



*“Año del Buen Servicio al Ciudadano”*

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

(Creada por Ley N° 25265)

## **ESCUELA DE POSGRADO**



### **TESIS**

**“ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA –GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS  
CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO,  
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: EXPLORACIÓN MINERA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. FERNANDO ALBERTO CHINOME MARTINEZ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN:  
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**MENCIÓN: GEOESTADISTICA APLICADA EN MINERÍA**

**HUANCAVELICA - PERÚ**

**2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Ante el Jurado conformado por los docentes: Dr. Pedro DE LA CRUZ CRUZADO, Dr. Amadeo ENRIQUEZ DONAIRES y M.Sc. César Salvador GUZMAN IBÁÑEZ.

Asesor: M.Sc. Jorge Washington RODRIGUEZ DEZA

De conformidad al Reglamento para Optar el Grado Académico de Magister, de la Escuela de Posgrado, aprobado mediante Resolución Directoral N° 148-2016-EPG-R/UNH

El Candidato al GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA GEOLOGICA CON MENCIÓN GEOESTADISTICA APLICADA EN MINERÍA.

Don, Fernando Alberto CHINOME MARTÍNEZ, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS DEPOSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA".

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Con el calificado

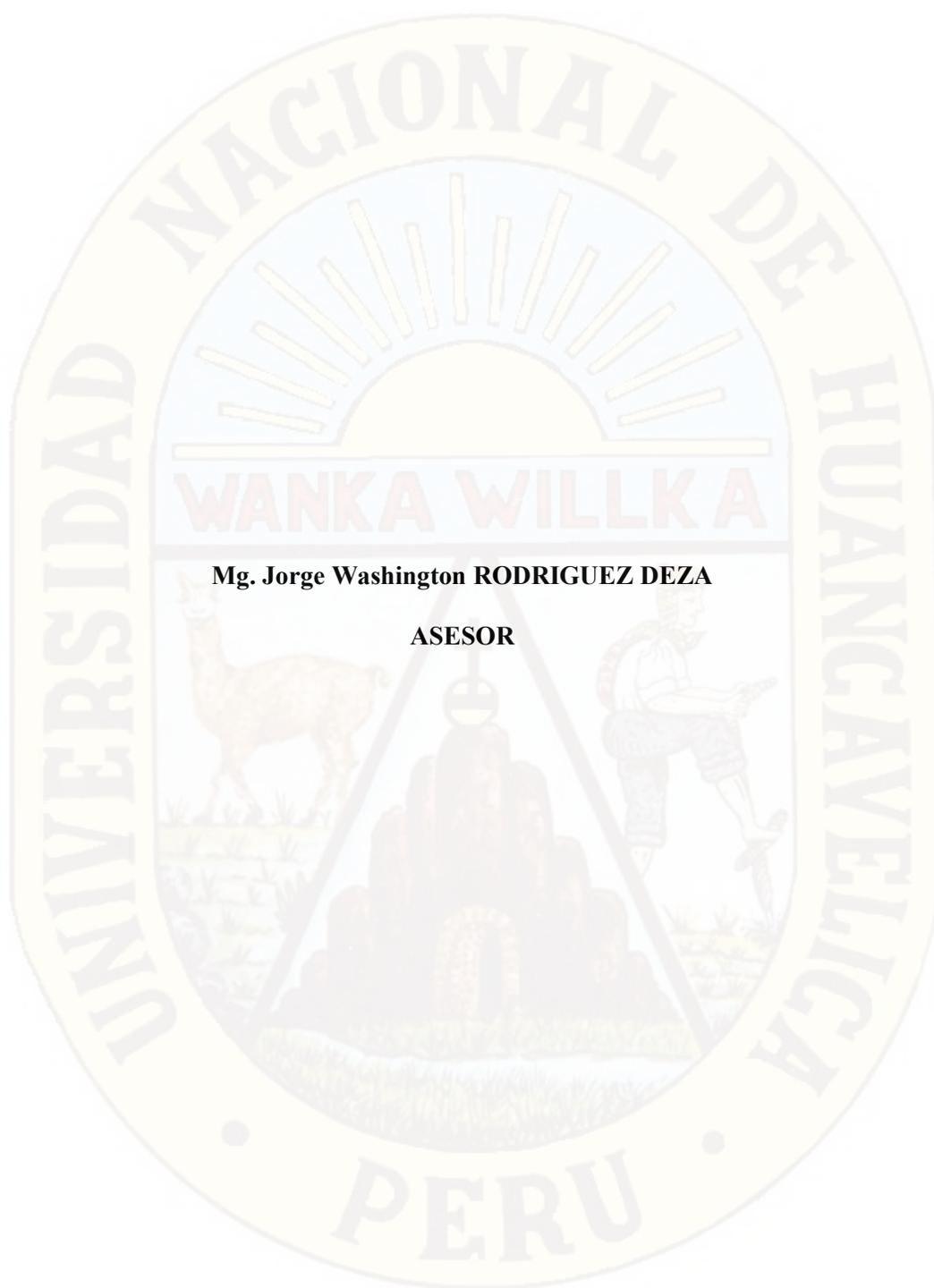
**APROBADO POR UNANIMIDAD**

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veintiocho días del mes de setiembre del año 2017.

  
.....  
Dr. Pedro DE LA CRUZ CRUZADO  
Presidente del Jurado.

  
.....  
Dr. Amadeo ENRIQUEZ DONAIRES  
Secretario del Jurado

  
.....  
M. Sc. César Salvador GUZMAN IBÁÑEZ  
Vocal del Jurado



**Mg. Jorge Washington RODRIGUEZ DEZA**

**ASESOR**

Dedico este proyecto a Dios, a mis Padres y a mis Hermanas.

