₃ /L)	7,28	85,86	29,14	21,82	18,769	6,8	4,533
Dureza Magnésica (mg CaCO ₃ /L)	59,96	59,32	72,65	11,59	36,511	7,943	3,706
Cobre (mg Cu/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cadmio (mg Cd/L)	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Plomo (mg Pb/L)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Zinc (mg Zn/L)	0,02	0,02	0,02	0,033	0,02	0,02	0,02
Cromo Total (mg Cr/L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cromo Hexavalente (mg Cr(VI)/L)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	3040	11200	3280	120300	17330	1700000	1200000
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	330	350	20	4000	100	79000	180000

Fuente: GSA 2.012

Las concentraciones de oxígeno disuelto están influenciadas por el grado de contaminación del agua, por factores como la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. El comportamiento de este parámetro también depende de las condiciones propias del sitio de muestreo, por ejemplo descarga de vertimientos cercanos, por actividad ganadera etc. La concentración óptima de oxígeno en un cauce de agua superficial es cercana a 18 mg/l; sin embargo, en los sitios de muestreo las concentraciones halladas están en un promedio de 7,3, en el que el valor más alto fue obtenido en la Fuente Sin Nombre Aguas Debajo de la Q. La India y en la Quebrada la Espadera.

Con base en los resultados de los muestreos se estimó el índice de Calidad del Agua, el cual permite apreciar que en la Microcuenca alta y media (Altiplano y vereda Media Luna) el agua es de

calidad media. Debido a la menor intervención de la quebrada por vertimientos de aguas residuales. No obstante, tan pronto la quebrada hace ingreso al área urbana y va recibiendo descargas de aguas residuales de los barrios marginales orientales, la calidad del agua va deteriorándose, lo cual se refleja en la reducción de calidad del agua observada en el tramo urbano inicial, por incremento de indicadores como la DBO5, DQO y otros (barrio Alejandro Echavarría), esta afectación se mantiene y se empeora en el último tramo de la quebrada antes de su enterramiento (barrio la Toma), donde se encuentra un agua de mala calidad, debido al alto número de descargas de aguas residuales.

4.1.4 Abastecimiento para el acueducto para el sistema contraincendio del túnel el seminario

Para suplir el agua del sistema contraincendio se tiene previsto derivar el caudal necesario del Tanque de Acueducto Municipal – Medellín, La Pastora, localizado al este del portal norte del túnel, en la parte alta de la vertiente norte de La Cuchilla del Seminario, en la cota 1844 msnm aproximadamente. Dicha derivación, hasta el tanque de almacenamiento, tiene una longitud de 217 m en tubería de Ø6" en HF. Véase Anexo 2.1 - planos construcción.

El tanque de almacenamiento para el sistema contraincendio se diseñó con una capacidad de 150 m³ de capacidad nominal, con el fin de atender una demanda del sistema contraincendio de 500 gal/min durante más de una hora. El tanque se proyectó de concreto reforzado con dos compartimientos para mantener el suministro de agua cuando se haga mantenimiento en uno de ellos.

Anexo a este tanque se previó la construcción de una caseta para la localización del equipo de bombeo requerido para suministrar las presiones al sistema. Véanse el Anexo 2.1 - planos construcción.

4.1.5 Abastecimiento para el acueducto para el sistema contraincendio del Túnel de Santa Elena y para las edificaciones de administración y control

Luego de inspeccionar las fuentes de agua y los acueductos existentes en la zona, se determinó que la alternativa más apropiada para suplir el agua del sistema contraincendio, consiste en derivarla del acueducto Sajonia-Alto Vallejo que se alimenta de la quebrada El Yarumo. Dicho acueducto tiene un caudal abundante y sus aguas están adecuadamente tratadas.

El sistema de acueducto para este túnel consiste básicamente en un ramal de tubería de PVC presión, de 4" de diámetro, que se desprende del tubo principal del acueducto mencionado y llega hasta un tanque de almacenamiento localizado cerca al portal oriental del túnel, en la cota 2.205. Véase el Anexo 2.1 – Planos de Construcción.

El tanque de almacenamiento para el sistema contraincendio se diseñó con una capacidad de 150 m³, con el fin de atender una demanda del sistema contraincendio de 500 gal/min durante más de una hora, con este almacenamiento se atenderán también el sistema contraincendio y los servicios de las edificaciones de los portales oriental y occidental. El tanque se proyectó de concreto reforzado con dos compartimientos para mantener el suministro de agua cuando se haga mantenimiento en uno de ellos.

Desde una caseta de bombas y mediante un sistema hidroneumático que ayuda a obtener las presiones de servicio, se conduce el agua hasta las edificaciones del portal oriental y para el peaje

ubicado en este sector para el sentido Rionegro-Medellín, a través de una tubería de PVC presión de diámetro variable. Como consumo se seleccionó un caudal de 150 l/hab/día, de acuerdo con los requerimientos usuales en este tipo de edificaciones, para servir a una población de 20 habitantes en cada portal; el consumo máximo diario se consideró igual a 1,4 veces el consumo promedio diario y el consumo máximo horario se tomó igual a 1,4 veces el consumo máximo diario. De la misma forma, desde la caseta de bombas sale una tubería de hierro al carbono de 6 pulgadas de diámetro que alimenta el sistema contraincendio del túnel; en este caso una bomba centrífuga suministra la cabeza de presión requerida por el primer hidrante de la red, pues los demás hidrantes no necesitan de este mecanismo ya que su localización garantiza la presión exigida por la N.F.P.A.

El agua para los servicios de las edificaciones del portal occidental se deriva de un tubo de PVC presión, de 1" de diámetro que sale de la tubería del sistema contraincendio y alimenta un tanque de 5 m³ de capacidad, localizado en la berma de talud de la plazoleta, en la cota 2.040; adicionalmente a la derivación extraída para alimentar el tanque de almacenamiento, se pretende sacar otra derivación para alimentar la caseta de administración y control del peaje que se encuentra a 2400 m hacia el sector del portal de Seminario; dicha conducción abastecerá las instalaciones hidrosanitarias de esta edificación. Véase plano AO-VI-HI-019. Para el dimensionamiento de las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams.

Anexo a este tanque se previó la construcción de una caseta para la localización del equipo de bombeo requerido para suministrar las presiones en cada una de los sistemas. Véanse el Anexo 2.1 - Planos AO-VI-SC-002, 003, 004 y 005.

4.2 Aguas subterráneas

Teniendo en cuenta que según los Estudios Hidrogeológicos realizados en los Túneles de Seminario y de Santa Elena, se espera tener un caudal de infiltración de 3 l/sg y 72 l/sg respectivamente, se planea reutilizar estas aguas de infiltración para las diferentes actividades de obra durante la etapa de construcción y para abastecer los edificios de control.

A continuación se presentan los resultados de la investigación geoelectrica realizada y la valoración de los caudales de las aguas de infiltración para diferentes escenarios en cada uno de los túneles a construir en el proyecto.

4.2.1 Investigación Geoelectrica

Los resultados de las investigaciones geoelectrica representada específicamente en tomografía eléctrica descrita en el anexo del Estudio Hidrogeológico se describen a continuación. En la siguiente figura se representa la escala cromática con los valores de resistividad:

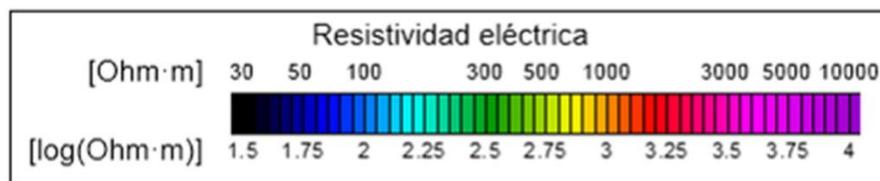


Figura 4-1 - Escala cromática de los valores de resistividad eléctrica.
Fuente: Consorcio Geodata

A continuación se presentan las tomografías eléctricas relacionadas con las progresivas de los túneles, cabe aclarar que estas deben tomarse como aproximadas, puesto que la geofísica fue realizada en medio del trazado de los tubos que integran los túneles Seminario y Santa Elena.

4.2.1.1 Análisis de la investigación geoelectrónica Túnel Seminario.

ERT 5 – AB (PK 5+050 – PK 5+590)

El perfil ERT AB, se indica en la siguiente figura y se encuentra detallado en el Anexo del Estudio Hidrogeológico (Anexo 3-3). Con esta línea se evidencia la presencia de varios tipos de materiales que se han dividido en 4 clases (nivel 1, nivel 2A y 2B, nivel 3) y presentan las siguientes características eléctricas:

Nivel 1: es un fino manto detrítico con espesor variable de 5 a 10 m, que cubre irregularmente la roca erosionada (Nivel 2). Los valores de resistividad eléctrica son muy altos ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$) y corresponden a depósitos de desechos de alta permeabilidad.

Nivel 2: representa la zona alterada y fracturada del macizo rocoso superficial, y se ha dividido en dos subclases (Nivel 2A y Nivel 2B): el Nivel 2A presenta valores de resistividad eléctrica entre 300 y 500 Ωm (color de verde a amarillo) y representa la roca superficial alterada y fracturada. El Nivel 2B presenta una alteración de tipo arcilla con valores entre 30 y 50 Ωm (sección azul). El espesor de la capa de alteración es de aproximadamente 40-50 m.

Nivel 3: presenta los valores de resistividad eléctrica $> 500 \Omega\text{m}$ (roca fracturada) y hasta más de 5000 Ωm (macizo rocoso). Esta es la roca "sana". El límite entre el Nivel 2 y 3 está indicado por una línea discontinua. El túnel se desarrolla en inmediaciones de este límite.

Se encuentran 5 posibles zonas de falla con inclinación sub-vertical. Desde el punto de vista hidrogeológico, se observa lo siguiente:

- ♣ El potencial acuífero está contenido en el Nivel 2, pero tiene una permeabilidad promedio muy baja (Nivel 2B), probablemente relacionado con un acuicludo.
- ♣ La interferencia potencial de la superficie con la cota del túnel se relaciona con la presencia de las zonas de falla y en este sentido es probable que los pocos manantiales identificados por encima de la cota del túnel y en inmediaciones de su trazado en superficie, resulten con alguna probabilidad de afectación. Esto será tratado y ampliado mediante la aplicación de la metodología DHI (Drowdown Hazard Index), cuyos resultados serán entregados con el tercer informe.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrónico corresponden a:

- ♣ Qd: Depósitos de deslizamiento
- ♣ Qf: Depósitos de flujos de lodos y/o escombros
- ♣ QII: Depósitos antrópicos
- ♣ KgSD: Gabro de San Diego y suelo residual asociado

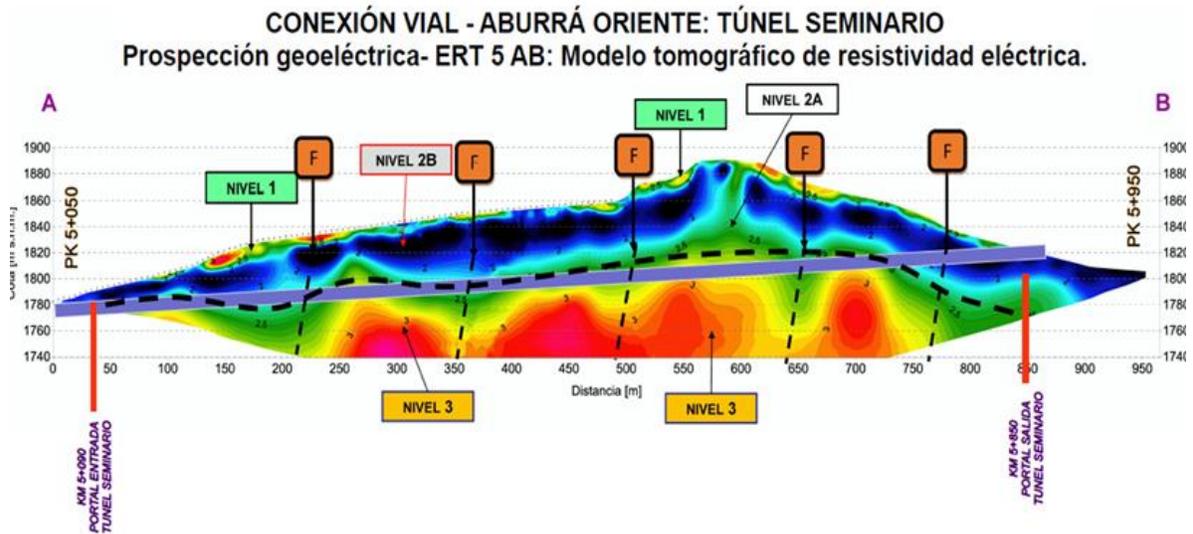


Figura 4-2 - Prospección geoelectrica Túnel Seminario

4.2.1.2 Análisis de la investigación geoelectrica Túnel Santa Elena.

Sector ERT 1 (PK 10+350 – PK 11+810)

Los perfiles ERT 1 CD y ERT 1 DE, indicados en las siguientes figuras y detallados en el Anexo 3-3 – Estudio Hidrogeológico; evidencian la presencia de diversas clases de materiales, los cuales se han dividido en 4 clases (nivel 1, nivel 2A y 2B, nivel 3) con la siguiente características eléctricas.

ERT1 CD (PK 10+350 – PK 11+190)

Nivel 1: se trata de un nivel superior de materiales discontinuos con resistividad superior de 1000 Ωm ($\rho > 1000 \Omega m$, y colores de rojo a violeta), y con espesor de aproximadamente 20-25 metros, que se interpretan como materiales de cobertura y depósitos de bloques.

Nivel 2A: evidencia valores de resistividad entre 300-1000 Ωm ($300 < \rho < 1000 \Omega m$, colores de verde a naranja), interpretable como depósitos con materiales más delgados en términos de granulometría y/o con matriz más fina.

Nivel 2B: es representado por los sectores con valores inferiores a 300 Ωm ($\rho < 300 \Omega m$, colores verde-azul a azul oscuro), se pueden interpretar como depósitos de materiales parcialmente saturado a saturado: estos sectores están situados entre las abscisas PK 10+500 y PK 10+850.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está contenida en el Nivel 1 con una buena permeabilidad, por lo que no se descarta la circulación de agua procedente desde cotas superiores.
- ♣ La Interferencia potencial con la excavación del túnel puede darse a través de materiales permeables continuos o zonas de fallas. Hasta la profundidad de investigación alcanzada, aprox. 60m, los valores de resistividad no evidencian la presencia de roca sana continua.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrico corresponden a:

- ♣ Qd: Depósitos de deslizamiento
- ♣ TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado

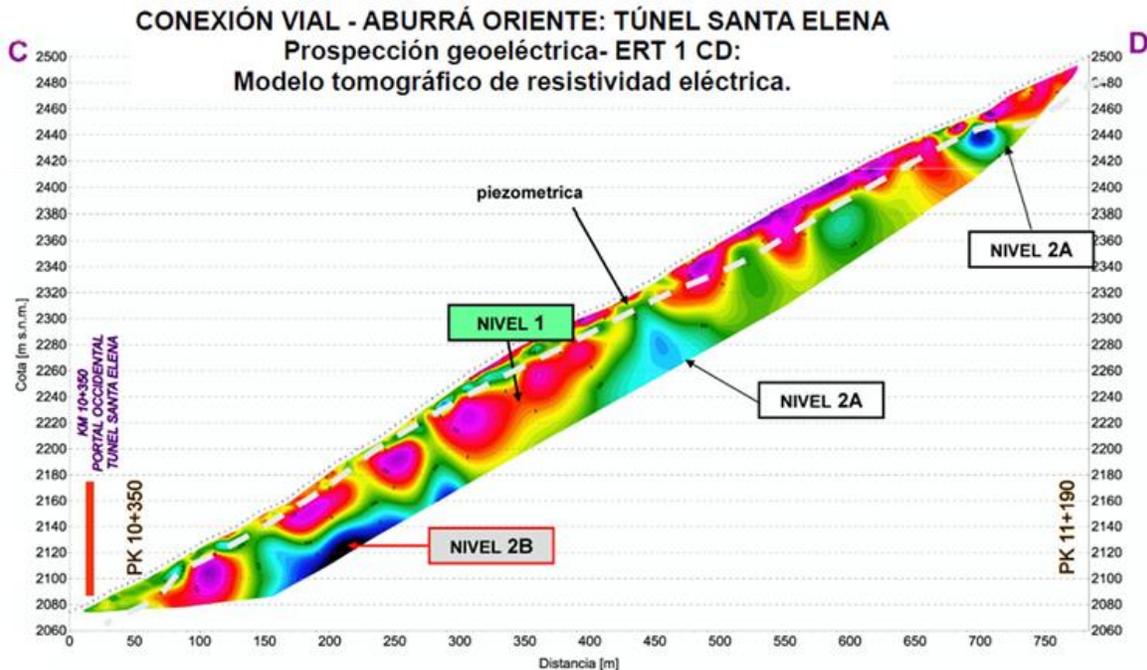


Figura 4-3 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 1

ERT1 DE (PK 11+180 – PK 11+810)

Nivel 1: representa una capa de cobertura cerca de 10 – 20 metros con valores entre 500 y 1000 Ωm ($500 < \rho < 3000 \Omega m$, y colores de verde a rojo): lo valores más altos de resistividad en la capa de cobertura indican la presencia de bloques y/o suelo vegetal poroso.

Nivel 2: se localiza por debajo de la capa superior con un espesor de 20 – 30 metros, los materiales tienen valores muy bajo de resistividad e inferiores a 300 Ωm ($30 < \rho < 300 \Omega m$), estos se relacionan con roca muy meteorizada y arcillosa (Nivel 2B).

Nivel 3: se localiza en el sector derecho de la base de la sección, evidencia valores correspondientes a roca sana con resistividades mayores a 1000 Ωm ($\rho < 1000 \Omega m$, y colores de rojo a violeta):

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está contenida en el Nivel 2, con una permeabilidad promedio muy baja (Nivel 2B).
- ♣ La interferencia potencial de la superficie con la cota del túnel se relaciona con la presencia de las zonas de falla.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrico corresponden a:

- TRaM: Anfibolitas de Medellín y su correspondiente suelo residual
- JKgmS: Gneis Milonítico de Sajonia y/o esquistos actinolíticos con sus correspondientes suelos residuales asociados.

CONEXIÓN VIAL - ABURRÁ ORIENTE: TÚNEL SANTA ELENA
Prospección geoelectrónica- ERT 1 DE: Modelo tomográfico de resistividad eléctrica.

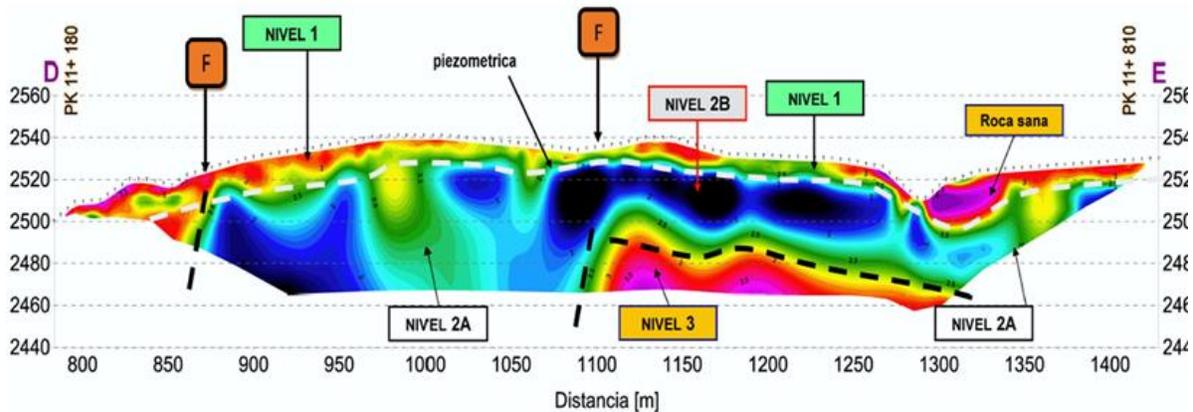


Figura 4-4 - Prospección Geoelectrónica Túnel Santa Elena Tramo 2

Sector ERT 2 (PK 11+870 – PK 14+090)

Los perfiles ERT 2 FG - HI, indicados en las figuras y detalladas en el Anexo del Estudio Hidrogeológico, evidencian la presencia de diversos materiales que se han dividido en 4 clases (nivel 1, nivel 2A y 2B, nivel 3) con las siguientes características eléctricas.

ERT2 FG (PK 11+870 – PK 13+420)

Nivel 1: Presenta una capa de cobertura entre 10-20 metros con valores superiores a 500 Ωm ($\rho > 500 \Omega\text{m}$) y color de verde a rojo.

Nivel 2: ubicado por debajo de la capa superior con un espesor de 20-30 metros presenta valores muy bajos de resistividad inferiores a 300 Ωm ($30 < \rho < 300 \Omega\text{m}$), que se relacionan con una cobertura de material suelto y/o roca muy alterada y arcillosa (Nivel 2B); los valores entre 200-300 Ωm corresponden a los sectores de roca meteorizada.

Nivel 3: localizado entre 20-40 metros de profundidad, los valores suben delineando un sustrato rocoso que es en parte meteorizado en el sector incluido entre las abscisas PK12+570 y PK12+970.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- La superficie del acuífero está contenido en el Nivel 2, con una permeabilidad promedio muy baja (Nivel 2B).
- No se evidencian estructuras superficiales que pueden interferir con la excavación del túnel.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrónico corresponden a:

- TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado

- ♣ JKgmS: Gneis Milonítico de Sajonia y/o esquistos actinolíticos con sus correspondientes suelos residuales asociados.
- ♣ Qf: Depósitos de flujos de lodos y/o escombros

CONEXIÓN VIAL - ABURRÁ ORIENTE: TÚNEL SANTA ELENA
Prospección geoelectrónica- ERT 2 FG: Modelo tomográfico de resistividad eléctrica.

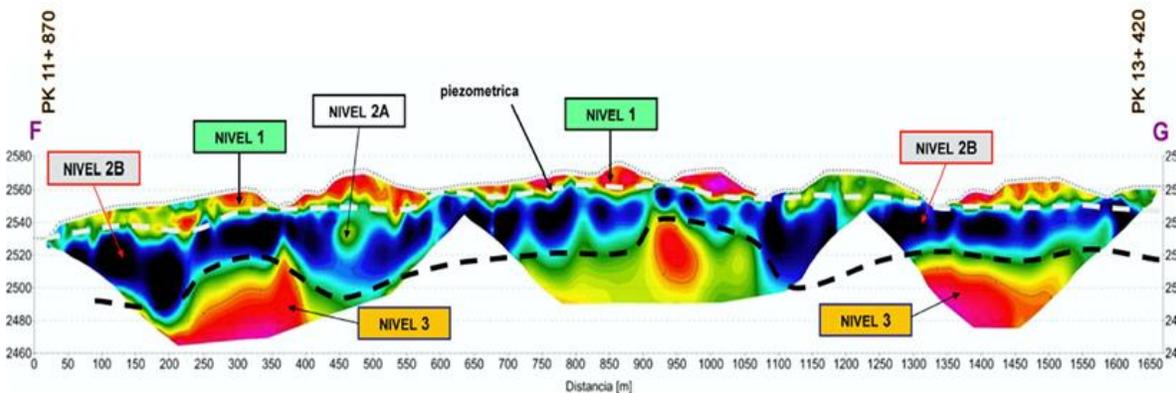


Figura 4-5 - Prospección Geoelectrónica Túnel Santa Elena Tramo 3

ERT2 HI (PK 13+410 – PK 14+090)

Nivel 1: se localiza con una capa de cobertura acerca de 5-10 metros con valores superiores a $500 \Omega m$ ($\rho > 500 \Omega m$) y color de verde a rojo.

