

**Características geológicas y geotécnicas del predio designado
para la construcción del
sistema integrado de residuos sólidos del municipio de Toledo
Norte de Santander por
la constructora OBSECON S.A.S**



VIVIANNE DANIELA TORRES TORRES

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
PROGRAMA DE GEOLOGÍA
VILLA DEL ROSARIO**

2024

**Características geológicas y geotécnicas del predio designado para la
construcción del sistema integrado de residuos sólidos del municipio de
Toledo Norte de Santander por la constructora
OBSECONS.A.S**

VIVIANNE DANIELA TORRES TORRES

Trabajo de grado, modalidad Práctica empresarial

Como requisito para optar al título de Geólogo.

Director académico

Ilich Sebastián Villamizar Solano

Director empresarial

Roger Humberto Alvarez Jaimes

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE GEOLOGÍA

VILLA DEL ROSARIO

2024

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	9
1 MARCO REFERENCIAL	10
1.1 Ubicación del proyecto	10
2 ANTECEDENTES	12
3 MARCO TEORICO	14
3.1 Granulometría	14
3.2 Límites de Attrberg.....	14
3.3 Índice de Plasticidad	15
3.4 Clasificación del suelo	16
3.5 Prueba de penetración estándar (SPT)	17
3.6 Permeabilidad	18
4 GEOLOGIA	19
4.1 Formación Barco	19
5 METODOLOGIA	21
5.1 Recopilación bibliografica	21
5.2 Pre-campo	22
5.3 Campo.....	22
5.4 Trabajo de laboratorio	22
5.5 Trabajo de oficina	23
5.6 Redacción del informe final	23

6 RESULTADOS	24
6.1 Ortomosaico del predio.....	24
6.2 Cartografía básica a escala 1:1000.....	26
6.3 Estudio de suelos.....	33
6.4 Perfil del suelo.....	34
6.5 Cortes del subsuelo.....	39
6.6 Modelo geológico – geotécnico	39
7 RECOMENDACIONES.....	41
8 CONCLUSIONES	43
9 BIBLIOGRAFIA	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	11
Figura 2. Carta de plasticidad de Casagrande.	17
Figura 3. Tabla de clasificación de los suelos unificada	18
Figura 4. Geología de la zona.	21
Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto.	22
Figura 6. Ortomosaico predio designado para el desarrollo del proyecto.	25
Figura 7. Relieve de la zona del predio designado para el desarrollo del proyecto	26
Figura 8. Clasificación de pendientes	27
Figura 9. Panorámica parte sur-este del predio.	28
Figura 10. Zona sur-este del predio donde se observan pequeños deslizamientos.	28
Figura 11. Zona sur-este del predio: reconocimiento de unidades en superficie	29
Figura 12. Pseudo perfil de suelo y roca al SE del predio.	30
Figura 13. Estimación de resistencia a la compresión simple.....	31
Figura 14. Relleno Sanitario.	32
Figura 15. Mapa Cartográfico del predio a escala 1:1000	33
Figura 16. Ubicación de los sondeos	34

Figura 17. Resultados del estudio de suelos generalizado	38
Figura 18. Perfil del suelo	39
Figura 19. Perfiles del subsuelo	40
Figura 22. Modelo geológico – geotécnico	41
Figura 23. Sistema de drenaje sugerido	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del sondeo 1	34
Tabla 2. Clasificación del sondeo 2	35
Tabla 3. Clasificación del sondeo 3	36

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo analizar las características geológicas y geotécnicas de un terreno designado por OBSECON S.A. para la construcción del sistema integrado de residuos sólidos en el municipio de Toledo, Norte de Santander. El propósito es garantizar la seguridad de los trabajadores y la comunidad en general, evitando posibles accidentes.

El estudio se desarrolló en cinco etapas. Inicialmente, se revisaron los estudios previos en el área para recopilar información bibliográfica y establecer aspectos básicos del sitio. Luego, se realizó una ruta de pre-campo para delimitar el predio y seleccionar los puntos de sondeo. En la etapa de campo, se llevó a cabo el reconocimiento geológico, se realizó el vuelo con dron para la generación del DEM y la generación de la cartografía y se tomaron muestras de suelo para su análisis en laboratorio. Posteriormente, se llevaron a cabo discusiones y se generaron los entregables finales, que incluyeron la cartografía del predio a escala 1:1000, el perfil del suelo y un modelo geológico-geotécnico utilizado para definir las recomendaciones de construcción. Finalmente, se redactó el presente documento, el cual queda archivado en los registros de OBSECON S.A.S

Palabras claves: estudios geológicos, estudios geotécnicos, construcción, residuos sólidos, seguridad en la construcción, análisis del suelo, características del subsuelo.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los estudios geológicos y geotécnicos en la construcción de obras civiles es fundamental en la actualidad, especialmente en decisiones críticas como la selección de las zonas y lugares, en especial cuando se ve involucrado la comunidad. En el contexto colombiano, caracterizado por su susceptibilidad a fenómenos naturales como movimientos de remoción en masa y sismos, comprender las características del suelo y del subsuelo es esencial para garantizar la seguridad de las construcciones y la comunidad involucrada. (Hernández & Vargas, 2015; Tellez Vargas, 2017).

Este proyecto tiene como objetivo principal analizar las características geológicas y geotécnicas de un terreno designado para la construcción de una planta de residuos sólidos, bajo la dirección de la constructora OBSECON S.A.S. Dado que previamente este terreno albergaba un relleno sanitario sin estudios detallados del subsuelo, este trabajo toma importancia para garantizar la viabilidad y seguridad de la construcción y la correcta disposición de los residuos.

En el desarrollo de este proyecto, se presentarán los datos necesarios para cumplir con los estándares de la normativa sísmica colombiana NSR-10. Esto incluye la definición de la geología local a escala 1:1000, la elaboración de un perfil detallado del suelo y la creación de un modelo geológico del terreno. Estos resultados proporcionarán información valiosa para la correcta planificación y ejecución del sistema integrado de residuos sólidos en el municipio de Toledo.

OBJETIVOS

En este apartado se presentan los objetivos propuestos para el desarrollo del trabajo planteado

Objetivo General

Caracterizar geológica y geotécnicamente el predio designado para el montaje del sistema integrado de residuos sólidos del municipio de Toledo Norte de Santander por la constructora OBSECON S.A.S

Objetivos específicos

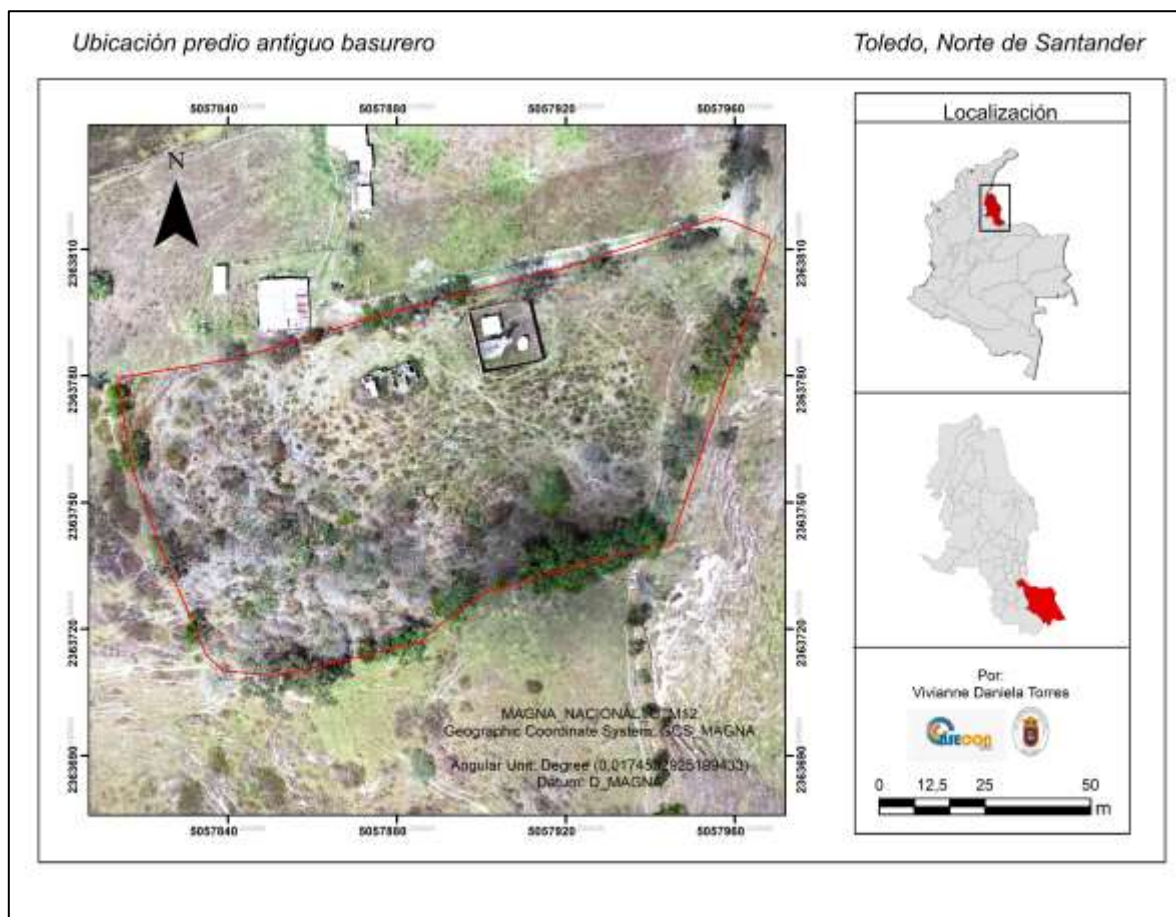
- Recopilar información bibliográfica de los antecedentes geológicos y geotécnicos de la zona de estudio para el desarrollo del marco del proyecto.
- Realizar una cartografía a escala 1:1000 del predio en estudio.
- Determinar las características geotécnicas del subsuelo que resultaron en el perfil del suelo.
- Generar un modelo geológico-geotécnico con las características determinadas previamente.

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Ubicación del proyecto

El predio en estudio se encuentra en la vereda San Javier a 3 km del casco urbano del municipio de Toledo, dicho municipio se ubica al sur del departamento de Norte de Santander, perteneciendo a la provincia de Pamplona, corresponde al sector centro – nororiental del territorio colombiano, sobre el flanco Cordillera Oriental, en las estribaciones de la Sierra Nevada del Cocuy. (Municipio de Toledo, 2014).

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio



Nota. Ubicación generalizada del área del proyecto en la vereda San Javier, en la imagen superior se encuentra una fotografía aérea del predio delimitado. Fuente: *el autor*.