A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, pilares fundamentales en mi vida, sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora, su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanas, ellos que a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Mis hermanitas que han depositado su entera confianza en cada reto que se me presenta sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

FERNANDO CHINOME

## RESUMEN

**TITULO:** ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA.

**TESISTA:** FERNANDO ALBERTO CHINOME MARTINEZ.

Con el propósito de evaluar el comportamiento tanto físico como mecánico del suelo en los depósitos de tipo Cuaternario del municipio de Sogamoso – departamento de Boyacá, Colombia se debe determinar el espesor de los estratos, con la realización de la Geofísica se tendrá conocimiento de contactos tanto Geológicos (depósitos Cuaternarios) como Litológicos y la Geotécnica brindará la potencia de cada una de estas capas y una diferenciación en composición de cada uno de los suelos, para lo cual se realizan y diseñan ensayos de penetración estándar (SPT).

Esto se podrá verificar con la proyección Geofísica y Geotécnica en sitios estratégicos las cuales se podrá conocer en profundidad de cada una de las litologías para posteriormente realizar una zonificación de tipo Geofísico-Geotécnico, la cual servirá para posibles y/o futuras construcciones de tipo comercial y/o de vivienda y tener un mayor conocimiento del comportamiento de estos suelos, teniendo en cuenta las normas sismo resistentes 2010 que son las normas actuales con las cuales se debe realizar la construcciones estructurales. En el mapa de zonificación Geofísica - Geotécnica están plasmados cada uno de los componentes en los cuales se hace la confección de la zonificación Geofísica y de la Geotécnica, allí se aplican condicionantes como la capacidad portante y la resistividad del suelo, dando valores de más altos hacia los sectores donde se presenta material de tipo Arenoso y más bajos hacia donde está el material de tipo Limoso o Arcilloso.

**Palabra clave:** Cuaternario, Geofísica, Geotecnia, Litológico.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** GEOPHYSICAL - GEOTECHNICAL ZONING QUATERNARY SOIL DEPOSITS IN THE MUNICIPALITY OF SOGAMOSO, BOYACÁ DEPARTMENT, COLOMBIA.