Nivel 2: se encuentra por debajo de la capa superior con un espesor de 20-40 metros, está caracterizado por valores muy bajos de resistividad inferiores a $300 \Omega m$ ($30 < \rho < 300 \Omega m$), que se relacionan con una cobertura de material suelto y/o roca muy alterada y arcillosa (Nivel 2B); los valores entre $200-300 \Omega m$ corresponden a sectores de roca meteorizada.

Nivel 3: Entre 20-40 metros de profundidad los valores suben delineando un sustrato de roca sana.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está contenido en Nivel 2, pero tiene una permeabilidad promedio muy baja (Nivel 2B).
- ♣ La interferencia potencial con la excavación del túnel está vinculada a la presencia de la zona de falla entre las abscisas PK 13+810 – PK 13+860.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrónico corresponden a:

- ♣ TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado
- ♣ Qat: Depósitos Aluviotorrenciales
- ♣ Qf: Depósitos de flujos de lodos y/o escombros

CONEXIÓN VIAL - ABURRÁ ORIENTE: TÚNEL SANTA ELENA
Prospección geoelectrica- ERT 2 HI: Modelo tomográfico de resistividad eléctrica.

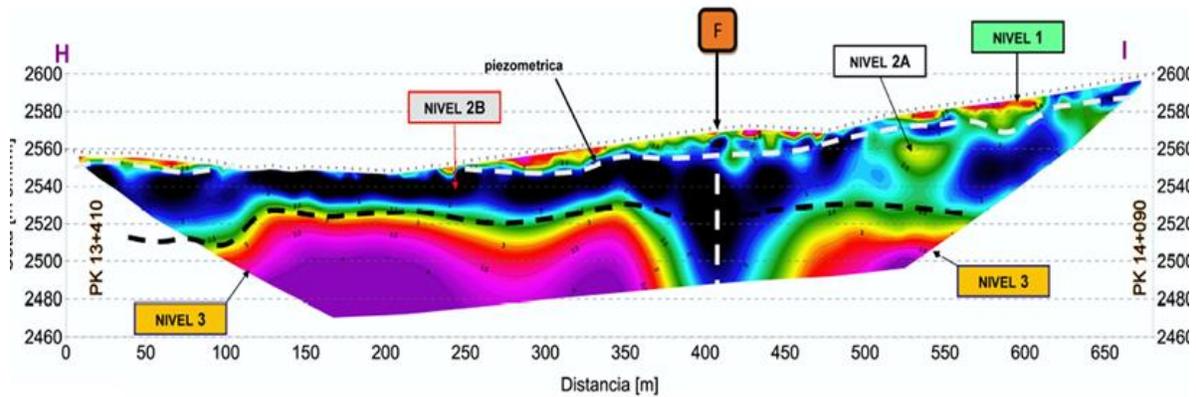


Figura 4-6 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 4

Sector ERT 3 (PK 14+170 – PK 17+100)

Los perfiles ERT 3 LM – NO – PQ – QR, indicados en las figuras anteriores y detalladas en el Anexo 3-3 – Estudio Hidrogeológico, evidencian la presencia de distintos tipos de materiales dividido en 3 clases (nivel 1, nivel 2A, nivel 3) con la siguiente características eléctricas:

ERT3 LM (PK 14+170 - PK 14+600)

Nivel 1: una capa superior de roca poco meteorizada y sana con espesores de 0 a 5 metros con valores superiores a 1000 Ωm ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$) y color de naranja-rojo a violeta.

Nivel 2: se ubica por debajo de la capa superior y presentan valores inferiores a 500 Ωm ($\rho < 500 \Omega\text{m}$), que se relacionan con zonas fracturadas – Nivel 2A, y con roca alterada y arcillosa – Nivel 2B: el Nivel 2 es discontinuo y es interrumpido por el Nivel 3.

Nivel 3: se encuentra a la misma cota del nivel 2 y tiene valores de resistividad mayores a 1000 Ωm ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$), y representa una roca sana y/o poco fracturada.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está contenida en el Nivel 2, con una permeabilidad promedio buena en los sectores del Nivel 2A y baja cerca del Nivel 2B.
- ♣ La interferencia potencial de la superficie con la cota del túnel se relaciona con la presencia de las zonas de falla.

La unidad geológica presente en correspondencia e inmediaciones del trazado de este perfil geoelectrico corresponde a:

- ♣ TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado

CONEXIÓN VIAL - ABURRÁ ORIENTE: TÚNEL SANTA ELENA
Prospección geoelectrica- ERT 3 LM: Modelo tomográfico de resistividad eléctrica.

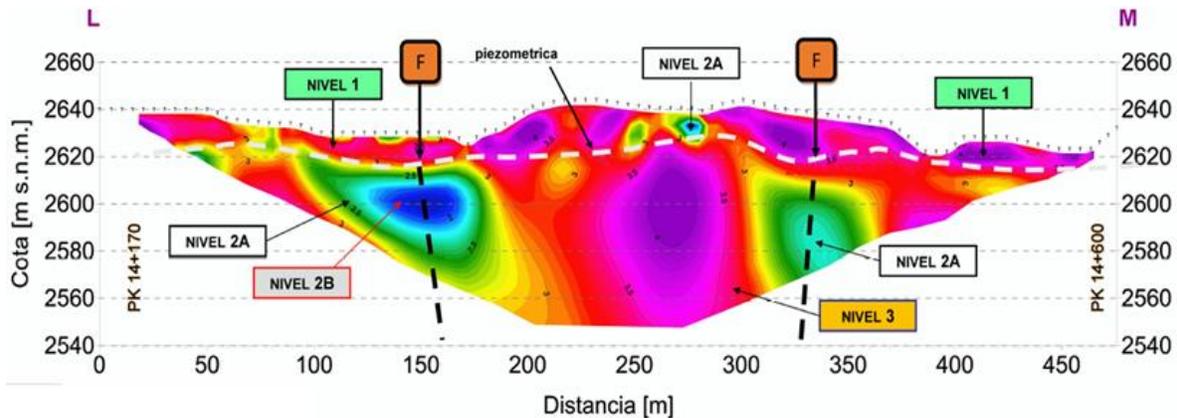


Figura 4-7 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 5

ERT3 NO (PK 15+900 – PK 16+030)

Nivel 1: está representado por una capa de cobertura con espesores entre 5 y 10 metros y valores cerca de $1000 \Omega\text{m}$ probablemente constituido por materiales sueltos.

Nivel 2: presenta un espesor de 20 metros saturado ($200 < \rho < 500 \Omega\text{m}$), que parece estar constituido por la parte meteorizada y fracturada del sustrato rocoso.

Nivel 3: tiene un espesor entre 20 y 30 metros, los valores de resistividad aumentan ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$), siendo esto un indicativo de roca sana.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede detectar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está en el Nivel 2, con una permeabilidad promedio buena en los sectores del Nivel 2A.
- ♣ La interferencia potencial de la superficie con la cota del túnel se relaciona con la presencia de las zonas de falla.

La unidad geológica presente en correspondencia e inmediaciones de este perfil geoelectrico corresponde a:

- ♣ KcdS: Stock de Samarcanda y suelo residual asociado

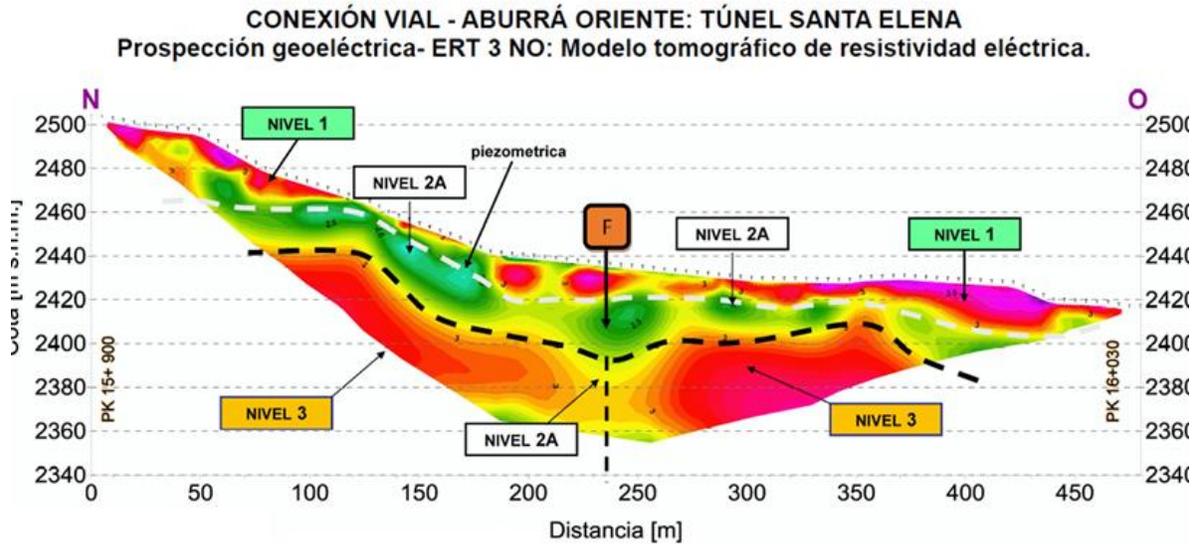


Figura 4-8 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 6

ERT3 PQ (PK 15+900 – PK 16+340)

Nivel 1: está representado por una capa de superior de roca poco meteorizada y sana con espesores entre 0 y 5 metros con valores superiores a $1000 \Omega m$ ($\rho > 1000 \Omega m$) y color de naranja-rojo a violeta. La presencia de una capa de material vegetal fuertemente poroso y la continuidad en profundidad de materiales resistivos no permiten diferenciarlos, porque los valores de resistividad son similares.

Nivel 2: se encuentra por debajo de la capa de cobertura, con valores inferiores de resistividad de $500 \Omega m$ ($\rho < 500 \Omega m$), que indican la presencia de zonas fracturadas. Nivel 2A: el nivel 2 es discontinuo y es interrumpido por el Nivel 3.

Nivel 3: el Nivel 3 se encuentra a la misma cota del nivel 2 y tiene valores de resistividad mayores a $1000 \Omega m$ ($\rho < 1000 \Omega m$), representa una roca sana y/o poco fracturada.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se observa lo siguiente:

- ♣ La superficie de acuífero está contenido en Nivel 2, con una permeabilidad promedio buena en los sectores del Nivel 2A y baja cerca del Nivel 2B.
- ♣ La interferencia potencial con la excavación del túnel está vinculada a la presencia de dos zonas de fallas.

La unidad geológica presente en correspondencia e inmediaciones de este perfil geoelectrico corresponde a:

- ♣ KcdS: Stock de Samarcanda y suelo residual asociado

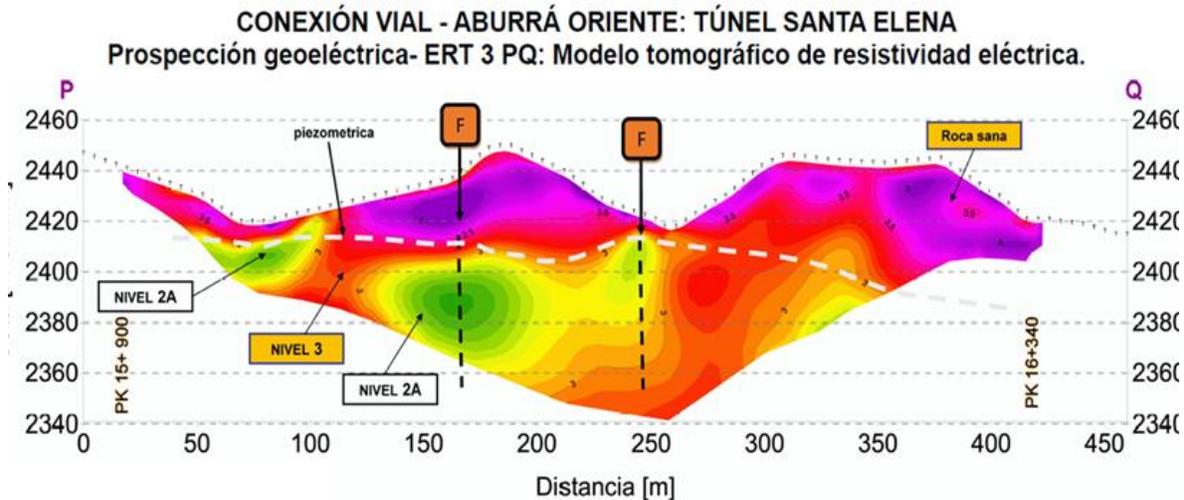


Figura 4-9 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 7

ERT3 QR (PK 16+300 – PK 17+100)

Nivel 1: está representado por una capa superior de roca poco meteorizada y sana con espesores entre 0 y 5 metros con valores superiores a $1000 \Omega m$ ($\rho > 1000 \Omega m$) y color de naranja-rojo a violeta. La presencia de una capa de material vegetal fuertemente poroso y la continuidad en profundidad de materiales resistivos no permiten diferenciarlos, porque los valores de resistividad son similares.

Nivel 2: se encuentra por debajo de la capa de cobertura, con valores inferiores de resistividad de $500 \Omega m$ ($\rho < 500 \Omega m$), lo que indica la existencia de zonas fracturadas. Nivel 2A: el nivel 2 es discontinuo y es interrumpido por el Nivel 3.

Nivel 3: el Nivel 3 se encuentra a la misma cota del nivel 2 y tiene valores de resistividad mayores a $1000 \Omega m$ ($\rho < 1000 \Omega m$), representa una roca sana y/o poco fracturada.

Una variación importante en las distribuciones de los valores de resistividad eléctrica se encuentra a partir de la abscisa PK 0+400 m, de hecho la calidad de la roca empeora y las zonas fracturadas (Nivel 2A) aumentan de extensión con valores más bajos de resistividad incluidos entre $200 \Omega m$ y $800 \Omega m$ ($200 \Omega m < \rho < 1000 \Omega m$).

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar lo siguiente:

- ♣ La superficie del acuífero está contenida en el Nivel 2, con una permeabilidad promedio buena en los sectores del Nivel 2A.
- ♣ La interferencia potencial de la superficie con la cota del túnel se relaciona con la presencia de zonas de fallas (Stock de Samarcanda).

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones de este perfil geoelectrico corresponden a:

- ♣ KcdS: Stock de Samarcanda y suelo residual asociado.
- ♣ TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado.

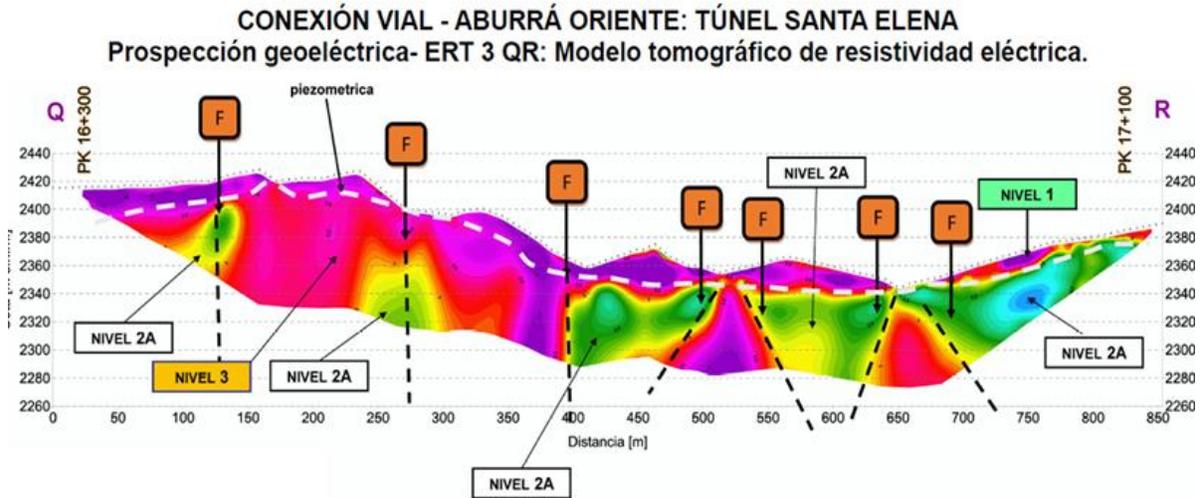


Figura 4-10 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 8

Sector ERT 4 (PK 17+170 – PK 18+580)

El perfil ERT 4 ST, indicado en la figura 46, detallado en el Anexo 3-3 - mapa 10, muestra la presencia de diversos materiales que se han dividido en 4 clases (nivel 1, nivel 2A y 2B, nivel 3) y presentan las siguientes características eléctricas:

Nivel 1: capa superior de roca fracturada y alterada con espesor entre 0 y 5 metros, y resistividades cercanas a 1000 Ωm ($\rho > 1000 \Omega\text{m}$) y color de naranja-rojo a violeta.

Nivel 2: se localiza bajo la capa superior con un espesor entre 15 y 20 metros, con valores muy bajos de resistividad inferiores a 300 Ωm ($30 < \rho < 300 \Omega\text{m}$), que se relacionan con material suelto y/o roca muy alterada y arcillosa (Nivel 2B); los valores entre 200-300 Ωm corresponden a los sectores de roca meteorizada.

Nivel 3: Espesor entre 10 a 20 metros de profundidad, los valores aumentan demarcando un sustrato rocoso.

Desde el punto de vista hidrogeológico, se puede observar las siguientes:

- ♣ La superficie del acuífero está contenida en el Nivel 2, y está dividido en los Niveles: 2A con permeabilidad buena y el nivel 2B con permeabilidad promedio muy baja.
- ♣ La interferencia potencial con la excavación del túnel está relacionada a la presencia de zonas de fallas.

Las unidades geológicas presentes en correspondencia e inmediaciones de este perfil geoelectrico corresponden a:

- ♣ JKuM: Dunitas de Medellín y suelo residual asociado
- ♣ TRaM: Anfibolitas de Medellín y suelo residual asociado

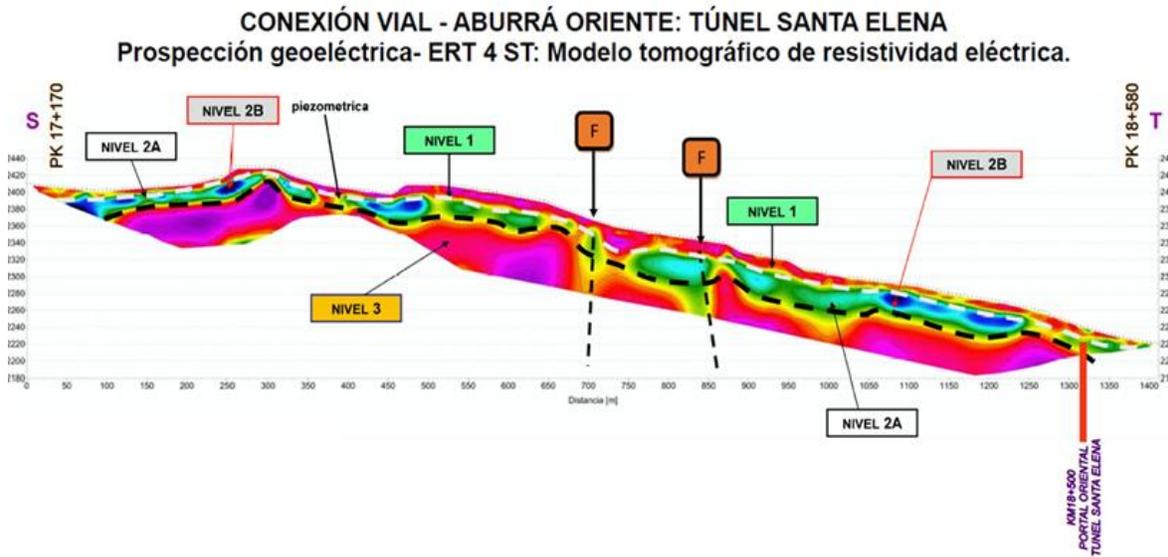


Figura 4-11 - Prospección Geoelectrica Túnel Santa Elena Tramo 9

4.2.1.3 Investigación Magnetotelúrica

Adicional a las pruebas de tomografía eléctrica anterior, se realizó una investigación Magnetotelúrica para el túnel de Santa Elena, ejecutándose 67 sondeos AMT realizados a lo largo del Túnel de Santa Elena con interdistancias entre ellos que en general oscilaron entre 50 y 100m, las distancias menores se ubicaron en correspondencia con las zonas donde la tomografía geoelectrica y la información geológica evidenciaron presencia y/o posibilidad de estructuras geológicas importantes como fallas superficiales (geoelectrica), lineamentos y/o contactos litológicos (información geológica). (Ver Estudio Hidrogeológico Anexo 3-3).

El análisis del perfil AMT XY, indicado en la siguiente figura y detallado en el Anexo del Estudio Hidrogeológico, evidencia la presencia de materiales con diferentes características eléctricas, el rango y distribución de valores permiten interpretar un modelo de cinco capas con diferente significado geológico e hidrogeológico:

Capa A: Caracterizada con un valor elevado de resistividad, generalmente entre 10000 Ω m, que son compatibles con roca de muy buena calidad, en el perfil corresponde a las zonas con colores de rojo a violeta.

En el sector izquierdo del perfil, desde el punto AMT 51 y hasta AMT 47-56, los valores de resistividad son superiores a 1000 Ω m ($\rho > 1000 \Omega$ m), con colores de verde a violeta. Hasta la cota 2000 m.s.n.m. los valores son superiores a 2000 Ω m y son compatibles con roca de buena calidad.

Capa B: Constituida por materiales con valores de resistividad en el rango de 10000 a 1000 Ω m ($10000 < \rho < 1000 \Omega$ m) indicativos de roca fracturada. En el perfil corresponde a las zonas con colores de naranja a verde.

Capa C: Se localiza en la zona de depresión topográfica de Samarcanda. Los valores de resistividad son inferiores a 1000 Ω m ($\rho < 1000 \Omega$ m), y son indicativos de roca muy fracturada y/o meteorizada.

Capa C/D: Se localiza en el sector occidental del perfil (margen izquierdo). Los valores son inferiores a 1000 Ωm ($\rho < 1000 \Omega m$), lo que puede deberse a dos factores: el primero es una fuerte alteración de la roca y el segundo a una variación litológica.

La anomalía de este sector es investigada con tres puntos adicionales audio - magnetoteléuticos y también por la investigación geoelectrónica, como se puede ver en la siguiente figura y en el Anexo 3-3 – Estudio Hidrogeológico. Adicionalmente, para aclarar la incertidumbre que genera esta anomalía, se llevó a cabo la segunda campaña de sondeos AMT, cuyos resultados serán presentados posteriormente como una complementación al presente informe.

Las progresivas relacionadas con el perfil AMT presentado a continuación deben tomarse como aproximadas puesto que la geofísica fue realizada en medio de los dos tubos que conforman el Túnel Santa Elena.

