ALCALDÍA DE SANTA MARTA
Distrito Turístico, Cultural e Histórico

CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA EL SISTEMA DE ACUEDUCTO DENOMINADO “EL CURVAL” EN LA ZONA URBANA Y RURAL DE SANTA MARTA D.T.C.H.



ESTUDIO DE SUELOS Y GEOTENICOS

DICIEMBRE DE 2021

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOTECNICOS 5

1.1 ESTUDIO DE SUELOS 5
1.1.1 Objetivo del informe 5
1.1.2 Generalidades del proyecto a construir 5
1.1.3 Entorno geológico 7
1.1.4 Estratigrafía geológica 9
1.1.5 Características geológicas de los lotes. 12
1.1.6 Amenazas geológicas 13
1.1.7 Investigación geotécnica realizada 18
1.1.8 Descripción geotécnica de los materiales encontrados 27
1.1.9 Descripción geotécnica de los materiales encontrados 30
1.1.10 Sismicidad del entorno y determinación de parámetros sísmicos 35
1.1.11 Niveles de aguas freáticas o colgadas 37
1.1.12 Recomendaciones de cimentación 37
1.2 CONCLUSIONES DE ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA Y ASENTAMIENTOS. 41

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA N° 1. LONGITUD TUBERIA CONDUCCION. 6
TABLA N° 2. SISMICIDAD HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA. FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 14
TABLA N° 3. CARACTERIZACIÓN EN CAMPO REALIZADA. 18
TABLA N° 4. COORDENADAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS (SISTEMA DE COORDENADAS MAGNA COLOMBIA BOGOTA) 19
TABLA N° 5. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMOSA. 27
TABLA N° 6. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMO ARCILLOSA. 28
TABLA N° 7. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMO ARCILLOSA. 28
TABLA N° 8. CONSTANTES ADOPTADAS PARA CALCULAR EL MÓDULO DE DEFORMABILIDAD DEL SUELO PARA LOS CÁLCULOS DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA A CONSTRUIR. 32
TABLA N° 9. PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE (ϕ' Y C'). 34
TABLA N° 10. PROMEDIOS DE E_S POR ESTRATOS CON DATOS N_{55}. 35
TABLA N° 11. PROMEDIOS DE EPROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS ESTRATOS (ϕ', C', Γ, E_S) 35
TABLA N° 12. TIPO DE PERFIL DE SUELO SEGÚN NSR-10. 36
TABLA N° 13. TIPO DE PERFIL DE SUELO SEGÚN NSR-10. 37
TABLA N° 14. ESTRUCTURAS A CONSTRUIR. 37
TABLA N° 15. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS. 38
TABLA N° 16. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS. 39
TABLA N° 17. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS. 40

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA N° 1. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO, ZONA RURAL Y URBANA DE SANTA MARTA, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA. 6
FIGURA N° 2. UBICACIÓN DEL LOTE PTAP "EL CURVAL", ZONA RURAL DE SANTA MARTA, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA. 7
FIGURA N° 3. GEOLOGÍA DE SANTA MARTA Y ZONA RURAL. 9
FIGURA N° 4. LEYENDA GEOLÓGICA REGIONAL 12
FIGURA N° 5. MAPA DE SISMICIDAD HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA. FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. 15
FIGURA N° 6. ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA APLICABLE A EDIFICACIONES PARA LA NSR-10 EN FUNCIÓN DE A_A Y A_V. 16
FIGURA N° 7. ZONAS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE MASAS. 17
FIGURA N° 8. ESQUEMATIZACIÓN GENERAL DEL SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR. 19
FIGURA N° 9. ESQUEMA DE ENSAYO DE GEOTOMOGRAFÍA ELÉCTRICA. 23
FIGURA N° 10. VALORES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE ALGUNOS, SUELOS, ROCAS Y MINERALES. 25
FIGURA N° 11. VALORES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE ALGUNOS, SUELOS, ROCAS Y MINERALES. 26
FIGURA N° 12. LÍNEA TOMOGÁFICA 1 EN LOTE PTAP. 29
FIGURA N° 13. LÍNEA TOMOGÁFICA 2 EN LOTE PTAP. 30
FIGURA N° 14. CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO. FUENTE: TÍTULO A NSR-10. 36

FIGURA N° 15. INCIDENCIA DE ESFUERZOS POR DEBAJO DE LA CIMENTACIÓN PROPUESTA PARA LAS ESTRUCTURAS A CONSTRUIR LOTE PTAP "EL CURVAL"..... 39
FIGURA N° 16. INCIDENCIA DE ESFUERZOS POR DEBAJO DE LA CIMENTACIÓN PROPUESTA PARA LAS ESTRUCTURAS A CONSTRUIR LOTE PTAP "EL CURVAL"..... 40

1. ESTUDIOS DE SUELOS Y GEOTECNICOS

En este capítulo se encuentran en forma general una serie de componentes que hacen parte del diagnóstico del área de estudio, entre las que se encuentran las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio, así como, las tecnologías existentes que puedan ser aplicadas para cumplir con el objeto del presente contrato, un diagnóstico predial del lote donde se ubicara la PTAP, y una serie de consideraciones inherentes a la etapa de diseño y que pueden afectarla, es por esto, que a continuación se muestra las condiciones mencionadas basado en información secundaria y en las visitas en campo realizadas. Además, para identificar todos aquellos elementos y/o estructuras que puedan interferir con las obras a diseñar dentro del proyecto.

1.1 ESTUDIO DE SUELOS

El presente informe geotécnico contiene la exploración en campo, análisis de información obtenida y recopilada, teniendo en cuenta el entorno geológico, sísmico e hidrológico y posibles amenazas existentes, para entregar las posibles recomendaciones de cimentación y estabilidad del proyecto:

Los trabajos de campo fueron ejecutados entre los meses de septiembre y noviembre del año en curso (2021).

Para la elaboración del presente informe se siguieron los lineamientos generales de los Títulos A y H de la normatividad **REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR – 10**.

1.1.1 Objetivo del informe

Los objetivos para alcanzar en el presente estudio son:

a) Determinar la Estratigrafía del sitio.
b) Establecer la posición y el efecto de las aguas superficiales y subterráneas.
c) Definir el tipo de perfil de suelo y parámetros de diseño.
d) Entregar recomendaciones de excavaciones seguras y diagramas de empujes.
e) Determinar el tipo de cimentación recomendado para las estructuras a construir.
f) Entregar las recomendaciones geotécnicas necesarias para el desarrollo del proyecto teniendo en cuenta la posibilidad de licuefacción.
g) Recomendaciones geotécnicas constructivas para la protección de las edificaciones vecinas.

1.1.2 Generalidades del proyecto a construir

El proyecto está conformado por una planta de tratamiento de agua potable PTAP "El Curval" en un área aproximada de 3Ha y una lina de conducción y redes de distribución.

TABLA N° 1. LONGITUD TUBERIA CONDUCCION.

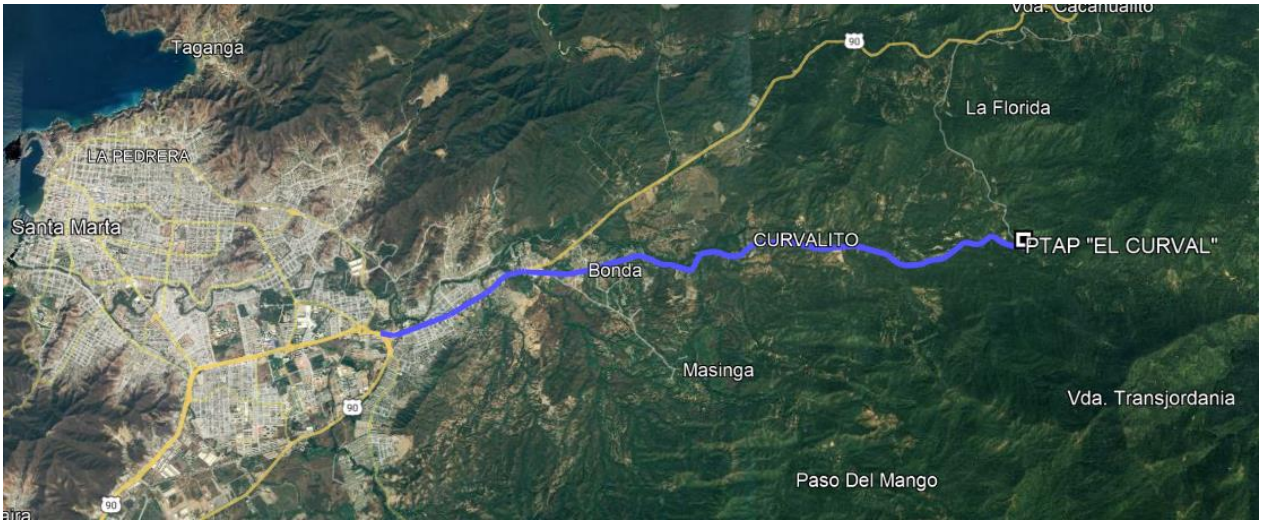
TRAMO	LONGITUD (km)
Conducción Tramo Curval – Mamatoco	11

Fuente: Elaboración propia

1.1.2.1 Localización

El proyecto se encuentra localizado en diferentes lotes del área rural y urbana de Santa Marta, en el departamento del Magdalena. Las Figuras 1 a la 5, muestran la ubicación general del proyecto y cada uno de los lotes del proyecto respectivamente.

FIGURA N° 1. UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO, ZONA RURAL Y URBANA DE SANTA MARTA, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.



Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth Pro y Google Maps.

FIGURA N° 2. UBICACIÓN DEL LOTE PTAP "EL CURVAL", ZONA RURAL DE SANTA MARTA, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.



Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth Pro y Google Maps.

1.1.3 Entorno geológico

1.1.3.1 Geología local.

De manera general la geología de la zona acuerdo a la investigación realizada por INGEOMINAS (Colmenares et al., 2007) GEOLOGÍA DE LA PLANCHAS 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26,27, 33 Y 34. PROYECTO: "EVOLUCIÓN GEOHISTÓRICA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA", la zona está ubicada en el sector NW de la Sierra Nevada del mismo nombre, geológicamente afloran en el área rocas metamórficas e ígneas, y depósitos sedimentarios. Estas rocas tienen orígenes a principios del cenozoico hasta la actual. Las más antiguas datan del paleógeno hasta el neógeno, y los depósitos sedimentarios encontrados se restringen al cuaternario y son de origen aluvial, fluviolacustre y de playa, los cuales suprayacen sobre estas rocas. Algunas de las edades asignadas a las unidades ígneas y metamórficas son imprecisas y dudosas, debido a que se han establecido indirectamente.