**AUTHOR:** FERNANDO ALBERTO CHINOME MARTINEZ.

In order to assess both the physical and mechanical behavior of Quaternary soil deposits in the municipality of Sogamoso - department of Boyaca, Colombia the thickness of the layers must be determined, through the application of Geophysics, Geological (Quaternary deposits) and lithological contacts will be known and Geotechnical methods will provide the potency in each of these layers along with differentiation in composition of each soil, for which standard penetration test (SPT) will be designed and performed.

This can be verified with Geophysics and Geotechnics projection in strategic places where it can be known at specific depths in each of the lithologic layers to create a Geophysical-Geotechnical zoning type, which will serve for possible and / or future commercial constructions and / or housing and have a greater understanding of the behavior of these soils, taking into account the 2010 earthquake resistant standards that are the current standards which must be performed on structural constructions. On the Geophysical-Geotechnical zoning map each component is embodied in the making of the Geophysical-Geotechnical zoning, there conditions as the bearing soil capacity and resistivity apply, giving higher values to sectors where Gritty material type is present and lower to where the material is Muddy or Clay type.

**Keyword:** Quaternary, Geophysics, Geotechnics, Lithological.

## INDICE

DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT .....	V
INDICE .....	VI
LISTADO DE TABLAS.....	VIII
LISTADODE FIGURAS.....	IX
LISTADO DE FOTOGRAFIAS .....	X
LISTADO DE ANEXOS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	14
<b>CAPITULO I</b>	
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.1. Fundamentación del problema .....	15
1.2. Formulación del proyecto .....	15
1.2.1. Problemas Específicos.....	15
1.3. Objetivos de la investigación .....	16
1.3.1. Objetivo General .....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. Justificación.....	17
1.5. Factibilidad del estudio .....	17
<b>CAPITULO II</b>	
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación. ....	18
2.2. Bases teóricas.....	40
2.3. Formulación de la hipótesis .....	40
2.3.1. Hipótesis general .....	40
2.3.2. Hipótesis específicas.....	40
2.4. Definición de términos .....	41
2.5. Identificación de variables .....	41
2.6. Operacionalización de variables.....	42

### CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.1. Tipificación de la Investigación .....	43
3.2. Nivel de Investigación .....	43
3.3. Método de Investigación .....	43
3.4. Diseño de la Investigación .....	43
3.5. Población, Muestra y Muestreo.....	44
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	45
3.8. Descripción de la prueba de hipótesis .....	45

### CAPITULO IV

4. TRABAJO DE CAMPO .....	46
Presentación e Interpretación de Datos.....	46
4.1. Generalidades .....	46
4.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio.....	46
4.1.2. Clima.....	46
4.1.2.1. Precipitación. ....	47
4.1.2.2. Temperatura .....	47
4.1.2.2.1. Temperatura Media .....	47
4.1.2.2.2. Temperatura Máxima.....	47
4.1.2.2.3. Temperatura Mínima .....	47
4.1.3. Vegetación. ....	48
4.1.4. Vías de acceso.....	48
4.2. Geología.....	48
4.2.1. Geología Regional. ....	48
4.2.1.1. Formación Churuvita (Ksch). ....	49
4.2.1.2. Formación Conejo (Kscn). ....	49
4.2.1.3. Formación Ermitaño (Kse). ....	50
4.2.1.4. Formación Guaduas (KPgg). ....	50
4.2.1.5. Formación Areniscas del Socha (Pgars). ....	51
4.2.1.6. Formación Arcillas del Socha (Pgas). ....	51