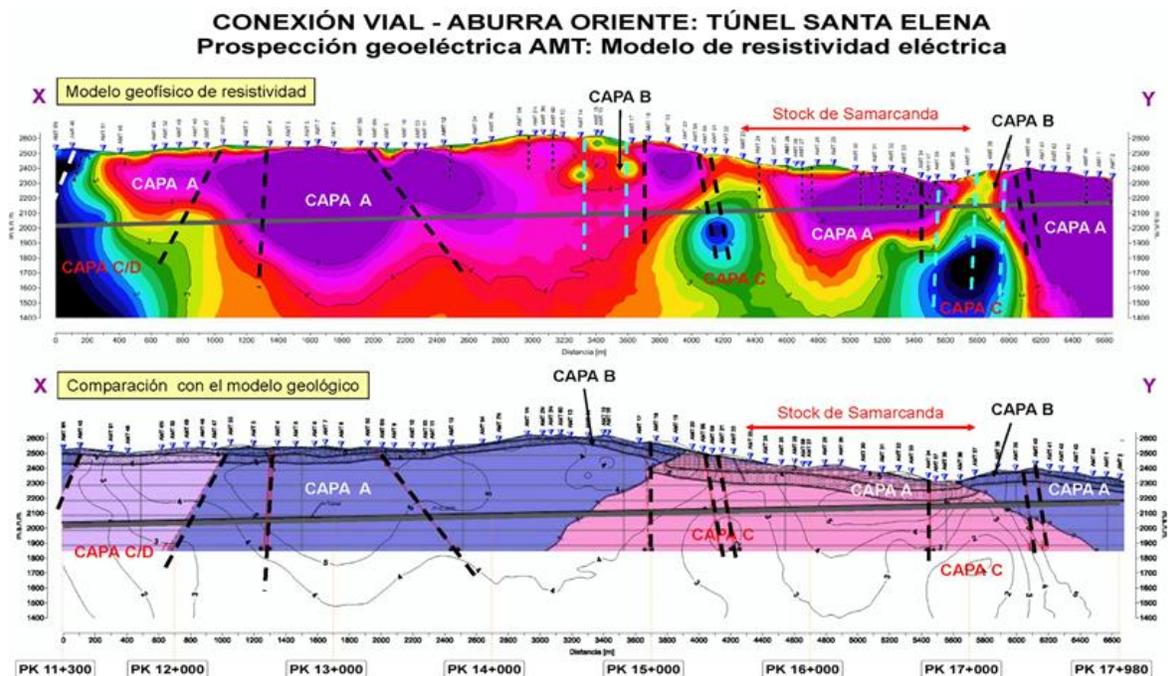


Figura 4-12 - Prospección Geoelectrónica AMT Túnel Santa Elena

4.2.2 Valoración de la presencia de agua en los túneles

Tal como fue detalladamente explicado en la caracterización ambiental del proyecto, a continuación se describen los caudales que se espera sean drenados en los diferentes portales de los túneles Seminario y Santa Elena:

4.2.2.1 Agua drenada en el túnel seminarario

Como se ha ilustrado en la Caracterización Ambiental y en el Estudio Hidrogeológico, la previsión del ingreso de agua el interior de los túneles presentado en este capítulo se refieren a un régimen permanente, con túneles excavados sin ningún tipo revestimiento (provisional o definitivo) y sin ningún tipo de pre-inyección.

El túnel Seminario ha sido diseñado con dos tubos, aunque en una primera fase operativa funcionará con un sólo tubo bidireccional de radio promedio igual a 5 m aproximadamente,

excavado con pendiente constante de aproximadamente 6%, que aumenta progresivamente desde el portal de SW hacia el portal NE. El agua drenada en condiciones estacionales serán por lo tanto captadas por gravedad hacia el portal SW.

El proceso de valoración del caudal estabilizado drenado por la obra subterránea se ha llevado a cabo a través del análisis de los parámetros hidrogeológicos obtenidos de las pruebas realizadas en piezómetros, del monitoreo de puntos de agua (subterráneos y superficiales) y de las observaciones directas realizadas en el terreno.

Los datos fueron interpretados también en función del modelo hidrogeológico de referencia y del contexto geológico-estructural de la zona de influencia de los túneles.

La valoración se ha efectuado considerando el túnel completamente drenante. Eventuales reducciones de caudal obtenidas como consecuencia de las intervenciones de pre-inyección del macizo rocoso podrán ser valoradas en una segunda fase.

El caudal total estabilizado y acumulado esperado en el portal SE del túnel Seminario, de acuerdo a la valoración hecha en esta fase del proyecto, está comprendido entre 3 y 9 l/s.

El perfil hidrogeológico del túnel Seminario presenta una característica simétrica. De hecho se prevé que entre los dos portales, el túnel será excavado en los tramos iniciales dentro de suelos que derivan de la alteración del basamento cristalino (complejo hidrogeológico Q3, Q4 y Q5). Se trata de terrenos de granulometría limosa a areno-limosa con permeabilidad de baja a media, de acuerdo a la clasificación de AFTES, con caudal estabilizado del orden de 0.02 a 3 l/s/100m. En su conjunto, estos sectores caracterizados por presentar las menores coberturas, contribuirán con caudales estabilizados totales comprendidos entre 1,5 y 2,4 l/s.

De acuerdo a lo evidenciado en los piezómetros (ING-PER-DES-02), la zona del portal NE, por aproximadamente 90 m, debería ser excavada por encima de la napa freática y por lo tanto, para este tramo, no se prevé flujos constantes al interior del túnel, sino goteos menores en periodos de mayor lluviosidad.

La parte central del túnel Seminario se prevé que será excavado al interior de la roca correspondiente al complejo 5, el cual se caracteriza en su conjunto por presentar fajas de roca alterada y fracturada localmente interceptada por fallas que pueden extenderse hasta la cota del túnel. En su conjunto, el caudal esperado en este tramo contribuye con cerca del 75% del caudal drenado por todo el túnel.

En correspondencia con las zonas de fallas se han previsto entradas puntuales de agua al interior del túnel con caudales estabilizados máximos de 0,8 l/s. Este caudal podrá reducirse a través de la ejecución de pre-inyecciones. Sin embargo, dada la fracturación total del macizo, será importante verificar la posibilidad efectiva de realizar a través de inyecciones el aislamiento del acuífero del entorno del túnel en modo tal de aislar e impermeabilizar la faja de fracturación más intensa responsable del flujo puntual. Es importante anotar que el caudal máximo estimado en la tabla siguiente toma en cuenta una recarga constante por encima del túnel. En realidad, en el caso del túnel Seminario, la escasa presencia de agua en superficie y la modesta cuenca de recarga localizada en su área de influencia, conllevan a considerar poco probable la ocurrencia del caudal máximo reportado en la tabla mencionada anteriormente. El caudal máximo se debe tomar como referencia para el equipamiento de los sistemas de evacuación del agua durante la excavación.

El detalle de la previsión del ingreso de agua al interior de la excavación, se ilustra en la tabla siguiente, en la cual se indican los flujos de agua esperados en el escenarios en que el proyecto se realizara sin la aplicación del método constructivo que establece las preinyecciones y en el escenario en el que se establece la construcción del túnel con preinyecciones:

Tabla 4-11 - Valoración de la presencia de agua en los túneles (l/s)

	Pre-inyecciones	1 tubo	
		MIN (l/s)	MAX (l/s)
Seminario	Sin	3	9
	Con	2	3
	Delta (%)	-30%	-67%

Fuente: Consorcio Geodata

4.2.2.2 Agua drenada en el túnel Santa Elena

Como se indicado anteriormente, la previsión del ingreso de agua al interior de los túneles presentado en éste capítulo se refiere a un régimen permanente, **con dos tubos excavados y sin ningún tipo de revestimiento (primario o definitivo) y sin ningún tipo de pre-inyección.**

El túnel Santa Elena ha sido diseñado con dos tubos, uno de los cuales se prevé absorba el tránsito bidireccional y el otro sirva de túnel de emergencia. Los dos tubos que serán construidos simultáneamente, tienen pendientes constantes de aprox. el 2%, ascendentes desde el portal occidental hacia el portal oriental. El agua drenada a largo plazo en régimen estabilizado será evacuada por gravedad hacia el portal occidental.

Los dos tubos presentan secciones diferentes: el tubo localizado más al norte tiene un radio mayor respecto a aquel situado más al sur, presentando éste último una sección vertical más reducida en aproximadamente 1 – 2 m, en función de la sección tipo. Sin embargo, a fines del cálculo del caudal esperado en cada uno de ellos, se ha considerado un radio medio equivalente de 5 m para los dos tubos, que compensa las diferencias de diámetro entre sus ejes verticales y horizontales respectivamente.

La suma de los dos tubos determina el drenaje de un caudal estabilizado comprendido entre 159 y 266 l/s. La amplitud del intervalo entre valores mínimos y máximos se debe al intervalo de permeabilidad máximo y mínimo utilizado en el cálculo el cual determina el caudal que será drenado a lo largo de las zonas de falla y tramos con mayormente fracturados. Este intervalo de permeabilidad ha sido deducido de las pruebas de permeabilidad ejecutadas, cuyos resultados han sido reportados en capítulos precedentes.

Como en el caso descrito del túnel Seminario, la excavación del túnel se dará en un contexto caracterizado por terrenos sueltos en correspondencia con el portal occidental y de un basamento rocoso más o menos fracturado en la parte central del trazado.

Los terreno sueltos que se prevén sea interceptados por la excavación desde los portales están constituidos principalmente por limos, limos arcillosos (complejo hidrogeológico Q3) que representan los horizontes más superficiales el perfil de alteración del basamento rocoso constituido por Anfibolitas (Anfibolitas de Medellín). Estos terrenos tienen permeabilidades generalmente bajas. La intercepción de estos depósitos superficiales no debería determinar flujos

de agua importantes al interior del túnel. En estos tramos se espera en el mayor de los casos, goteo y humedad.

Se prevé por lo tanto interceptar un horizonte de transición entre el suelo y la roca (complejo hidrogeológico Q5). Se trata de un horizonte con espesor cercano a los 50 m, con permeabilidad de media a baja, constituido por rocas fracturadas y materiales predominantemente areno-limosos productos de la alteración del basamento. Estos sectores se caracterizan a lo largo del túnel Santa Elena por presentar cargas hidráulicas entre 10 – 20 m. Los caudales estabilizados previstos son del orden de 3 l/s/100m de túnel.

De las progresivas aproximadas PK 14+480 hasta la PK 18+470, la excavación del túnel se prevé sea hecha al interior del basamento rocoso. Más exactamente, entre las progresivas PK 14+480 y 14+790 y entre PK 17+310 y 18+470, la excavación interceptará la Anfibolita de Medellín (Complejo hidrogeológico 1), mientras que en el sector central entre las progresivas aproximadas PK 14+790 y 17+310, se prevé que el túnel intercepte la granodiorítica del Stock de Samarcanda relacionado con la génesis del Batolito Antioqueño (complejo hidrogeológico 4a), en cuyos bordes se localiza el complejo hidrogeológico 4b en correspondencia con las Anfibolitas. La permeabilidad del Stock de Samarcanda es generalmente más alta respecto a los litotipos del Batolito Antioqueño, debido a su mayor grado de fracturación.

En cada caso, el grado de fracturación se intensifica en correspondencia e inmediaciones de fallas principales o zonas fracturadas, en donde existe mayor probabilidad que ocurran flujos de agua puntuales al interior del túnel. En particular, se esperan entradas de agua puntuales a lo largo de las estructuras tectónicas principales como por ejemplo la falla de Santa Elena, que será interceptada al interior del complejo 1 en los alrededores de la PK 12+770 y a lo largo la falla del Stock de Samarcanda en los alrededores de la PK 16+900. A lo largo de estas estructuras se realizaron dos modelos numéricos de flujo con el fin de verificar su rol hidrodinámico en función de los caudales esperados en el túnel y de los impactos sobre los recursos hídricos en superficie.

El caudal estabilizado específico previsto para los tramos de roca excavados al interior de los diferentes litotipos que conforman el basamento cristalino, varían entre 0,2 y 1,7 l/s por cada 100m de túnel para las Anfibolitas del Complejo 1 y entre 2 y 20 l/s por cada 100m de túnel para los complejos 4a y 4b.

Las entradas puntuales de agua al interior del túnel, presentan a su vez caudales estabilizados que varían entre 1 y 2 l/s por cada 10 m de túnel, lo cual es coherente con los cálculos hechos mediante modelo numérico. Considerando la totalidad de las fracturas del macizo rocoso, se debe verificar la posibilidad efectiva de lograr a través de inyecciones la separación del acuífero entorno a la excavación, en modo tal que se aislen e impermeabilicen las fajas de mayor fracturación responsables de los flujos puntuales al interior del túnel.

En la tabla siguiente se muestran los valores de caudales estabilizados a lo largo de todo el túnel Santa Elena para los diferentes escenarios que se darían dependiendo del método de constructivo empleado:

Tabla 4-12 - Caudales de Infiltración Túnel Santa Elena

Método Constructivo	1 tubo		2 tubos		Delta (%)
	MIN	MAX	MIN	MAX	

Método Constructivo	1 tubo		2 tubos		Delta (%)
	MIN	MAX	MIN	MAX	
Sin Preinyecciones	132	221	159	266	+17%
Con Preinyecciones	53	63	63	72	+12-16%
Delta (%)	-60%	-71%	-60%	-73%	-

Fuente: Geodata 2.013

Como se deduce de la tabla anterior, el caudal total drenado por los dos tubos de acuerdo a la metodología de cálculo utilizado, utilizando un método constructivo preventivo como es el NAMT (Nuevo Metodo Constructivo de Tunelería Austriaco), se encuentra en un rango entre 63 a 72 l/s, valor que es solicitado para ser concesionado y reutilizado en el proyecto.

4.3 Vertimientos

Las diferentes actividades de construcción y operación del proyecto generan aguas residuales domésticas e industriales que deberán ser vertidas en los cuerpos de agua cercanos o que cruzan el proyecto.

Durante la construcción y operación del proyecto se generarán aguas residuales domésticas provenientes de la operación de las instalaciones provisionales, almacenes, oficinas administrativas, laboratorios, plantas de concreto en construcción y de los edificios de control en la etapa de operación.

De otro lado los excedentes de las aguas de infiltración captadas por los túneles Seminario y Santa Elena, según los estudios hidrogeológicos encontrados en la caracterización ambiental del proyecto deberán ser vertidas también en las fuentes de agua más cercanas, tal como se detalla más adelante.

Al igual que con las concesiones de aguas superficiales requeridas en el proyecto, dadas las ubicaciones de las instalaciones provisionales y edificios de control se ha previsto que los vertimientos industriales y domésticos se realicen sobre las quebradas Sajonia y La Aguadita respectivamente. El proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente tiene permiso de vertimientos en 2 puntos (Portales occidental y oriental del túnel Santa Elena) que tal como se resumió anteriormente fue concedido con la Resolución 1764 de 2002.

Así mismo, se requiere permiso de vertimiento para los residuos líquidos provenientes de las actividades industriales y domésticas requeridas para la construcción de las obras de la vía a Cielo Abierto aguas abajo de los puntos que poseen concesión de aguas para el desarrollo de éstas actividades, es decir sobre las quebradas Afluente Q. Sajonia y Sajonia en el sector oriental, La Pastora, La Espadera y fuente sin nombre (quebrada La India), Mediagua, Chupadero, Bocana, Cuchillón, La Pastora.

Adicionalmente se requiere permiso de vertimientos para la descarga de vertimientos industriales provenientes de las aguas de infiltración que se captan en el Túnel Seminario, de tal forma que se puedan descargar estas aguas en construcción sobre la Quebrada La Cangreja y en operación sobre la Quebrada La Loma.

En la siguiente tabla se relaciona el tipo de vertimiento, el caudal estimado, las coordenadas de la fuente receptora y si se cuenta con permiso de vertimientos anteriormente otorgado:

Tabla 4-13 - Resumen puntos de vertimientos proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente

Etapa	Tipo Vertimiento	Elemento	Fuente De Vertimiento	Caudal	Coordenadas Localización Vertimiento		Cuerpo Receptor	Permiso Vigente
					l/s	Norte (m)		
Construcción	Industrial	Planta de concreto Portal Oriental	Lavado de equipos, vehículos, patios.	0,06	1175113.7	848036.4	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Planta de Triturado, concreto y depósito Occidental	Lavado de equipos, vehículos	2	1180314.2	836918.8	Escorrentía a la Quebrada La Cangreja	Se tramita en este documento
		Lavallantas vía industrial oriental	Lavado de equipos, vehículos	0.03	1175128.9	847898.4	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Lavallantas vía acceso al portal occidental	Lavado de equipos, vehículos	0.03	1180470.4	840749.9	Descarga en obra – Quebrada Santa Elena	Se tramita en este documento
		Taller principal	Servicios sanitarios, aseo, Lavado de equipos, vehículos	0.14	1175265.9	847822	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
	Doméstico	Instalaciones provisionales Portal Oriental	Servicios sanitarios, aseo y lavandería	0.03	1175433.3	847654.3	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Instalaciones provisionales Portal Occidental	Servicios sanitarios, aseo y lavandería	0.04	1180405.8	840907.9	Quebrada La Aguadita	Resol. 1764 de 2002
		Oficinas administrativas	Servicios sanitarios, aseo y lavandería	0.07	1175155.3	847995.3	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
	Industrial	Excavación Túnel Santa Elena Portal Oriental	Perforación y lavado de túneles	80	1175433.3	847654.3	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Excavación Túnel Santa Elena Portal Occidental	Perforación y lavado de túneles	80	1180405.8	840907.9	Quebrada La Aguadita	Resol. 1764 de 2002
		Excavación Túnel Seminario Portal Marianito (Norte)	Perforación y lavado de túneles	10	1180473.4	836832.8	Quebrada La Cangreja	Se tramita en este documento
		Excavación Túnel Seminario Portal Palmas	Perforación y lavado de túneles	10	1179786.9	836164.3	Quebrada La Loma	Se tramita en este documento

Etapa	Tipo Vertimiento	Elemento	Fuente De Vertimiento	Caudal	Coordenadas Localización Vertimiento		Cuerpo Receptor	Permiso Vigente
				l/s	Norte (m)	Este (m)		
		(sur)						
		Excavación vías a cielo abierto	Lavado de equipos, humectación de materiales, bombeo aguas de cimentaciones	2	1180255.6	839908	Quebrada La Espadera	Se tramita en este documento
		Excavación vías a cielo abierto	Lavado de equipos, humectación de materiales	2	1180456.9	840719.4	Quebrada Bocana	Se tramita en este documento
		Excavación vías a cielo abierto	Lavado de equipos, humectación de materiales	2	1180210.7	839160.0	Quebrada Mediagua	Se tramita en este documento
		Excavación vías a cielo abierto	Lavado de equipos, humectación de materiales	2	1180133.0	838380.9	Quebrada La Pastora	Se tramita en este documento
Operación	Doméstico	Edificios de Control Portal Oriental T. Santa Elena	Servicios sanitarios, aseo y lavandería	0.07	1180405.8	840907.9	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Edificios de Control Portal Occidental T. Santa Elena	Servicios sanitarios, aseo	0.07	1180405.8	840907.9	Quebrada La Aguadita	Resol. 1764 de 2002
		Peaje oriental	Servicios sanitarios, aseo	0.03	1175286.1	847827.0	Quebrada Sajonia	Resol. 1764 de 2002
		Peaje occidental	Servicios sanitarios, aseo	0.03	1180181.1	838955.3	Quebrada Chupadero	Se tramita en este documento
	Industrial	Operación Túnel Santa Elena	Infiltraciones Túnel Santa Elena	150	1180389.9	840915.0	Q. La Aguadita	Resol. 1764 de 2002
		Operación Túnel Seminario	Infiltraciones Túnel Seminario	9	1179786.9	836164.3	Q La Loma	Se tramita en este documento

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.3.1 Caracterización general de las aguas residuales

Durante las fases de construcción y operación del proyecto se generarán aguas residuales domésticas e industriales, para lo cual se solicita permiso de vertimiento en los sitios referidos en el numeral anterior, teniendo en cuenta las características que se describen a continuación.

4.3.1.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas se clasifican en dos tipos: aguas grises y aguas negras.

- ♣ Aguas grises. Proceden de las actividades de aseo y limpieza de las instalaciones provisionales. Se caracterizan por tener materiales en suspensión y grasas de origen vegetal. En ellas el índice de contaminación orgánica es menor que en aguas de tipo sanitario o negras.
- ♣ Aguas negras. Se caracterizan por presentar un alto contenido de carga orgánica y una elevada población de coliformes totales y fecales; su concentración depende del caudal de aguas residuales y del número de trabajadores.

La generación de aguas residuales domésticas se dará durante la etapa de construcción y operación, aunque es de aclarar que no se realizarán vertimientos directos a los cuerpos de agua identificados en la tabla anterior, ya que las aguas residuales generadas se llevarán a un sistema de tratamiento preliminar y primario, compuesto por trampa de grasas, sedimentadores, pozo séptico tipo FAFA y descarga.

En la siguiente Tabla se presenta la caracterización típica de las aguas residuales domésticas originadas de la operación de las instalaciones provisionales:

Tabla 4-14 - Caracterización típica de las aguas residuales domésticas originadas en las instalaciones provisionales

PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES REPORTADOS
Color	UPC	> 150
Cloruros	mg Cl/l	> 150
DBO	mg O ₂ /l	> 500
DQO	mg O ₂ /l	> 600
Dureza total	mg CaCO ₃ /l	50
pH	Unid	7- 9
Sólidos disueltos	mg/l	300 – 800
Sólidos suspendidos	mg/l	100 – 200
Sulfatos	mg SO ₄ /l	40 – 100
Coliformes totales	NMP/100ml	900.000
Coliformes fecales	NMP/100ml	80.000

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.3.1.2 Aguas residuales industriales

Los vertimientos industriales procedentes de las instalaciones provisionales son generados principalmente por la realización de actividades relacionadas con el almacenamiento, manejo y/o transformación de los materiales de construcción y por tanto se espera que los vertimientos resultantes tengan altos contenidos de sólidos suspendidos y totales.

De otro lado, y dadas las características de las actividades desarrolladas al interior de los túneles, se espera que los vertimientos procedentes de la excavación presentarán las siguientes características:

Tabla 4-15 – Caracterización típica de las aguas residuales industriales originadas al interior de los túneles en construcción

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Acidez total	mg/l	2,4
Alcalinidad HCO ₃	mg/l	108,2
Cloruros	mg/l Cl	14,1
Conductividad	uS/cm	248
Cromo Hexavalente	mg/l	0,013
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	48
Fenoles	mg/l	0,001

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Fosfatos (PO ₄)	mg/l	0,06
Fósforo	mg/l	0,030
Grasas y aceites	mg/l	0,5
Hierro	mg/l	0,1
Manganeso	mg/l Mn	0,02
Nitratos (NO ₃)	mg/l N	0,05
Nitritos (NO ₂)	mg/l N	0,01
Oxígeno Disuelto	mg/l O ₂	5,48
pH	0-14	8,40
Plomo	mg/l	<0,01
Sodio	mg/l Na	7,3
Sólidos Suspendidos	mg/l	33
Sólidos totales	mg/l	195
Sulfatos (SO ₄)	mg/l SO ₄	23,5
Temperatura	°C	24,5
Turbiedad	UNT	4
Zinc	mg/l	0,04
Coliformes totales	UFC/100 ml	50
<i>E. coli</i>	NMP/100 ml	<1
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	<1

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.3.2 Determinación de los sitios de disposición, volúmenes y tratamiento previo

4.3.2.1 Aguas residuales domésticas

El sistema de drenaje y disposición de aguas residuales diseñado, recolecta las aguas servidas provenientes de los baños, sanitarios, lavamanos, etc., de las instalaciones provisionales en etapa de construcción y edificios en cada uno de los portales en etapa de operación y las conduce hasta un sistema de tratamiento consistente en un tanque séptico tipo FAFA y un lecho filtrante para finalmente ser entregadas, ya limpias, en las quebradas la Aguadita en el caso del edificio del Portal Occidental y la quebrada Sajonia para el edificio del portal oriental; mientras que para tratar las aguas residuales de las casetas de administración y control del peaje se propone un sistema compacto elaborado en poliéster reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.). Véase Anexo 4.1 - Plano. AO-VI-HI-019.

Las conducciones están conformadas por tuberías de PVC sanitaria y de concreto, de acuerdo al diámetro que deba instalarse en cada tramo. Las tuberías de las edificaciones descargan a cajas de inspección desde las cuales arrancan los tubos de recolección; en los cambios de dirección de las tuberías se colocan cajas o cámaras de inspección según la profundidad de las tuberías; también se previó que estas tuberías vayan siempre por debajo de las redes de acueducto y aguas lluvias; en algunos tramos que estarán expuestos a tráfico vehicular, se dispuso la colocación de atraques de concreto. Véanse Anexo 2.1 - Planos AO-VI-ED-023 y 024.