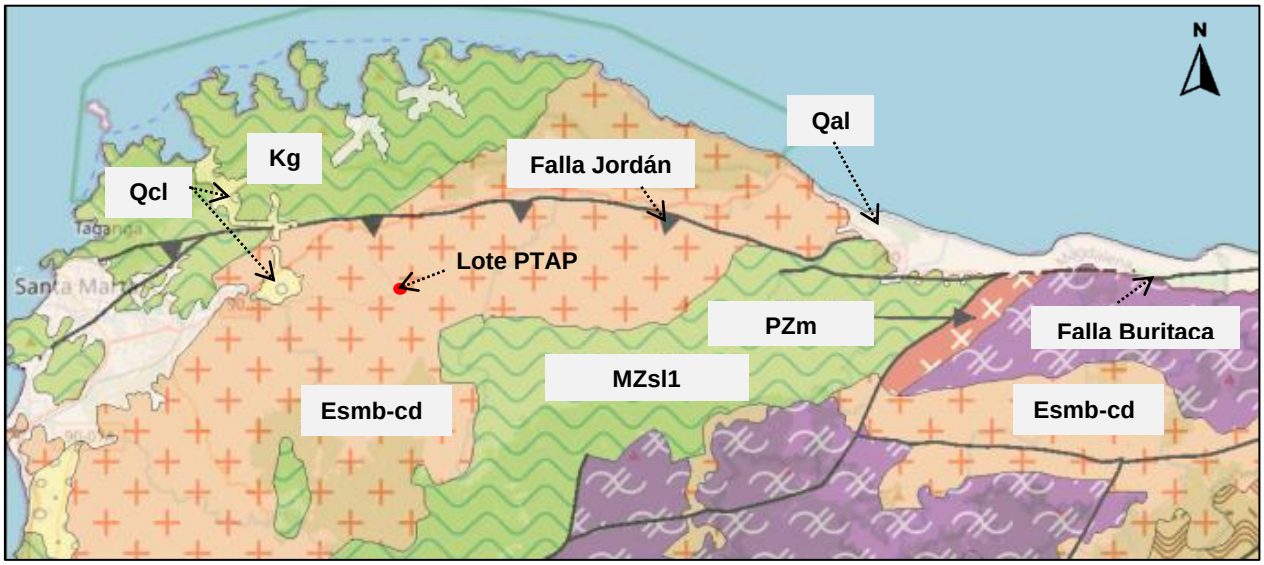
1.1.3.2 Geología estructural.

En esta zona se encuentran las siguientes fallas: Falla de Jordán y Buritaca. Se observa claramente cómo afectan las filitas, los esquistos, Batolito de Santa Marta y Geis de Los Muchachitos. La falla de Jordán que afectan la cuarzodiorita del Batolito de Santa Marta, se evidencian por las zonas de milonitización, siendo Falla inversa o de cabalgamiento.

Falla Jordán. Describe un trazo ligeramente curvado al norte, con excelente expresión morfológica y con un rumbo general EW, geometría que indica un plano levemente inclinado al sur. Esta falla muestra desplazamiento dextral y se extiende por 20 Km, a lo largo de la Quebrada El Jordán y el Río Piedras, en las planchas 11 y 12, desde la región de Palangana, hasta inmediaciones de la desembocadura del Río Guachaca. La cartografía geológica muestra evidencias del movimiento lateral dextral de aproximadamente 5 km de longitud, como se deduce del desplazamiento de los contactos intrusivos del "Batolito de Santa Marta" (Esmb-cd) con rocas metamórficas de "Los Esquistos de Gaira" (Kg) al occidente, y con las metamorfitas de los "Esquistos de San Lorenzo" (MZsl1) al oriente. La Falla Jordán termina al occidente en una duplexa múltiple transpresiva, constituida por lo menos por cinco fallas inversas subparalelas ("contractional horse tail"), de moderado a alto ángulo de inclinación, con vergencia hacia el NW. Asociada a la Falla de Jordán, ocurre una falla de trazo levemente curvado, con dirección general EW, que se extiende a lo largo de 20 km, en el Batolito de Santa Marta (a lo largo de la rivera norte de la Quebrada El Jordán y el Río Piedras), con desplazamiento dextro-lateral. Esta falla termina en una estructura de transpresión con vergencia SE, al E de la desembocadura del Río Piedras, donde transporta rocas de la unidad (Kg), sobre el Batolito de Santa Marta (Esmb-cd).

Falla Buritaca. Esta aflora con un trazo rectilíneo, lo cual indica un plano de falla aproximadamente vertical en su porción somera. Se extiende a lo largo de 20 Km con un rumbo EW, desde un poco al E de Perico Aguado sobre la línea de costa, hasta cercanías del Río Guachaca (plancha 12). Afecta rocas de las unidades "Neis de Los Muchachitos (PZm) y "Esquistos de San Lorenzo" (MZsl1). La línea de costa entre Los Ríos Cañas y Mendiguaca, está controlada al menos por cinco lineamientos orientados aproximadamente N78°W, cercanamente paralelos entre sí y dispuestos "en echelón". Estos lineamientos se disponen en ángulos que varían entre 15º y 18º con respecto al trazo de la Falla de Buritaca, lo cual parece sugerir que su desplazamiento es de tipo dextral, si estos lineamientos se entienden como estructuras de cizalla Riedel primarias (ver Figura N° 3). Hacia el extremo oriental de esta falla, inmediatamente al sur de su plano y desprendiéndose de éste con un ángulo de unos 10º, ocurre una falla que parece corresponder a una cizalla P y se.

FIGURA N° 3. GEOLOGÍA DE SANTA MARTA Y ZONA RURAL.



Fuente: Elaboración propia y Servicio Geológico Colombiano 2015

A continuación, se define la estratigrafía geológica.

1.1.4 Estratigrafía geológica

1.1.4.1 Depósitos coluviales y abanicos aluviales (Qcl), Cuaternario

Se forman en las estribaciones de Bahia Concha y al sur oeste de Santa Marta, principalmente, y conservan una dirección NW que sigue la dirección del piedemonte. Son de poca extensión areal, ya que se encuentran suprayacidos por depósitos de llanura aluvial y depósitos fluviolacustres más recientes. Están formados, principalmente, por gravas subredondeadas y bloques hasta de 1 metro derivadas de rocas ígneas y metamórficas de la Sierra Nevada como neises, granulitas, dioritas y gabros, en una matriz arenosa; se ubican en el piedemonte y geomorfológicamente muestran un suave basculamiento hacia el oeste.

1.1.4.2 Depósitos aluviales (Qal), Cuaternario

En la zona predominan los depósitos aluviales que corresponden a acumulaciones semiconsolidadas de origen aluvial localmente. Están constituidos por gravas, arenas y fragmentos de rocas metamórficas e ígneas de las diferentes unidades del basamento cristalino de la Sierra Nevada de Santa Marta en proporciones variables de acuerdo con la distancia a la fuente de transporte y cubren áreas extensas en las zonas planas, deprimidas de los ríos Don Diego, Buritaca y Guachaca. Están formados por los conos aluviales, terrazas y depósitos aluviales estratificados de los principales drenajes anteriormente mencionados. En algunos casos estas acumulaciones se interdigitan y forman una cadena continua de abanicos. En la quebrada Espíritu Santo se encuentra un Cuaternario estratificado de arenas y arcillas, hacia

la base es más arcillosa y pasa a ser más arenosa, con arenas gruesas de origen polimíctico compuesto por cuarzo y líticos en una matriz arcillosa; es de origen aluvial.

1.1.4.3 Esquistos de Gaira (Kg), Eoceno.

Tschanz et al. (1969) definen este cuerpo como el más inferior de las dos unidades de paraesquistos muy similares, que fueron metamorfoseados del mismo grado metamórfico en el mismo tiempo. Consiste de esquistos anfibólicos densos, negros y micaesquistos. La parte más inferior contiene algunas capas de filita clorita con marcada foliación crinkled, con pequeños cristales de cloritoide y espesartita. Las rocas ultramáficas metamorfoseadas y esquistos grafíticos son constituyentes menores. Presenta complicaciones estructurales y cambios metasomáticos relacionados con el Batolito Complejo de Santa Marta. Los micaesquistos son principalmente esquistos biotíticos pero algunos contienen moscovita y biotita. Presenta biotita semitransparente metamórfica baja en hierro de un brillo plateado a la superficie.

En la quebrada la Aguja afloran esquistos biotíticos con niveles de biotita oscura, de 30 m de espesor, aproximadamente. Los esquistos biotíticos al sur de la quebrada La Aguja buzan hacia el Sur, bajo el Neis de Buritaca. Se observa un nivel de esquistos grafíticos intercalados con los esquistos biotíticos cerca al contacto con los neises. Los esquistos biotíticos de la quebrada La Aguja en algunos sectores muestran una débil foliación secundaria. En general, consiste de esquistos micáceos, cuarzofeldespáticos y anfibólicos, esquistos grafíticos, anfibolitas esquistosas y de grano fino, rocas ultramáficas y probablemente mármoles. Se reporta la presencia de bauxita en forma representativa en los esquistos que afloran en los cerros de Santa Marta y en las vías a Gaira y El Rodadero.

1.1.4.4 Esquisto de San Lorenzo (MZsl), Eoceno.

Con el nombre de "Esquisto de San Lorenzo" (MZsl) se ha designado un conjunto de rocas metamórficas especialmente esquistos grafitosos, esquistos cuarzo micáceos y cuarcitas que aflora en el flanco noroccidental de la SNSM. En este informe hemos utilizado este término para agrupar toda la secuencia de esquistos y cuarcitas que forman un cinturón orientado SW – NE (en la parte sur) y WSW – ENE (en la parte norte), esta secuencia metamórfica se compone de dos conjuntos, en el conjunto inferior predominan esquistos grafitosos (denominado por Tschanz et al., 1969, como "Esquisto de Gaira"), y el conjunto superior que está constituido principalmente por esquistos cuarzo micáceos y cuarcitas.

1.1.4.5 Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca (Esmb-cd), Eoceno.

La unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca (Esmb-cd), corresponde a dos cuerpos de extensión considerable, de rocas ígneas intrusivas de composición tonalítica e incluye a las rocas híbridas (Esmb-b), que afloran en la zona de contacto con la unidad "Esquisto de Gaira". La unidad Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca, corresponde a tonalitas biotíticas – hornbléndicas y tonalitas hornbléndicas - biotíticas, de textura holocristalina, hipidiomórfica, de grano medio y color gris; ocasionalmente afloran dioritas, granodioritas y granitos. Esta unidad se caracteriza por la presencia de venas de plagioclasa y cuarzo, de

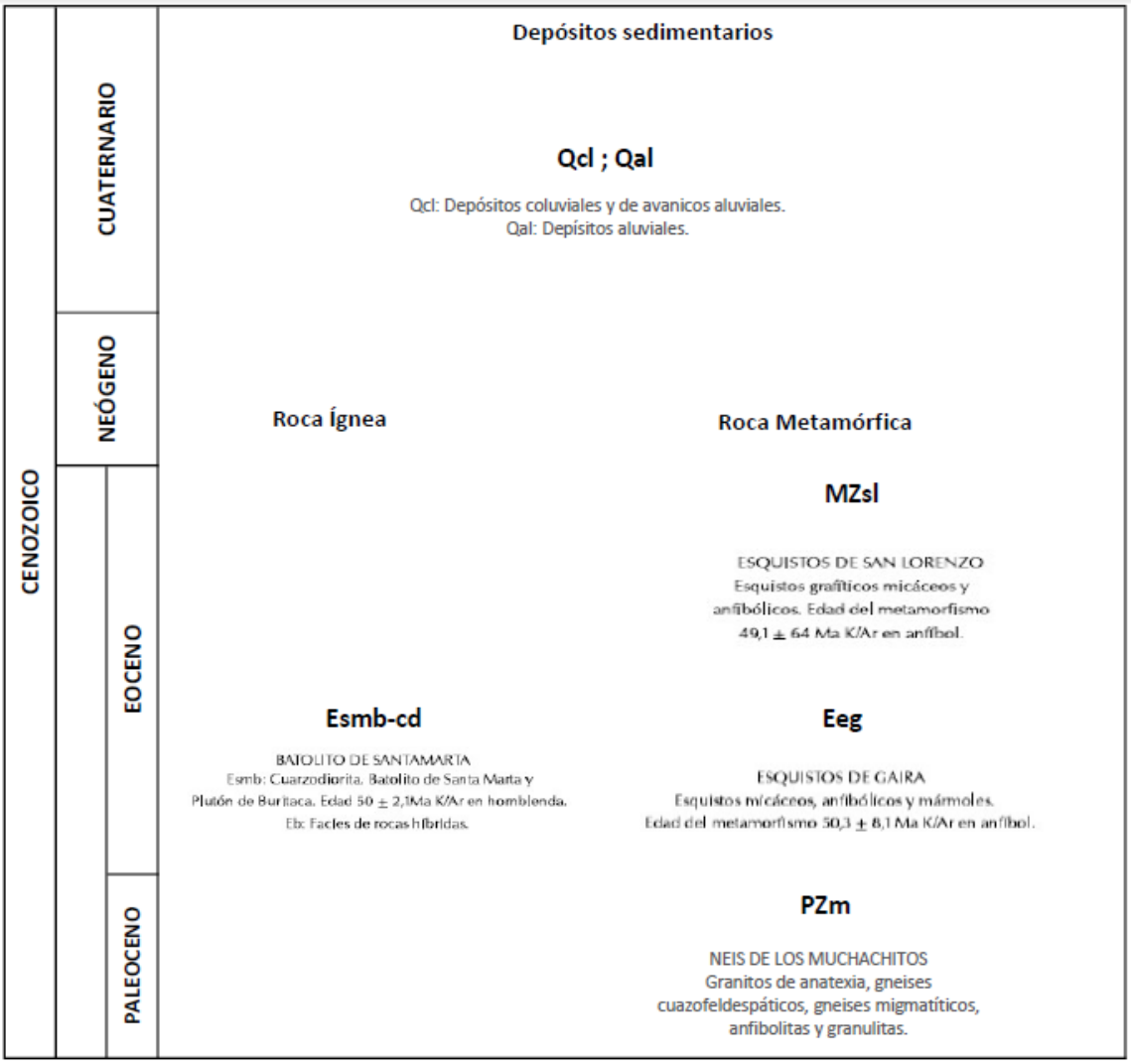
enclaves máficos y de fracturas rellenas epidotizadas. Es común observar en algunos sectores una foliación incipiente, marcada por la biotita, resultado en algunos casos de meteorización y en otros de cizalla.