2 ANTECEDENTES

Las numerosas tragedias y daños materiales sucedidos a lo largo de la historia colombiana y por ser un país geológicamente activo, tras el sismo de Popayán en 1983 nace el reglamento de construcción sismo resistente NSR-10 como respuesta a la tragedia y como una normativa necesaria para desarrollar obras de construcción seguras y se establece la Ley 400 de 1997 donde establece su legalidad. (Londoño González, G., 2020)

En el título H de la normativa define los estudios geotécnicos como “conjunto de actividades que comprenden el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo, además de proteger vías, instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.” A su vez, hace énfasis en la importancia del reconocimiento de la geología de la zona para tener una certeza de la caracterización del subsuelo.

Adicionalmente, en el numeral H.3.2.1 indica la importancia de que el profesional encargado de los estudios geotécnicos tenga en cuenta asimismo información previa tales como la geología. (R. C., & RESISTENTE, C. S., 2010).

Para el año 2014, la sociedad colombiana de Geotecnia realizó una consultoría para estudio de riesgo por remoción en masa en San Bernardo de Bata (Toledo, Norte de Santander) tras diferentes escenarios de deslizamientos recurrentes en la entrada del centro poblado se determinó el alto nivel de humedad existente en el talud superior de la zona de ocurrentes deslizamientos asociada a la actividad pecuaria y agrícola en la zona siendo causantes de la inestabilidad de las laderas. (S.C Geotecnia, 2014).

A mediados de Junio del 2016 se reporta un movimiento en masa que al día de hoy sigue activo en la vereda la Camacha cerca al casco urbano y a la zona donde se va a realizar el presente proyecto, el cual ocasionó daños en la mayoría de las viviendas del sector y la evacuación inmediata de numerosas familias, clasificado como un deslizamiento rotacional de detritos de carácter retrogresivo y avanzada hacia la divisoria de aguas, con un estilo complejo, con posibilidad de ensancharse a ambos flancos. El movimiento, en su parte media ha evolucionado a un flujo de tierras canalizado con condiciones destructivas. (Cuellar M & Garcia J, 2016).

En el 2021, Corponor en convenio interadministrativo con la universidad de Pamplona realizaron los estudios básicos para la evaluación de riesgos por fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa en el área urbana y rural en el municipio de Toledo, departamento Norte de Santander. En este estudio se identificaron la amenaza alta, el predio en cuestión fue identificado como amenaza alta por movimientos de remoción en masa y avenidas torrenciales.

La geología y la geotecnia es un insumo sumamente importante, ya que reconociendo regional y localmente las unidades aflorantes y teniendo conocimiento de las características del subsuelo permite a los profesionales tener conocimiento y dar recomendaciones sobre las estructuras necesarias que garanticen la seguridad de las obras y de quienes van a hacer uso de ellas a futuro; es por ello la importancia de que los geólogos se vinculen en proyectos de construcción donde puedan aportar sus conocimientos para la prevención de desastres. (Tellez V, L. M., 2017)

3 MARCO TEORICO

Caracterización geológica - geotécnica de los suelos Primero es importante reconocer el entorno geológico en el cual se va a realizar el proyecto, en este caso, reconocer la unidad geológica que se encuentra en el predio en cuestión para poder interpretar los procesos geológicos que llevaron a la composición actual del subsuelo. La geología permite tener una visión espacial, a escala superior, Para Gonzalez de Vallejo, *et al.* (2002), los mapas geológicos permiten identificar factores que, no estando dentro del área específica del proyecto podrían ser importantes para apreciar riesgos que puedan afectar la zona de estudio.

La geotecnia permite conocer y describir las propiedades y composiciones de los suelos y su reacción frente a comportamientos propios que pueden alterar su estado natural, para ello se aplican diferentes estudios geotécnicos que permiten conocer y determinar el tipo de suelo. Para Duque - Escobar, G (2017) la Geotecnia es la aplicación de los principios de la ingeniería y la geología para la interpretación de las propiedades y procesos dinámicos de los materiales de la corteza terrestre para solucionar problemas de ingeniería.

Para obtener una caracterización exitosa es importante tener en cuenta factores tales como la clasificación de los suelos y rocas presentes (si es el caso) asimismo características tales como permeabilidad, compresibilidad entre otros parámetros geotécnicos que son claves para la toma de decisiones en diseños que garantizan directamente la seguridad y estabilidad de la estructura. La caracterización geológica y geotécnica, es el punto de partida de este proyecto de investigación, se configura en diferentes técnicas, algunas de las cuales se han convertido en estándares de esta metodología que se menciona en este proyecto Como pruebas para este proyecto se realizan las siguientes técnicas:

3.1 Granulometría

Se basa en la clasificación y distribución de tamaños de granos presentes en una muestra de suelo, se toma una cuarta parte de la muestra y se la hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños suelen ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2) agitando el conjunto. Después se pesa lo retenido en cada tamiz, con lo que, conocido el peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz. Con estos datos se puede elaborar la curva granulométrica de un suelo y se determina el coeficiente de uniformidad del suelo. (González de Vallejo, *et al.*, 2002)

3.2 Límites de Atterberg

Permiten determinar de forma más clara y concisa el tipo de suelo, se definen como el límite en el que un suelo deja de comportarse de cierta forma para cambiar a otra.

El límite líquido es el contenido de humedad más bajo en el que un suelo cambia de un estado plástico a un estado semilíquido. Representa el punto de transición en el cual el suelo adquiere la consistencia de una pasta viscosa en lugar de una masa sólida.

El límite líquido se determina amasando bien el suelo seco (previamente disgregado con maza) con bastante agua y extendiendo la masa sobre un molde denominado Cuchara de Casagrande. Casagrande, A. (1932). Se abre, en el centro de la masa extendida, un surco con un canalador, formando un canal de unos 2 mm de ancho en su parte baja. El molde se coloca sobre una base y se somete a golpes controlados. El límite líquido es la humedad de la muestra cuando al dar 25 golpes se cierra el canal unos 12 mm. Como es difícil conseguir esta condición, se determina la humedad por interpolación, a partir de dos muestras, en las que debe conseguirse el cierre de 12 mm con más y menos golpes que 25. (González de Vallejo, *et al.*, 2002)

El límite plástico es el contenido de humedad más bajo en el que un suelo se puede moldear o deformar sin romperse. Es una medida de la plasticidad del suelo. (Atterberg, A., 1911).

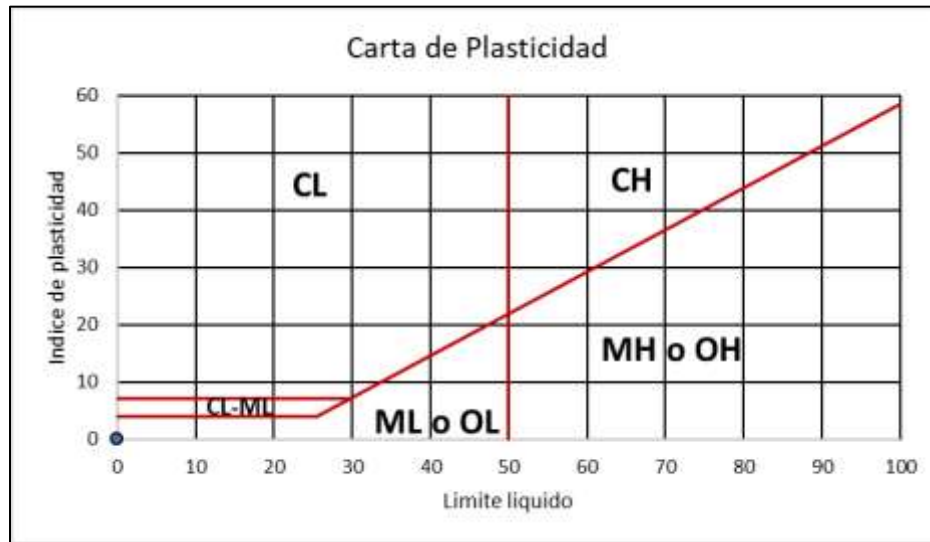
El límite plástico se determina amasando suelo seco con poca agua y formando elipsoides, arrollándolos con la palma de la mano sobre una superficie lisa, hasta llegar a un diámetro de unos 3 mm y una longitud de 25-30 mm. Si, en ese momento, los elipsoides se cuarteán en fracciones de unos 6 mm, su humedad es la del límite plástico (que se determina secando en estufa varios elipsoides en análogas condiciones). Si no se cuarteán se vuelven a formar elipsoides para que pierdan humedad y lleguen a cuartearse. (González de Vallejo, *et al.*, 2002)

3.3 Índice de plasticidad

El índice de plasticidad (IP) es una propiedad de los suelos que se utiliza en geotecnia para evaluar la cantidad de agua que un suelo puede perder sin perder su plasticidad. Se calcula restando el límite líquido (LL) al límite plástico (LP) y se expresa como $IP = LL - LP$. Es una medida importante para la clasificación de suelos y para comprender su comportamiento ante cambios en la humedad (Bowles, 1997).

En ingeniería geotécnica, el IP es crucial para determinar la capacidad de un suelo para soportar cargas y cambios de humedad. Suelos con un alto IP son más propensos a cambios de volumen, lo que debe considerarse en el diseño de cimientos y carreteras (Das, 2008)

Figura 2. Carta de plasticidad de Casagrande.



Nota. En la carta de Casagrande se definen varias zonas: arcillas de baja plasticidad (CL), arcillas de alta plasticidad (CH), limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL) y limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH/OH). Fuente: Modificada de González de Vallejo, *et al.* (2002).