De acuerdo con lo indicado en las normas del Ministerio de Salud y la legislación ambiental vigente, se proyectó el tratamiento de las aguas negras mediante tanques sépticos y lechos filtrantes que garantizan la disposición final de las aguas de desecho sin que se origine contaminación de las fuentes de agua. Los tanques sépticos se diseñaron teniendo en cuenta el caudal medio diario de aguas residuales, el tiempo mínimo de retención del efluente en el tanque

- 24 horas - y el espacio necesario para la acumulación de lodos. Las estructuras se proyectaron de concreto reforzado y se dimensionaron para servir cada uno de ellos una población de 40 habitantes. Los tanques van enterrados y sus compartimientos tienen tapas removibles para hacer la extracción periódica de lodos acumulados. El diseño se ajustó a las Normas de las Empresas Públicas de Medellín.

Antes de la disposición final, las aguas provenientes del tanque séptico pasan a través de un lecho filtrante, con el fin de lograr un alto grado de depuración y así descargarlas, libres de contaminación, en las quebradas la Aguadita y la Sajonia. Dentro de los lechos conformados por capas de arena gruesa y grava triturada, se dispone un sistema de tuberías perforadas para distribuir el efluente del tanque séptico y otro para recoger el agua depurada. Véase Anexo 2.1 - Plano AO-VI-ED-026.

4.3.2.2 Aguas residuales industriales

Durante la fase de construcción se tendrán los siguientes vertimientos:

Vertimientos resultantes de actividades de transformación, manejo y almacenamiento de materiales de construcción: En la etapa de construcción operaran plantas de trituración de materiales, que transformaran los materiales provenientes de las excavaciones de los túneles que son susceptibles de reutilizar o de ser usados como materiales de construcción. De otro lado, dado la acción erosiva del agua, se espera que actividades como almacenamiento, transporte y manejo de los diferentes materiales de construcción, generen vertimientos industriales que serán conducidos a un desarenador que almacena las aguas provenientes de los canales perimetrales que están dispuestos alrededor de las zonas de acopio y transformación.

Vertimientos resultantes de la excavación y lavado de los túneles: Con el avance de las excavaciones de los túneles resultaran vertimientos asociados con los procesos de perforación, lavado del túnel y aguas de infiltración.

Las excavaciones del Túnel de Santa Elena se realizarán por ambos extremos del túnel, es decir que se avanzará en dos (2) frentes de excavación simultáneamente obteniéndose vertimientos en los dos portales, es decir que se tendrán de este tipo de vertimientos en dos puntos uno en la Quebradas Sajonia y otro en la Quebrada La Aguadita.

De otro lado las excavaciones del Túnel Seminario se realizarán en un solo frente iniciando excavaciones por el Portal Marianito (norte) de este túnel hasta conectarse con el Portal Palmas (sur), de tal forma que el vertimiento resultante asociado a la perforación, lavado y aguas infiltradas de éste túnel serán tratadas en el Portal Marianito y vertidas en la Q. La Cangreja.

En la etapa de operación, dada la pendiente final del Túnel de Santa Elena, el vertimiento obtenido por las aguas de infiltración, será vertido en su totalidad en la Quebrada La Aguadita y en el Túnel Seminario en la Quebrada La Loma.

Para manejar este vertimiento se construirán trampas de grasas, desarenadores, tanque de lodos o alternativo sustitutiva o equivalente (Ver Plan de Manejo Ambiental) en cada frente de trabajo, es decir en el Portal Oriental y Occidental del Túnel de Santa Elena, de tal manera que el agua que es entregada a los cuerpos de agua donde se realizara el vertimiento, no reciban cargas de sólidos o grasas mayores a los permitidos por la legislación colombiana, es decir el Decreto 1594/1984.

La caracterización físico-química, bacteriológica e hidrobiológica de las fuentes receptoras de vertimientos, es decir de las Quebradas Sajonia, La Aguadita, La Cangreja, La Loma, quebradas Afluente Q. Sajonia, La Pastora, La Espadera y fuente sin nombre (quebrada La India) así como el análisis de sus diferentes usos se encuentra debidamente detallado en el capítulo 3 – Caracterización Ambiental.

4.4 Ocupación de cauces

Para el proyecto se solicitó permiso de ocupación de cauces, para las diferentes estructuras a construir en el proyecto en el cruce de las vías a cielo abierto con los diferentes cuerpos de agua, tales como obras hidráulicas tipo alcantarillas -Box Couvert y puentes. En la siguiente tabla se relaciona la cantidad de estructuras que plantean ocupación de cauce, las cuales cuentan con el correspondiente permiso de ocupación de cauce otorgado por Cornare con la Resolución 131-0839 del 14 de Octubre de 2011 y que se espera queden implícitas en la modificación de la licencia ambiental que se realizará para el proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente.

En la siguiente tabla se puede observar el dimensionamiento de tuberías y alcantarillas de cajón de la vía definitiva a Cielo Abierto al portal oriental del Túnel de Santa Elena que cuentan con el correspondiente permiso de ocupación de cauce:

Tabla 4-16 - Dimensionamiento estructuras vía de acceso al Portal Oriente Túnel de Santa Elena

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
Km 18+576		16,9	Alcantarilla cajón de 2,5 x 2,5
Km18+680		4,2	Alcantarilla Cajón de 1,5 x 1,5
Km18+820		1,3	Diámetro 0,90 m
Km18+910		1,2	Diámetro 0,90 m
Km18+980		7,0	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
Km19+050		2,7	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
Km19+250	Q. Sajonia	87,3	Puente
Km19+350		10,9	Puente
Km19+460		6,1	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
Km00+170		85,4	Alcantarilla de cajón de 5,0 x 4,0
Km00+310		0,8	Diámetro 0,90 m

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

En la siguiente tabla se puede observar el dimensionamiento de tuberías y alcantarillas de cajón, de la vía definitiva a Cielo Abierto ubicada en el acceso occidental del Portal de Santa Elena que fueron aprobadas en la resolución 131-0839 del 14 de Octubre de 2011:

Tabla 4-17 - Dimensionamiento inicial de las estructuras vía de acceso al Portal Occidental del Túnel de Santa Elena

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K5+910		6,1	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K5+970		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+010	Q. La Cangreja	5,1	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K6+060		2,6	Diámetro 1,20 m
K6+145		1,1	Diámetro de 0,90 m
K6+240	Q. La India	13,1	Alcantarilla de cajón de 2,5 x 2,5

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K6+310		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+360		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+450		0,6	Diámetro 0,90 m
K6+514		6,6	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+570		0,6	Diámetro 0,90 m
K6+680		0,5	Diámetro 0,90 m
K6+700	Q. Caunces	5,8	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+770		0,7	Diámetro 0,90 m
K6+850	Q. El Cuchillón	8,7	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+928		2,6	Puente
K7+020		0,4	Diámetro 0,90 m
K7+132		10,7	Puente
K7+300		0,3	Diámetro 0,90
K7+350		7,0	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K7+407		3,2	Puente
K7+423		5,0	Puente
K7+435		0,0	Puente
K7+520		5,5	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K7+593	Q. La Pastora	23,1	Puente
K7+654		1,8	Puente
K7+820		0,9	Diámetro 0,90 m
K7+899		5,2	Alcantarilla de Cajón de 1,5 x 1,5
K7+940		1,0	Diámetro 0,90
K8+040		0,3	Diámetro 0,90
K8+176	Q. Chupadero	48,7	Puente
K8+260		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+293		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+405	Q. Media Agua	26,0	Puente
K8+500		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+570		0,5	Diámetro 0,90 m
K8+614		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+663		0,0	Diámetro 0,90 m
K8+705		3,3	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K8+740		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+800		0,7	Diámetro 0,90 m
K8+830		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+887		3,3	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K8+950		5,2	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K9+200	Q. La Espadera	154,2	Puente
K9+344		1,1	Diámetro 0,90 m
K9+415		1,4	Diámetro 0,90 m
K9+500		1,1	Diámetro 0,90 m
K9+600		0,6	Diámetro 0,90 m
K9+795		5,4	Puente

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K9+916		0,7	Diámetro 0,90 m
K10+055	Q. La Bocana	42,6	Puente
K10+150		0,7	Diámetro 0,90 m
K10+280	Q. Aguadita	54,4	Alcantarilla de cajón de 5,0 x 3,5

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

Sin embargo y debido al análisis de riesgos realizado en la zona de la vía a cielo abierto de acceso al portal occidental según el requerimiento de la Resolución ANLA 456 de 2.012, se rediseñaron y modificaron algunas estructuras con el fin de minimizar los riesgos y optimizar los diseños. En el siguiente cuadro se encuentra la relación definitiva de estructuras a construir en este tramo de vía:

Tabla 4-18 - Dimensionamiento definitivo de las estructuras vía de acceso al Portal Occidental del Túnel de Santa Elena

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K5+910		6,1	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K5+970		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+010	Q. La Cangreja	5,1	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K6+060		2,6	Diámetro 1,20 m
K6+145		1,1	Diámetro de 0,90 m
K6+240	Q. La India	13,1	Alcantarilla de cajón de 2,5 x 2,5
K6+310		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+360		0,3	Diámetro 0,90 m
K6+450		0,6	Diámetro 0,90 m
K6+514		6,6	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+570		0,6	Diámetro 0,90 m
K6+680		0,5	Diámetro 0,90 m
K6+700	Q. Caunces	5,8	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+770		0,7	Diámetro 0,90 m
K6+850	Q. El Cuchillón	8,7	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K6+928		2,6	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K7+020		0,4	Diámetro 0,90 m
K7+132		10,7	Puente
K7+300		0,3	Diámetro 0,90
K7+350		7	Alcantarilla de cajón de 2,0 x 2,0
K7+407		3,2	Puente
K7+423		5	Puente
K7+435		0	Puente
K7+520		5,5	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K7+593	Q. La Pastora	23,1	Puente
K7+654		1,8	Puente
K7+820		0,9	Diámetro 0,90 m
K7+899		5,2	Puente
K7+940		1	Diámetro 0,90
K8+040		0,3	Diámetro 0,90

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K8+176	Q. Chupadero	48,7	Puente
K8+260		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+293		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+405	Q. Media Agua	26	Puente
K8+500		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+570		0,5	Diámetro 0,90 m
K8+614		0,2	Diámetro 0,90 m
K8+663		0	Diámetro 0,90 m
K8+705		3,3	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K8+740		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+800		0,7	Diámetro 0,90 m
K8+830		0,1	Diámetro 0,90 m
K8+887		3,3	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K8+950		5,2	Alcantarilla de cajón de 1,5 x 1,5
K9+200	Q. La Espadera	154,2	Puente
K9+344		1,1	Viaducto El Chivo
K9+415		1,4	Viaducto El Chivo
K9+500		1,1	Viaducto El Chivo
K9+600		0,6	Viaducto El Chivo
K9+795		5,4	Viaducto El Chivo
K9+916		0,7	Diámetro 0,90 m
K10+055	Q. La Bocana	42,6	Puente
K10+150		0,7	Diámetro 0,90 m
K10+280	Q. Aguadita	54,4	Alcantarilla de cajón de 5,0 x 3,5

Se adoptaron como crecientes de diseño aquellas correspondientes a un periodo de retorno de 100 años para las diferentes obras hidráulicas, de acuerdo a los requerimientos de Cornare.

En las siguientes graficas se pueden observar las cuencas analizadas para las vías a cielo abierto que dan acceso a los portales oriental y occidental del Túnel de Santa Elena:

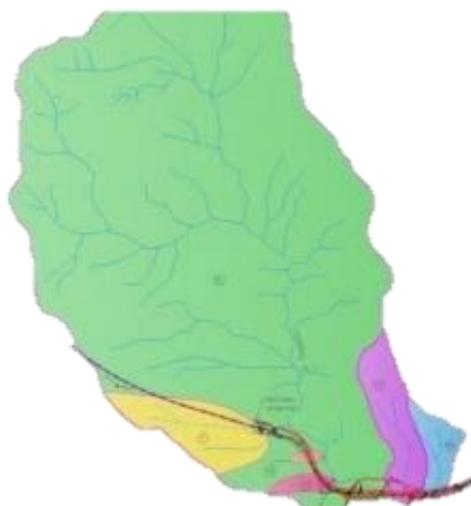


Figura 4-13 - Cuencas Acceso Portal Oriental Túnel de Santa Elena

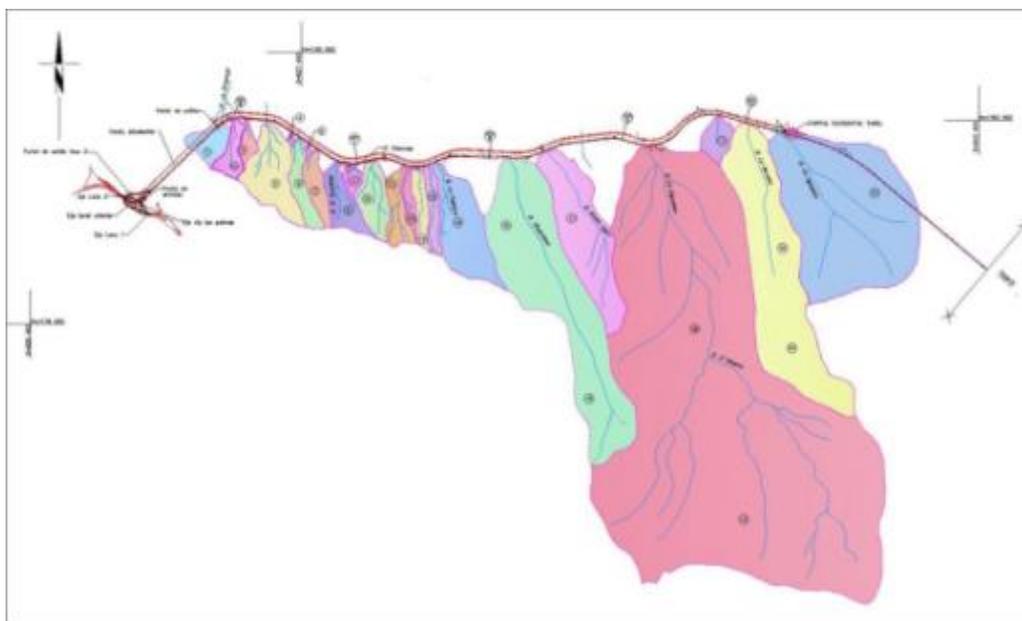


Figura 4-14 - Cuencas Acceso Portal Occidental Túnel de Santa Elena

Para el cálculo de las crecientes de diseño se realizaron los siguientes análisis (Ver Anexo 4.2):

- Se valoraron los parámetros morfométricos de cartografía actualizada de la zona con restituciones a escalas 1:10.0000 y 1:2.000.
- El tiempo de concentración o el tiempo que toma la escorrentía desde el punto más lejano hasta salir de la cuenca o área de aporte fue calculado con el promedio de los valores de tiempo de concentración obtenido por diversas fórmulas como las de Kirpich, Témez, Clarck, California Culvert Practice, entre otras.

- Los coeficientes de escorrentía, que relacionan la precipitación total con la precipitación efectiva, fueron estimados teniendo en cuenta los valores propuestos por Chow (1994).
- Para la evaluación del régimen de precipitaciones, se realizó el análisis de las estaciones pluviométricas de la zona mediante la elaboración de polígonos de Thiessen, ya que la zona se encuentra influenciada por las Estaciones Planta Villa Hermosa y Santa Elena para la zona del portal occidental del Túnel de Santa Elena y por la Estación Vasconia para el acceso del portal oriental del mismo Túnel.
- Para la estimación de los caudales de diseño, dado que la zona no cuenta con registros de caudales, se realizó una valoración de los mismos mediante el uso de relaciones lluvia – escurrimiento. Para las cuencas pequeñas, es decir aquellas que cuentan con un área menor de 1 km² se empleó el método racional y para las cuencas de mayor tamaño además del método racional, se emplearon métodos basados en hidrogramas unitarios sintéticos, como el del SOIL Conservation Service y/o el de William – Hann.

Así las cosas, a continuación se presentan los caudales de diseño para las cuencas menores a 1 km²:

Tabla 4-19 - Caudales de diseño para las cuencas menores a 1 km²

Cuenca	Abscisa	Nombre Fuente	Intensidad (mm/hr)			Caudal (m3/s)		
			Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Occ-C1	K 05+910		325,05	373,71	418,18	4,3	5,2	6,1
Occ -C1A	K 06+010	Q. Cangreja	325,05	373,71	418,18	3,6	4,3	5,1
Occ-C2	K 06+060		325,05	373,71	418,18	1,8	2,2	2,6
Occ-C3	K 06+240	Q. la India	241,96	273,80	305,36	9,3	11,0	13,1
Occ-C4	K 06+450		325,05	373,71	418,18	0,4	0,5	0,6
Occ-C5	K 06+514		325,05	373,71	418,18	4,6	5,6	6,6
Occ-C6	K 06+570		325,05	373,71	418,18	0,4	0,5	0,6
Occ-C7	K 06+700	Q. Caunces	325,05	373,71	418,18	4,0	4,9	5,8
Occ-C8	K 06+850	Q. Cuchillón	325,05	373,71	418,18	6,0	7,3	8,7
Occ-C9	K 06+928		325,05	373,71	418,18	1,8	2,2	2,6
Occ-C10	K 07+132		325,05	373,71	418,18	7,4	9,0	10,7
Occ-C11	K 07+350		325,05	373,71	418,18	4,9	5,9	7,0
Occ-C12	K 07+407		325,05	373,71	418,18	2,3	2,7	3,2
Occ-C13	K 07+423		325,05	373,71	418,18	3,5	4,2	5,0
Occ-C14	K 07+520		325,05	373,71	418,18	3,8	4,6	5,5
Occ-C15	K 07+593	Q. la Pastora	325,05	373,71	418,18	16,2	19,5	23,1
Occ-C16	K 08+176	Q. Chupadero	193,05	216,60	240,97	35,0	41,3	48,7
Occ-C17	K 08+405	Q. Media Agua	241,96	273,80	305,36	18,5	22,0	26,0
Occ-C19	K 09+795		325,05	373,71	418,18	3,8	4,6	5,4
Occ-C20	K 10+055	Q. Bocana	193,05	216,60	240,97	30,7	36,1	42,6
Occ-C21	K 10+280	Q. Aguadita	193,05	216,60	240,97	39,2	46,1	54,4

Cuenca	Abscisa	Nombre Fuente	Intensidad (mm/hr)			Caudal (m ³ /s)		
			Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Or-C1	K 18+576		241,96	273,80	305,36	12,0	14,3	16,9
Or-C2	K 18+820		325,05	373,71	418,18	0,9	1,1	1,3
Or-C3	K 18+980		325,05	373,71	418,18	4,9	5,9	7,0
Or-C5	K 19+350		241,96	273,80	305,36	7,7	9,2	10,9
Or-C6	K 19+460		325,05	373,71	418,18	4,2	5,1	6,1

Fuente: Inteinsa 2.011

Para las cuencas mayores de 1 km², los caudales de diseño se obtuvieron por varios métodos, tal como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 4-20 - Caudales de diseño cuentas mayores a 1 km²

Cuenca		Caudal (m ³ /sg)			Caudal (m ³ /sg)			Caudal (m ³ /sg)		
		Tr= 25 años			Tr= 50 años			Tr= 100 años		
Abscisa	Nombre	SCS	W-H	Caudal diseño	SCS	W-H	Caudal diseño	SCS	W-H	Caudal diseño
k9+200	Q. Espadera	106,1	121,4	113,7	121,8	139,7	130,7	138,8	159,5	149,17
k19+250	Q. Sajonia	63,99	71,81	67,9	72,65	81,73	77,19	82,03	92,48	87,25

Fuente: Inteinsa 2.011

Para la selección del tipo de obra se tuvieron en cuenta diversos factores, tales como el caudal y la pendiente de la corriente en el sitio de cruce, la sección de la vía (corte, terraplén o semibanca), las condiciones geotécnicas para garantizar la estabilidad de los taludes, el tipo de material presente en el cauce y las facilidades de construcción y mantenimiento de las obras.

Para el dimensionamiento de las obras hidráulicas que permitirán el cruce de la vía sobre las diferentes corrientes de agua, se consideró que lo más apropiado, (principalmente por facilidades de mantenimiento) es emplear tuberías con un diámetro mínimo de 0,90 m, donde los requerimientos de capacidad hidráulica fueron mayores, se propuso entonces una tubería con diámetro de 1.2 m; y si aún el requerimiento de capacidad fue mayor se propuso entonces el empleo de alcantarillas de cajón cuadradas con dimensión mínima de 1,50 m x 1,50 m, con variaciones en las dimensiones cada 0,25m.

Teniendo en cuenta solamente razones hidráulicas sólo es necesario construir obras mayores, como puentes y pontones, en el cruce de la vía sobre la Qda. La Espadera (km9+200) y la Qda. Sajonia (km19+200), dado que la magnitud de sus caudales de diseño requieren una estructura de este tipo. Sin embargo, por razones geométricas, geotécnicas, estructurales y ambientales, es necesario construir puentes adicionales en los cruces sobre otras corrientes menores. Todos los puentes proyectados tendrán el gálibo suficiente para permitir el paso de las crecientes de diseño y eventual avalancha.

Finalmente, después de analizar todos los parámetros anteriores se decidió sobre la construcción de obras tipo alcantarillas, box couvert y puentes según se puede detallar en las Tabla 4-16 y Tabla 4-17, al principio de este capítulo y según los diseños encontrados en el Anexo 2.1 - Planos AO-VI-PP-002, AO-VI-PP-003, AO-VI-PP-004, AO-VI-PP-005, AO-VI-PP-006, AO-VI-PP-007, AO-VI-PP-008 Y AO-VI-PP-009.

4.4.1 Vías Industriales

Cornare con la Resolución 131-0839 del 14 de Octubre de 2011 otorga además de los permisos de ocupación de cauce definitivos para las vías de acceso oriental y occidental del Túnel de Santa Elena, permiso de ocupación de cauce para las obras requeridas para la implementación de obras de drenaje, alcantarillas y/o box coulvert requeridos para la construcción de la vía industrial a construir temporalmente para el acceso al Portal Oriental.

La vía industrial a construir en el sector oriental del proyecto es una vía paralela a la definitiva, ésta se iniciará primero con el fin de poder acceder rápidamente al portal oriental del Túnel de Santa Elena y construir posteriormente la vía definitiva.

En los Anexo 2.1 - Planos AO-IP-OR-004 se puede observar la línea de la vía industrial en planta y perfil, la cual se plantea paralela a la Q. Sajonia, e incluye obras como tanque desarenador de aceite, obras de drenaje en tubería novafort de 1.2 m de diámetro, zonas para la captación de agua, depósito de basuras y chatarra, trituración y acopio de materiales. Inicia en la abscisa k0+000 y avanza 20 metros hasta el k0+669; incluye la planta de concretos y acopio de materiales y las instalaciones de la oficina administrativa. En este tramo se visualiza la implementación de obras de drenaje de aguas de escorrentía de la vía, cuyo caudal conduce hacia la Q. Sajonia.

Para las obras requeridas para el cruce de fuentes de agua en la vía industrial de acceso al portal occidental del Túnel de Santa Elena, Cornare mediante la Resolución 112-5284 del 3 de diciembre de 2.012 autoriza permiso de ocupación de cauce para las siguientes obras (Ver Anexo 2.1 - Plano P-2284-TS-PW-09):

- ♣ Alcantarilla circular, diámetro de 0,90 m. Material Concreto y Canal Cuneta de 0,6 m x 0,6 m. Material: Concreto, en una longitud de 160 metros lineales, la cual se ubicará sobre la vía industrial y será temporal. La descarga de sus aguas será conducida a una alcantarilla existente de la vía Santa Elena – Medellín, ubicado en el k0+085 de la Vereda media Luna del Municipio de Medellín.
- ♣ Alcantarilla Circular, diámetro de 0,90 m. Material: Concreto o PVC, ubicado en el k0+205 de la Vereda Media Luna del Municipio de Medellín.
- ♣ Pontón, dimensiones 5,0 m x 3,5 m. Material: Concreto. (Obra provisional), ubicado en el k 0+310 de la Vereda Media Luna del Municipio de Medellín.