1.1.4.6 Neis de Los Muchachitos (PZm), Paleógeno.

Corresponde a la secuencia metamórfica de grado medio, que aflora en la región ubicada entre el municipio de Guachaca y el Río Palomino, al norte de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esta aflora en la parte norte de la SNSM, forma una franja orientada W - E que se extiende desde el sector del Río Guachaca al oeste hasta el Río Palomino en el este. En el aspecto litológico el "Neis de Los Muchachitos" consiste en una secuencia de neises con hornblenda y biotita, y esquistos con hornblenda, biotita y moscovita, también se distinguen rocas cataclásticas verdes a gris verdosas y ocasionalmente se reconoce un nivel de mármol hacia la parte media de la unidad.

La leyenda estratigráfica se puede observar con nomenclatura en la Figura N° 4 de la "Geología de la plancha 11 Santa Marta" realizado por Hernandez, M., et al., 1998, del Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS) del año 1998.

FIGURA N° 4. LEYENDA GEOLÓGICA REGIONAL



Fuente: Elaboración propia y Plancha 11 Ingeomina 1998

1.1.5 Características geológicas de los lotes.

1.1.5.1 Lote PTAP "EL CURVAL".

Como se puede observar en la Figura N° 1, el lote del proyecto a construir se encuentra sobre la formación Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca (Esmb-cd), esta formación Granitoide formado en condiciones de presión y temperatura altas, la abundancia de enclaves máficos, evidencia la existencia de magmas máficos desde el inicio y durante la evolución del magma

félsico. Esta formación se puede observar a simple vista a lo largo de la superficie del lote, tal como se muestra en la fotografía 1.



Fotografía 1. Granodiorita de grano fino perteneciente al Batolito de Santa Marta en lote PTAP "El Curval". Fuente: Elaboración propia.

La edad de esta formación se encuentra entre 49.0±2.0 y 48.4±1.8 Ma aproximadamente en la época del Eoceno, (Tschanz et al., 1969).

Sobre esta formación yace superficialmente materiales sedimentarios conformados por arenas limosas de grano medio de origen aluviales los cuales tienen presencia de pirita, producto del transporte de sedimentos por la escorrentía superficial que viene de zonas más altas.

1.1.6 Amenazas geológicas

La región Caribe colombiana está ubicada en la zona de convergencia de las placas tectónicas Caribe y Suramericana, la primera de tipo oceánico y la última de tipo continental. Los sismos, los derrumbes, los deslizamientos, los hundimientos de terrenos y las inundaciones son, entre otros, signos de un relieve dinámico y en formación, que tiene de alguna manera relación -al menos en parte-, con el choque entre estas grandes estructuras. En este inciso se analiza puntualmente la amenaza sísmica y amenaza por movimientos de masas.

1.1.6.1 Amenaza sísmica

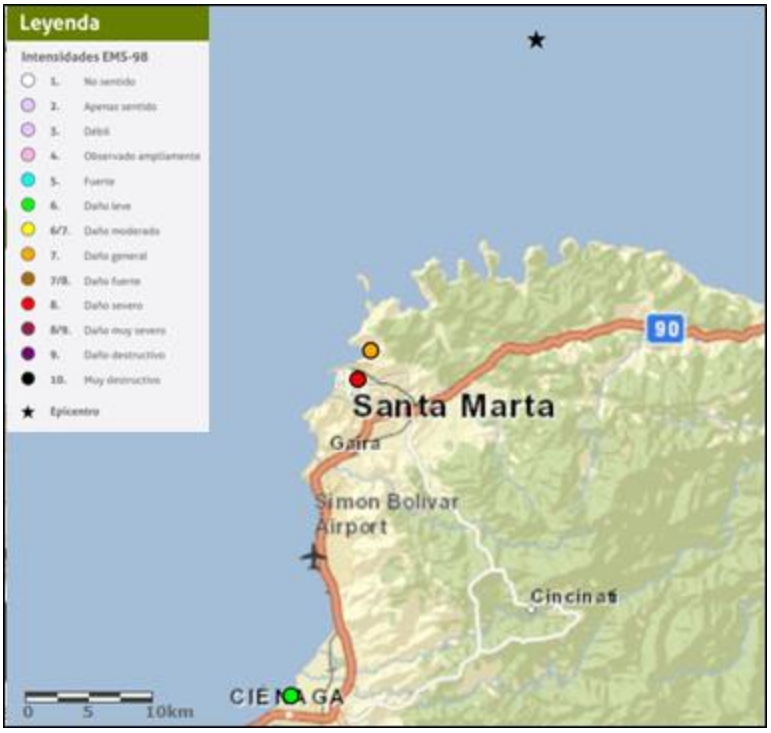
La amenaza sísmica se define como el valor esperado de futuras acciones sísmicas en un sitio de interés, se mide en función de la aceleración del terreno debida a las ondas sísmicas. Por lo tanto, el lugar de estudio del presente proyecto, según el Servicio Geológico Colombiano la sismicidad histórica de la ciudad de Santa Marta, en los últimos 187 años, se han presentado movimientos sísmicos que han alcanzado rangos de magnitudes entre 5,7 y 6,8, a continuación, se ilustra la Tabla N° 2, que contiene la información histórica de sismos según el Servicio Geológico Colombiano, y en la Figura N° 5, mapa con ubicación geográfica del lugar de hechos.

TABLA N° 2. SISMICIDAD HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA. FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.

No.	Fecha del sismo	Hora local	Lat.	Long.	Magnitud	Prof. (km)	Centro poblado	Int. sitio	Int. Máx.
1	1834/05/22	03:00	11.49	-74.07	6.4	10	Santa Marta	8	8
2	1834/05/22	03:00	11.49	-74.07	6.4	10	Taganga	7	8
3	1961/06/16	05:33	8.88	-73.48	6.5	114	Santa Marta	4	7
4	1938/02/04	21:23	4.68	-75.69	7	150	Santa Marta	4	8
5	1961/12/20	08:25	4.49	-75.51	6.8	163	Santa Marta	3	8
6	1973/08/30	13:25	7.14	-72.76	6.3	180	Santa Marta	4	8
7	1975/04/05	15:38	10.15	-75.56	5.7	45	Santa Marta	4	6
8	1967/07/29	05:24	6.747	-73.03	6.8	161	Santa Marta	5	8

Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

FIGURA N° 5. MAPA DE SISMICIDAD HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE SANTA MARTA. FUENTE: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.

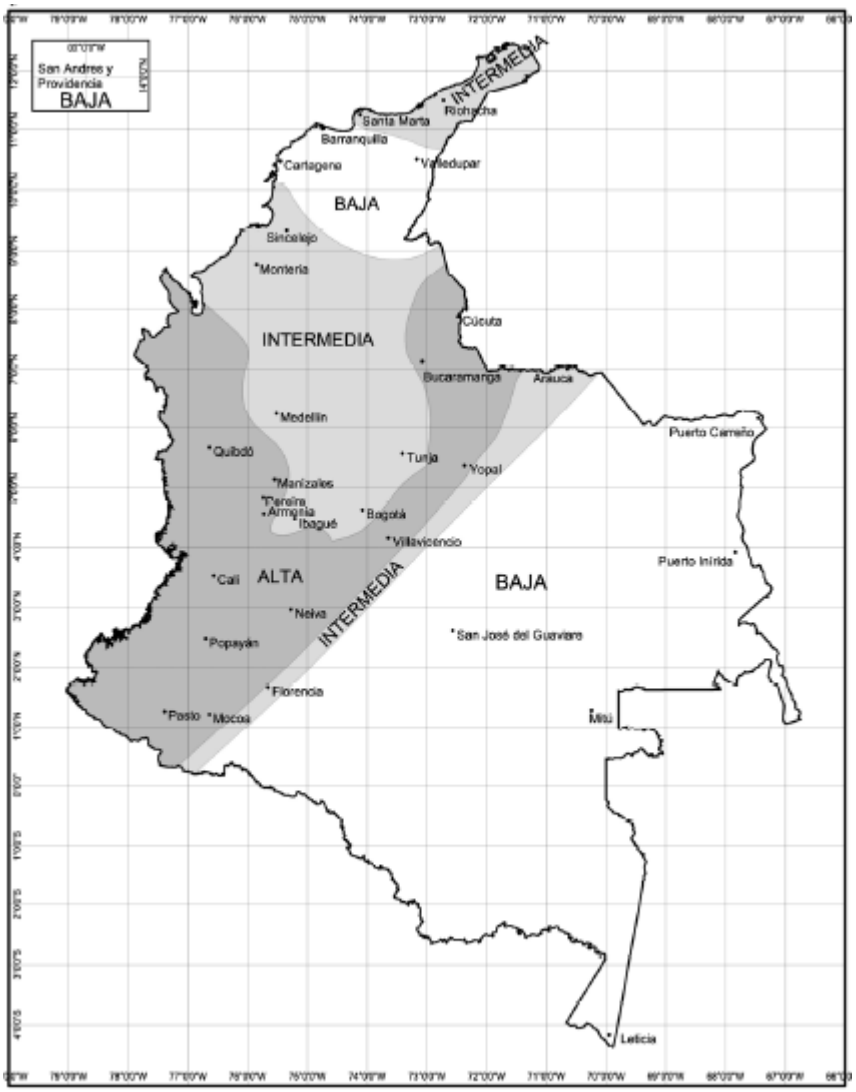


Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

En la NSR-10, inciso "A.2.3 — ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA", se definen las zonas de amenazas sísmicas en todo el territorio colombiano. Las estructuras a construir se pueden localizar dentro de una de las zonas de amenaza sísmica que se ilustra en la Figura N° 6.

La zona en la que clasifican los suelos del proyecto a construir es de categoría **intermédia** localizados en la ciudad de Santa Marta y zona rural.

FIGURA N° 6. ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA APLICABLE A EDIFICACIONES PARA LA NSR-10 EN FUNCIÓN DE A_A Y A_V.