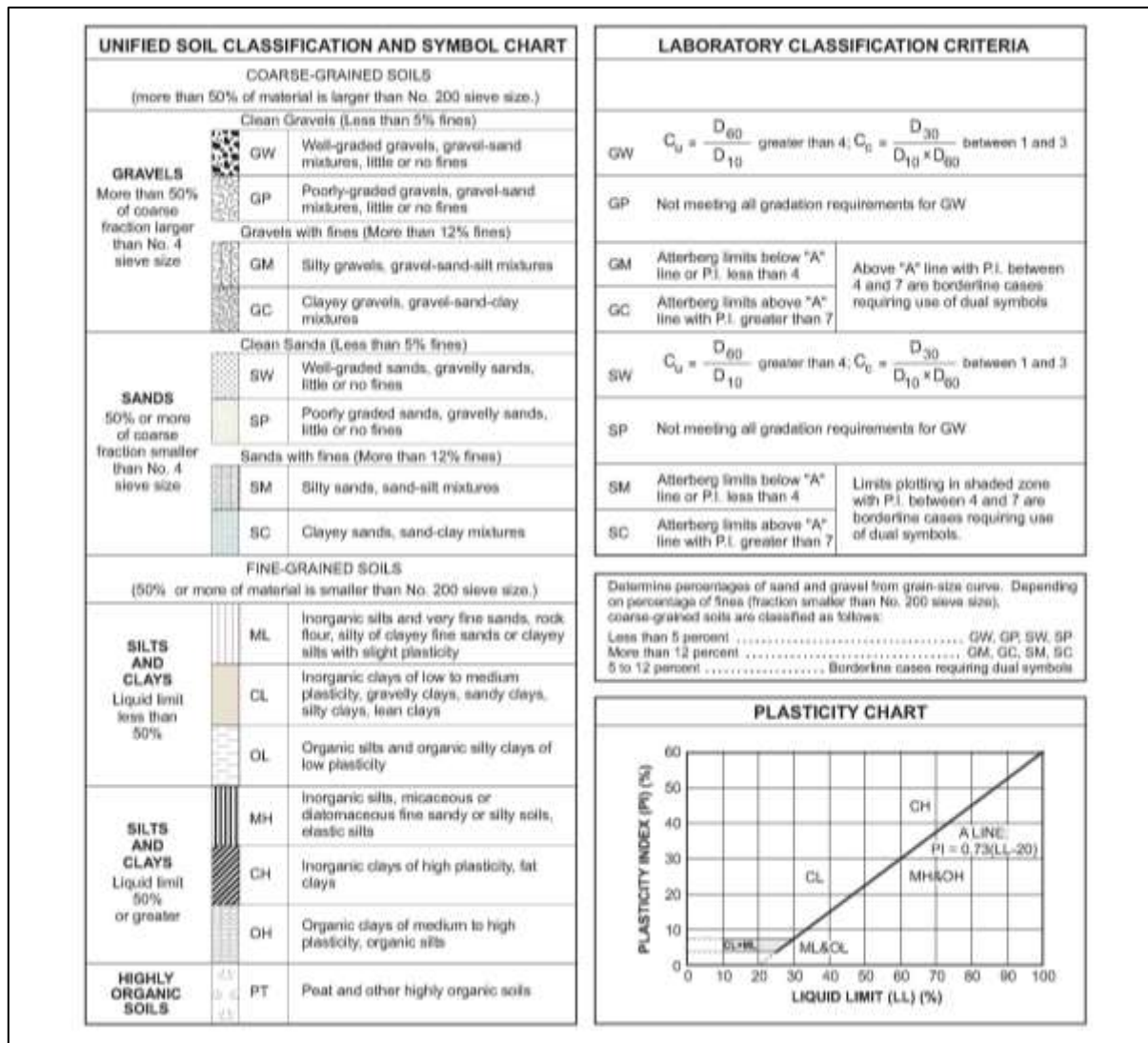
3.4 Clasificación del suelo

La clasificación del suelo es el parámetro más importante ya que es determinada por el análisis de todas las propiedades y es el factor con mayor influencia en las recomendaciones de diseño, se realiza bajo la normativa ASTM D2487-11 de la práctica estándar para la clasificación de suelos para propósitos de ingeniería bajo el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (USCS) este sistema de clasificación identifica tres divisiones mayores de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino, y suelos altamente orgánicos. Estas tres divisiones están a su vez subdivididas en un total de 15 grupos básicos de suelo.

Esta norma clasifica los suelos de cualquier ubicación geográfica en categorías que representan los resultados de las pruebas de laboratorio prescritas para determinar las

características del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. (ASTM D2487, 2011)

Figura 3. Tabla de clasificación de los suelos unificada



Nota. Fuente: ASTM D2487 (2011)

3.5 Prueba de penetración estándar (SPT)

La prueba de penetración estándar (SPT), desarrollada por Bowles (1997), es una técnica de campo ampliamente aceptada y utilizada en geotecnia. Esta prueba consiste en clavar una barra de acero en el suelo con impactos repetidos y registrar el número de impactos necesarios para penetrar una determinada distancia en el perfil de suelo. La información obtenida de la prueba SPT permite una evaluación rápida de la resistencia del suelo a diferentes profundidades dentro de un perfil específico. (Bowles, J. E., 1997).

3.6 Permeabilidad.

Es la capacidad para permitir el flujo de agua a través de un material rocoso o de suelo. Los ensayos de permeabilidad, como el ensayo de carga constante y el ensayo de carga variable, desarrollados en detalle por los reconocidos geotécnicos por Terzaghi y Peck (1967), los cuales proporcionan la información necesaria para describir la respuesta hidráulica del suelo. La permeabilidad del suelo incide directamente en la capacidad de drenaje, estabilidad de taludes, consolidación y filtración del suelo en obras civiles. Los suelos con alta permeabilidad pueden facilitar un drenaje rápido, lo cual es deseable en muchas aplicaciones, mientras que los suelos con baja permeabilidad pueden requerir consideraciones adicionales para garantizar una gestión adecuada del agua subterránea. Por lo tanto, la evaluación de la permeabilidad es un paso importante para comprender las características geotécnicas del subsuelo y es esencial para la toma de decisiones en proyectos de ingeniería civil y geotécnica. (Terzaghi, K., & Peck, R. B., 1967).

4 GEOLOGÍA

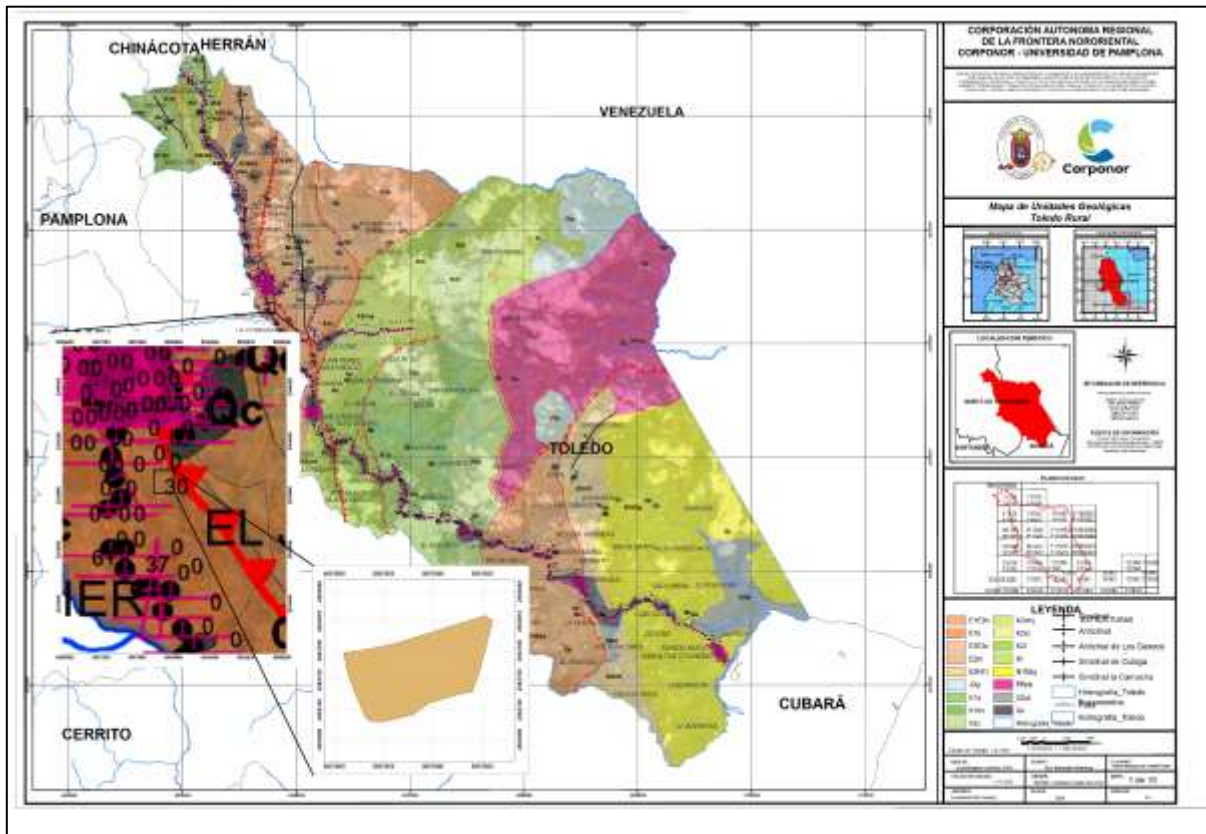
La zona de estudio se encuentra en la vereda San Javier del Municipio de Toledo a 3 km del casco urbano del municipio, pertenece a la cuenca del Catatumbo, específicamente a la cuenca del río Chitagá, el predio en estudio se encuentra en el flanco oeste del sinclinal de la Camacha sobre la formación Barco, inicialmente la empresa consultora lo tenía determinado como formación los Cuervos, pero posterior a la etapa de pre-campo y revisión bibliográfica se verificó que pertenece a la formación Barco.

4.1 Formación Barco

El nombre de dicha formación proviene de la sección tipo ubicada en la Sierra del Barco en el flanco oriental del anticlinal de Petrolea. (Martínez, N., & Camposano, L. 2000) Notestein *et al.*, (1944) establece la sección tipo de la Formación Barco en el Anticlinal de Petrolea, donde consta de 215 m de areniscas cuarcíticas y delgadas intercalaciones de lodolitas.

La unidad consta de una serie de areniscas, lutitas y arcillas. Las areniscas afloran en espesores de rangos de 0,3 a 20 metros en gran parte son arcillolitas grises de grano muy fino a medio, bien clasificadas, reticuladas y laminadas, y contienen localmente abundantes divisiones micáceas - carbonáceas y numerosas láminas de lutita. Se han observado algunas limolitas y raras veces areniscas de grano grueso. (Villamizar I, *et al.*, 2021)

Figura 4. Geología de la zona.

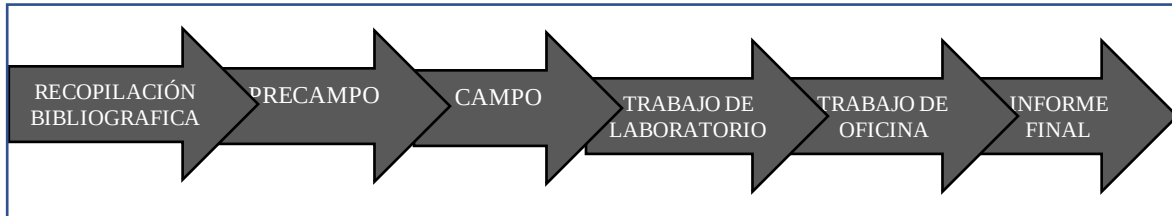


Nota. Fuente: Tomado y adaptado de Villamizar I, *et al.* (2021)

5 METODOLOGIA

El proyecto planteado se desarrollará en 5 etapas descritas a continuación:

Figura 5. Metodología para el desarrollo del proyecto.



Nota. Fuente: el autor.

5.1. Recopilación bibliográfica

Consiste en la recolección de información bibliográfica sobre el área correspondiente a la zona de estudio, la vereda a la cual pertenece y el municipio en general, a su vez en esta etapa se desarrollará lo que corresponde a la información previa del estudio geotécnico partiendo desde conceptos básicos hasta lo solicitado directamente por la norma. A su vez, se determinará la metodología en la cual será entregado el proyecto por parte de la empresa. Las fuentes de datos principales será el servicio geológico colombiano (SGC), CORPONOR, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia en Mapas, Sociedad Colombiana de Geotecnia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, entre otras fuentes de datos que contengan información importante sobre esta zona.