Finalmente en la vía industrial planteada siguiendo el mismo alineamiento de la vía a cielo abierto, entre la zona del depósito seminario y el Portal Occidental del Túnel de Santa Elena se requiere permisos de ocupación de cauce para la ejecución de las obras necesarias para la implementación de obras de drenaje, alcantarillas y/o box coulvert demandados para la construcción de ésta vía temporal, los cuales se pueden detallar en el Anexo 2.1 -Planos AO-IP-OCC-003-01, AO-IP-OCC-003-02, AO-IP-OCC-003-03, AO-IP-OCC-003-04, AO-IP-OCC-003-05, AO-IP-OCC-003-06 y AO-IP-OCC-003-07, en los puntos a continuación relacionados:

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K5+910		6,1	Tubería de 2,0 m
K5+970		0,3	Tubería de 0,90 m
K6+010	Q. La Cangreja	5,1	Tubería de 1,5 m
K6+060		2,6	Tubería de 1,20 m
K6+145		1,1	Tubería de 0,90 m

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K6+240	Q. La India	13,1	Tubería de 2,5 m
K6+310		0,3	Tubería de 0,90 m
K6+360		0,3	Tubería de 0,90 m
K6+450		0,6	Tubería de 0,90 m
K6+514		6,6	Tubería de 2,0 m
K6+570		0,6	Tubería de 0,90 m
K6+680		0,5	Tubería de 0,90 m
K6+700	Q. Caunces	5,8	Tubería de 2,0 m
K6+770		0,7	Tubería de 0,90 m
K6+850	Q. El Cuchillón	8,7	Tubería de 2,0 m
K6+928		2,6	Tubería de 2,0 m
K7+020		0,4	Tubería de 0,90 m
K7+132		10,7	Puente Metálico
K7+300		0,3	Tubería de 0,90 m
K7+350		7,0	Tubería de 2,0 m
K7+407		3,2	Puente Metálico
K7+423		5,0	Puente Metálico
K7+435		0,0	Puente Metálico
K7+520		5,5	Tubería de 1,5 m
K7+593	Q. La Pastora	23,1	Puente Metálico
K7+654		1,8	Puente Metálico
K7+820		0,9	Tubería de 0,90 m
K7+899		5,2	Tubería de 1,5 m
K7+940		1,0	Tubería de 0,90 m
K8+040		0,3	Tubería de 0,90 m
K8+176	Q. Chupadero	48,7	Puente Metálico
K8+260		0,2	Tubería de 0,90 m
K8+293		0,2	Tubería de 0,90 m
K8+405	Q. Media Agua	26,0	Puente Metálico
K8+500		0,1	Tubería de 0,90 m
K8+570		0,5	Tubería de 0,90 m
K8+614		0,2	Tubería de 0,90 m
K8+663		0,0	Tubería de 0,90 m
K8+705		3,3	Tubería de 1,5 m
K8+740		0,1	Tubería de 0,90 m
K8+800		0,7	Tubería 0,90 m
K8+830		0,1	Tubería 0,90 m
K8+887		3,3	Tubería de 1,5 m
K8+950		5,2	Tubería de 1,5 m
K9+200	Q. La Espadera	154,2	Puente Metálico
K9+344		1,1	Tubería de 0,90 m
K9+415		1,4	Tubería de 0,90 m
K9+500		1,1	Tubería de 0,90 m
K9+600		0,6	Tubería de 0,90 m

Abscisa	Nombre de la Fuente	Caudal (m ³ /s)	Dimensiones (m)
K9+795		5,4	Puente Metálico
K9+916		0,7	Tubería de 0,90 m
K10+055	Q. La Bocana	42,6	Puente Metálico

4.5 Materiales de construcción

El proyecto Conexión Vial Aburrá Oriente se piensa abastecer de materiales de construcción de las fuentes de materiales de construcción, plantas de asfalto y de concreto aprobadas y que cumplen toda la legislación ambiental y minera vigente presentes en el Valle de Aburrá y el Valle de San Nicolás, además del aprovechamiento que se piensa dar de los materiales producto de la excavación de los túneles Santa Elena y Seminario.

A continuación, se presentan las fuentes de materiales de construcción que cumplen las normas legales vigentes y de los cuales se piensa en un principio abastecer el proyecto vial Conexión Aburrá – Oriente:

Tabla 4-21 - Fuentes de materiales de construcción

Nombre de la Fuente de Materiales	Ubicación	Permiso Ambiental	Permiso Minero	Representante Legal	Observaciones
Reutilización del material de excavación del Túnel de Santa Elena	Portal Oriental Túnel de Santa Elena	Resolución 1764 de 2002 de CORNARE		Gobernación de Antioquia	
Cantera La Borrascosa	Vía Represa La Fe Medellín	Expediente Ambiental CORNARE No. 19.1.833		Gustavo Alberto Vélez Correa Cel: 3113392324	Restricciones: Debido a que se localiza en área de influencia de la Reserva Forestal Nare, el área licenciada se restringe a 5 hectáreas
Ingetierras de Colombia S.A.	Antigua vía del Tranvia Frente a Coltejer	Expediente Ambiental CORNARE No. 20.10.0881	Título H5837005	Diego Javier Jiménez Nit: 811006779-8	
Constructora y Clasificadora de materiales para la construcción – C&C Ltda	Calle 41 No. 52-53 Monteverde Rionegro	Expediente Ambiental No. 20.10.0899		Jesus Alberto Cifuentes Flores Tel: 5633036 - 5661929	
Cantera Yarumal	Vía Santa Elena. Vereda Yarumal, municipio de Rionegro.	Expediente Ambiental No. 056151004332		Ivan Campuzano Tel: 5360446 – 3006191989	

Nombre de la Fuente de Materiales	Ubicación	Permiso Ambiental	Permiso Minero	Representante Legal	Observaciones
Concretos y asfaltos (conasfaltos)	Km 12 Autopista Norte - Bello Ant	Resol. 1066 de 8/06/2010	Registro Minero 00074 de 9 de Marzo de 1993 (Res 795 de 1992 de GobAnt))		
Pavimentar - Procopal	Vereda San Esteban. Girardota	Expediente Amb. 3-97643	Registro Minero 00022 desde 17 julio de 1992 (a nombre de Procopal) Res 1743 de 1993 de GobAnt		
Mezcla Asfáltica	El Condor / Agregados San javier	Resolución 130AN6199 de 2007			
Santa Rita	Calle 28 No. 87-33 – Sector Belen Altavista				
Agregados San Javier	Calle 43 BB No. 120 B - 151	Resol 10701 del 3/03/10 y Resol 2528 del 21/09/04			
Agregados del Norte	Calle 5B #21 - 24. Girardota		Registro Minero 0555138380		

Fuente: Concesión Túnel Aburrá – Oriente

Es de anotar que en caso que durante el desarrollo del proyecto resulten nuevos proveedores que cuenten con todos los permisos ambientales y mineros vigentes de acuerdo con la legislación colombiana, los mismos podrán ser incluidos en la tabla anterior, previa aprobación de la interventoría ambiental.

4.5 Aprovechamiento forestal

El proyecto de Conexión Vial Aburrá - Oriente requiere de aprovechamiento forestal de las zonas donde se ubicaran las plazoletas de los portales oriental y occidental del Túnel de Santa Elena, en las plazoletas de los portales norte y sur del Túnel de Seminario, en los tramos donde se construirán las diferentes vías industriales y vías definitivas a cielo abierto y en la zona del depósito seminarario.

Con la Resolución 1764 de 2002, por medio de la cual se otorga la Licencia Ambiental del proyecto, se otorgó el Permiso de aprovechamiento forestal único para la construcción de las vías de acceso del Túnel de Santa Elena y posteriormente con la Resolución 112-0741 del 15 de febrero de 2.010 se aprueba el aprovechamiento forestal de los accesos al Túnel de Seminario y de la zona de los depósitos de Seminario y Bolivariana.

Tal como se encuentra claramente descrito en el Capítulo 3 de éste estudio, se levantó información primaria en el sitio correspondiente al área de influencia directa puntual la cual

comprende los sitios donde se realizarán las obras de construcción como portales de los túneles Seminario y Santa Elena, plazoletas, vía a cielo abierto (occidental y oriental) y depósito Seminario.

Con la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra y la metodología del Corine Land Cover de 2010 adaptada para Colombia, se determinaron las coberturas vegetales para el área de influencia directa puntual.

4.5.1 Coberturas Vegetales de la zona de los Portales Norte (Marianito) y Sur (Palmas) del Túnel Seminario

Plantación Forestal: Se evidencia en ambos portales con la especie *Eucalyptus globulus*. En ciertos sitios en donde se ha dejado avanzar la regeneración, es posible encontrar en dimensión de brinzal o latizal, las especies *Miconia caudata* y *Cecropia sp.* La presencia de epífitas y briófitos es nula.



4.5.1.1 Aprovechamiento Forestal del portal Norte (Marianito) del Túnel de Seminario

El lote inventariado en esta zona corresponde al lote denominado CA 11. En este portal se encuentra una zona de Eucaliptos, así como una sucesión natural de especies nativas, donde la segunda especie más representativa después del Eucalipto, es el Yarumo, indicador de un estado temprano de la sucesión. En la siguiente tabla se muestra el total de individuos a remover correspondiente a 306 individuos con un volumen de 70,18 m³. En este Portal no se encontraron especies amenazadas ni vedadas. Ver Anexo 4.3.

Tabla 4-22 - Volúmenes de madera a remover en el portal norte

Cobertura	Especie predominante	No. Árboles	Volumen de madera a remover (m ³)
Plantación forestal	<i>Cupressus lusitanica</i>	16	9,18
Plantación forestal	<i>Eucalyptus sp.</i>	116	45,19
Vegetación secundaria baja	<i>Cecropia sp</i>	103	10,00
Bosque natural fragmentado y vegetación secundaria	Especies Nativas	71	5,80
Total madera a remover		306	70,18

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.1.2 Aprovechamiento forestal del portal Sur (Palmas) del Túnel de Seminario

Este portal está ubicado en el lote denominado CA12, sobre la doble calzada Las Palmas, cuya cobertura vegetal corresponde a Plantación Forestal de Eucalipto, con algunas especies nativas pioneras como el Yarumo. En la siguiente tabla se presenta el número total de individuos a aprovechar. En este Portal no se encontraron especies amenazadas ni vedadas. (Véase Anexo 4.3).

Tabla 4-23 - Volúmenes de madera a en el portal sur

Cobertura	Especie predominante	No. Árboles	Volumen de madera a remover (m ³)
Plantación forestal	<i>Cupressus lusitanica</i>	2	1,29
Plantación forestal	<i>Eucalyptus sp.</i>	815	161,05

Cobertura	Especie predominante	No. Árboles	Volumen de madera a remover (m³)
Vegetación secundaria baja	<i>Cecropia sp.</i>	25	3,40
Bosque natural fragmentado y vegetación secundaria	Especies Nativas	26	1,51
Total madera a remover		868	357,33

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.2 Coberturas Vegetales de la Vía a cielo abierto sector occidental Túnel de Santa Elena



Plantaciones Forestales: se presenta principalmente a la altura del Seminario Redentoris Matter plantaciones con la especies *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus sp* y *Pinus patula*; aprovechadas comercialmente por la familia Uribe Giraldo. Esta plantación cuenta con vías industriales para la extracción de la madera.



Bosque Natural fragmentado: Con predominancia en la cuenca de la quebrada la Espadera. La familia dominante son las Lauraceae con la especie *Nectandra sp*, además se encuentran poblaciones de *hieronyma antioquiensis* (Candelos). Esta cobertura se encuentra en un rango de medio a alto de intervención. La dominancia del yarumo, *Cecropia sp*, requiere altos regímenes de luz, lo que puede indicar un alto grado de intervención y un estado sucesional medio.

Vegetación Secundaria: Se encuentra en un punto intermedio o en sitios de transición con respecto a las otras coberturas. En este tipo de vegetación, predominan las especies plantadas de *Pinus patula* y especies nativas de rápido crecimiento o pioneras como *Cecropia sp*, *Trema micrantha*, *Vismia sp*.

En la siguiente tabla, se presenta una descripción de la vegetación encontrada a lo largo de la vía a cielo abierto:



Tabla 4-24 - coberturas Vegetales vía de acceso portal occidental Túnel de Santa Elena

Desde el K	hasta el K	Descripción
6+010	6+210	Plantación forestal (juveniles <i>Eucalyptus sp</i>) y pasto
6+210	6+640	Plantación forestal (<i>Eucalyptus sp</i>) con vegetación secundaria en transición (<i>Miconia caudata</i>)
6+640	6+690	Plantación forestal (<i>C. lusitanica</i>)
6+690	6+910	Plantación forestal (<i>Eucalyptus sp</i>) con vegetación secundaria en transición

Desde el K	hasta el K	Descripción
		(<i>Miconia caudata</i>)
6+910	7+290	Vegetación secundaria (<i>Cecropia sp</i> , <i>Miconia caudata</i> , <i>Croton magdalenensis</i>)
7+290	7+460	Vegetación secundaria que está siendo talado (<i>Miconia caudata</i> , <i>Inga sp</i> , <i>Croton magdalenensis</i> , <i>Persea caerulea</i> , <i>Cecropia sp.</i>)
7+460	7+550	Herbazal abierto donde predomina zarza (<i>Mimosa sp</i>) y vegetación secundaria (<i>Miconia caudata</i> , <i>Croton magdalenensis</i>)
7+550	7+660	Vegetación secundaria con predominio de Árboloco (<i>Montanoa quadrangularis</i>)
7+660	7+750	Plantación forestal (<i>Eucalyptus sp</i>) con vegetación secundaria en transición (<i>Miconia caudata</i>)
7+750	8+210	Plantación Forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>)
8+210	8+420	Vegetación Secundaria (<i>Asteraceae</i> , <i>Cecropia sp</i> , <i>Trema micrantha</i>).
8+420	8+630	Plantación Forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>) con aprovechamiento permanente
8+630	8+810	Vegetación secundaria (<i>Rhus striata</i> , <i>Trema micrantha</i> , <i>Cecropia sp</i> , <i>Guettarda sp</i> , <i>Vismia sp</i> , <i>Miconia caudata</i>)
8+810	9+010	Plantación (<i>C. lusitanica</i>)
9+010	9+349	Bosque natural fragmentado (<i>Lauraceae</i>)
9+349	9+510	Bosque natural fragmentado (<i>Hieronyma antioquiensis</i> , <i>Nectandra sp</i>)
9+510	9+540	Vegetación Secundaria (<i>Vismia sp</i> , <i>Rhus striata</i> , <i>Guettarda sp.</i>)
9+540	9+600	Vegetación Secundaria (<i>Rhus striata</i> , <i>Cecropia sp</i> , <i>Guettarda sp</i> , <i>Vismia sp</i> , <i>Miconia caudata</i>)
9+600	9+700	Plantación forestal con vegetación secundaria en transición (<i>Pinus patula</i> . <i>Eucalyptus sp</i> con <i>Cecropia sp</i>)
9+700	9+740	Plantación Forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>)
9+740	9+840	Herbazal (<i>Asteraceae</i> , <i>Cecropia sp</i> , <i>trema Micrantha</i>). Presencia de desechos del aprovechamiento forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>)
9+840	9+980	Plantación Forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>) y vegetación secundaria (<i>Miconia caudata</i> , <i>Cecropia sp.</i> , <i>Trema micrantha</i>)
9+980	10+140	Individuos juveniles de Eucalipto y pasto
10+140	10+300	Plantación forestal de Ciprés (<i>C. lusitanica</i>) con vegetación secundaria en transición (<i>Rhus striata</i> , <i>Trema micrantha</i> , <i>Cecropia sp</i> , <i>Guettarda sp</i> , <i>Vismia Sp</i> , <i>Inga sp</i> , <i>Miconia caudata</i>)

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

Epifitas vasculares: De acuerdo con los tipos de cobertura vegetal, el bosque natural fragmentado presenta la riqueza y abundancia más alta de epifitas vasculares, seguido de los bosques con vegetación secundaria. Las plantaciones forestales presentan muy pocas epifitas y en los pastos arbolados no se reportan individuos equivalentes a plantas vasculares. Los bosques con especies de árboles nativos (Bosque natural fragmentado y vegetación secundaria) son significativamente diferentes en cuanto a riqueza y abundancia de especies al compararlos con las plantaciones forestales y los pastos arbolados.

Tabla 4-25 - Riqueza y diversidad de epifitas vasculares de acuerdo al tipo de cobertura vegetal

Tipo de cobertura	Abundancia + desviación estándar	Riqueza + desviación estándar
Bosque Natural Fragmentado	514 + 107.55	16 + 2.64
Pastos Arbolados	0 + 0	0 + 0
Plantación Forestal	3.75 + 4.5	0.5 + 0.57
Vegetación secundaria	54.2 + 45.215	4.4 + 3.43
F p< 0.000	75.81 ***	31.38 ***

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

Composición florística de briófitos epífitos en las coberturas vegetales: El número total de especies briófitos epífitos en el bosque natural fue similar al número observado en la vegetación secundaria, con valores mucho más alto que lo identificado en la plantación de ciprés o en la forestal. El número promedio de especies de briófitosepífitos por árbol fue similar entre todos los tipos de cobertura con aproximadamente 10 especies por árbol ($F_{3,46}=1.75, p=0.16$).

Tabla 4-26 - Riqueza y diversidad de briófitos epífitos de acuerdo al tipo de cobertura vegetal

Cobertura	Especies	Chao	Especies x árbol	No.registros
Bosque Natural Fragmentado	45	65.05±11.54	10.67±1.29	160
Plantación ciprés	14	24.67±10.27	10±1.87	50
Plantación Forestal	16	28.5±10.68	9.2±0.84	46
Vegetación secundaria	49	67.38±10.53	9.48±2	237

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

Riqueza de especies de briófitos terrestres y el tipo de cobertura vegetal: El número total de especies de briófitos terrestres observados en el bosque natural fue más elevado a lo identificado en la vegetación secundaria o en la plantación forestal. El número promedio de especies de briófitos epífitos por cuadrante fue más alto en el bosque natural que en el bosque secundario o en la plantación forestal ($F_{2,48}=8.5, p<0.001$).

Tabla 4-27 - Riqueza y diversidad de briófitos terrestres de acuerdo con el tipo de cobertura vegetal

Cobertura	Especies	Chao	spec.cuad	No. registros
Bosque Natural Fragmentado	23	33.12±9.02	1.31±0.48	125
Plantación Forestal	10	10±0	1.26±0.49	57
Vegetación secundaria	14	26.25±13.15	1.10±0.31	63

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.2.1 Aprovechamiento Vía a Cielo Abierto Portal Occidental Túnel de Santa Elena

El inventario de esta área corresponde a los predios CA14, CA15, CA16, CA17, CA18 y CA19, este último lote es el más representativo por encontrarse dentro de cobertura de vegetación secundaria baja y bosque fragmentado. La base de datos se presenta en el Anexo 4.3.

En esta vía, las coberturas que requieren aprovechamiento forestal, son: plantación forestal, vegetación secundaria y bosque natural fragmentado. Las plantaciones forestales corresponden a las especies *Cupressus lusitanica*, *Eucalyptus sp* y *Pinus patula*. El bosque natural fragmentado se encuentra en un grado de medio a alto de intervención. La dominancia del yarumo, *Cecropia sp*, requiere altos regímenes de luz, lo que puede indicar un alto grado de intervención y un estado sucesional medio.

Con base en el número de árboles, se identificaron otras especies importantes en la cobertura de bosque natural fragmentado como el candelo (*Hieronyma antioquensis*), el manzanillo (*Rhus striata*), el surrumbo (*Trema micrantha*) y el drago (*Croton sp*).

Esta vía requiere la remoción de 320 individuos de *Hieronyma antioquensis*, los cuales suman 52.83 m³ del total del volumen a remover para un porcentaje de 2.63% del aprovechamiento total. En el Anexo 4.3 se relacionan los individuos a remover.

En esta misma línea, será necesaria la remoción de 46 individuos de *Hirtella enneandra*, los cuales suman 8,76m³ del total del volumen a remover para un porcentaje de 0.43% del aprovechamiento total. En el Anexo 4.3 se presentan los individuos a remover.

Tabla 4-28 - Volúmenes de madera a remover por cobertura y especie dominante en la vía de acceso Portal Occidental del Túnel de Santa Elena

Cobertura	Especie predominante	No. Árboles	Volumen de madera a remover (m ³)
Plantación forestal	<i>Cupressus lusitanica</i>	6.371	1.217,56
Plantación forestal	<i>Pinus patula</i>	32	18,80
Plantación forestal	<i>Eucalyptus sp.</i>	2.900	1.227,59
Bosque natural fragmentado y vegetación secundaria	Especies Nativas	4.277	375,96
Total madera a remover		13.580	2.839,84

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.3 Coberturas Vegetales del Depósito Seminario

Esta área se encuentra en los predios del seminario Mayor de Medellín en un área de 16 hectáreas de plantación forestal de *Eucalyptus globulus*.



4.5.3.1 Aprovechamiento forestal del Depósito Seminario:

En la zona del depósito Seminario, se encuentra una plantación de Eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Por tratarse de una plantación forestal, el volumen de madera se estimó mediante el montaje de 20 parcelas circulares de 100 m², lo que equivale a un volumen promedio de madera de 143.25 m³/ha. El área total del seminario es de 16 hectáreas, por lo que se estima un volumen total de madera a aprovechar de 8085,7 m³. En la siguiente tabla, se presenta el volumen encontrado por parcela, así como el volumen promedio con su respectiva varianza y desviación estándar. (Véase Anexo 4.3).

Tabla 4-29 - Volumen de madera encontrado en 20 parcelas circulares de 100m²

Parcela	Volumen	Vol (m ³ /Ha)	(Vol-Vp) ²	N. indiv	N. indivi/Ha
P2	7,33	733,35	51.982,461	19	1.900
P3	3,65	365,47	133.566	10	1.000
P4	6,32	632,31	399.821,07	14	1.400
P5	10,55	1.055,20	1.113.452,8	25	2.500
P6	3,26	325,90	106.210,47	9	900
P8	1,45	145,34	21.122,395	3	300
P9	2,09	209,50	43.890,04	6	600
P11	3,13	313,39	98.213,293	8	800
P12	5,79	579,47	335.782,42	15	1.500
P13	4,67	466,81	217.912,74	12	1.200
P14	4,15	414,85	172.102,9	9	900
P15	6,28	628,22	394.666,08	15	1.500

Parcela	Volumen	Vol (m ³ /Ha)	(Vol-Vp) ²	N. indiv	N. indivi/Ha
P16	5,52	551,74	304.415,1	15	1.500
P17	8,79	879,47	773.467	22	2.200
P18	4,43	442,82	196.085,42	13	1.300
P19	4,53	452,87	205.086,84	11	1.100
P20	1,75	175,30	30.730,56	6	600
P21	7,45	745,26	555.408,61	19	1.900
P22	5,51	551,29	303.921,27	15	1.500
P23	4,39	438,57	192.347,18	13	1.300
Total general	101,07	10.107,13		259	25.900
Vol Promedio (m ³ /Ha)		505,36			
Varianza			5.650.184,7		
Desviación			2.377,01		
Total individuos/Ha					1295
Total volumen a remover (m ³)					8.085,70
Total individuos a remover					20.720

Fuente: Elaboración Consorcio Siga-Plyma

4.5.4 Coberturas Vegetales del Portal Occidental túnel Santa Elena

Vegetación secundaria: En el portal Occidental del túnel de Santa Elena, se presenta una cobertura en sucesión natural, dadas las condiciones actuales de suelo desnudo o desprotegido donde se evidencian tocones o rastros como consecuencia de un aprovechamiento anterior.

Bosque Natural Fragmentado: Esta cobertura se presenta en la parte alta del portal del túnel, en la cuenca la quebrada la aguadita, zona que no será afectada por el proyecto, en esta zona predomina *Ficus cuatrecasana*, *Trema micrantha* y *Croton magdalenensis* como sus mayores exponentes, Es además un sitio con una presencia importante de la familia Bromeliaceae y Polyodiaceae en cuanto a epífitas se refiere.