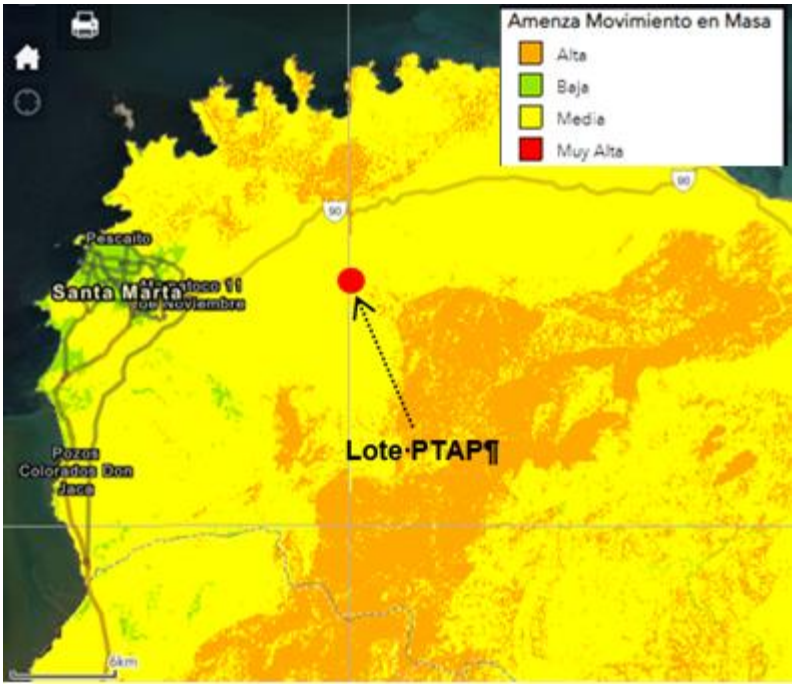


Fuente: NSR-10 inciso A.2.E.

1.1.6.2 Amenaza por movimientos de masa

Las amenazas naturales por inestabilidad de terrenos se refiere a zonas que están o pueden ser afectadas por procesos de remoción en masa: deslizamientos, avalanchas, derrumbes, hundimientos, reptación de terrenos, flujo de suelo en estado plástico, flujo de suelos en estado líquido, flujos de lodo, etc.; y a zonas que están o pueden ser afectadas por erosión o desertificación acelerada, la cual se da como un proceso evolutivo lento, en el que solamente intervienen agentes naturales como el agua, el hielo y el viento, que modelan el paisaje. Sin embargo, esta erosión puede verse acelerada por la acción antrópica como la quema o tala de bosques, construcción de vías, desarrollo urbano no planificado, sobrecarga de taludes por rellenos. No obstante, la estabilidad en un talud está regida por una serie de factores geológicos, geométricos, hidrológicos, geotécnicos y mecánicos. La combinación de estos determina las condiciones de rotura a lo largo de una superficie de falla, los cuales pueden generar un movimiento en masa, los cuales representan un desplazamiento del talud o ladera, en sentido descendente hacia la base o pie de este. Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales naturales. Así mismo, las masas rocosas en ambientes tropicales húmedos se caracterizan por la generación de profundos perfiles de meteorización.
A continuación, se puede ver la Figura N° 7, la cual muestran las zonas de amenazas de movimientos de masas donde se localizan las estructuras del proyecto, las cuales son de amenaza media, según el mapa del Servicio Geológico Colombiano.

FIGURA N° 7. ZONAS DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE MASAS.



Fuente: Elaboración propia y mapa de amenazas por movimientos de masa del SGC.

Sin embargo, una vez se realicen los análisis de estabilidad de ladera de acuerdo con la estratigrafía del sector en los primeros 15m, se podrá determinar con mayor certeza la probabilidad de colapso y los factores de seguridad.

1.1.7 Investigación geotécnica realizada

Para llevar a cabo el objeto del estudio y realizar la caracterización geotécnica del subsuelo del proyecto a construir, se realizó la investigación en campo teniendo en cuenta las características del proyecto y el contexto de los lotes en estudio.

En función del tipo de obras e impactos de estas y para el normal desarrollo del proyecto, se propone una sectorización que divide el proyecto en dos (2) zonas. Esta sectorización se basa tanto en las condiciones geológico - geotécnicas de cada tramo, como en el tipo y magnitud de las obras que se tienen proyectadas y su impacto.

Las zonas propuestas son:

- **PTAP:** Abarca el lote donde se proyecta la PTAP El Curval, en el sector agua viva.
- **Conducción:** Comprende la conducción proyectada desde la PTAP El Curval hasta la interconexión a la red de agua potable de la PTAP de Mamatoco.

Como criterio de caracterización se estableció una distancia entre sondeos de 1,5 km, esto de acuerdo con las recomendaciones que se pueden ver en el Anexo 4.1, sin embargo, en cada cruce encontrado, se realizaron sondeos teniendo en cuenta sus dimensiones. A continuación, La Tabla N° 3, muestra de manera detalla la caracterización en campo realizada.

TABLA N° 3. CARACTERIZACIÓN EN CAMPO REALIZADA.

ZONA/SECTOR	NOMBRE	N° SONDEOS	PROFUNDIDAD (m)
PTAP	"El Curval"	10	15
Conducción	Conducción Tramo Curval – Mamatoco	25	6

Fuente: Elaboración propia

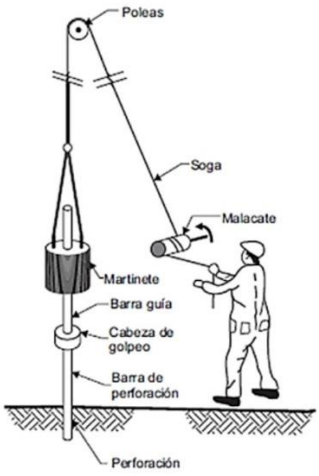
1.1.7.1 Ensayo de penetración estándar (Standard Penetration Test SPT).

Las perforaciones se realizaron con equipos de percusión hasta alcanzar la profundidad propuesta y/o la condición de rechazo (No. Golpes/Pie >50), realizando el ensayo de penetración Normal (Standard Penetration Test SPT) para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener muestras representativas del suelo y una medida de resistencia del suelo a la penetración del muestreador.

El ensayo se realizó siguiendo la norma de ensayo ASTM D 1586 (Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils). Las muestras recuperadas

se mantuvieron herméticas con el objeto de determinar el contenido de humedad natural de los suelos, cada 0,50m, y las muestras recuperadas con el muestrador de cuchara partida se utilizaron para realizar ensayos de clasificación y/o propiedades índices del suelo. Ver Figura N° 8.

FIGURA N° 8. ESQUEMATIZACIÓN GENERAL DEL SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.



Fuente: Kovacs & Salomone, 1982.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra las imágenes aéreas donde se localizan cada uno de los sondeos ejecutados.
La Tabla N° 4, muestra las coordenadas de cada uno de los sondeos realizados.

TABLA N° 4. COORDENADAS DE LOS SONDEOS REALIZADOS (SISTEMA DE COORDENADAS MAGNA COLOMBIA BOGOTA)

Sondeo	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Profundidad (m)	Cota terreno (m.s.n.m)
Lote Planta El Curval				
S-1	1001637.06	1734567.17	15	259.49
S-2	1001667.15	1734482.11	15	246.27
S-3	1001707.89	1734537.01	15	255.14
S-4	1001746.36	1734475.10	15	260.04
S-5	1001713.36	1734439.42	15	251.38
S-6	1001809.61	1734486.61	15	272.04

S-7	1001835.65	1734450.54	15	282.00
S-8	1001884.89	1734471.73	15	296.00
S-9	1001855.93	1734415.92	15	280.00
S-10	1001789.24	1734407.31	15	258.92
Conducción				
S-102	1000611.23	1734443.57	6	195.42
S-103	1000600.05	1734433.71	6	194.62
S-104	1000365.79	1734270.52	6	184.66
S-105	1000095.17	1734209.67	6	173.19
S-106	999676.64	1734162.38	6	166.80
S-107	999021.25	1734469.84	6	135.46
S-108	998806.24	1734483.25	6	122.35
S-109	998747.08	1734481.39	6	121.84
S-110	998734.12	1734480.64	6	122.01
S-111	997169.42	1734518.95	6	89.91
S-112	996240.81	1734324.27	6	51.31
S-113	996233.59	1734312.58	6	49.81
S-114	996177.89	1734154.08	6	52.52
S-115	996171.34	1734138.21	6	47.10
S-116	995874.37	1734166.39	6	46.60
S-117	995577.73	1734199.44	6	42.51
S-118	994134.03	1734047.58	6	43.46
S-119	993079.32	1734039.46	6	33.20
S-120	993011.50	1734020.87	6	34.00
S-121	992747.51	1733802.99	6	38.76
S-122	991499.10	1733139.04	6	31.18
S-123	990722.74	1732125.36	6	26.42
S-124	991126.51	1732543.17	6	30.26
S-125	990686.31	1731269.02	6	39.68
S-126	991104.08	1731276.33	6	85.00
S-127	990987.74	1732755.22	6	28.96

A continuación, se muestran algunas fotografías de las muestras extraídas y perforación realizada en la investigación.



Fotografía 5. Sondeo en Lote PTAP "El Curval".



Fotografía 6. Muestra de Arena limosa color habano y gris, recuperada con toma muestra en Lote PTAP "El Curval.



Fotografía 17. Sondeo en Tramo conducción vía PTAP "El Curval" – Sta. Marta.



Fotografía 18. Muestra de Arena limosa color habano, recuperada con toma muestra en Tramo conducción vía PTAR "El Curval" – Sta. Marta.

1.1.7.2 Ensayos geofísicos (Geotomografía de Resistividad Eléctrica)

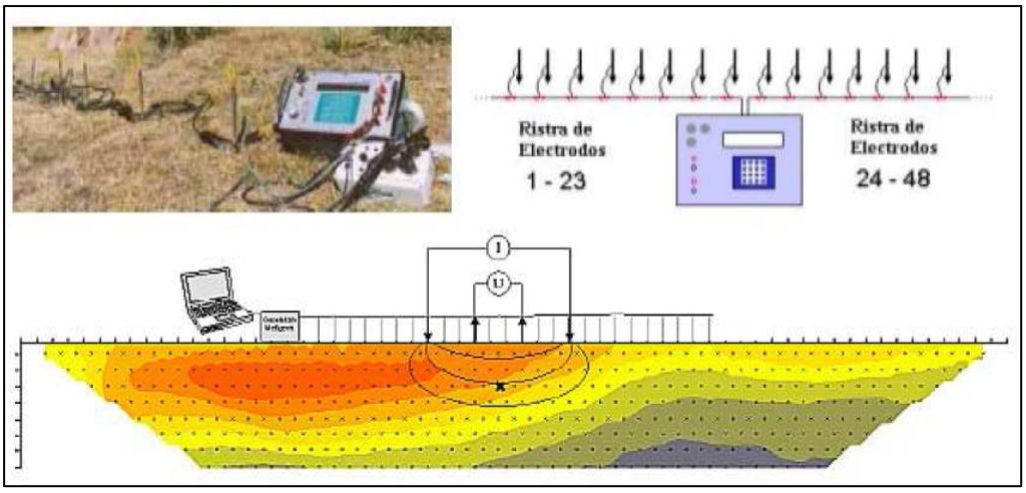
La prospección geofísica es un método rápido y económico para conocer las características del subsuelo. La Geotomografía Eléctrica es actualmente uno de los métodos geofísicos más preciso para conocer las condiciones Geológicas e Hidrogeológicas del subsuelo y cada día presenta avances en recursos tecnológicos, desplazando a otros métodos de prospección. Dicha actividad debe realizarse por personal especializado (Geofísico), el cual debe contar con los equipos necesarios para esta actividad y software de interpretación de resultados.