5.2. Pre-campo

Teniendo en cuenta ya la información previa recolectada en la primera etapa se hace el primer acercamiento a campo donde se busca delimitar con exactitud la zona

correspondiente al predio, a su vez, se busca en esta etapa hacer una preselección de los puntos importantes para realizar los sondeos, analizar de forma generalizada la geología de la región y de esta forma poder completar lo que corresponde al estudio preliminar geotécnico.

5.3. Campo

Una vez delimitada la zona y seleccionados los puntos de los sondeos se realizará la etapa de campo que se divide en dos secciones, la primera en determinar la geología del área delimitada y la zona aledaña ya que el predio es muy pequeño por tanto se debe tener en cuenta la zona generalizada y segundo los estudios geotécnicos a realizar donde se recolectarán muestras del suelo por medio de sondeos y se realizarán finalmente vuelos con dron para el desarrollo de la topografía, cartografía básica y los insumos requeridos por el proyecto.

5.4. Trabajo de laboratorio

En esta etapa se busca reconocer las características del suelo, determinar su comportamiento y finalmente su clasificación. Se determinarán los límites de atterberg, clasificación granulométrica y clasificación definitiva del suelo por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (USCS), con esto se determinará el comportamiento del suelo y la construcción preliminar del perfil del suelo.

5.5. Trabajo de oficina

Una vez finalizada la etapa de laboratorio y de campo se iniciara el trabajo de oficina, se debe tener en cuenta la información bibliográfica recolectada y de allí comparar

con los resultados obtenidos de la etapa anterior, se iniciará con el ortomosaico de los vuelos del dron para determinar la topografía, se georeferenciaron y se realizará la cartografía básica, determinando la topografía del terreno, se digitaliza la información geológica, el perfil del suelo y finalmente se generará el modelo geotécnico.

5.6. Redacción del informe final

Obtenidos ya los productos de la etapa de oficina se unifica la información en la metodología preestablecida en la primera etapa de desarrollo del proyecto bajo las normas APA y el contenido correspondiente al documento final, los entregables corresponde a la cartografía básica de la zona, los resultados del estudio de suelos que corresponde a la clasificación, perfil del suelo y finalmente el modelo geológico que se hace a partir de los resultados del perfil, la topografía y la geología de la zona.

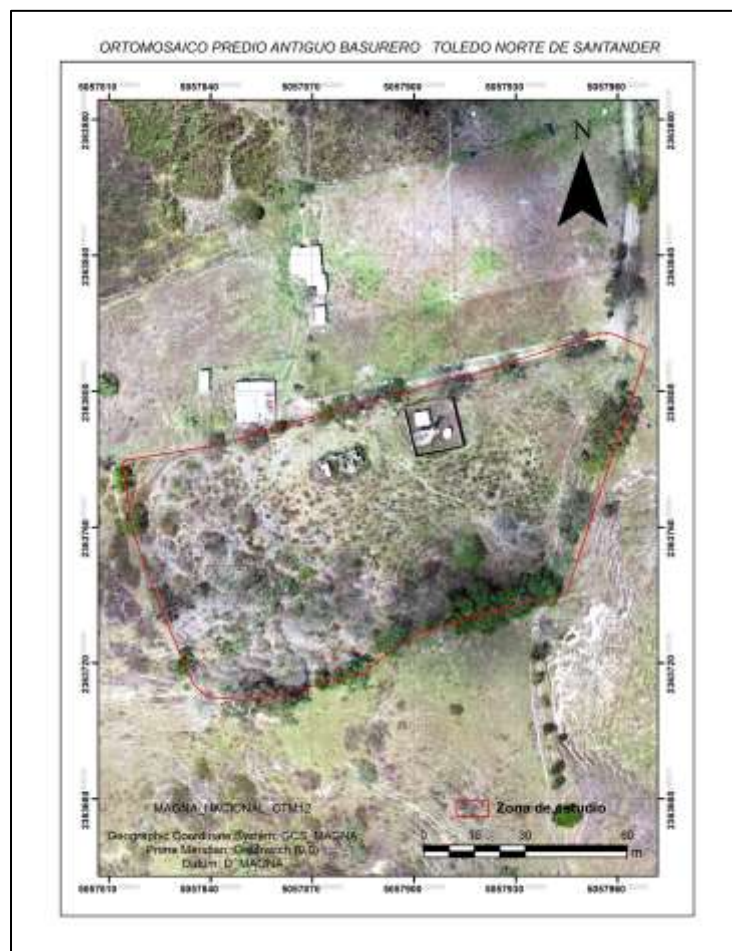
6 RESULTADOS

En este apartado se expondrán los insumos requeridos por el Proyecto de acuerdo a los objetivos planteados

6.1 Ortomosaico del predio

Para la generación de la cartografía a escala 1:1000 se realizó una serie de vuelos con Dron Mavic Air 2S Dji el cual tiene una duración de vuelo de 30 minutos, a 60 m de altura donde se generó una serie de imágenes del predio y por medio del programa Agisoft se genera el emplazamiento y finalmente el orto mosaico necesario para generar el DEM.

Figura 6. Ortomosaico predio designado para el desarrollo del proyecto.

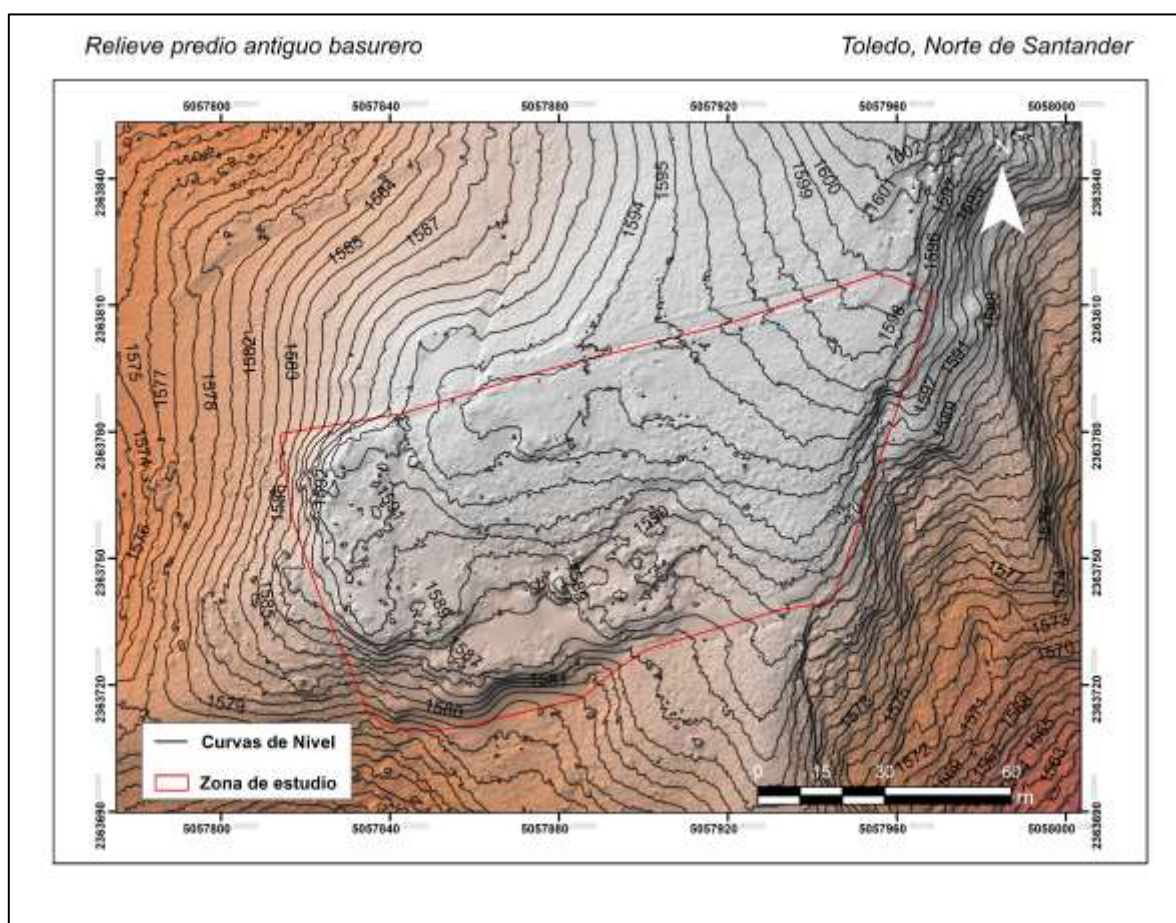


Nota. Ortomosaico del predio donde se observa desde vista superior los elementos presentes en la zona, así como los cambios en la vegetación que permite la delimitación del relleno antrópico.

Fuente: el autor.

Con la generación del DEM, se procede a realizar en ArcMap el procesamiento para generar las curvas de nivel y la ubicación de los puntos importantes en el estudio, teniendo en cuenta lo observado en campo.

Figura 7. *Relieve de la zona del predio designado para el desarrollo del proyecto*



Nota. La generación de curvas de nivel permite conocer el cambio en las alturas del predio las cuales varían desde los 1500 m hasta los 1600. Fuente: el autor