4.5.4.1 Aprovechamiento Forestal Portal Occidental Túnel de Santa Elena

El portal occidental comprende parte del lote CA 19 y los lotes CA 20 y CA 21, cuya cobertura más representativa es vegetación secundaria y pastos enmalezados. En esta área no se encontraron individuos para el aprovechamiento forestal debido a que el aprovechamiento forestal de esta zona fue realizado con anterioridad a la expedición de la Resolución 148 del 05 de marzo de 2012, expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA, en la que se impuso medida preventiva de suspensión de los trabajos y actividades relacionados con la construcción de la Conexión Vial Aburrá-Oriente, en el tramo comprendido entre el k4+900 de la doble calzada las palmas y la glorieta Sajonia.

A continuación se presenta un resumen de las especies que fueron aprovechadas y debidamente reportadas a Cornare, para la construcción de la vía industrial de acceso al Portal Occidental del Túnel de Santa Elena entre octubre de 2.011 y enero de 2.012:

Tabla 4-30 - Especies aprovechadas en el 2.011 en el Portal Occidental

Nombre Común	Nombre Científico	Total
Aguacate	Persea americana	4
Aguacatillo	Persea caerulea	2
Churimo	Inga sp.	3
Ciprés	Cupressus lusitanica	162
Cordia	Cordia sp.	1
Drago	Croton magdalenensis	35
Dulumoco	Saurauia sp	3
Espadero	Myrsine guianensis	5
Eucalipto	Eucalyptus sp.	34
Guadual	Guadua angustifolia	1
Guamo	Inga sp.	7
Guayacán	Tabebuia sp.	1
Higueron	Ficus sp.	10
Laurel	Persea areolacostae	5
Manzanillo	Toxicodendron striatum	14
Pino pátula	Pinus patula	1
Punta de lanza	Miconia sp.	2
Surrumbo	Trema micrantha	41
Tachuelo	Zanthoxylum sp.	1
Yarumo	Cecropia sp.	30
Total Aprovechado Portal Occidental - 2.011 - 2.012		363

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.5.5 Coberturas Vegetales del Portal Oriental túnel Santa Elena y vía de acceso a la glorieta Sajonia

Vegetación Secundaria: En esta cobertura se reconoce la mezcla de especies nativas pioneras, brinzales de las especies *Cavendishia pubescens* y *Rubus floribundus*, como sus mayores exponentes, junto con especies exóticas que representan las mayores dimensiones como *Cupressus lusitánica* y *Acacia melanoxylon*. Se resalta la presencia de orquídeas terrestres de las especies *Elleanthus aurantiacus* y *Epidendrum elongatum*.



En la siguiente tabla, se presenta el consolidado de las coberturas identificadas en el área de influencia directa puntual y arrojadas de Sistema de información geográfica por medio del corte del área de influencia Puntual, las coberturas en menor porcentaje, solo cortan el área de influencia puntual en pequeñas esquinas y pequeñas proporciones de área.

Tabla 4-31 - Coberturas Vegetales Área de Influencia Puntual

Cobertura	Área (Ha)	Porcentaje
Plantación Forestal	36,77	50%
Vegetación secundaria baja	16,52	23%
Bosque natural fragmentado	10,13	14%
Pastos arbolados	2,40	3%
Pastos limpios	2,36	3%
Tejido urbano discontinuo	1,98	3%
Pastos enmalezados	1,81	2%
Tierras desnudas o degradadas	0,32	0%
Cuerpo de agua	0,25	0%
Tejido Urbano Continuo	0,16	0%
Cultivos confinados	0,09	0%
Cultivos transitorios	0,05	0%
TOTAL	72,84	100%

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.5.1 Aprovechamiento Forestal vía a cielo abierto Portal Oriental Túnel de Santa Elena

La cobertura vegetal identificada en el portal oriental del túnel de Santa Elena, corresponde en gran medida, a la vegetación secundaria baja, producto de la sucesión natural de una plantación forestal de Ciprés abandonada. Ésta resulta ser la especie dominante, con un número de individuos de 196 de 438 que fueron inventariados en el lugar. En la siguiente tabla, se presenta el número de individuos totales a aprovechar en el portal oriental y la vía a cielo abierto. (Véase Anexo 4.3).

Tabla 4-32 - Volumen de madera total a remover por cobertura Portal Oriental

Cobertura	Especie predominante	No. Árboles	Volumen de madera a remover (m ³)
Plantación forestal	<i>Cupressus lusitanica</i>	196	46,00
Plantación forestal	<i>Pinus patula</i>	21	3,12
Plantación forestal	<i>Eucalyptus sp.</i>	27	14,34
Bosque natural fragmentado y pastos enmalezados	Especies Nativas	194	27,64
Total madera a remover		438	91,10

Fuente: Elaboración Consorcio Siga-Plyma

4.5.6 Coberturas Vegetales del Depósito la Querencia

Plantación forestal: Esta zona de 33.805 m² se caracteriza por presentar una cobertura vegetal correspondiente a plantación forestal con especies como Pino patula, Ciprés, Eucalipto, seguida de menos individuos arbóreos de especies como arrayan, guayabo, siete cueros entre otros, los cuales requieren ser talados y removidos para el desarrollo del proyecto Conexión Vial Aburrá-Oriente.



4.5.6.1 Aprovechamiento Forestal Depósito la Querencia

La cobertura vegetal identificada en la zona del Depósito La Querencia, tal como se mencionó anteriormente corresponde a una antigua plantación forestal que tiene como uso actual pastos arbolados los cuales son usados como *potreros* en una altitud de 2.142 m.s.n.m.

En la zona de depósito cuyo uso actual son pastos arbolados, cuentan con coberturas de pinos y ciprés, siendo la más predominante en el estudio; las demás especies se encontraron de manera dispersas a lo largo de las casi 3 hectáreas. (Véase Anexo 4.3).

Dentro del polígono correspondiente al depósito, tal como se mencionó anteriormente se encontró la predominancia de Ciprés con un total 187 individuos en la zona, seguido por Pino patula 116 individuos. Para un total del inventario de 401 individuos, tal como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 4-33 - Volumen de madera total a remover en el Depósito la Querencia

Especie	Nombre Científico	Número de individuos	Volumen comercial m ³
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	57	49,353
Arrayan	<i>Myrcia sp.</i>	5	0,075
Guayabo	<i>Psidium guajava</i>	11	0,108
Inga	<i>Inga sp.</i>	2	0,030
Pomo	<i>Syzigium jambos</i>	3	0,073
Carne fiambre	<i>Roupala obovata</i>	1	0,025
Siete cueros	<i>Tibouchina lepidota</i>	8	0,133
Carate	<i>Vismia baccifera</i>	11	0,101
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	187	300,237
Pino pátula	<i>Pinus patula</i>	116	66,119
Total	10	401	416,255

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

4.5.7 Resumen Aprovechamiento Total

A continuación se presenta un resumen con los volúmenes totales a aprovechar en cada uno de los tramos y sitios que serán intervenidos por el proyecto:

Tabla 4-34 - Resumen aprovechamiento forestal proyecto

Localización del Aprovechamiento	No. Árboles a remover	Volumen de madera a remover (m ³)
Portal Norte Túnel Seminario	306	70
Portal Sur Túnel Seminario	868	357
Depósito Seminario	20.720	8.086
Vía a Cielo Abierto Portal Occidental Túnel Santa Elena	13.580	2.840
Vía a Cielo Abierto Portal Oriental Túnel de Santa Elena	438	91
Depósito la Querencia	401	416

Localización del Aprovechamiento	No. Árboles a remover	Volumen de madera a remover (m ³)
Aprovechamiento total	36.313	11.860

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

Es de anotar que los árboles encontrados en el Depósito Seminario pertenecen a una plantación forestal y en tal sentido el permiso de aprovechamiento del mismo será tramitado ante el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario).

4.5.8 Tramite de levantamiento de veda nacional

En el proyecto Conexión vial Aburra-Oriente fueron encontrados tres individuos de la familia Cyatheaceae en los portales oriental y occidental del túnel Santa Elena. En cuanto a los musgos, epífitas y líquenes fueron encontradas de forma dispersa en las coberturas vegetales de las obras de infraestructura tanto en los portales del Túnel de Santa Elena como en la vía a cielo abierto de 4.6 km. El trámite de Levantamiento de Veda Nacional se adelanta actualmente ante la Dirección de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante el oficio con radicado No. 4120-E1-18393 de junio 04 de 2013.

4.5.8.1 Caracterización de epífitas

Se muestrearon 245 árboles de los cuales el 40% (100 árboles) no presentaron epífitas vasculares. En los 145 árboles hospederos se registraron 1928 individuos epífitos que pertenecen a 36 especies. Los árboles hospederos reportaron entre 1 y 11 especies epífitas y entre 1 y 53 individuos epífitos. (Véase Anexo 3-7).

4.5.8.1.1 Composición florística de epífitas vasculares

Las familias con el mayor número de especies en el área de estudio fueron Orchidaceae (8 especies), Bromeliaceae (6 especies), Piperaceae (4 especies) y Araceae (3 especies). Los Pteridophytos agrupados presentaron el mayor número de especies e individuos, 13 especies (37% del total de especies) y 894 individuos (46% de los individuos epífitos registrados). Se registra una especie parásita de la familia de las Loranthaceae (*Dendrophthora oblicua*).

El grupo de pteridofitos o helechos fue el grupo de más amplia distribución en el área de estudio, al encontrarse en los tres tipos de coberturas vegetales, mientras que con muy pocas excepciones, las especies de las familias epífitas se encontraron en los bosques de especies nativas. La especie más frecuente (presente en 9 de 13 sitios) y a su vez la más abundante (520 individuos) fue *Pleopeltis macrocarpa*. Las especies que siguieron en frecuencia fueron *Elaphoglossum muscosum* (Pteridophytos) y *Tillandsia complanata* (Bromeliaceae), las cuales se encontraron en 5 y 4 de los sitios de muestreo. Así mismo, las especies que siguieron en abundancia fueron *Peperomia sp 4* (260 individuos, presente en dos sitios), *Oncidium abortivum* (160 individuos, presente en tres sitios) y *Philodendron danielli* (117 individuos, presente en dos sitios). Se destaca que el 52% de la abundancia corresponda a sólo dos especies y que las 10 especies más abundantes abarquen el 90% de la abundancia total. 23 especies (65%) presentaron menos de 10 individuos.

Tabla 4-35 - Número de árboles hospederos muestreados, especies e individuos de epífitas vasculares por sitio de muestreo

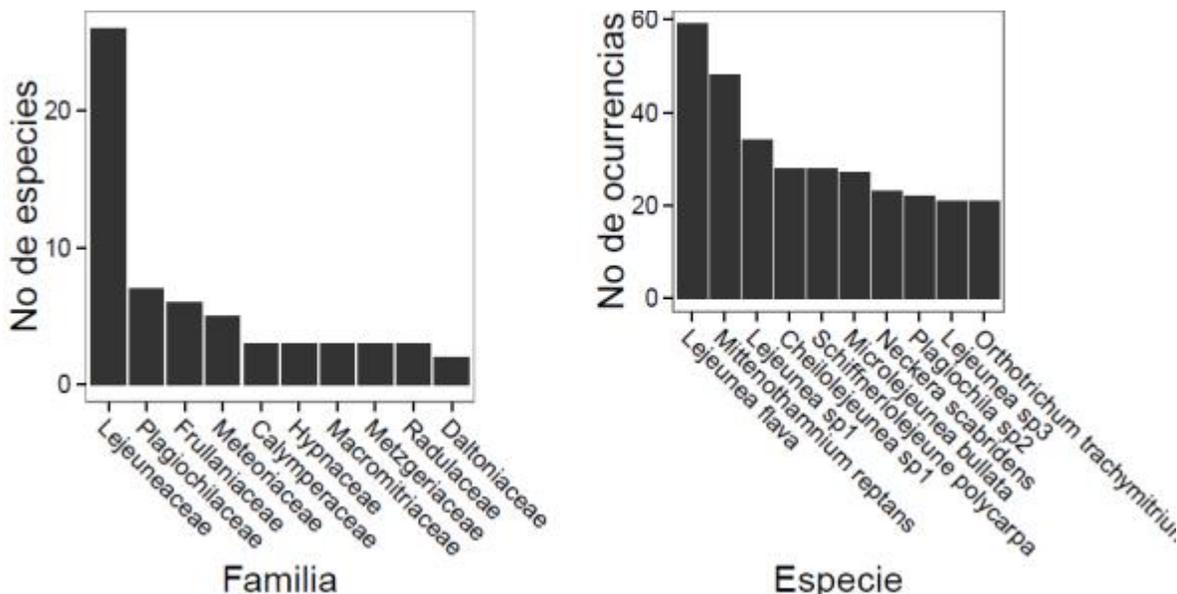
Nro	sitio	Tipo de bosque	Coordenadas X	Coordenadas Y	árboles muestreados (sin epífitas)	Especies epífitas (individuos)
-----	-------	----------------	---------------	---------------	------------------------------------	--------------------------------

Nro	sitio	Tipo de bosque	Coordenadas X	Coordenadas Y	árboles muestreados (sin epífitas)	Especies epífitas (individuos)
1	La Espadera (Vereda Media Luna)	Bosque Natural Fragmentado	839951	1180229	35 (2)	17 (570)
2	Portal Occidental (Vereda Media Luna)	Bosque Natural Fragmentado	840993	1180222	35 (4)	13 (390)
3	Cerro del Chivo (Vereda Media Luna)	Bosque Natural Fragmentado	840173	1180314	35 (3)	18 (582)
4	Bocaná (Vereda Media Luna)	Vegetación secundaria	840712	1180380	18 (7)	9 (96)
5	La Pastora (Los Caunces)	Vegetación secundaria	837763	1180067	32 (18)	7 (107)
6	Ocho de Marzo (Media Luna)	Vegetación secundaria	839688	1180296	13 (4)	3 (30)
7	El Vergel (Cataluña)	Vegetación secundaria	837539	1180172	22 (14)	1 (36)
8	Caunces de Oriente	Plantación Forestal	837447	1180238	1 (1)	0 (0)
9	Quebrada Media Agua	Plantación Forestal	839017	1180116	3 (0)	1 (9)
10	Seminario Redentoris Mater	Plantación Forestal	838619	1180110	5 (2)	1 (6)
12	Zona de depósito (Seminario mayor)	Pastos Arbolados	837330	1180263	1 (1)	0 (0)
11	Seminario Mayor	Plantación Forestal	836702	1180377	26 (26)	0 (0)
13	Portal Oriental (Sajonia)	Vegetación secundaria	847739	1175264	19 (18)	2 (2)
		Total			245 (100)	1828

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.8.1.2 Composición florística de briófitos epífitos

Las familias con el mayor número de especies de briófitos epífitos fueron Lejeuneaceae (Hepática) con 26 especies, Plagiochilaceae (Hepática) con 7 y Frullaniaceae (Hepática) 6. La familia de hepáticas Lejeuneaceae fue la familia de briófitos más abundante con 269 (44%) seguida por la familia de hepáticas Plagiochilaceae con 58 registros (9%). Las especies más frecuentes fueron *Lejeunea flava* (Hepática: Lejeuneaceae) con 59 (9%) registros y *Mittenothamnium reptans* (Musgo: Hypnaceae) con 48 (7%) registros. Ambas especies fueron también las más frecuentes ocurriendo en 8 de los 13 sitios de muestreo.



Derecha: Número de especies en las diez familias más diversas de briófitos colectados.

Izquierda: Número de registros para las diez especies de briófitos más comunes

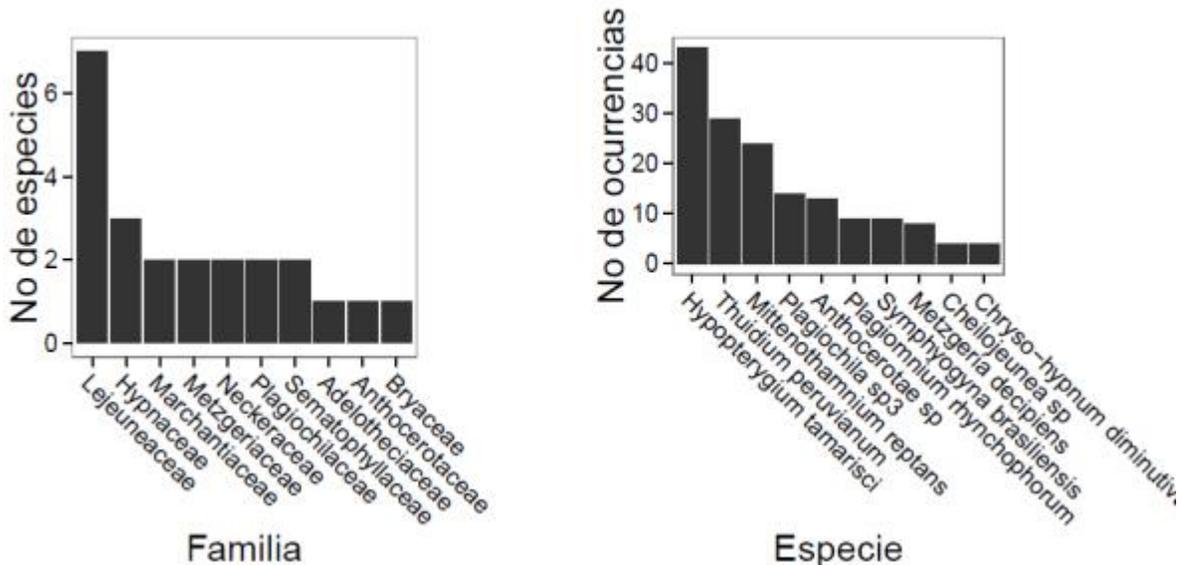
Tabla 4-36 - Número cuadrantes muestreados en 5 árboles por sitio, especies e individuos de briófitos epífitos

Sitio	Registros	Especies	Porcentaje de Cuadrantes Ocupados
Bocaná (Vereda Media Luna)	60	18	100%
Caunces de Oriente	1	0	0%
Cerro del Chivo (Vereda Media Luna)	60	19	100%
El Vergel (Cataluña)	60	15	97%
La Espadera (Vereda Media Luna)	60	25	100%
La Pastora (Los Caunces)	60	19	98%
Ocho de Marzo (Media Luna)	60	20	85%
Portal Occidental (Vereda Media Luna)	60	21	97%
Portal Oriente (Sajonia)	60	13	85%
Quebrada Media Agua	60	14	90%
Seminario Mayor	1	0	0%
Seminario Redentoris Mater	60	16	100%
Zona de depósito (Seminario mayor)	1	0	0%

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.8.1.3 Composición florística de briófitos epífitos

Las familias con el mayor número de especies de briófitos terrestres fueron Lejeuneaceae (Hepática) con 7 especies, Hypnaceae (Musgo) con tres, seguida por Marchantiaceae, Metzgeriaceae y Nekceraceae con dos especies cada una. La familia de musgos Hypopterigiaceae fue la familia de briófitos más frecuente con 43 registros (20%) seguida por la familia de musgos Thuidiaceae e Hypnaceae ambas con 29 registros (14%). Las especies más frecuentes fueron *Hypopterygium tamariscinum* con 43 registros (20%), seguida por los musgos *Thuidium peruvianum* y *Mittenothamnium reptans*.



Derecha: Número de especies en las diez familias más diversas de briófitos colectados.
Izquierda: Número de registros para las diez especies de briófitos más comunes

Tabla 4-37 - Número cuadrantes muestreados en 5 árboles por sitio, especies e individuos de briófitos epífitos

Sitio	Registros	Especies	Porcentaje de Cuadrantes Ocupados
Bocaná (Vereda Media Luna)	16	7	94%
Caunces de Oriente	10	6	80%
Cerro del Chivo (Vereda Media Luna)	20	5	100%
El Vergel (Cataluña)	14	4	100%
La Espadera (Vereda Media Luna)	22	10	100%
La Pastora (Los Caunces)	10	2	100%
Ocho de Marzo (Media Luna)	18	6	100%
Portal Occidental (Vereda Media Luna)	53	16	100%
Portal Oriente (Sajonia)	1		0%
Quebrada Media Agua	17	4	100%
Seminario Mayor	1		0%
Seminario Redentoris Mater	20	4	100%
Zona de depósito (Seminario mayor)	1		0%

Fuente: Consorcio Siga-Plyma

4.5.8.2 Especies amenazadas y/o endémicas en las áreas a intervenir

A continuación se presentan las especies amenazadas o vedadas por resoluciones regionales o nacionales.

Hieronyma antioquensis

La especie *Hieronyma antioquensis* presenta una categoría de amenaza EN (en peligro) según el acuerdo 207 de 22 de septiembre de 2008 de la Corporación Autónoma Regional del río Nare CORNARE, sin embargo, no se encuentra en veda según el acuerdo 262 de 2011. Cabe señalar, que esta especie se encuentra en jurisdicción de la Corporación Autónoma regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA, la cual mediante resolución 10194 del 10 abril de 2008, descarta esta especie de encontrarse vedada. En el Anexo 3-8 se presenta el listado de los individuos de esta

especie encontrada en la franja de vía a cielo abierto en la cobertura de bosque natural fragmentado y que requieren ser intervenidos por el proyecto.

Hirtella enneandra

La especie *Hirtella enneandra* de la familia Chrysobalanaceae se encuentra en Peligro Crítico (CR) según la resolución 383 de 2010 del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. En la franja de la cobertura de bosque natural fragmentado se encontraron 46 individuos de esta especie con un volumen total de 8,76m3, los cuales requieren ser aprovechados por el proyecto. En el anexo 3-8 se presenta el listado de los individuos de esta especie reportados en el área de influencia del proyecto.

Cyathea sp, Cyathea tryonorum, Alsophila cf erinacea

En el portal occidental del Túnel Santa Elena se identificó un individuo de la especie *Cyathea sp*, en categoría de veda según la Resolución 0801 de 1977 del INDERENA. Este individuo se encuentra en las coordenadas X: 841027, Y: 1180288 y tiene un volumen total de 0.007m3. Por tanto requiere incluirse en la solicitud de levantamiento de veda nacional ante la dirección de Bosques, biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En el portal oriental del Túnel Santa Elena se encontraron dos individuos de las especies *Cyathea tryonorum*, y un individuo de la especie *Alsophila cf erinacea*, los cuales se encuentran vedados por la resolución 0801 de 1977 del INDERENA. En la siguiente tabla, se relacionan los individuos en condición de veda.

Tabla 4-38 - Ubicación de individuos vedados

Ubicación	coord X	Coord Y	Nombre común	Nombre científico	Diámetro	Altura	Volumen
CA 22	847511	1175415	Sarro	<i>Cyathea tryonorum</i>	14,32	4,5	0,0036
CA 22	847510	1175415	Sarro	<i>Cyathea tryonorum</i>	17,19	4,0	0,0036
CA 22	847515	1175402	Sarro	<i>Alsophila cf erinacea</i>	14,01	3,0	0,0036



Foto 4-1 - Individuo de *Cyathea caracasana* en Portal Oriental



Foto 4-2 - Individuo de *Cyathea sp* en Portal Occidental

En el anexo 4.4, se encuentra el Informe *Solicitud de levantamiento de veda nacional de epifitas vasculares y no vasculares y especies de la familia CYATHEACEAE géneros CYATHEA y ALSOPHILA*, en el cual se presentó ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el oficio radicado No. 4120-E1-18393 de junio 04 de 2013, la solicitud de levantamiento de veda nacional para las especies de bromelias, musgos, hepáticas y líquenes, vedadas por la Resolución 213 de 1977 del INDERENA; así como de las especies de Helecho macho, Palma boba o Palma de helecho (Familia: Cyatheaceae) vedadas en el territorio nacional por la Resolución 0801 de 1977 (INDERENA) y encontradas en los sitios de obra donde se requiere la remoción de la vegetación en los sitios de intervención directa: en el portal norte y sur del túnel del Seminario, vía a cielo abierto occidental del túnel Santa Elena, portal y vía oriental del túnel de Santa Elena (en el área de intervención chaflanes y la zona de Búfer de aproximadamente 40m a cada lado), y registradas durante el inventario forestal realizado al 100%, con el fin de establecer las medidas de manejo que garanticen la conservación de estas especies en veda o con algún grado de restricción a nivel nacional.