El estudio de Geotomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) (2D), comúnmente encontrado en la bibliografía como ERT, abreviación de Electrical Resistivity Tomography, es un método que permite investigar la variación de la resistividad del subsuelo a profundidad y lateralmente.

Se estudia a lo largo de líneas en una dirección determinada, donde se inyecta una corriente eléctrica y mediante un dispositivo receptor se observa la respuesta del subsuelo, siendo el resultado, datos de resistividades aparentes.

Se caracteriza por ser una técnica de resistividad multielectrónica, cuyo arreglo geométrico varía dependiendo del objetivo de estudio.

FIGURA N° 9. ESQUEMA DE ENSAYO DE GEOTOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.



Fuente: Griffiths, 1993.

Con las mediciones adquiridas se construye una sección en dos dimensiones (2D) que muestra una primera aproximación de los cambios en el subsuelo.

Posteriormente, se aplica un algoritmo de inversión para obtener la distribución real de resistividades o imagen eléctrica. Imagen que será un resultado interpretable desde un punto de vista físico y geológico, y que dará información sobre las características físicas del subsuelo.

El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electrónico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [P1 y P2]. La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo.

Los estudios se realizan con un arreglo geométrico de cuatro o más electrodos, como la Geotomografía de Resistividad eléctrica que se caracteriza por ser multielectrónica, que finalmente están basados en el mismo principio.

El arreglo geométrico consta de dos electrodos por donde se inyecta la corriente llamados C1, C2 y dos electrodos P1, P2 que miden el potencial. La configuración geométrica puede variar dependiendo del objetivo del estudio.

Los registros de la resistividad aparente se ven afectados fuertemente por la resistividad de los materiales del subsuelo que está cerca del arreglo electrónico (distancia menor a P1-P2) y se afecta en menor grado por la resistividad de los materiales que están a distancias grandes (mayores a C1- C2), tanto lateralmente como en profundidad. Por lo tanto, para investigar las variaciones de la resistividad con la profundidad en un sitio, se varía la separación de los electrodos de la configuración electrónicas (P1-P2, C1-C2) y registrar las caídas de potencia.

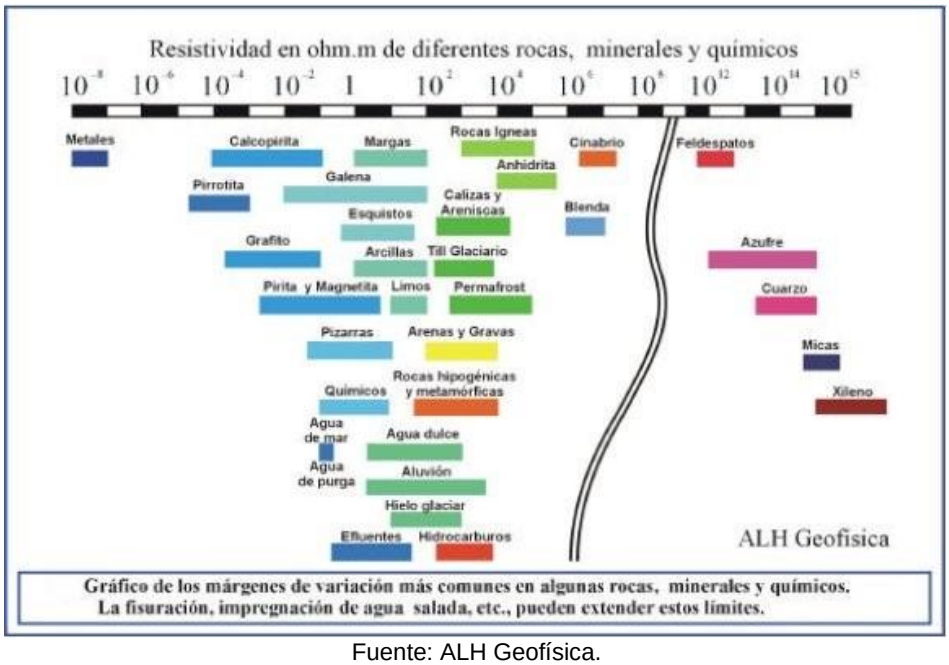
De las diferentes configuraciones posibles que ofrece la T.R.E. se han elegido cuatro los cuales son: Wenner, Shlumberger y Gradient, por sus diferentes características y cuyo común denominador es el espaciamiento entre electrodos.

La finalidad de un registro de Geotomografía Eléctrica es determinar la estratigrafía en la zona de estudio; para tal fin, se interpreta el sondeo en dos etapas:

En la primera se obtiene una estratificación geológica y las resistividades verdaderas de cada capa, partiendo de las leyes fisicomatemáticas. En la segunda se busca el significado de esas capas y resistividades, correlacionando los resultados con los datos disponibles del subsuelo.

Esta técnica permite determinar el valor de la resistividad eléctrica real y su distribución en el subsuelo a partir de las mediciones realizadas en superficie. El resultado final es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad eléctrica real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos. Ver Figura N° 10

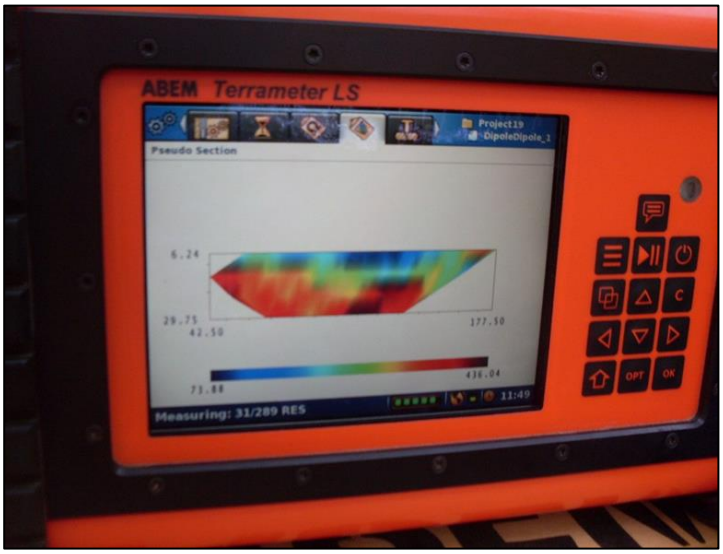
FIGURA N° 10. VALORES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE ALGUNOS, SUELOS, ROCAS Y MINERALES.



Fuente: ALH Geofísica.



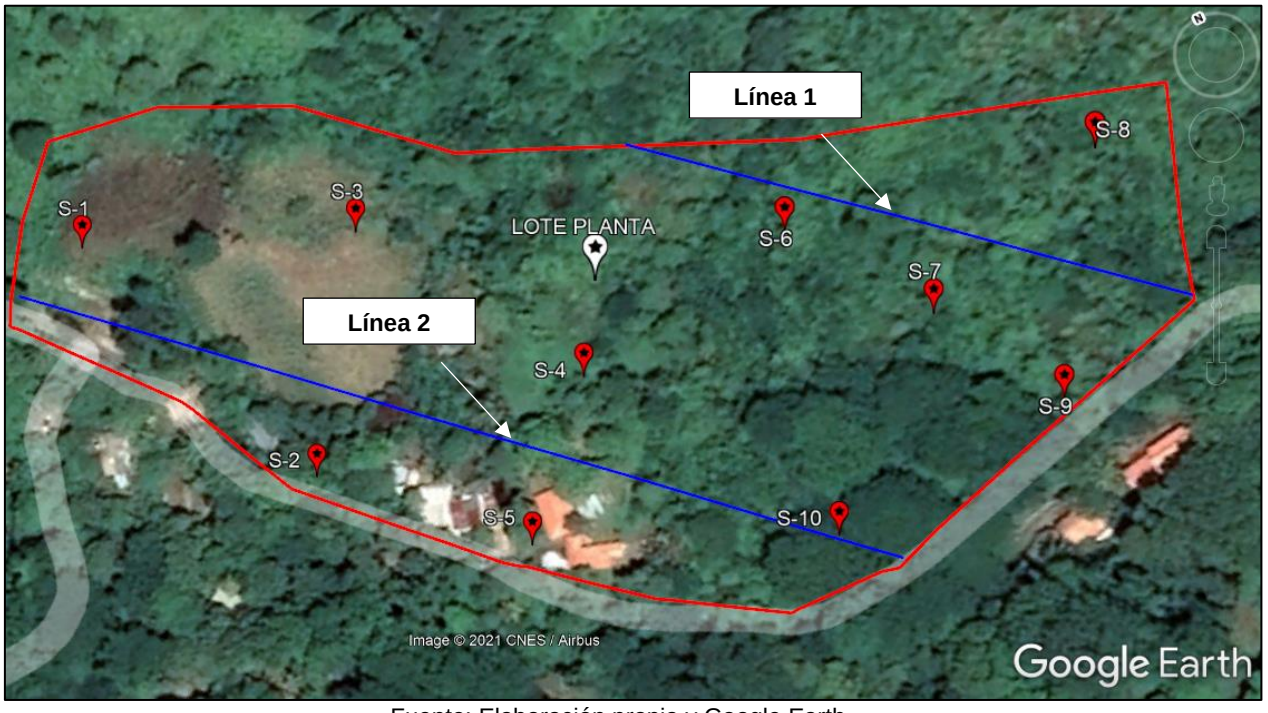
Fotografía 19. Equipo ABEM modelo TERRAMETER LS, usado para realizar el estudio.



Fotografía 20. Interfaz en tiempo real de Equipo ABEM modelo TERRAMETER LS.

En la Figura N° 11, se puede observar la vista en planta de las dos (2) líneas tomográficas.

FIGURA N° 11. VALORES DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE ALGUNOS, SUELOS, ROCAS Y MINERALES.



Fuente: Elaboración propia y Google Earth.

1.1.8 Descripción geotécnica de los materiales encontrados

Se realizó una observación detallada de la estratigrafía de los suelos encontradas en los sondeos realizados, basadas en la investigación en campo.

Descripción geotécnica:

Sector Lote Planta de acueducto: De acuerdo con las exploraciones en campo, la estratigrafía del sector está conformada por arenas limosas de grano medio a grueso en algunos casos con gravas y/o fragmentos de roca. Los materiales granulares de la superficie del terreno evidencian la presencia de pirita, este es un mineral brillante de color amarillo y plateado formado por sulfuro y hierro, el cual le da apariencia de escarcha al suelo, ver fotografía 5.

.



Fotografía 5. Médano. Arena limosa de grano medio con presencia de pirita, depósitos aluviales en lote PTAP "El Curval".

Estas corresponden a la formación Batolito de Santa Marta y Plutón de Buritaca dentro del complejo Intrusivo de Santa Marta. Grupo de rocas ígneas plutónicas, que afloran en dos sectores, en el extremo noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. En cuanto a las propiedades mecánicas de la roca granodiorita, la resistencia a la compresión simple se encuentra entre 80 a 250 Mpa (González de Vallejo, 2002).

TABLA N° 5. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMOSA.

Descripción	**Arena limosa de grano medio a grueso, humedad baja a alta, compacidad suelta a muy densa.**			
Propiedades geotécnicas	**Características**	**Mínimo**	**Promedio**	**Máximo**
	No. Golpes/Pie	5	>50	>50

	Pasa tamiz No. 200 (%)	12,9	18,6	25,3
	Peso unitario, γ (kN/m³)	17,7	18,2	19,7
	Límite líquido, LL (%))	N.P	N.P	N.P
	Índice de plasticidad, IP (%)	N.P	N.P	N.P
	Clasificación SUCS	**SM**		

TABLA N° 6. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMO ARCILLOSA.