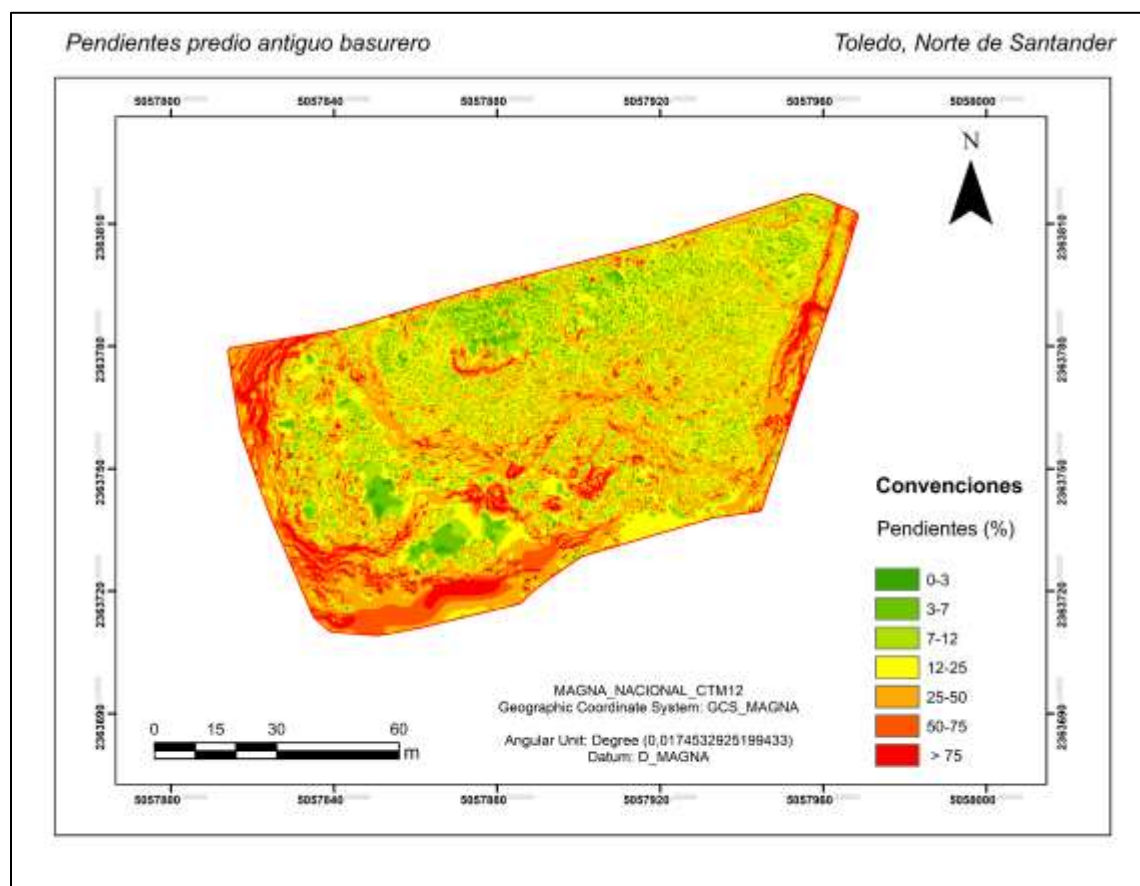
6.2 Cartografía básica escala 1:1000

Con los insumos expuestos anteriormente y teniendo en cuenta la zona de estudio se realizó la cartografía de la zona teniendo en cuenta parte de afuera del predio donde se generaban cambios de pendientes fue posible visualizar unidades en superficie a su vez se identificaron zonas construidas, vías de acceso y caminos.

Por medio de la generación del ortomosaico fue posible conocer el modelo digital de elevación a detalle para generar la cartografía a escala 1:1000, teniendo a su vez en cuenta aspectos expuestos a continuación.

El predio se encuentra sobre una cadena montañosa de moderadamente inclinadas a moderadamente escarpadas según la clasificación del IGAC.

Figura 8. Clasificación de pendientes.



Nota. El predio se encuentra sobre una cadena montañosa que varía moderadamente inclinadas a moderadamente escarpadas según la clasificación del IGAC. Fuente: el autor

Figura 9. Panorámica parte sur-este del predio.



Nota. En la panorámica se puede observar la inclinación de la zona y al fondo el parte aguas de la cuenca, también se percibe la gran cobertura vegetal con la que cuenta el área de influencia.

Fuente: el autor

En la parte Este colindando con la zona de estudio se observa como por la sobrecarga de los residuos en el suelo y los cambios de pendientes han contribuido a la formación de pequeños movimientos en masa que dejan unidades expuestas en superficie, es importante resaltar que el predio en su totalidad este cubierto suelo orgánico correspondiente.

Figura 10. Zona sur-este del predio donde se observan pequeños deslizamientos.



Nota. En la imagen se logran observar los escarpes del deslizamiento y la dirección en la que se están presentando los movimientos en masa. Fuente: el autor

En la parte de la zona de los deslizamientos se ha podido describir un pseudo perfil de suelo y roca en superficie.

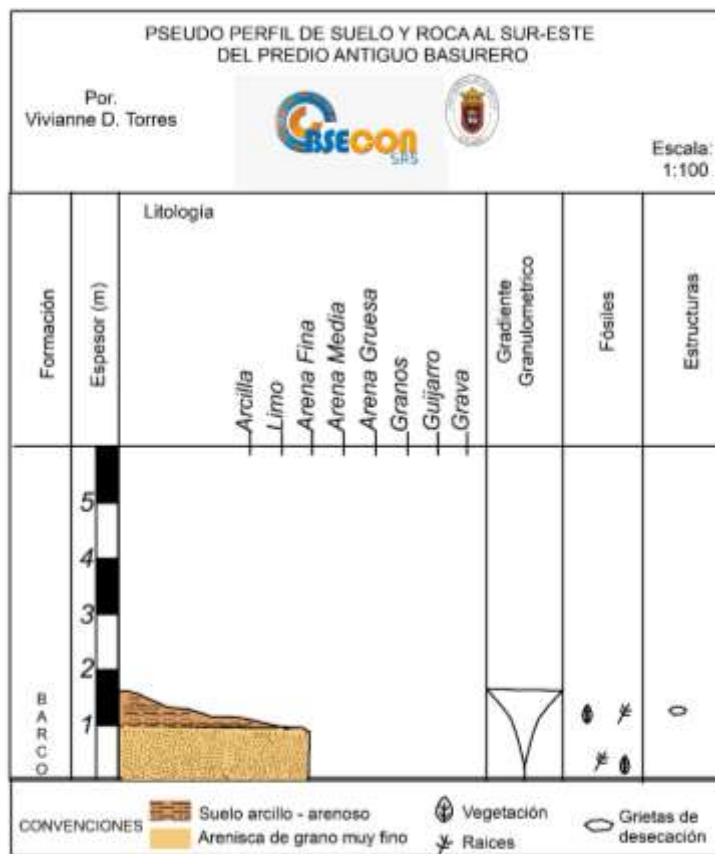
Figura 11. Zona sur-este del predio: reconocimiento de unidades en superficie



Nota. En la imagen se observan las unidades expuestas por los pequeños desprendimientos de suelo y roca presentes en la zona, se logró identificar una capa con vestigios de roca altamente meteorizada, pudiéndose identificar como una arenisca de grano muy fino de la Formación Barco y cubierta por un suelo residual de tipo arcilloso. Fuente: el autor

Con esto fue posible establecer un pseudo perfil de suelo y roca representado a continuación.

Figura 12. Pseudo perfil de suelo y roca al SE del predio.



Nota. El perfil se tomó con base a el deslizamiento encontrado en la parte este del predio donde se logró identificar material rocoso y suelos expuestos. Fuente: el autor

En la base de la parte del escarpe principal se puede identificar una capa de arenisca de regular a mala calidad de grano muy fino, regular selección y moderada esfericidad, su color varia de amarillento grisáceo a marrón, al golpe ejercido con el partillo se desprende con facilidad del macizo evidenciando su alto grado de meteorización debido a la presencia de suelos de mala calidad en la parte superior.

Figura 13. Rangos de estimación de resistencia a la compresión simple de los suelos y rocas a partir de los índices de campo.

Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo			
Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S_2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S_3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
S_4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S_5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
S_6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
R_0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R_3	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R_5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R_6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Nota. Según los datos tomados en campo la arenisca encontrada en las zonas aledañas al predio se puede clasificar como roca muy blanda R_1 . Fuente: el autor

Cubriendo las areniscas se presenta un suelo arcillo arenoso greteado en estado seco con un espesor promedio que varía de 1 a 1,2 m de color marrón claro de baja competencia notablemente afectado por raíces y restos vegetales.

El predio se utilizó hace 9 años un relleno sanitario el cual no fue tratado adecuadamente por esta razón se encuentran grandes volúmenes de residuos los cuales ocupan aproximadamente 3.000 m² del predio, se tuvo en cuenta el espesor determinado en la parte sur del predio donde se expone en su totalidad la profundidad del relleno y adicionalmente se identificó que este sector tenía una notoria cambio en la vegetación y además con la clasificación de las pendientes se pudo delimitar de forma más precisa esta zona.

Figura 14. Relleno Sanitario.



Nota. En las fotografías se observa la zona correspondiente al relleno sanitario donde se pudo determinar el espesor del mismo. Fuente: el autor.

En la zona se identificó la Formación Barco y un depósito antrópico descritos a continuación:

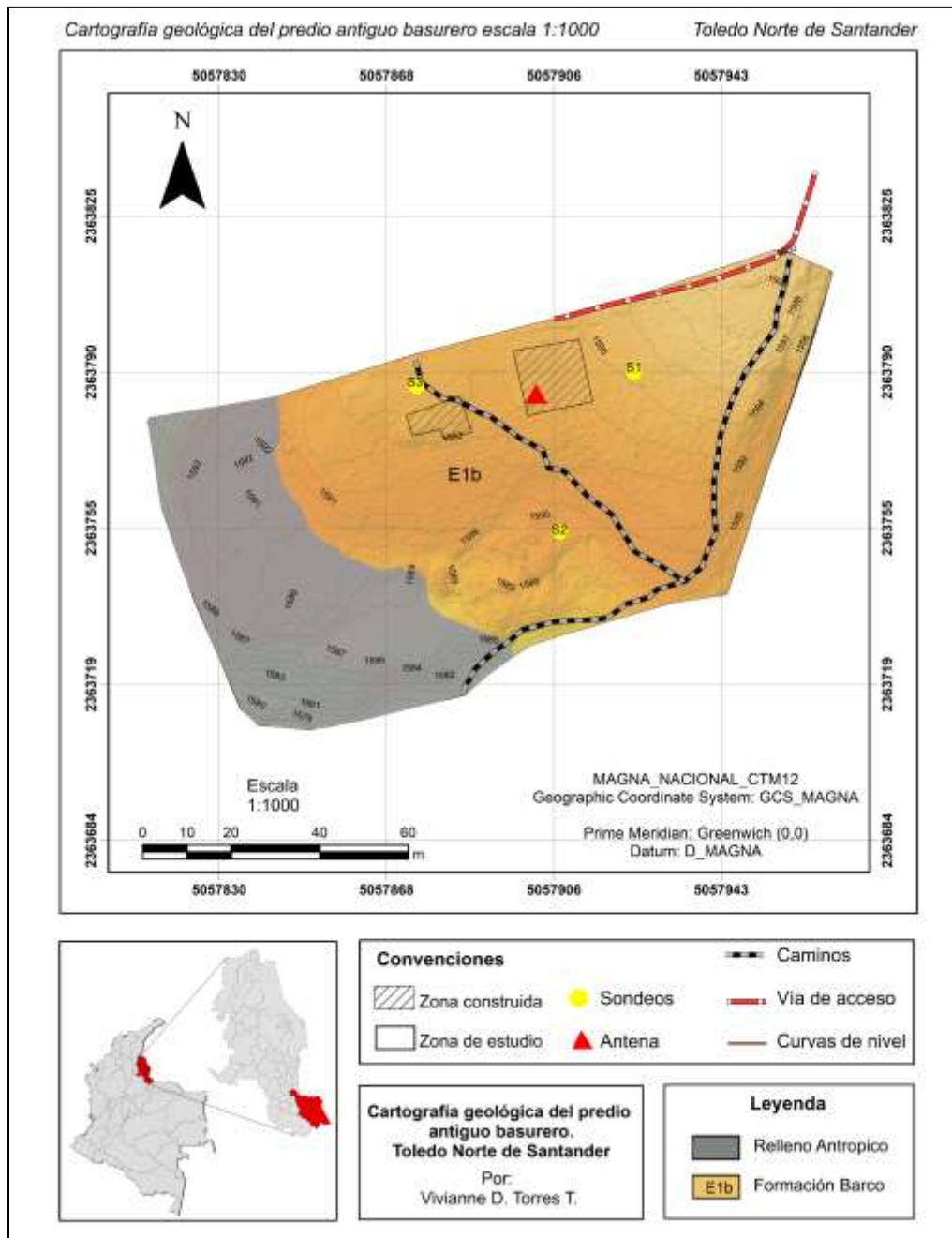
Formación Barco:

En el municipio de Toledo la Formación Barco se evidencia en una franja larga que empieza desde el norte del municipio y termina en el sur, donde tiene una gran extensión; esta unidad se encuentra en contacto con la Formación Los Cuervos donde las separa la Falla El Oro y hacia el Sur vuelve aflorar en contacto con Los Cuervos. Geológicamente la Formación Barco presenta capas medias y gruesas de arenitas grises de grano fino, contacto suturado, con una composición de cuarzo (90%), feldespato (7%), y líticos (3%), con presencia de laminación plano paralela e intercaladas con capas finas de shales negros. (Villamizar I, *et al.* 2021)

En la zona la formación se presenta con un relieve montañoso de pendientes moderadamente inclinadas a moderadamente escarpadas según la clasificación del IGAC,

con una capa de arenisca identificada en superficie de grano muy fino y de color amarillento grisáceo, bastante meteorizada y de mala calidad.

Figura 15. Mapa Cartográfico del predio a escala 1:1000



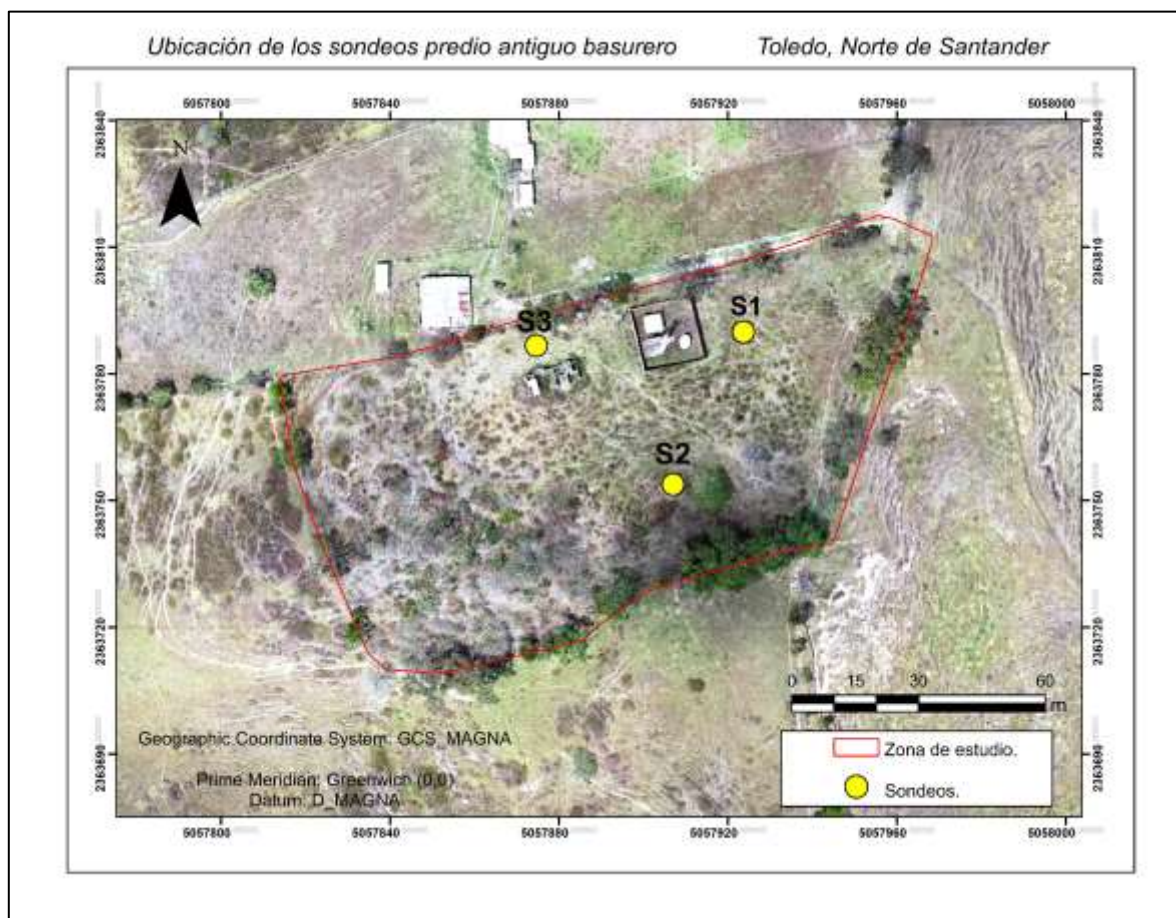
Nota. En el mapa se logra identificar las características geológicas del predio donde se identificó la zona compuesta por la Formación Barco y el relleno antrópico. Fuente: el autor.

6.3 Estudio de Suelos

En este apartado se expondrá lo correspondiente al estudio de suelos, iniciado por el proceso de toma de muestras, seguido por los resultados de los laboratorios y los insumos generados.

Se realizaron 3 perforaciones en puntos estratégicos del predio a 6 metros de profundidad con el fin de conocer el perfil del suelo y una adicional para establecer el perfil generalizado, esto siguiendo con la normativa que establece que para obras de categoría baja.

Figura 16. Ubicación de los sondeos



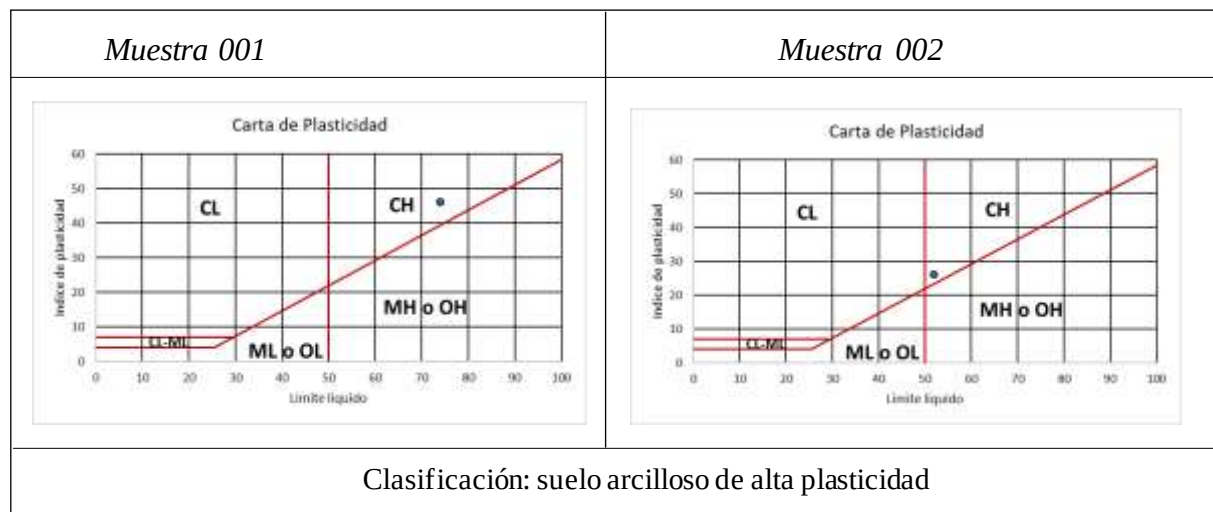
Nota. En el mapa se representa la ubicación de los puntos de sondeos. Fuente: el autor

Sondeo 1

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en el laboratorio para la clasificación del suelo realizado en el sondeo 1.

Tabla1. Clasificación del sondeo 1.

Profundidad (m)	HERRAMIENTA	MUESTRA	DESCRIPCION		CLASIFICACION S.U.C. S	HUMEDAD %	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	IP(%)
0 - 0,30 m		m001		CAPA VEGETAL					
		m001							
0,30 - 1.5 m		m001		SUELO ARCILLOSO DE ALTA PLASTICIDAD	CH	8	74,16	28,44	46,72
		m001							
1,5 - 2.3 m		m002		SUELO ARCILLOSO DE ALTA PLASTICIDAD	CH	8	46,16	20,44	26,72
		m002							



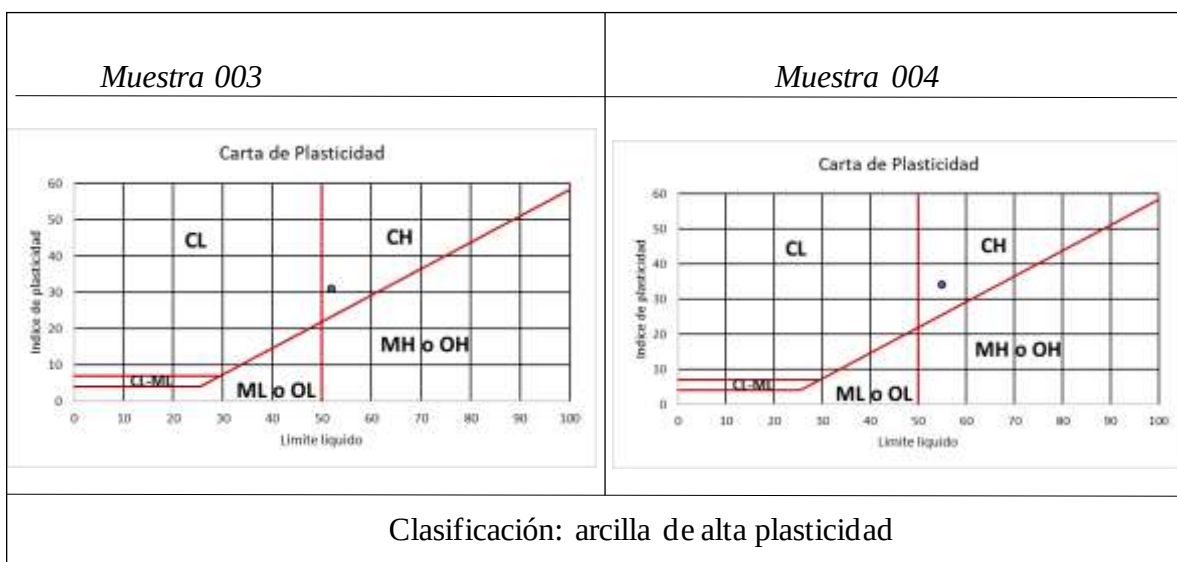
Nota. En la tabla 1 se muestran los resultados del primer sondeo en el cual se tomaron dos muestras logrando clasificarlas como suelo arcilloso de alta plasticidad. Fuente: el autor

Sondeo 2

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en el laboratorio para la clasificación del suelo realizado en el sondeo 2.