Es de aclarar que como requisito para la solicitud de levantamiento de veda nacional, se tramitó el permiso de investigación científica en diversidad biológica ante la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (CORNARE), para la colecta y estudios de comunidades bióticas, existentes en los sitios anteriormente mencionados. El permiso fue otorgado por la Corporación mediante la Resolución R112-4814 del 15 de noviembre de 2012, para una vigencia de cinco (5) meses, a partir de la notificación del permiso hasta el mes de marzo de 2013. (Véase Anexo 3-8- Permiso de Estudio). El permiso de estudio fue otorgado tanto para realizar las colectas de flora como de fauna.

Así las cosas, el documento en mención presenta los resultados del inventario forestal para la caracterización de especies objeto de veda, realizados en los sitios de obra del proyecto Conexión Vial Aburrá-Oriente: portales norte y sur del túnel Seminario, depósito El Seminario, portal y vía a cielo abierto occidental del Túnel de Santa Elena, portal y vía a cielo abierto oriental del Túnel de Santa Elena. Así mismo, se presenta un plan de manejo para las especies en veda y grado de amenaza con programas específicos, donde se vincula a la Corporación Regional y a la comunidad, con un plan de monitoreo y sus respectivos costos.

4.6 Emisiones atmosféricas

Tal como fue mencionado al principio de este capítulo, el artículo tercero de la Resolución 1764 de 2002, por medio de la cual se otorga la Licencia Ambiental Ordinaria del proyecto, concede al Departamento de Antioquía: *Permiso de emisiones atmosféricas para las plantas de trituración y producción de asfaltos a ubicarse en ambos portales por un plazo de cinco años contados a partir de operaciones de la planta. – este permiso se condiciona al cumplimiento de las normas de emisión de acuerdo a los resultados arrojados en los muestreos isocinéticos, los cuales deberán realizarse con una periodicidad de seis meses durante la etapa de funcionamiento de las plantas.*

A continuación se describen los sitios en los que se planea realizar la reubicación de las plantas de trituración y concretos para el proyecto:

Sector oriental

Planta de concreto: Para este sector está contemplado el montaje de una planta de concreto a ubicarse en un predio de la franja adquirida para la construcción de la segunda etapa del proyecto.

Estará ubicada en el predio CA- 29, donde anteriormente funcionaba el estadero El Cortijo, predio ubicado sobre la margen derecha de vía a Santa Elena- Rionegro, a 563 metros del portal oriental del túnel Santa Elena.

Planta de asfalto: No se contará con montaje de plantas de asfalto dentro del área de la obra. Está previsto adquirir el concreto asfáltico de los diferentes proveedores autorizados, localizados en la zona del Valle de San Nicolás o en el Valle de Aburrá.

Planta de trituración: Se prevé utilizar los servicios de la planta de trituración de Ingetierras, localizada en el municipio de Rionegro.

La ubicación y distribución de estas plantas se encuentran en el Anexo 2.1 - Plano AO-IP-GO-001-OR.

Sector occidental

Planta de concreto: Para este sector está contemplado el montaje de una planta de concreto a ubicarse en un predio de la franja adquirida en cercanías del depósito seminario, desprendido del predio CA- 15, de propiedad del Seminario Conciliar de Medellín. Esta planta suministrará concreto al túnel Seminario, vías a cielo abierto y túnel Santa Elena por el portal occidental.

Planta de asfalto: No se contará con montaje de plantas de asfalto dentro del área de la obra. Está previsto adquirir el concreto asfáltico de los diferentes proveedores autorizados, localizados en el valle de Aburrá.

Planta de trituración: Se prevé la instalación de una planta en el mismo predio donde estará ubicada la planta de concreto.

La ubicación y distribución de estas plantas se encuentran en el Anexo 2.1 - Plano AO-IP-GO-002-OCC.

4.7 Residuos sólidos

A continuación se establecen los tipos de residuos a generar, la cantidad y las opciones de tratamiento, manejo y disposición.

4.7.1 Residuos sólidos domésticos

Durante el desarrollo del proyecto en sus dos etapas, construcción y operación, se generarán diversos tipos de residuos sólidos, los cuales se reducirán considerablemente en la etapa de operación, teniendo en cuenta la disminución del personal.

En el Plan de Manejo Ambiental se establecen los procedimientos para la gestión integral de residuos sólidos, en donde se establece la necesidad de identificar, clasificar y segregar los residuos domésticos según sus características, como sigue:

- ♣ **Tipo 1. Residuos reciclables y/o reutilizables:** corresponden a envolturas y envases limpios de vidrio, plástico, cartón, madera, papel; periódicos, revistas, folletos, catálogos, cuadernos, hojas de papel, fotocopias, sobres, tarjetas, cartón, bolsas de papel, cajas, cartulinas y cartones, latas vacías y aplastadas; todos estos que no se encuentren húmedos o sucios, ni contaminados con restos de alimentos.
- ♣ **Tipo 2. Residuos peligrosos (RESPEL):** Son aquellos residuos producidos por el generador (constructor y/o operador) con alguna de las siguientes características: infecciosos,

combustibles, inflamables, explosivos, reactivos, radiactivos, volátiles, corrosivos y/o tóxicos; los cuales pueden causar daño a la salud humana y/o al medio ambiente. Así mismo se consideran peligrosos los envases.

- ♣ **Tipo 3. Residuos ordinarios:** Son aquellos generados en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.
- ♣ **Tipo 4. Residuos inertes:** Son aquellos que no se descomponen ni se transforman en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. Entre estos se encuentran: el icopor, algunos tipos de papel como el papel carbón y algunos plásticos.

4.7.2 Impactos Ambientales causados

La disposición de los residuos en mención en lugares no permitidos o inapropiados, así como la realización de acopios temporales inadecuados (canecas y centros de acopio), generará impactos negativos sobre el medio físico en el componente agua por generación y escorrentía de lixiviados, así como aporte y acumulación de residuos sobre el cauce de los cuerpos de agua aledaños a la zona del proyecto. Sobre el componente suelo, por acumulación de residuos y sobre el componente aire por generación de olores. Así mismo puede generar afectación en la salud pública por generación de vectores como roedores e insectos los que pueden causar enfermedades en la población. Por lo anterior, es importante realizar las actividades de manejo presentadas en el presente Estudio de Impacto Ambiental capítulo 7 PMA.

4.7.3 Estimativos de volúmenes a generar

Durante la fase de construcción se estima contar con 400 a 500 empleados entre personal calificado y no calificado; si se considera una producción per cápita (PPC²) entre 0,4 kg/persona/día, diariamente se estaría generando 200 kg/día de residuos domésticos en todos los campamentos provisionales.

Cabe resaltar que estos valores se deberán ajustar en el transcurso de la implementación de cada fase debido a que no todo el personal de obra estará trabajando a lo largo de todo el horizonte de construcción (24 meses).

4.7.3.1 Opciones de tratamiento, manejo y disposición

Con el fin de lograr el adecuado manejo y disposición de los residuos, se considera fundamental la educación ambiental que se brindará a los trabajadores vinculados al proyecto en sus dos etapas, y la implementación de las prácticas de reducción y clasificación en la fuente según el tipo de residuo (Capítulo 7 – PMA).

Inicialmente la recolección de los residuos se hará en contenedores con tapa, ubicados en los frentes de obra e instalaciones provisionales, que estarán debidamente rotulados para que de esta manera la segregación se dé en la fuente.

Para el almacenamiento temporal de los residuos clasificados, se deberán ubicar contenedores en un área de acopio o caseta, a 20m de distancia del campamento aproximadamente. Esta caseta estará debidamente aislada de la intemperie con techo para evitar la acción de las aguas lluvias y el sol, y con pisos en concreto de tal forma que se evite el contacto directo de los residuos con el

² Reglamento Técnico Para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Ministerio de Desarrollo Económico, Noviembre 2000, Capítulo F, Literal F.1.4.2.1

suelo orgánico. La estructura será preferiblemente cerrada, dejando un espacio entre las paredes y el techo de aproximadamente 0,5m para permitir la aireación; se contará con una puerta que impida el acceso de personas no autorizadas.

Se ubicarán dos casetas de similares características en los campamentos permanentes, la primera contendrá los residuos sólidos que se traen desde los frentes de trabajo de los campamentos provisionales y en la segunda caseta se depositarán los residuos que se generen dentro de los campamentos permanentes, cada una de estas instalaciones deberá estar debidamente señalizada de acuerdo al tipo de residuos a manejar.

Para la disposición final el (los) contratista(s) a cargo de la implementación y operación del proyecto buscará por medio de las Empresas Varias de Medellín y la Empresa de Servicios Públicos (ESP) de Rionegro, la disposición final de estos residuos en los rellenos sanitarios empleados por estos municipios. Cabe anotar que se debe tener en cuenta la distancia de cada campamento para establecer la eficacia de la empresa recolectora.

4.7.4 Zonas de materiales sobrantes de excavación (Depósitos)

Conforme con lo descrito en el capítulo 2, se requiere contar con áreas o zonas de depósito cuya capacidad permita disponer in situ un volumen total de materiales del orden de 2.605.842 m³.

Tabla 4-39 - Volumen de material de excavación sobrante

Actividad Generadora	Volumen material (m ³)
Vías a Cielo Abierto	921.200
Vía Industrial Occidental	38.000
Excavaciones Túnel Seminario	103.028
Excavaciones Túnel Santa Elena	1.543.614
Total	2.605.842

Fuente: Concesión Túnel Aburrá Oriente

En la selección de los sitios de depósito del proyecto fueron realizados teniendo en cuenta criterios tales como: localización, accesibilidad, estabilidad de la zona, capacidad del depósito, impactos ambientales generados, ausencia de cuerpos de agua, etc.

Es de aclarar que parte del material excavado del túnel Santa Elena (un 60% aprox.) será utilizado en la misma obra para la fabricación de concretos, bases, sub base, terraplenes y llenos, material para filtros y gaviones, por lo tanto esto reduce la capacidad necesaria de sitios de depósito.

En el Estudio de Impacto Ambiental realizado en el año 2.000 y que fue aprobado con la Licencia Ambiental otorgada por CORNARE mediante la Resolución 1764 de junio de 2.002, se tienen previstos los siguientes espacios como depósitos, para atender la Conexión Vial Aburrá Oriente incluyendo la vía Aeropuerto – Belén (Sika):

Tabla 4-40 - Sitios previstos para depósito en el EIA del año 2.000

Número	Nombre	Coordenadas		Área (m ²)	Volumen (m ³)
1	Autopista	1 176 620	855 450	48 000	248 884
2	La Primavera	1 176 880	855 380	51 250	611 175
3	La Cortada	1 176 290	853 000	25 500	212 608
4	El Carmín	1 176 600	851 900	80 250	1 125 690
5	Ranchería	1 176 520	850 200	25 000	114 603

Número	Nombre	Coordenadas		Área (m ³)	Volumen (m ²)
6	Ventana 1	1 177 830	845 020	23 000	157 047
7	Ventana 2-a	1 177 670	845 150	23 000	150 717
8	Ventana 2-b	1 177 790	845 250	33 000	248 344
9	Ventana 2-c	1 177 800	845 150	32 000	344 409
10	Pantanillo	1 177 000	843 680	37 500	1 021 900
11	La Esperanza	1 176 800	845 150	3 765	52 000
12	Seminario	1 180 230	836 900	26 000	120 000
13	Bolivariana	-	-	20 000	120 000
14	Contrapeso derrumbe k 10+700 vía Santa Elena	-	-	4 128	15 000

Fuente: Integral 2.000

Con ocasión de la actualización de la línea base ambiental del proyecto desarrollada con el fin de dar respuesta a cada uno de los requerimientos expedidos por la ANLA con la Resolución 456 de 2.012, se ha realizado una complementación del análisis de las restricciones y conveniencia de los sitios de depósitos aprobados con la licencia ambiental del proyecto descartándose algunos de los sitios anteriores, modificándose algunos e incluyendo otros nuevos, para atender exclusivamente la Conexión Vial, aclarando que seguirán vigentes los depósitos destinados para la futura construcción de la vía Aeropuerto – Belén (Sika), numero 1 a 4 de la Tabla 4-40, de tal forma que se tendrían los siguientes sitios de depósito como definitivos para esta etapa del proyecto, ósea para la construcción de los túneles Seminario y Santa Elena y sus vías de acceso complementarias:

Tabla 4-41 - Depósitos para el proyecto Conexión Vial Aburrá - Oriente

Nombre Depósito	Coordenadas		Volumen (m ³)
Seminario	1 180 230	836 900	1.000.000 m ³
La Querencia	1 175 934	850 313	150.000 m ³
Depósito Mina Guayabito - Ingetierras	1 168 684	848 284	300.000 m ³
Depósito Mina Samarcanda – Locería Colombiana S.A.	1 167 292	851 711	60.000 m ³
Depósito Mina SUMICOL	1 168 648	854 488	10.000 m ³

Fuente: Concesión Túnel Aburrá - Oriente

4.7.4.1 Descripción de los diferentes depósitos

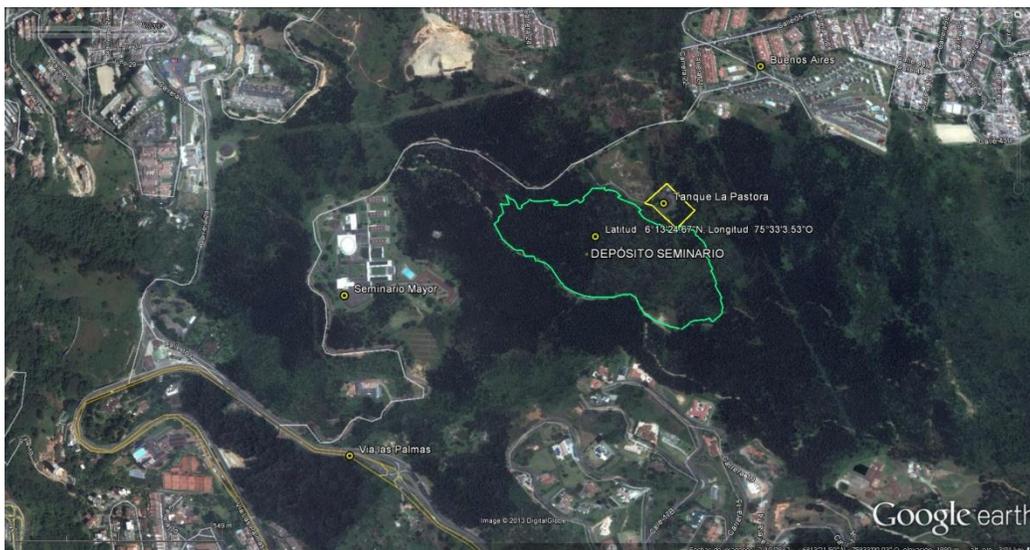


Figura 4-15 - Zonas de depósito sector occidental

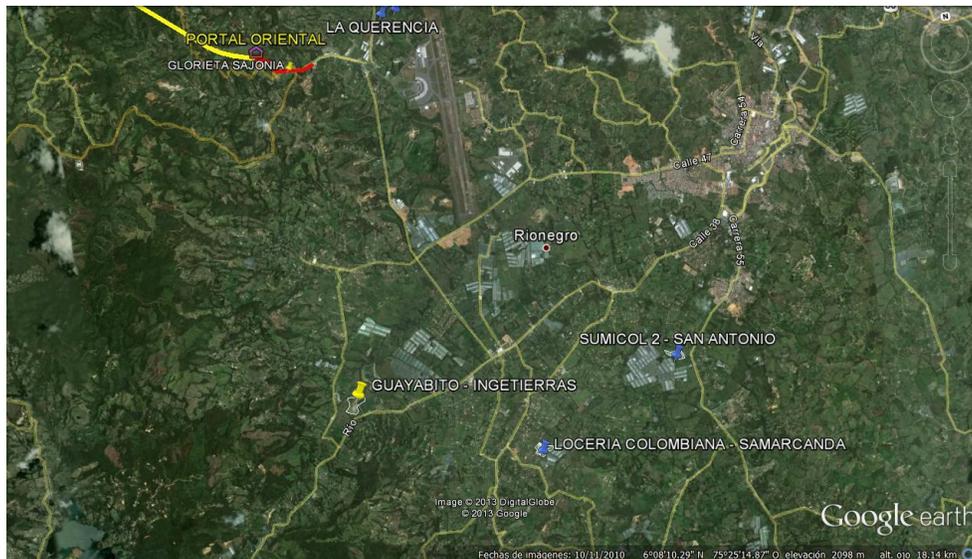


Figura 4-16 - Zonas de depósito sector oriental

Con respecto al punto 8 de la resolución 456 de 2.012, se realizó un análisis de las zonas de depósito denominadas Bolivariana y Seminario.

Como parte del diagnóstico inicial a las obras que componen las zonas de depósito Bolivariana y Seminario, se realizó un diagnóstico conceptual de las condiciones de las zonas de depósito de materiales.

Este diagnóstico, tuvo como objetivo principal evaluar conceptualmente los diseños y obras planteadas por los consultores iniciales en años pasados, considerando las condiciones actuales de la zona y la solicitud de la Resolución 456, para esto, se analizan las obras y diseños propuestos bajo las condiciones actuales y futuras de servicio; se hace especial énfasis en las condiciones

geológicas y procesos morfodinámicos activos e inactivos que puedan llegar a representar algún riesgo para las obras proyectadas e infraestructura adyacente al proyecto.

Se hizo énfasis en la identificación de las amenazas naturales y los riesgos potenciales a los cuales están expuestos los depósitos de material sobrante del tramo occidental de este proyecto vial, con este objetivo, se verificaron las condiciones geológicas y geomorfológicas actuales de las laderas en donde se tienen proyectados los depósitos, esto implica, detectar los procesos geomorfológicos que se están desarrollando y que potencialmente puedan llegar a afectarlos; adicionalmente, se evaluaron las condiciones hidrológicas de las cuencas y quebradas y su influencia directa en las obras; se revisó la estabilidad general de taludes y de las obras propuestas, con base en lo cual se hacen propuestas para optimizar y garantizar la seguridad de los cortes y demás obras propuestas.

En el diagnóstico se presentan los hallazgos y condiciones actuales de las zonas correspondientes a los depósitos de material sobrantes 1 y 2 (Bolivariana y El Seminario); como diagnóstico, se presentan las condiciones geológico-geotécnicas actuales de los taludes y laderas, adicionalmente se evalúan los tratamientos propuestos y se presentan recomendaciones al respecto. Por otro lado, se realiza un análisis conceptual de las obras hidráulicas partiendo de un análisis conceptual preliminar de la hidrología de las cuencas y aportes de la zona.

El depósito denominado con el nombre de Bolivariana, se encuentra ubicado en cercanías al seminario mayor y al centro de convenciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, en la parte alta y media de la cuenca de la quebrada la Milagrosa, en esta zona actualmente se presentan muchos depósitos que en su mayoría se presentan activos, por lo cual después del nuevo análisis se considera que este depósito no debe ser construido ya que no puede garantizar unas buenas condiciones de estabilidad lo cual podría representar mucho riesgo para la comunidad e infraestructura allí ubicada.

Por otro lado, el depósito denominado Seminario, se encuentra ubicado en cercanías al tanque La Pastora del acueducto de Empresas públicas de Medellín, en esta zona no se presenta ningún tipo de proceso o inestabilidades que puedan ocasionar problemas en el depósito.

Los depósitos propuestos se localizan sobre el stock de San Diego, esta unidad, es un cuerpo de origen ígneo, que aflora sobre el flanco oriental del Valle de Aburrá, entre la vía a Las Palmas y la parte alta de la margen izquierda de la quebrada Santa Elena.

La roca es un Gabro fanerítico, conformado principalmente con cristales de plagioclasa y hornblenda, con algunos afloramientos de roca fresca y desarrollo de perfiles de meteorización espesos, mayores a 25 m.

El depósito Bolivariana presenta dos cuerpos, uno superior, que se localizará dentro de una vaguada, la cual representa la cabecera de una microcuenca y un cuerpo inferior que está ubicado sobre una cuchilla estrecha y alargada en sentido SN.

El cuerpo superior, se presenta sobre una zona de relieve moderado a alto (pendiente de 20 - 45%), que corresponden a las cabeceras de la quebrada El Seminario.

En el sitio no se observan corrientes activas, pero es clara la forma cóncava del relieve y en la parte baja, en la vía que comunica con el Tanque Loreto, se observaron varios afloramientos de agua en la vertiente que representan evidencias de la concentración de escorrentía.

Respecto a las condiciones morfodinámicas, la zona de este depósito tiene un alto registro de procesos activos, latentes e inactivos. Los procesos inactivos se identificaron en las fotografías

aéreas estudiadas, donde en la zona del Monumento a la Cruz, se observó un deslizamiento superficial de unos 10 m de amplitud y unos 30 m de largo.

Se identificaron numerosos procesos activos de tamaño variable, con cicatrices entre los 10m - 50 m de longitud, que han dado lugar a transporte de grandes masas de material, algunos de los cuales se han depositado en la vía que cruza en la parte baja de la ladera y conduce al tanque de agua de Loreto (ver siguientes figuras).



Figura 4-17. Procesos encontrados en la parte inferior del Depósito 1

Estos procesos son deslizamientos rotacionales y superficiales en saprolito del Stock de San Diego, en algunos de ellos, se ha encontrado la presencia de afloramientos de agua.

Las cicatrices encontradas se presentan de forma variada, algunas son escarpes claramente definidos, de más de 3 m de altura, y otras son grietas que muestran desplazamientos de la masa de suelo con desniveles de 50 cm y unos 5 -10 cm de amplitud, tal como se puede observar en la siguiente figura:

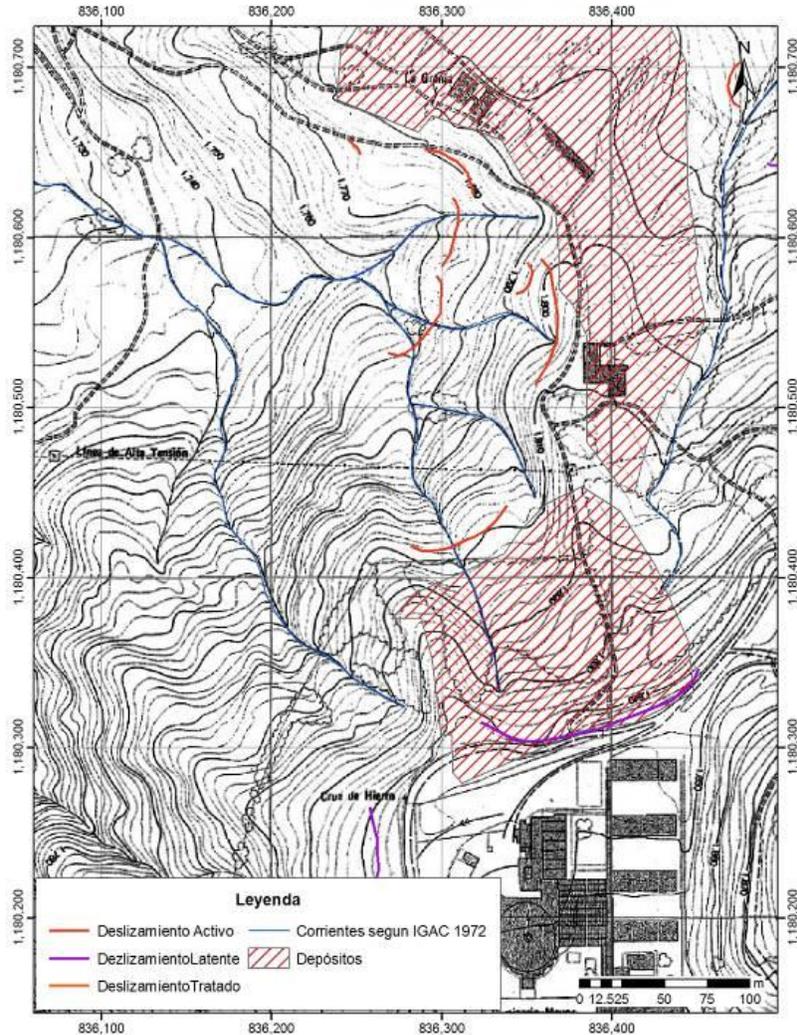


Figura 4-18. Mapeo de cicatrices activas zona de Depósito 1

Si se observa la disposición de los procesos activos respecto a los procesos latentes, los cuales se definen como cicatrices de procesos que no presentan movimiento pero que pueden ser reactivadas ante cambios leves de las condiciones, se nota como los procesos activos se encuentran en la parte baja de la vertiente de coronas latentes, así no es posible determinar si los procesos activos encontrados en la actualidad son procesos nuevos o reactivación de procesos anteriores.