Descripción	**Arena limo arcillosa de grano medio, humedad media a alta, compacidad suelta a muy densa.**			
Propiedades geotécnicas	**Características**	**Mínimo**	**Promedio**	**Máximo**
	No. Golpes/Pie	8	35	>50
	Pasa tamiz No. 200 (%)	19,3	20,2	25,6
	Peso unitario, γ (kN/m³)	17,9	18,2	19,5
	Límite líquido, LL (%))	23,5	28,3	33,2
	Índice de plasticidad, IP (%)	N.P	N.P	N.P
	Clasificación SUCS	**GM**		

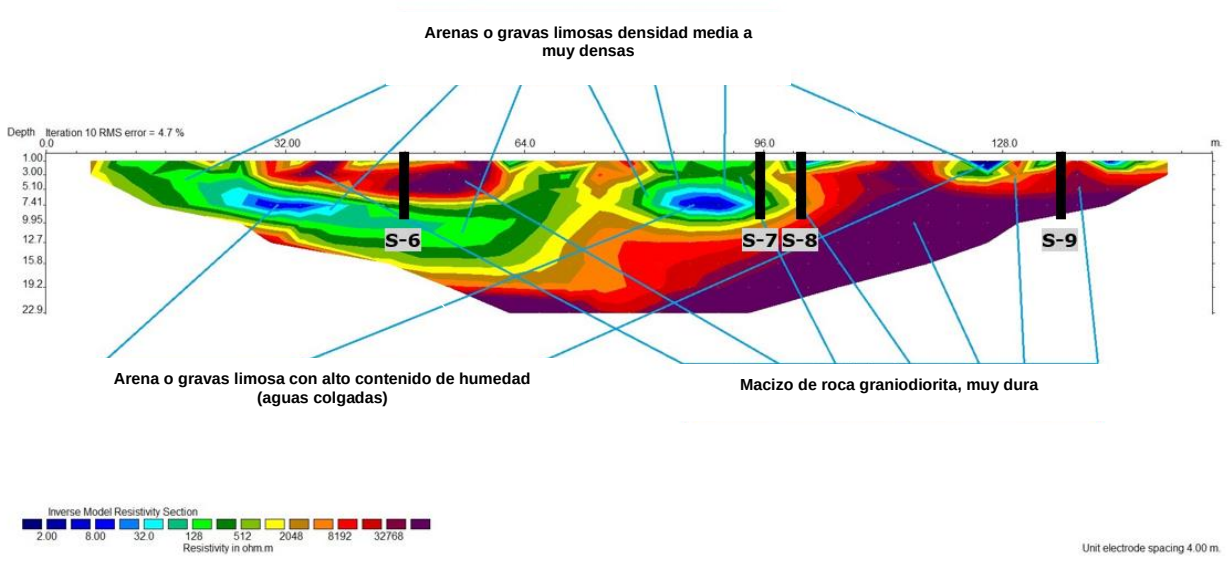
TABLA N° 7. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL ESTRATO DE ARENA LIMO ARCILLOSA.

Descripción	**Grava limosa, humedad media a alta, compacidad muy densa.**			
Propiedades geotécnicas	**Características**	**Mínimo**	**Promedio**	**Máximo**
	No. Golpes/Pie	>50	>50	>50
	Pasa tamiz No. 200 (%)	19,3	20,2	25,6
	Peso unitario, γ (kN/m³)	19,2	19,3	19,7

	Límite líquido, LL (%))	N.P	N.P	N.P
	Índice de plasticidad, IP (%)	N.P	N.P	N.P
	Clasificación SUCS	**GM**		

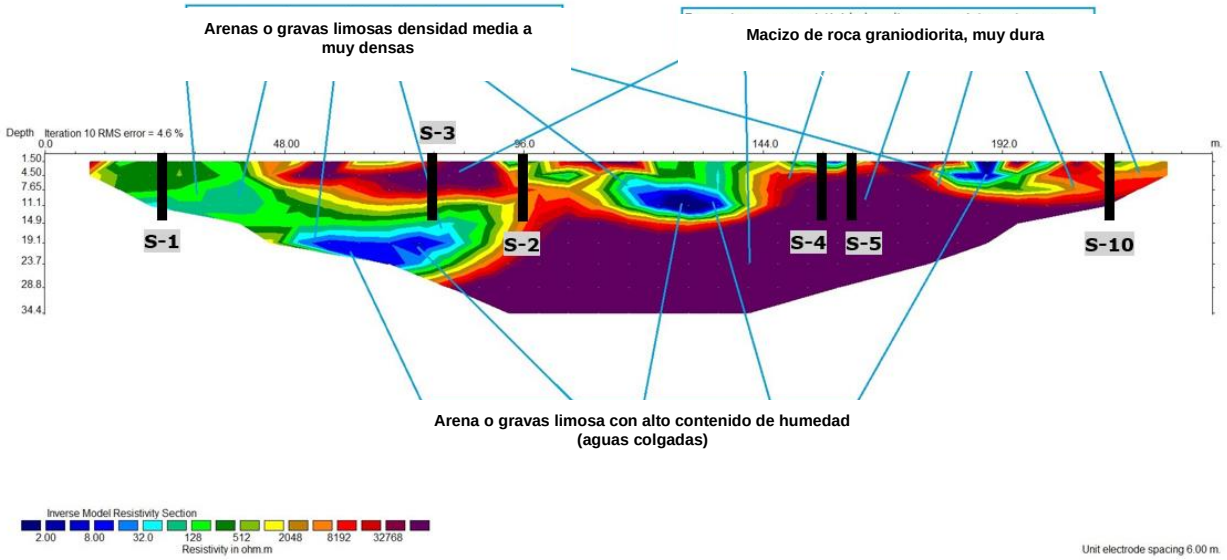
Por medio por sondeos geofísicos de tomografías de resistividad eléctrica se e identificaron los estratos más profundos de suelos y formaciones a través de las líneas 1 y 2 (ver Figura N° 12 y Figura N° 13) a lo largo del lote de PTAP. A continuación, se muestran los perfiles de cada línea.

FIGURA N° 12. LÍNEA TOMOGÁFICA 1 EN LOTE PTAP.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA N° 13. LÍNEA TOMOGÁFICA 2 EN LOTE PTAP.



Fuente: Elaboración propia.

1.1.9 Descripción geotécnica de los materiales encontrados

Se determinaron los parámetros geo-mecánicos (g, ϕ', c y Es) de los estratos del subsuelo encontrado, empleando el método de González (1999) con las ecuaciones de Seed-Idris (Marcuson), Kishida y Bowles (1996). (Ver cálculos y ensayos de laboratorios en anexos).

Peso Unitario (γ). Esta propiedad se determinó por medio de ensayos de laboratorio, Peso unitario (Ver resultados en cuadro de resumen de ensayos de laboratorios, en los anexos).

Cohesión no drenada (cu). Esta propiedad se determinó por medio de la expresión, cu= qu/2, donde qu son los valores obtenidos de ensayo de compresión inconfinada de muestras obtenidas en campo con penetrómetro de bolsillo (Ver resultados en cuadro de resumen de ensayos de laboratorios, en los anexos).

Resistencia Efectiva (ϕ' y c'). Es la resistencia efectiva de los suelos obtenidos con el esfuerzo efectivo (σ') y al ángulo de fricción equivalente (ϕ'eq), por medio del método de González (1999), con las ecuaciones de seed-Idris (Marcuson) y Kishida.

Para calcular estas propiedades es necesario tener en cuenta la corrección del número de golpes por energía se calculó N72 (número de golpes obtenido del ensayo de SPT en campo, corregido por condiciones de campo), haciendo uso de las siguientes expresiones:

CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE N_{72}:

N_{72} corregido por condiciones de campo =	N*nh*nb*ns*nr/72			(Según Skempton 1986, Seed y colaboradores 1985)
donde:				
***nh= Energía real o eficiencia de martillo: 45%.**	nr=	0≤ Long. ≤4m =	0,75	
nb= corección diámetro perforación =1,0		4< Long. ≤6m =	0,85	
ns= corrección muestreador = 1,0		6< Long. ≤10m =	0,95	
nr= longitud de la barra.		Long>10 m =	1,00	

***nh= Energia del 45%, cuerda y polea (equipo empleado)**

Para obtener (N172), a su vez este valor (N72) es afectado por la corrección por confinamiento (Cn), teniendo en cuenta que Cn ≤ 2, obtenida de la fórmula de Seed-Idris (Marcuson):

$$Cn = 1 - K^{*}\log Rs$$
$$(K=1.41 \text{ para } Rs<1;\ K=0.92 \text{ para } Rs \geq 1)$$
$$Rs = \sigma_v'/p_a$$

Donde,

Rs: Relación entre el esfuerzo efectivo vertical y la presión atmosférica (σ'v.= σ'=γ*z).

Para luego determinar del ángulo de fricción equivalente ϕ'eq, utilizando la fórmula de Kishida dada por:

$$\phi'eq = 15 + (20 \times N1_{72})^{0.5}$$

Una vez obtenidos estos valores, se calcula el valor del esfuerzo cortante (τ), por medio de la ecuación de resistencia al corte de un suelo, definida en términos de esfuerzo efectivo (σ') y al ángulo de fricción equivalente (ϕ'eq):

$$\boldsymbol{\tau = \sigma' * \tan \phi'eq + c}$$

Posteriormente se agrupan los resultados de τ y σ' para un mismo suelo (según el perfil de diseño establecido en cada estrato) y se realiza una regresión lineal para estimar c' y ϕ' para cada estrato. Estas determinaciones se muestran más adelante.

Módulo de Deformabilidad (Es). Se usan relaciones empíricas entre el módulo de deformación del material terreo Es y N55, penetración estándar normalizada a 55% de energía, modificada de Bowles (1996), y de igual forma se determinó con valores obtenidos de qc:

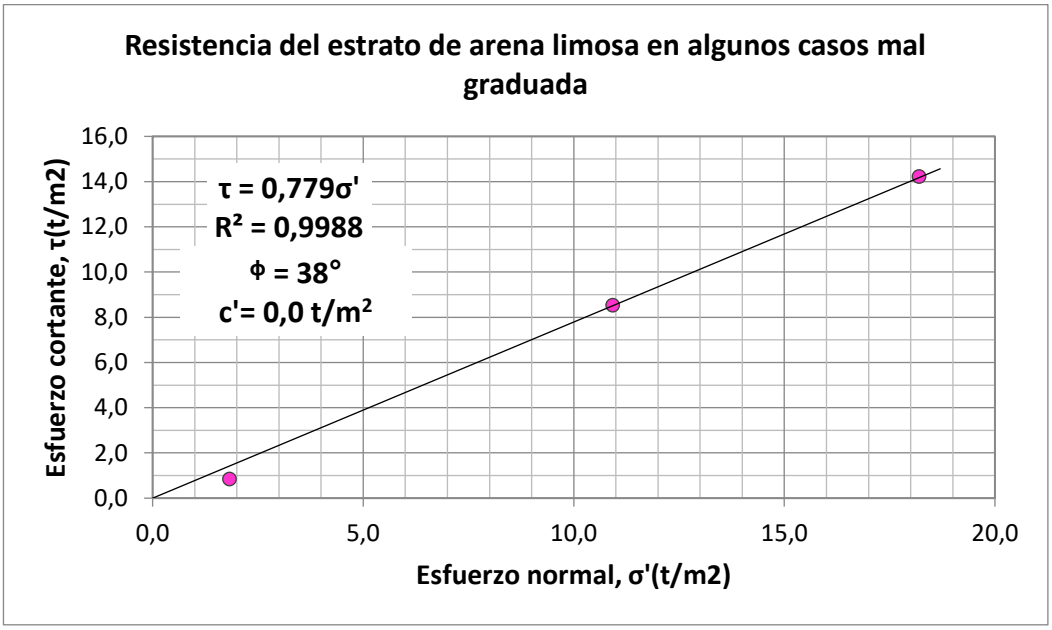
$$E_S(ton/m^2) = A * (N_{55} + B)$$

Las constantes A y B, adoptadas para los diferentes materiales teniendo en cuenta el comportamiento granular y compacidad:

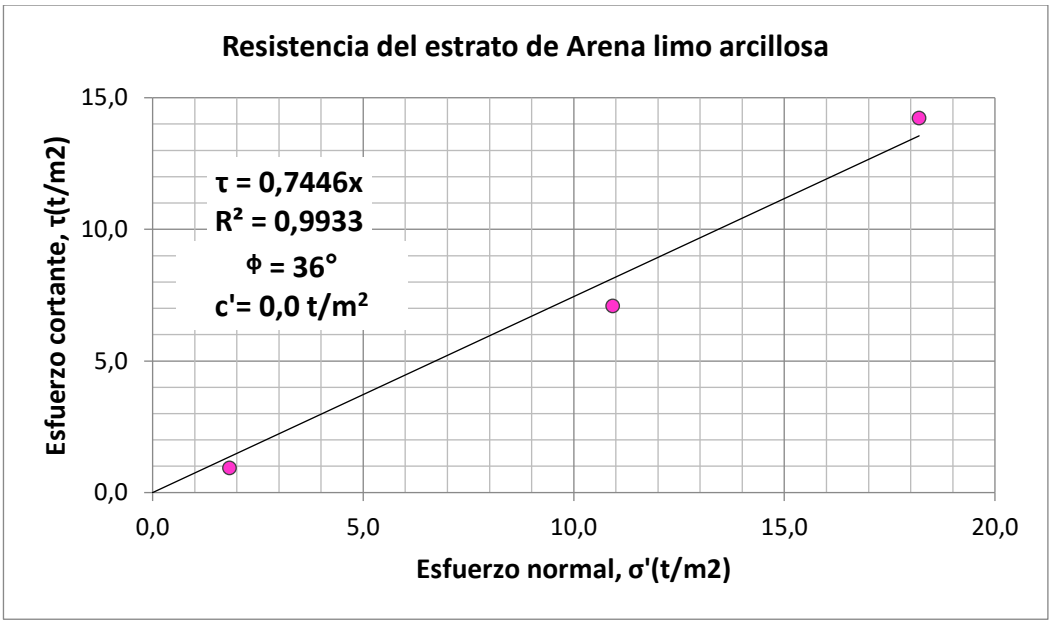
TABLA N° 8. CONSTANTES ADOPTADAS PARA CALCULAR EL MÓDULO DE DEFORMABILIDAD DEL SUELO PARA LOS CÁLCULOS DE LA CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA A CONSTRUIR.

Descripción	A	B
Arena limosa en algunos casos bien graduada	40	20
Arena limo arcillosa	35	25
Grava limosa	40	25

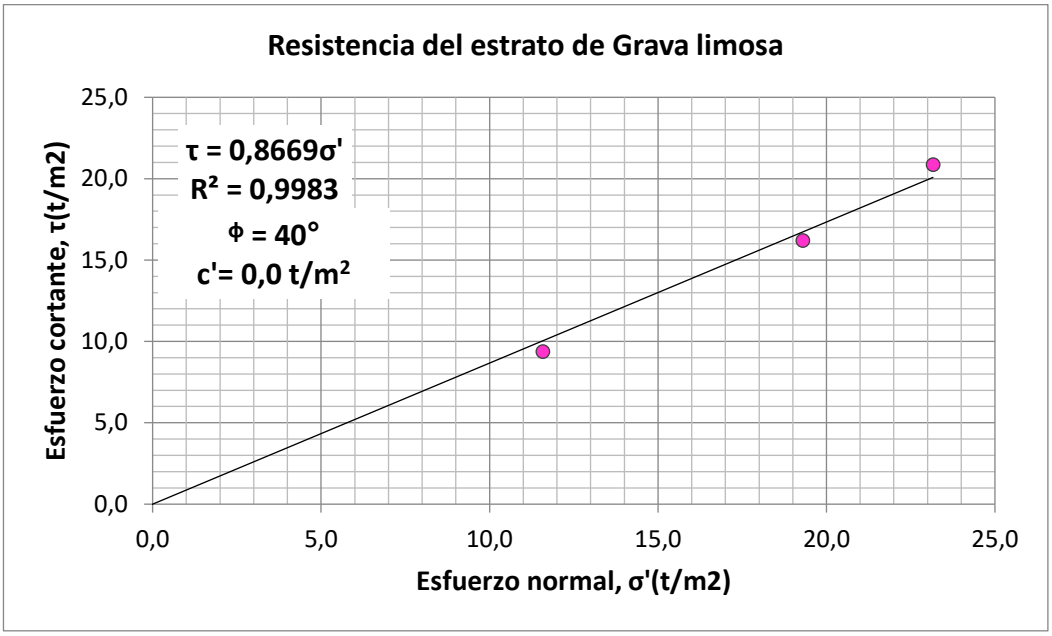
Se determinaron los valores de módulo elástico del suelo a lo largo de toda la profundidad para cada sondeo, usando las correlaciones para el ensayo SPT. Se obtuvo un valor promedio de los valores Es, obtenidos con N55 a lo largo de cada profundidad. Posteriormente, se agruparon los valores de Es para cada estrato teniendo en cuenta el perfil de diseño geotécnico, obteniéndose un valor promedio y de diseño para cada capa. Estas determinaciones se muestran más adelante. Las gráficas 2 y 3, muestran las determinaciones del ángulo de fricción interna del suelo (ϕ') y Cohesión efectiva (c'), producto de los cálculos realizados siguiendo el método de González (1999), para cada estrato siguiendo el perfil de diseño geotécnico.



GRÁFICA No. 1. PARÁMETROS DE (ϕ' Y C'), DETERMINADOS PARA EL ESTRATO DE ARENA LIMOSA EN ALGUNOS CASOS BIEN GRADUADA.



GRÁFICA No. 2. PARÁMETROS DE (ϕ' Y C'), DETERMINADOS PARA EL ESTRATO DE ARENA LIMO ARCILLOSA.



GRÁFICA No. 3. PARÁMETROS DE (ϕ' Y C'), DETERMINADOS PARA EL ESTRATO DE GRAVA LIMOSA.

De acuerdo con los cálculos realizados empleando el método de González (1999) con las ecuaciones de Seed-Idris, Marcuson, Kishida y Bowles (1996), los parámetros de resistencia al corte para cada uno de los estratos son los siguientes:

TABLA N° 9. PROPIEDADES DE RESISTENCIA AL CORTE (ϕ' Y C').

Descripción	Método de González (1999)	
	ϕ' (º)	c' (t/m^2)
Arena limosa en algunos casos bien graduada	38	0,0
Arena limo arcillosa	36	0,0
Grava limosa	40	0,0

La Tabla N° 10, muestra las determinaciones de los Módulos elásticos del suelo (Es) usando correlaciones con N55 (Bowles 1996), a lo largo de la profundidad. En la siguiente tabla se pueden observar los valores promedios de Es, por estratos:

TABLA N° 10. PROMEDIOS DE E_S POR ESTRATOS CON DATOS N_{55}.

Descripción	Promedios
	E_s (kN/m^2)
Arena limosa en algunos casos bien graduada	19450
Arena limo arcillosa	17270
Grava limosa	32090

De acuerdo a estos resultados, en la Tabla N° 11, se observan las propiedades geo-mecánicas de los estratos de suelos encontrados y definidos para los análisis de cálculos.

TABLA N° 11. PROMEDIOS DE EPROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LOS ESTRATOS (ϕ', c', γ, E_S)

Descripción	ϕ' (º)	c' (kN/m^2)	γ (kN/m^3)	Es (kN/m^2)
Arena limosa en algunos casos bien graduada	38	0,0	18,2	19450
Arena limo arcillosa	36	0,0	18,2	17270
Grava limosa	40	0,0	19,3	32090

De acuerdo con nuestro criterio, se seleccionaron estos valores determinados por teorías y ensayos de laboratorios expuestas anteriormente, con la condición más desfavorable resultando de la comparación de los datos determinados, teniendo en cuenta el comportamiento geomecánico de los suelos encontrados y al contexto global que comprenden los suelos del proyecto.

1.1.10 Sismicidad del entorno y determinación de parámetros sísmicos

Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente NSR-10, clasifican el departamento de Magdalena dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia. Se determinó el tipo de perfil de suelo según la norma NSR -10, utilizando el cálculo de Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar utilizando el N60 (corregido por condiciones de campo),

tomando el perfil de campo de los sondeos más desfavorables en los diferentes tramos, los resultados se pueden ver en los anexos. En la tabla a continuación, se muestran los tipos de perfiles según el lugar del proyecto.

TABLA N° 12. TIPO DE PERFIL DE SUELO SEGÚN NSR-10.

ZONA/SECTOR	NOMBRE	TIPO DE PERFIL DE SUELO
PTAP	"El Curval"	D
Conducción	Conducción Tramo Curval – Mamatoco	D

Fuente: Elaboración propia

FIGURA N° 14. CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO. FUENTE: TÍTULO A NSR-10.

Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\overline{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\overline{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s> $\overline{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\overline{N} \geq 50$, o $\overline{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\overline{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > $\overline{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\overline{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > $\overline{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\overline{s}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F_1 — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F_2 — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F_3 — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F_4 — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

En base a lo estipulado en la Norma y para efectos de diseño se recomienda utilizar los siguientes parámetros de diseño:

a. Coeficiente de aceleración pico efectiva: **Aa = 0,15**
b. Coeficiente de velocidad pico efectiva: **Av = 0,10**
c. Coeficiente de amplificación para aceleración: **Fa = 1,5**
d. Coeficiente de amplificación para velocidad: **Fv = 2,4**
e. Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño: **Ad = 0,04**

1.1.11 Niveles de aguas freáticas o colgadas

A la fecha de la investigación se registraron niveles de aguas freáticas en algunos sectores, detectados en cada uno de los sondeos realizados por medio del Ensayo de penetración estándar (Standard Penetration Test SPT), y geotomografía. Tabla N° 13, muestra las diferentes lecturas tomadas. Cabe destacar que estos niveles pueden variar dependiendo de la época del año.

TABLA N° 13. TIPO DE PERFIL DE SUELO SEGÚN NSR-10.

ZONA/SECTOR	NOMBRE	SONDEO No.	N.A.F. (m)
PTAP	"El Curval"	S-1	2,5
Conducción	Tramo Vía Agua viva – Sta. Marta	-	-

Fuente: Elaboración propia

1.1.12 Recomendaciones de cimentación

El en presente entregable, se entregarán las recomendaciones de cimentación de las siguientes estructuras mostradas en la Tabla N° 14

TABLA N° 14. ESTRUCTURAS A CONSTRUIR.

ZONA/SECTOR	NOMBRE	TIPO DE ESTRUCTURAS
PTAP	"El Curval"	Edificaciones de máximo 3 niveles

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los avances realizados en los estudios geotécnicos (sondeos en campo, laboratorios y análisis), las características del proyecto, al tipo de suelo encontrado en la investigación geotécnica realizada, y a las cargas de servicio (estimadas) del proyecto, GEOATLÁNTICO S.A.S., recomienda como sistema de cimentación:

TABLA N° 15. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS.