Tabla 2. Clasificación del sondeo 2.

Profundidad (m)	HERRAMIENTA	MUESTRA	DESCRIPCION		CLASIFICACION S.U.C.S	HUMEDAD %	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	IP(%)
0 - 0,30 m		m003		CAPA VEGETAL					
		m003							
0 - 1.5 m		m003		ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	CH	7,07	52,48	20,77	31,71
		m003							
1.5 - 2.25 m		m004		ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD	CH	8,07	55,48	21,77	34,71
		m004							



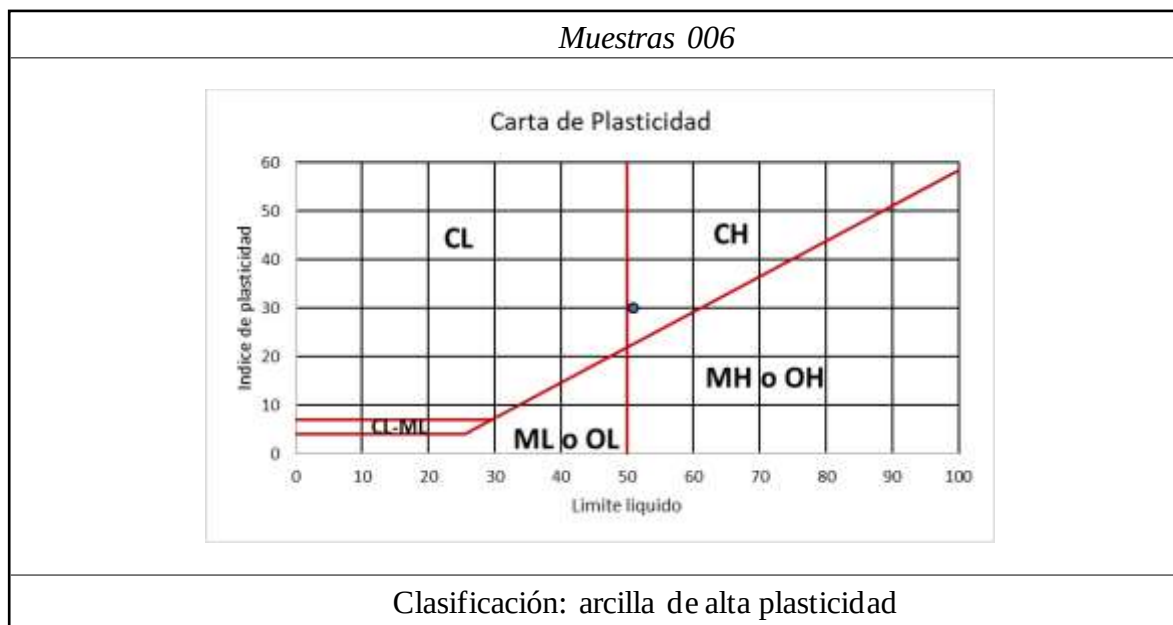
Nota. En la tabla 2 se evidencian las propiedades y clasificación de las muestras recolectadas en el segundo sondeo. Fuente: el autor.

Sondeo 3

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en el laboratorio para la clasificación del suelo realizado en el sondeo 3.

Tabla 3. Clasificación del sondeo 3.

Profundidad (m)	HERRAMIENTA	MUESTRA	DESCRIPCION	CLASIFICACION S.U.C. S	HUMEDAD %	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	IP(%)
0 - 0,30 m		m005						
		m005						
0 - 1.5 m		m006		CH	7,49	49,85	19,77	30,08
		m006						
1.5 - 2.40 m		m006		CH	8,14	49,48	19,04	30,44
		m006						



Nota. Fuente: el autor

6.4 Perfil del suelo

Teniendo en cuenta las perforaciones realizadas anteriormente, se hace nuevamente un estudio en la zona correspondiente sobre la ubicación del sondeo 2 con el fin de conseguir un perfil generalizado con la profundidad requerida por la norma puesto que era la zona más apta para la penetración necesaria, dando como resultado:

Figura 17. Resultados del estudio de suelos generalizado

H (m)		ESTRATIFICACION	NIVEL FREÁTICO	No. Muestra	Toma de Muestras			N SPT	S.U.C.S	DESCRIPCIÓN
DE	HASTA				0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"			
0,00	0,45			1	3	3	5	8	CH	0,00 a 0,90 m. Suelo arcilloso color marrón de alta plasticidad con presencia de arena, de consistencia firme y humedad baja.
0,45	0,90				6	8	8	16		
0,90	1,35		2	7	9	13	22	CH	0,90 a 1,80 m. Suelo arcilloarenoso color café de alta plasticidad, de consistencia firme a muy firme y humedad baja.	
1,35	1,80			10	18	22	40			
1,80	2,25		3	30	34	40	74	CH	1,80 a 2,70 m. Suelo arcilloarenoso color café de alta plasticidad, de consistencia dura y humedad baja.	
2,25	2,70			20	23	25	48			
2,70	3,15		4	28	28	26	54	CH	2,70 a 3,60 m. Suelo arcilloarenoso color marrón de alta plasticidad, de consistencia dura y humedad baja.	
3,15	3,60			20	17	21	38			
3,60	4,05		5	36	36	36	72	CH	3,60 a 4,95 m. Suelo arcilloarenoso color marrón de alta plasticidad, de consistencia dura y humedad baja.	
4,05	4,50			20	24	30	54			
4,50	4,95	30		38	42	80				
4,95	5,40				FIN DEL SONDEO					

Nota. Fuente: el autor

A partir de estos estudios se establece el perfil generalizado del suelo, se tuvo en cuenta las clasificaciones realizadas en los 3 sondeos de los estudios preliminares.

Figura 18. Perfil del suelo

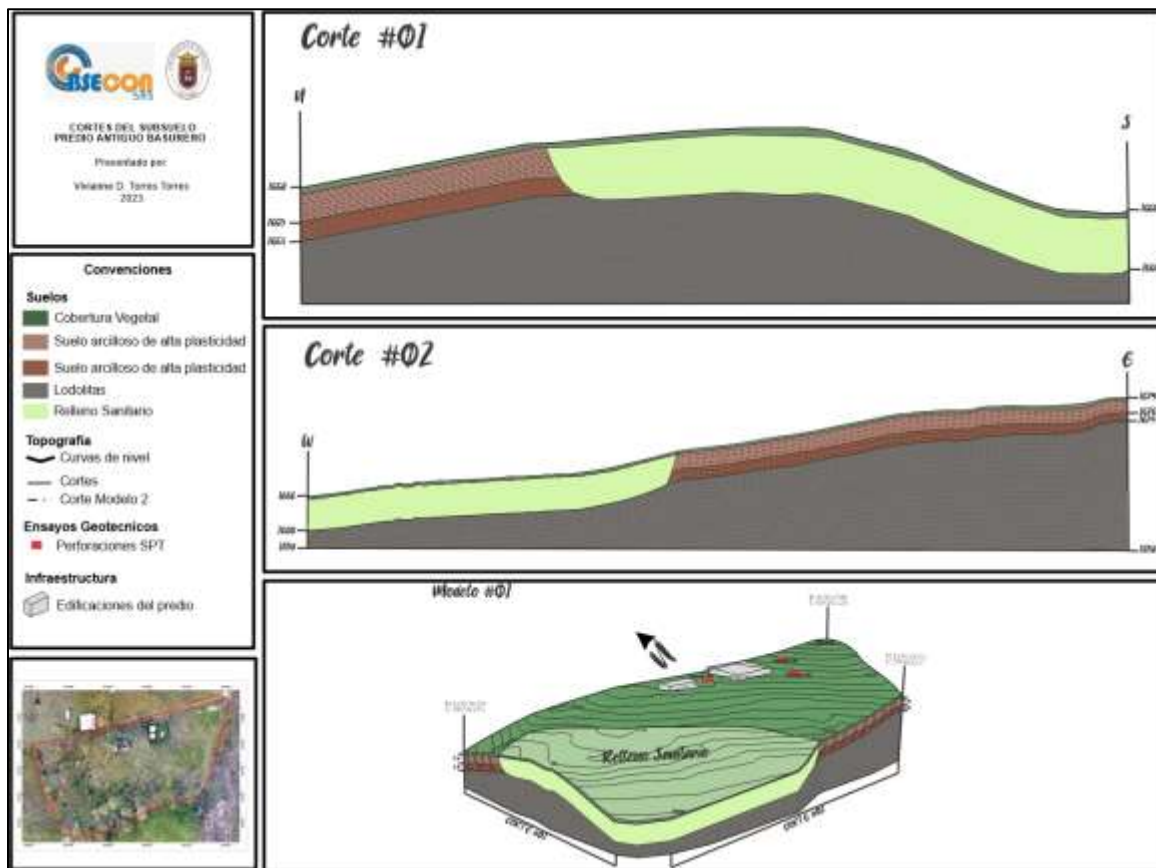


Nota. Fuente: el autor

6.5 Cortes del subsuelo

Establecido el perfil del suelo, la topografía y la geología del predio, por medio de los softwares ArcMap, ArcScene y Corel se generaron los cortes correspondientes a la zona logrando relacionar la topografía con las capas a profundidad.