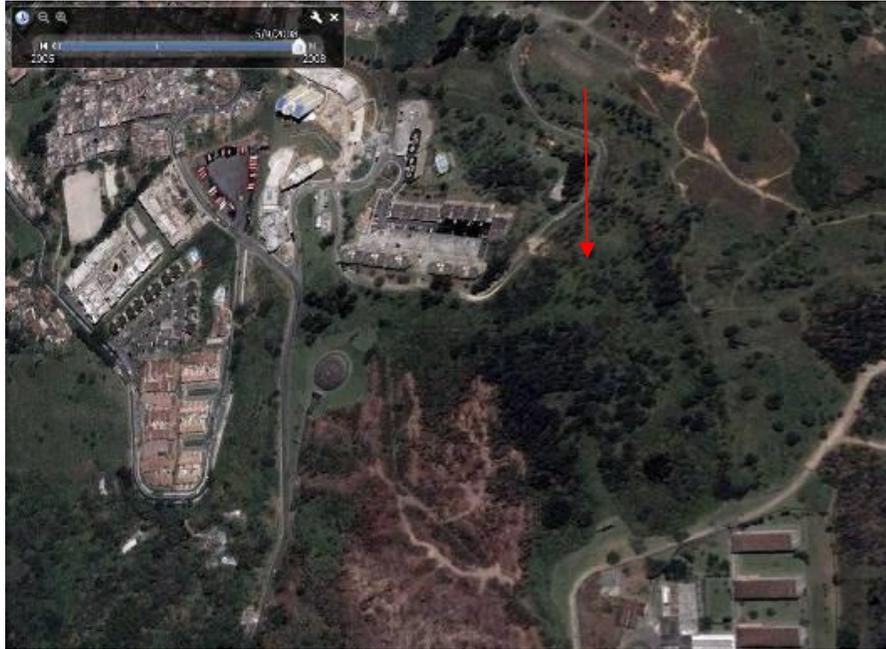


Figura 4-19. Deslizamiento sobre vía a Loreto

Igualmente en la parte superior del cuerpo, se identificaron algunos procesos menores, evidenciados en obras del Seminario como muros y cunetas fisurados.

Los procesos del costado oeste fueron referenciados para el cuerpo superior y los del costado este son un pequeño proceso sobre el margen izquierdo de La Milagrosa y un deslizamiento tratado que afectó la urbanización Palmas de Cataluña.

Para los nuevos análisis de estabilidad, se empleó el programa SLIDE V5 desarrollado por Rockscience Inc. (Rockscience, 2003), que resuelve problemas bidimensionales por el método del equilibrio límite, para mecanismos de falla circulares y no circulares, para combinaciones de carga estáticas y dinámicas, considerando variaciones de los niveles piezométricos, distribuciones de presión de poros, variación de los coeficientes de la relación de presión de poros y redes de flujo por el método de los elementos finitos.

Se empleó la teoría de Morgenstern-Price, debido a que ésta satisface todas las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos. Se hicieron análisis considerando fallas de tipo circular. En todos los casos, se generaron tantas superficies como fueron necesarias para garantizar que se encontraba el menor factor de seguridad.

Se realizó un análisis de estabilidad para el caso final una vez se haya construido el depósito como fue presentado en los diseños iniciales, con lo cual para el caso estático se obtiene un factor de seguridad mínimo de 1.37 y una probabilidad de falla del 6% y para el caso seudoestático un factor de seguridad mínimo de 0.89 y una probabilidad de falla de 54%.

Adicionalmente, se realizaron análisis de estabilidad del depósito Bolivariana considerando secciones longitudinales del mismo, para la cual, se encontraron factores de seguridad aceptables, sin embargo, dados los actuales procesos morfodinámicos presentes en la zona, se evalúa la condición de estabilidad de los flancos laterales del depósito, que es la zona donde existe un

mayor concentración de estos procesos, siendo esta condición la más crítica si se tiene en cuenta el peso de la masa y las características geológicas y geotécnicas de la zona.

De acuerdo a los análisis de estabilidad de los taludes laterales, se aprecia que bajo condiciones actuales estáticas y pseudo estáticas, los factores de seguridad son insuficientes para conformar el depósito, ya que existe una alta probabilidad de ocurrencia de fallas laterales, si se consideran los procesos morfodinámicos presentes en el depósito Bolivariana, razón por la cual se toma la determinación de no utilizar estos terrenos para la conformación de dicho depósito.

Para el caso del depósito Seminario, de acuerdo a la recopilación de datos y parámetros considerados, se presenta el análisis de estabilidad, tanto para la condición inicial y para la condición de servicio para los casos estático y pseudoestático.

Los análisis de estabilidad de la condición actual sobre los perfiles considerados, presentan factores de seguridad aceptables y con baja probabilidad de falla, siendo la condición más crítica cuando se consideran niveles freáticos; para los cuales se adoptó una variación probabilística de ellos, debido a la falta de claridad sobre su posición exacta. Posteriormente se evaluó la condición final de servicio del relleno propuesto por INTEGRAL, este es con pendientes 1V:2H con taludes de 5 m y bermas de hasta 5 m de ancho. Estos modelos se evaluaron tanto para la condición estática como para la pseudoestática considerando la variación del nivel freático como la condición más crítica.

En general, evaluando la ubicación del sistema de subdrenaje propuesto por Integral S.A. es adecuado y suficiente para las condiciones de diseño original, sin embargo se recomienda revisar las dimensiones de los filtros debido a la separación entre estos y a la magnitud de los depósitos.

En la zona del depósito Seminario, no se observaron procesos morfodinámicos, allí el relieve es plano a moderado, pero se considera de relevancia el hecho que el depósito taponará unos 100 m del afluente intermitente del cauce de la quebrada La Cangreja, el cual aunque no presenta manifestaciones geomorfológicas en la actualidad, es una línea de concentración de flujo.

De acuerdo al informe diagnóstico I-2284-TO-05 (INTEINSA, 2011), se descartó el depósito Bolivariana dado que la zona donde se pretendía disponer presentaba zonas inestables, procesos activos y afloramientos de aguas, las cuales comprometían la estabilidad de este depósito de material, por otro lado, el depósito de material Seminario, no presenta procesos activos, ni afloramientos de aguas, las cuales den indicios de inestabilidades o potenciales fallas, por esta razón, se decidió aprovechar al máximo la superficie disponible en esta zona para conformar el depósito de material, optimizando su diseño y compensar el área para la disposición del material que estaba previsto en el depósito Bolivariana, para lo cual se realizaron estudios y análisis al Depósito Seminario; el proceso de optimización se basó en los resultados de los diagnósticos de las condiciones actuales y futuras del depósito y su área de influencia.

El objetivo de la optimización de los diseños es aumentar la capacidad del depósito sin afectar las condiciones de estabilidad de la zona, reducir el riesgo a las amenazas naturales del sitio y el impacto ambiental de las obras considerando las condiciones actuales, minimizando la intervención a las laderas y cauces naturales. Los estudios y evaluación de la ampliación del depósito fue realizada por la firma Inteinsa S.A. y los resultados están consignados en el informe I-2284-TO-DP-01-Rev1, anexo 2.2.

Con respecto al punto 9 de la resolución 456 ANLA, se realizó un análisis de las zonas de depósito denominadas Ventana 1 y Ventana 2.

Estas dos zonas de depósito ubicadas en la parte alta del corregimiento de Santa Elena, unos kilómetros después del alto se tiene en el borde de la vía principal un carretable que separa las zonas de depósito Ventanas 1 y 2. Esta zona corresponde a unas geoformas moderadas a onduladas de pendientes suaves. Este depósito se desarrolla sobre suelos residuales de las anfibolitas de Medellín, que se encuentran cubiertos por una capa no mayor a dos metros de ceniza volcánica y localmente depósitos de vertiente. Estos depósitos en su grado de estabilidad presentan factores de seguridad mayores a 1.5 es condiciones estáticas y mayores a 1 en condiciones pseudoestáticas. Sin embargo en consideración de que estos depósitos se ubicarían en un extremo de la Reserva Forestal Protectora del río Nare y con el fin de minimizar los impactos ambientales del proyecto se decidió obviar su utilización y en su lugar reconfigurar minas antiguas de la zona que requieren materiales de excavación para cumplir con los planes de reconfiguración y abandono impuestos por la autoridad ambiental. Estas antiguas zonas de explotación minera se ubican en la zona de Llanogrande, Samarcanda y en la zona ubicada a un kilómetro de la glorieta del aeropuerto sobre la margen derecha de la vía a Guarne, en el predio conocido como La Querencia.

A continuación se hace una breve descripción de las zonas en las que se adecuarán los diferentes depósitos del proyecto:

4.7.4.1 Descripción de los diferentes depósitos

Deposito Seminario:

Se localiza en la parte alta y media de las quebradas La Cangreja y la India, en cercanías del tanque de suministro de agua de EPM La Pastora, delimitado en su parte inferior por la vía de acceso al tanque y en su parte superior por una vía industrial, por el costado oriental está limitado por la quebrada La India y por el costado occidental con la vaguada del afluente intermitente de la quebrada La Cangreja. Sus coordenadas al punto central son Este 836950 - Norte 1180150 y cota 1872m. El Cuerpo principal se desarrollara sobre una geomorfología de vertientes moderada con inclinación entre 15% y 30%, aproximadamente.

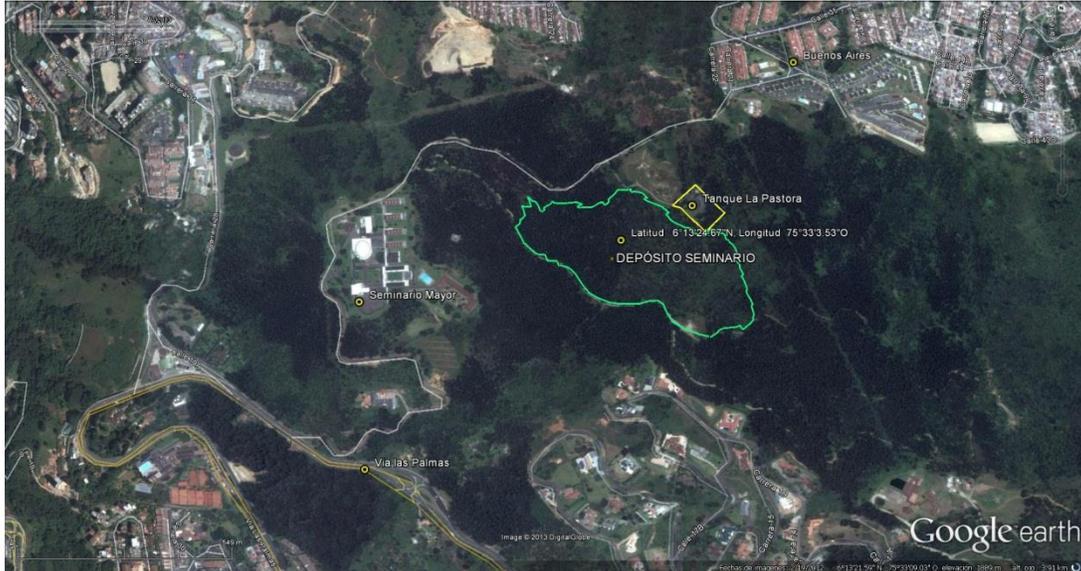


Figura 4-20 - Ubicación depósito Seminario

Como se mencionó anteriormente con el fin de compensar la no utilización del depósito Bolivariana, se realizó una optimización de los diseños del depósito Seminario, para aumentar la capacidad del mismo sin afectar las condiciones de estabilidad de la zona, reducir el riesgo a las amenazas naturales del sitio y el impacto ambiental de las obras considerando las condiciones actuales, minimizando la intervención a las laderas y cauces naturales. La optimización incluyó la evaluación y mejoramiento de los tratamientos inicialmente propuestos, con base en los reconocimientos geológicos y geotécnicos, la exploración del subsuelo y la implementación de un sistema de instrumentación con la finalidad de monitorear los niveles piezométricos y las deformaciones laterales del terreno antes, durante y después de ejecutadas las obras propuestas.

En la zona donde se encuentra ubicado el Depósito se presentan dos unidades geológicas como son: Depósitos de flujos de lodos y el Stock de San Diego. El Depósito Seminario se emplaza dentro del stock de San Diego, en esta zona predominan rocas ígneas intrusivas, las cuales son clasificadas como Gabro, actualmente, en la zona predominan los horizontes IB y IC de meteorización, los cuales alcanzan a tener hasta los 40m de espesor.

La condición definitiva del depósito Seminario implica una capacidad cercana a 1.000.000 m³, condición que conlleva a intervenir una parte importante de la zona, por esta razón, es fundamental realizar una adecuación integral del terreno y los drenajes naturales presentes en la zona.

Con el fin de minimizar el área a intervenir, se propone la construcción del depósito en dos etapas, la primera comprende un volumen de 650.000m³ y la segunda de 350.000 m³, en principio, con la primera etapa se estima se cubriría el material producto de la excavación de la vía y parte de los túneles, sin embargo, se dejó una capacidad adicional para atender volúmenes propios de la construcción de la vía, cada etapa requiere un tratamiento integral de cuencas y drenajes, de tal forma que se reduzca el impacto ambiental y se garantice la estabilidad del depósito.

Los análisis de estabilidad muestran que bajo las condiciones actuales la ladera es estable tanto en condiciones estáticas como pseudo estáticas de carga. Bajo la condición de servicio, el depósito es estable aún para el escenario conservador que consideró el nivel freático en el contacto lleno-

terreno natural, las potenciales superficies de falla presentaron valores adecuados, por lo que se descartan fallas que comprometan la fundación del sitio. De los análisis de estabilidad, no se detectaron fallas o potenciales superficies de falla las cuales comprometan la estabilidad actual y futura del tanque la Pastora.

La optimización contemplo la reevaluación de los sistemas de drenaje subsuperficial y de escorrentía. El primer sistema consiste en la construcción de filtros profundos tipo espina de pescado con el fin de captar y encauzar de manera organizada y eficiente las aguas que se infiltren desde el lleno y la fundación. El segundo sistema consiste en un sistema de canales y alcantarillas, diseñadas para un periodo de retorno de 100 años. El diseño final del depósito se encuentra en el anexo 4.5, informe de diseño I-2284-TO-DP-01-Rev1 realizado por la firma Inteinsa S.A.

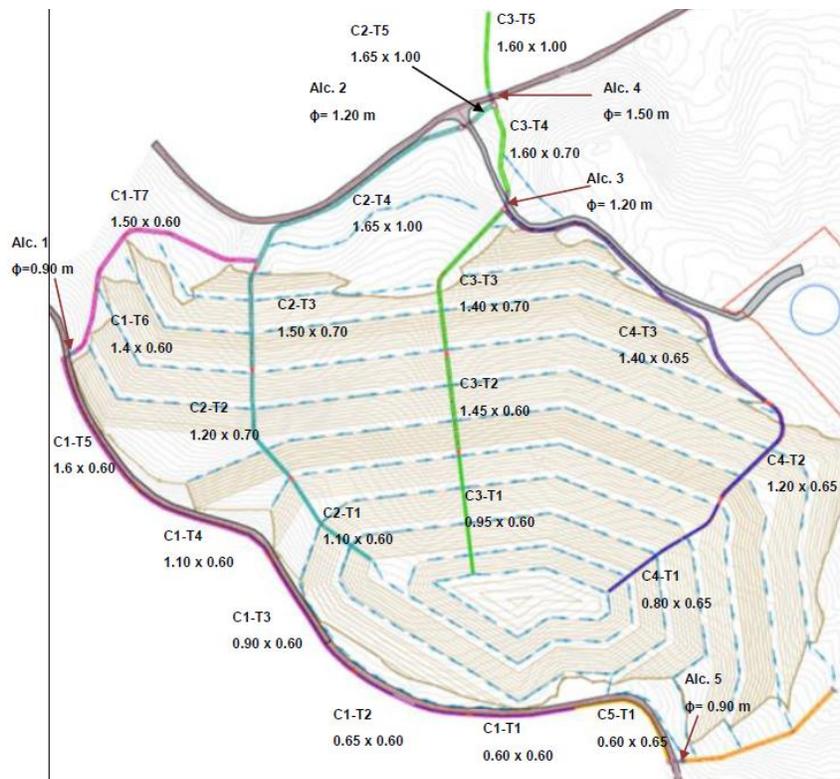


Figura 4-21 - Deposito Seminario. Obras hidráulicas de manejo de aguas

Deposito Mina Guayabito - Ingetierras

Está ubicado en la vereda Guayabito del municipio de Rionegro, sobre la margen izquierda de la vía Don Diego a Rionegro y a 4 kilómetros antes de llegar al Centro comercial Llanogrande.

Este depósito se encuentra a 10 kilómetros del portal oriental del Túnel Santa Elena y su recorrido se hace por la vía glorieta Sajonia, glorieta aeropuerto, vía Llanogrande y finalmente por la vía Llanogrande - Don Diego.

La zona de depósito corresponde al área de recuperación de la explotación minera realizada por Ingetierras de Colombia S.A. en la llanura aluvial del Rio Negro. Esta zona está comprendida

dentro del área de concesión minera con código HDMK-01 para la explotación de arenas y gravas naturales en un área de 146,52 hectáreas. Esta explotación minera cuenta con licencia ambiental otorgada por Cornare mediante resolución N° 112-0020 del 14 de enero de 2005, posteriormente modificada por la resolución 112-5877 del 14 de noviembre de 2007. Actualmente la competencia ambiental la tiene el actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible según la resolución 2333 del 21 de diciembre de 2007, modificada por la resolución 2353 del 24 de diciembre de 2007.

En la actualidad este depósito cuenta con una capacidad disponible de 300.000 m³ aproximadamente como parte del llenado de las celdas de explotación de acuerdo a los requerimientos de la entidad ambiental.

Depósito Mina Samarcanda – Locería Colombiana S.A.

Ubicado en la vereda cabeceras del municipio de Rionegro. Su acceso se hace a través de la vía que conduce del Centro Comercial Llanogrande hacia la vereda Cabeceras, en un recorrido de 1.8 kilómetros hasta la entrada de la mina para un recorrido final de 600 metros. El trayecto desde el portal Oriental del Túnel Santa Elena hasta el sitio de depósito es de 9.5 kilómetros.

Este depósito corresponde a la recuperación de la explotación minera que realiza Locería Colombiana dentro del área de concesión minera C-766 (nuevo código CFWB-02). En la actualidad este depósito cuenta con una capacidad disponible de 60.000 m³ aproximadamente como parte del llenado de las celdas de explotación de arcilla, de acuerdo a los requerimientos de la entidad ambiental.

Depósito Mina SUMICOL en San Antonio de Pereira – Rionegro.

El ingreso está a 1 Km desde San Antonio, sobre la vía que conduce al Municipio de La Ceja; desde este punto se gira a la derecha unos 50 metros y llega a la portería de la mina. Desde el Portal oriental del Túnel Santa Elena hasta la boca de mina hay 13 Km transitados por vía pavimentada.

El depósito corresponde a una zona de recuperación minera donde Sumicol ha explotado arcillas de origen lacustre dentro del área de su Concesión minera, la cual cuenta con Licencia ambiental única otorgada por CORNARE mediante Resolución No 5269 del 26 de septiembre de 1996. Este depósito cuenta con una capacidad disponible de unos 10.000 m³ aproximadamente.

Depósito La Querencia.

Su ingreso está a 1 Km desde la glorieta del aeropuerto JMC y a unos 4 Km desde el portal oriental, sobre la margen derecha de la vía Aeropuerto-Guarne; La zona del depósito está conformada por un relieve de pequeñas colinas y bajos relieves, éstos últimos serían los que se aprovecharían para hacer un lleno técnico y conformar el terreno. En general, la zona presenta una geomorfología de baja pendiente, con lomos redondeados y de baja altura, la cual es típica del Batolito Antioqueño.

Adicionalmente, por la parte inferior de la zona pasa la quebrada Rancherías, de caudal Importante (76 l/s), esta presenta un ancho cercano a los 3 m, de baja pendiente, cuenta además con una planicie o zona de inundación, en donde al parecer se riega el caudal en avenidas torrenciales.



Figura 4-22 - Ubicación general depósito la Querencia

La zona está dominada por dos unidades geológicas principales como son El Batolito Antioqueño y depósitos aluviales, los cuales generalmente cubren suelos derivados de cenizas volcánicas y/o un nivel de arcillas denominado Horizonte Gley, que a su vez descansan sobre suelos residuales del Batolito. Los depósitos aluviales se presentan a lo largo de la quebrada que limita el depósito en su parte baja, estos cuerpos están conformados por niveles de arcillas plásticas, con frecuente presencia de niveles de turba, los cuales son concentraciones de materia orgánica de espesor variable; en la zona se han reportado estos niveles de más de 4 m.

La zona de análisis se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Río Negro, en el municipio de Rionegro. Específicamente, el sitio se encuentra en medio de dos corrientes afluentes de dicha cuenca, denominados quebrada Rancherías y Afluente Sur, de los cuales el más cercano a los depósitos sería el Afluente quebrada Rancherías.

En la zona no se aprecian procesos morfodinámicos de importancia y relevancia, en general, la vertiente está libre de cicatrices, procesos o movimientos en masa; sin embargo, resalta la presencia de afluente en la parte baja de la vertiente el cual tiene una amplia zona de inundación, la cual permanece la mayor parte del tiempo saturada, dicha zona de inundación es primordialmente plana, por lo que se espera un predominio de suelos limo arenosos provenientes de la dinámica misma de la quebrada, no se descarta la presencia de Turba y materia orgánica en estas márgenes. Considerando el afluente y la zona de inundación se propuso emplear un retiro de por lo menos 30 m del eje del afluente como un límite inicial para los depósitos.

Se estima que las diversas zonas bajas para llenar, tendrían una capacidad total de unos 180.000 m³. En la siguiente figura se aprecia la conformación de las zonas de disposición.



Figura 4-23 - Zonas de disposición depósito la Querencia

Con la finalidad de garantizar las mejores condiciones para los materiales de la fundación del depósito, se implementará la construcción de una red de filtros superficiales. Por las limitantes topográficas de la zona, es importante emplear filtro superficiales de máximo 1.0 m de altura, con remates de altura variable, tratando en lo posible entregar lo más cercano posible al afluente.

Una vez implementado el depósito, y la construcción de las obras de captación y conducción de aguas de escorrentía diseñadas (cunetas, canales, rondas) es importante poner en marcha un programa de instrumentación que permita monitorear el comportamiento de las presiones de poro y la estabilidad del depósito como tal. Se propone instalar por lo menos tres (3) piezómetros, por lo menos uno en cada pata de ventana y al menos un inclinómetro en la parte alta del depósito con el fin de evaluar la estabilidad del lleno, y otro cerca de la pata del depósito con el objeto de detectar fallas de fondo.