ZONA/SECTOR	NOMBRE	TIPO DE ESTRUCTURAS	SIST. DE CIMENTACIÓN
PTAP	"El Curval"	Edificaciones de máximo 3 niveles	Zapatas cuadradas y/o rectangulares aisladas
			Losa de cimentación

Fuente: Elaboración propia

1.1.12.1 Zapatas cuadradas y/o rectangulares aisladas

Para la evaluar la capacidad admisible del suelo se utilizaron modelos o teorías clásicas dadas en la literatura especializada. Toda cimentación para comportarse en forma satisfactoria debe satisfacer dos características fundamentales:

1. Debe poseer una seguridad adecuada a la falla por corte general del suelo que la soporta.

2. Debe experimentar asentamientos o deformaciones dentro del rango de compatibilidad con la funcionalidad de la estructura.

Debido a lo anterior se debe determinar o calcular un valor de capacidad admisible del suelo, el cual se refiere al menor valor que resulte de evaluar la falla por resistencia por corte general del suelo y a la presión que se le pueda aplicar al suelo sin que esta genere asentamientos excesivos no tolerables por la estructura.

Para estos análisis se contó con software especializados para calcular lo siguiente: Capacidad de carga ultima de cimentaciones superficiales (zapatas y losas) por medio de las teorías o métodos de: Terzaghi (1955), Meyerhof (1963), Hansen (1970), Brinch-Hansen y Vesic (1975). Adicionalmente el software involucra factores de corrección para condiciones sísmicas en el cálculo de capacidad de carga última del suelo.

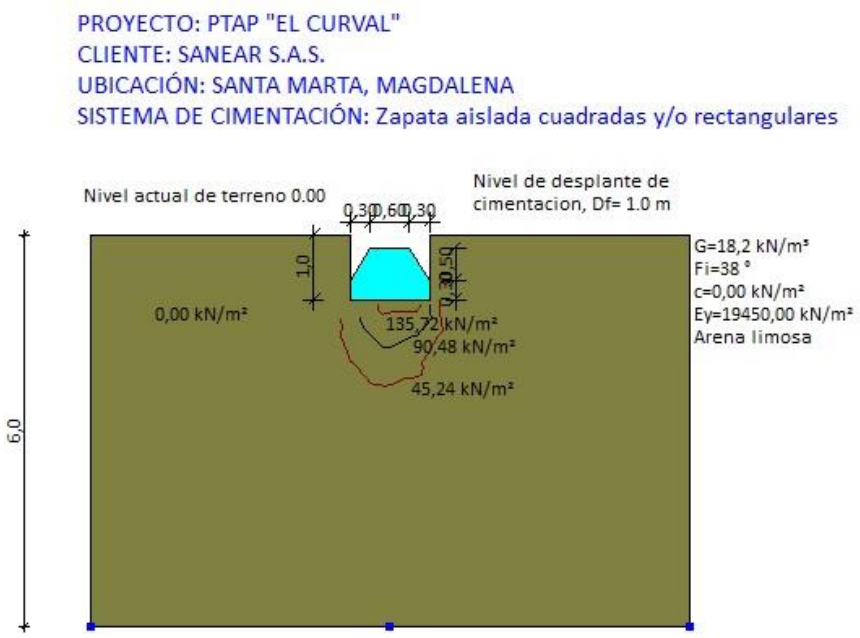
Se evalúan asentamientos inmediatos o elásticos basados en las teorías de Timoshenko e Goodier (1951) y Asentamientos edometricos o por consolidación en el tiempo para arcillas normalmente consolidadas o preconsolidadas. El software evalúa los asientos por otros métodos semiempiricos para suelos granulares aplicando teorías de Schmertmann (1970) y por métodos empíricos basados en el ensayo normal de penetración (SPT) siguiendo la teoría de los señores Burland y Burbidge (1985).

Con el software propuesto se evaluaron los valores capacidad última y admisible del suelo para cada cimentación superficial, al igual que las deformaciones totales. También, se muestra de manera detallada cada una de las características de las cimentaciones propuestas para cada estructura, con el análisis geotécnico de acuerdo a las características de los suelos de apoyo para las cargas solicitadas (estimadas menores a 80t tal como clasifican en categoría baja según NSR-10).

Las figuras 20 a 22, muestran el esquema de análisis geotécnico de cada una de las cimentaciones propuestas con las respectivas incidencias de esfuerzos a lo largo de la profundidad para este tipo de cimentación propuesta.

- **Lote PTAP "El Curval"**

FIGURA N° 15. INCIDENCIA DE ESFUERZOS POR DEBAJO DE LA CIMENTACIÓN PROPUESTA PARA LAS ESTRUCTURAS A CONSTRUIR LOTE PTAP "EL CURVAL".



Fuente: Elaboración propia con GEOSTRU.

Aplicando estas teorías se estimaron valores de capacidad última del suelo por resistencia al corte y los factores de seguridad obtenidos se muestran en la siguiente Tabla N° 16

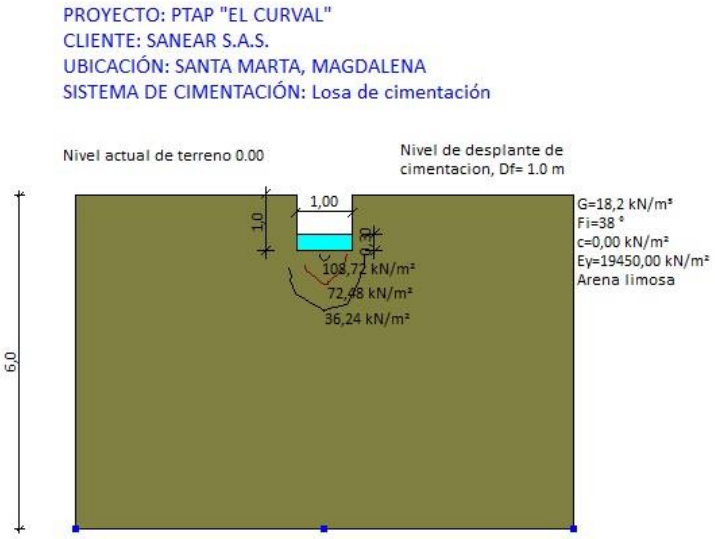
TABLA N° 16. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS.

Autor	FS
Hasen (1970)	5,81
Terzaghi (1955)	4,2
Meyerhof (1963)	6,54
Vesic (1975)	6,07
Brinch-Hansen (1970)	5,71
Meyerhof-Hanna (1978)	3,0

(Ver memoria de cálculos en los anexos).

Para esta profundidad de desplante (Df= 1,2m), la capacidad de carga admisible es de qa= 12t/m2. Con esta presión admisible se espera asentamientos diferenciales tolerables para la estructura, y presentando un asentamiento total de 7,1mm.

FIGURA N° 16. INCIDENCIA DE ESFUERZOS POR DEBAJO DE LA CIMENTACIÓN PROPUESTA PARA LAS ESTRUCTURAS A CONSTRUIR LOTE PTAP "EL CURVAL".



Fuente: Elaboración propia con GEOSTRU.

Aplicando estas teorías se estimaron valores de capacidad última del suelo por resistencia al corte y los factores de seguridad obtenidos se muestran en la siguiente Tabla N° 17.

TABLA N° 17. SISTEMAS DE CIMENTACIONES RECOMENDADOS.

Autor	FS
Hasen (1970)	5,92
Terzaghi (1955)	4,69
Meyerhof (1963)	6,61
Vesic (1975)	6,23
Brinch-Hansen (1970)	5,89
Meyerhof-Hanna (1978)	3,0

(Ver memoria de cálculos en los anexos).

Para esta profundidad de desplante (Df= 1,0m), la capacidad de carga admisible es de qa= 10t/m2. Con esta presión admisible se espera asentamientos diferenciales tolerables para la estructura, y presentando un asentamiento total de 7,1mm.

1.2 Conclusiones de análisis de capacidad de carga y asentamientos.

En cuanto a la capacidad de carga del lote PTAP, se puede observar que los suelos tienen una gran capacidad de soporte ante cargas de cimentación debido a su grado de compacidad, recomendando sistemas de cimentaciones superficiales así:

Zapatas aisladas cuadradas y/o rectangulares: Cimentadas a una profundidad de desplante (Df= 1,2m), y capacidad de carga admisible es de qa= 12t/m2. Con esta presión admisible se espera asentamientos diferenciales tolerables para la estructura, y presentando un asentamiento total de 7,1mm.

Losa de cimentación: Cimentación con profundidad de desplante (Df= 1,2m), la capacidad de carga admisible es de qa= 12t/m2. Con esta presión admisible se espera asentamientos diferenciales tolerables para la estructura, y presentando un asentamiento total de 7,1mm.

El estrato de apoyo de estas estructuras es en arenas limosas con algo de gravas, de compacidad media a muy densa.

BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo N° 006 (2020). *Por medio del cual se adopta el Plan de Desarrollo 2020-2023 "Santa Marta Corazón del cambio"*. Distrito Turístico Cultural de Santa Marta, Colombia.

Acuerdo N° 011 (2020). "*Por medio del cual se revisa, modifica y expide el Plan de Ordenamiento Territorial "POT 500 Años" del Distrito Turístico Cultural de Santa Marta 2020-2032"*, Distrito Turístico Cultural de Santa Marta, Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadistica. (2018). *dane.gov.co.* Obtenido de https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion.

Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta ESSMAR E.S.P (2021). "*Diagnóstico del sistema de acueducto de Santa Marta"*, Santa Marta D.T.C.H, Colombia.

Findeter (2017). Contrato N° PAF-ATF-C-026-2015 *"Consultoría para la Realización de los Estudios y Diseños de Ingeniería de Detalle, de la Construcción de las Obras Necesarias para el Mejoramiento y Optimización a Mediano Plazo del Sistema de Acueducto de la Ciudad de Santa Marta – Departamento del Magdalena" capítulo II-Diagnóstico técnico.*

González A., Pérez F. (2005). "*Caracterización hidrológica de la cuenca del río Piedras y Evaluación de la disponibilidad de recurso hídrico para mejorar la oferta de abastecimiento de agua a la ciudad de Santa Marta D.T.C.H".* Proyecto de grado, Universidad del Magdalena. Santa Marta D.T.C.H, Colombia.

Universidad de los Andes (2014). "*Estudio para el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria de Santa Marta para los requerimientos proyectados en los proximos 50 años".* Bogotá, Colombia.

Resolución 0330 de 2017. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá 2017.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC): "Geoportal de datos abiertos." – "Cartografia General – Documento Eléctronico 100K_2019_V1.gdb"

NFPA 70, National Electrical Code (NEC) Release (2020) "Todo el documento"

Norma Técnica Colombiana – NTC-2050: (2020) "Todo el documento"

Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE (2013) "Todo el documento"

Caribe Mar de la Costa S.A.S. E.S.P. (2020): "Planimetría General Red de Distribución"

Air-e S.A.S. E.S.P. (2020): "Planimetría General Red de Distribución"

Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG (2015). Estudio base para la reglamentación de corrientes de los ríos Buritaca, Gaira, Toribio, Córdoba, Orihueca y Sevilla, a partir de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico - contrato de consultoría No. 215 del 2015.

Fundación de Investigaciones Arqueológicas y Ambientales Tayrona (FIAAT) y de Global Heritage Fund (2015). Biodiversidad de la cuenca del río Buritaca, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Zona de influencia del Parque Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena, Colombia.

Cuadrado Peña, B. (2005). Estructura y composición florística del bosque ripario de la cuenca del río Gaira, Magdalena, Colombia (Tesis, Universidad del Magdalena).

Martínez, H. (2013). Zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica del río Guachaca enfocada a recomendar usos del suelo adecuados para el manejo de su territorio (Tesis Maestría, Universidad del Norte).

Secretaria de Planeación Distrital De Santa Marta.