Figura 19. Perfiles del subsuelo

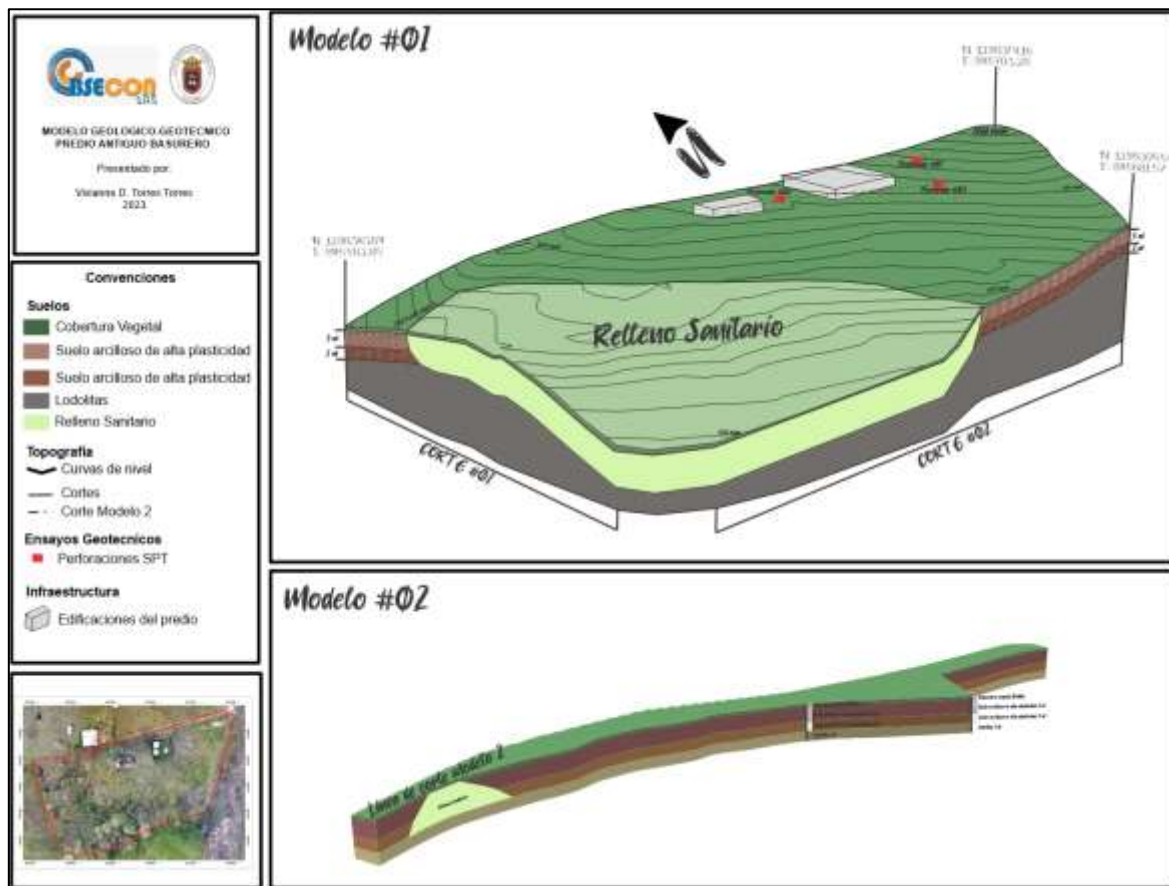


Nota. Fuente: el autor

6.6 Modelo geológico – geotécnico

Establecido el perfil del suelo, los cortes, la topografía y la geología del predio, por medio de los softwares ArcMap, ArcScene y Corel se genera inicialmente el modelamiento del terreno, los perfiles del suelo y finalmente se modela la parte del subsuelo, se tuvo en cuenta el área del relleno, los cambios de pendiente y los resultados del estudio de suelos. A continuación, se expone el insumo generado

Figura 20. Modelo geológico – geotécnico



Nota. Fuente: el autor

7 RECOMENDACIONES

Dadas las características del subsuelo analizado y el proyecto a ejecutar, se plantean la siguiente alternativa de cimentación de tipo superficial como reforzamiento de cimentación de las estructuras no mayores a tres (3) niveles:

- Zapata Aislada

Por el tipo de proyecto y las condiciones actuales del sitio se recomienda un sistema de cimentación superficial compuesta por zapatas aisladas amarradas en dos direcciones apoyada sobre un estrato de concreto ciclópeo.

- Estabilidad del terreno

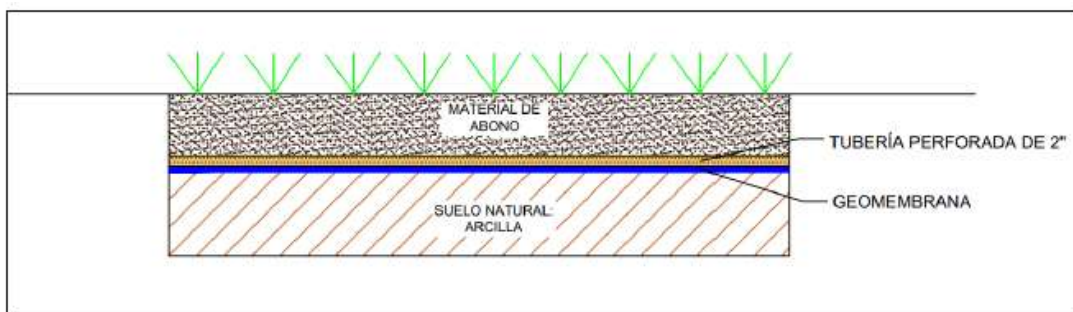
Debido a las características del subsuelo presente en la zona de estudio, que lo definen como un suelo susceptible a cambios volumétricos por cambios de humedad, se hace necesario la estabilización del área total de la edificación. Para esto, se recomienda estabilizar el material existente en un espesor mínimo de 0,40 metros contado desde la cota real del proyecto, para adelantar estos trabajos es viable utilizar material estabilizado, compuesto por el material de sitio (arcilla).

- Zonas verdes

El material del relleno sanitario se debe tartar, comprimir las capas, retirar lixiviados e instalar redes de oxigenación. En la parte oeste del predio se sugiere la instalación de un muro de contención para evitar el movimiento del material y poder comprimir los residuos. Se recomienda instalar una geomembrana que impida el paso de líquidos y fluidos que filtren hasta el suelo natural y puedan causar afectaciones a la estructura, y un sistema de drenaje conformado por tubería perforada de 2 pulgadas de diámetro, con el fin de evacuar

aguas lluvia y aguas de riego fuera de la construcción y evitar su posible estancamiento sobre la estructura.

Figura 21. Sistema de drenaje sugerido



Nota. Fuente: el autor

8 CONCLUSIONES

El contenido de humedad natural en los perfiles del suelo explorado está en el rango de 13% al 28%. Durante la época en que se realizó la exploración de campo y hasta la profundidad explorada, no se detectó el nivel freático en ninguno de los sondeos ejecutados. Es importante mencionar que la condición del Nivel Freático puede variar dependiendo de la época del año y de la intensidad de las lluvias.

En términos generales, los ensayos granulométricos realizados proyectaron en su perfil un estrato de material compuesto de arcillas y arenas, llevando una continuidad equivalente, las areniscas encontradas en el sur este del predio son relacionables con las encontradas en el perfil del suelo.

Los ensayos de límites de consistencia proyectaron que el material clasificado como arcillas presentan plasticidad alta con un índice de plasticidad máximo del 46,0%, (Ver Grafica 1), clasificando el material de acuerdo a la U.S.C.S., como CH (Arcillas de alta plasticidad)

Los ensayos de límites de consistencia y los índices de plasticidad obtenidos en laboratorio permiten estimar una expansión media a alta (Holtz y Gibbs – INV-132), la plasticidad presentada tiende a valores considerables ($IP = 46,0\%$) ($LL = 74,0\%$).

La exploración geotécnica, debe ser una labor concertada y planificada, esta tarea se debe iniciar antes de cualquier intervención en el terreno, ya que es la herramienta que permite definir con seguridad las características del suelo y por ende todas las limitaciones o avances que se pueden tener en una zona proyectada para ser intervenida.

La zona del relleno antrópico identificado en la cartografía debe ser compactado nuevamente y evaluar únicamente el riesgo posterior a la compactación y definir la altura del muro para poder evitar deslizamientos en la zona.

El proyecto planteado en la zona puede ser ejecutado teniendo en cuenta la geología de la zona y por ende las recomendaciones obtenidas en este estudio velando la seguridad del proyecto, de las personas que harán parte de él y a futuro de la comunidad que hará uso de este lugar.

BIBLIOGRAFIA

- ASTM D2487 (2011) Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema de Clasificación Unificada de Suelos). *ASTM Internacional*. 10.1520/D2487S11
- Arias, A. & Vargas, R. (1978). Geología de las planchas 86 Abrego y 97 Cáchira, memoria explicativa. *Informe 1759. INGEOMINAS. Bogotá*.
<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol23.2.1980.362>
- Atterberg, A. (1911). Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 55(2), 645-648.
- Bowles, J. E. (1997). Foundation Analysis and Design. *McGraw-Hill Education*.
- Casagrande, A. (1932). Research on the Atterberg Limits of Soils. *Public Roads*, 12(3), 121-130.
- Cuellar, M & Garcia, J (2016) Evaluación De La Inestabilidad De La Vereda La Camacha, Municipio De Toledo - Departamento Norte De Santander. *Servicio Geológico Colombiano SGC, Bogotá*.
- Cuerpo de Ingenieros del ejército de EE.UU (1960), Sistema unificado de clasificación de suelos (Carreteras y aeropuertos). *Ejército de EE.UU, Vicksburg, Mississippi*.
- Das, B. M. (2008). Principles of Geotechnical Engineering. *Cengage Learning*.
- Duque-Escobar, G. (2017). Geotecnia para el trópico andino. *Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia*.
- Gonzalez de Vallejo, *et al.*, (2002) Ingeniería geológica. *Madrid, Spain: Pearson Educación, 2002*.
- Hermelin, M. (1987) Bases de geología ambiental. *Medellin: Universidad Nacional sede*

Medellin. 300 p

Hernández Peña, Y., & Vargas Cuervo, G. (2015). Hacia la construcción de conocimiento emergente para la gestión local del riesgo. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 15-34.

<http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v24n2.50204>

Jose M, (2001). Memoria Explicativa de la Plancha 111 de Toledo Escala 1:100.000. *INGEOMINAS. Bogotá.*

Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil Mechanics. *John Wiley & Sons.*

Londoño González, G. (2020). Sismo Resistencia, una responsabilidad bajo un conflicto de intereses. *Universidad de Antioquia.*

<https://hdl.handle.net/10495/22803>

Municipio de Toledo. (2014). Plan Municipal para la Gestion del Riesgo de Desastres (PMGRD). *Norte de Santander.*

Notestein, F., Hubman, C., & Bowler, J. (1944). Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 55:1165–1215. (Boulder, Colorado) New York.

R. Tomás, A. Cuenca, J. Delgado & C. Doménech, (2003) Diseño de un modelo geológico-geotécnico 3D de la Vega Baja del Río Segura. Alicante, España. *Universidad de Alicante.*

oai:rua.ua.es:10045/21696

R. C., & RESISTENTE, C. S. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.*

Rodríguez, J., Murillo, R., Gómez, H. (2012). Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de

- Desastres (PMGRD). Toledo-Norte de Santander. *Alcaldía Municipal*.
- S. C. Geotecnia, (2014). Consultoría para estudio de riesgo por remoción en masa en San Bernardo de Bata (Toledo, Norte de Santander). *Sociedad Colombiana De Geotecnia*
- Tellez Vargas, L. M. (2017). Caracterización de las zonas donde las condiciones geotécnicas son adecuadas para la construcción de infraestructura. *Universidad de Cundinamarca*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12558/538C>
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. *Wiley*.
- Villamizar Ilich, *et al.* (2021). Aunar esfuerzos técnicos administrativos y humanos en la elaboración de los insumos necesarios para que los municipios incorporen la gestión de riesgos de desastres en los planes de ordenamiento territorial, a través de los estudios básicos para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y remoción en masa en el área urbana del municipio de Toledo departamento Norte de Santander. *Convenio interadministrativo CV05 Corponor y la Universidad de Pamplona*