4.2.1.7. Formación Picacho (Pgp).....	51
4.2.1.8. Formación Concentración (Pgc).....	52
4.2.1.9. Depósitos Cuaternarios (Q): .....	52
4.2.2. Tectónica. ....	52
4.2.2.1. Falla de Soapaga.....	52
4.2.2.2. Falla de Gámeza.....	53
4.2.2.3. Falla de Tópaga .....	53
4.2.2.4. Falla de Monguí .....	53
4.2.2.5. Falla de Matayeguas.....	53
4.2.2.6. Otras Fallas. ....	54
Proceso de Rrueba de Hipótesis .....	56
4.2.3. Geología Local. ....	56
4.2.3.1. Cuaternario Aluvial Antiguo (Qpv):.....	56
4.2.3.2. Cuaternario Fluvio Lacustre (Qpl): .....	57
4.2.3.3. Cuaternario Aluvial Reciente (Qal):.....	57
4.2.4. Geología Estructural. ....	58
4.2.4.1. Falla de Soapaga:.....	58
4.2.4.2. Falla de Gámeza:.....	58
4.2.4.3. Falla de Tópaga: .....	59
4.2.4.4. Falla de la Monquirá: .....	59
4.3. Geotecnia.....	61
4.3.1. Metodología. ....	61
4.3.2. Interpretación y Caracterización Geotécnica. ....	62
4.3.2.1. Sondeo 1 .....	62
4.3.2.1.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	63
4.3.2.2. Sondeo 2 .....	65
4.3.2.2.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	65
4.3.2.3. Sondeo 3 .....	68
4.3.2.3.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo .....	69
4.3.2.4. Sondeo 4 .....	71
4.3.2.4.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo .....	71

4.3.2.5. Sondeo 5 .....	74
4.3.2.5.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	74
4.3.2.6. Sondeo 6 .....	77
4.3.2.6.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	78
4.3.2.7. Sondeo 7 .....	79
4.3.2.7.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	80
4.3.2.8. Sondeo 8 .....	81
4.3.2.8.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo .....	82
4.3.2.9. Sondeo 9 .....	84
4.3.2.9.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo .....	85
4.3.2.10. Sondeo 10 .....	87
4.3.2.10.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	88
4.3.2.11. Sondeo 11 .....	89
4.3.2.11.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	90
4.3.2.12. Sondeo 12 .....	91
4.3.2.12.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo .....	92
4.4. Geofísica .....	96
4.4.1. Materiales .....	96
4.4.2. Metodología .....	97
4.4.2.1. Sondeo Eléctrico Vertical .....	97
4.4.2.2. Perfil de resistencia y voltaje .....	99
4.4.3. Interpretación .....	100
4.5. Discusión de Resultados .....	107
Conclusiones .....	110
Recomendaciones .....	112
Bibliografía .....	113
Anexos .....	114
Matriz de consistencia .....	115
Glosario .....	116

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Operación de Variables.....	42
Tabla 2 Resultados para Sondeo 1 (Barreno Manual) .....	62
Tabla 3 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	64
Tabla 4 Resultados para Sondeo 2 (Barreno Manual) .....	65
Tabla 5 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	67
Tabla 6 Resultados para Sondeo 3 (Barreno Manual) .....	68
Tabla 7 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	70
Tabla 8 Resultados para Sondeo 4 (Barreno Manual) .....	71
Tabla 9 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	73
Tabla 10 Resultados para Sondeo 5 (Barreno Manual) .....	74
Tabla 11 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	76
Tabla 12 Resultados para Sondeo 6 (Barreno Manual) .....	77
Tabla 13 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	78
Tabla 14 Resultados para Sondeo 7 (Barreno Manual) .....	79
Tabla 15 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	80
Tabla 16 Resultados para Sondeo 8 (Barreno Manual) .....	81
Tabla 17 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	83
Tabla 18 Resultados para Sondeo 9 (Barreno Manual) .....	84
Tabla 19 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	86
Tabla 20 Resultados para Sondeo 10 (Barreno Manual) .....	87
Tabla 21 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	88
Tabla 22 Resultados para Sondeo 11 (Barreno Manual) .....	89
Tabla 23 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	90
Tabla 24 Resultados para Sondeo 12 (Barreno Manual) .....	91
Tabla 25 Resumen propiedades geomecánicas del suelo .....	93
Tabla 26 Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio.....	94
Tabla 27 Rangos de variación de resistividades, voltajes y velocidades de propagación de las litologías en el sector de estudio .....	100
Tabla 28 Matriz de consistencia.....	114

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Geología Regional. ....	55
Figura 2. Mapa Geológico Local. ....	60
Figura 3. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 1.....	63
Figura 4. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 2.....	66
Figura 5. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 3.....	69
Figura 6. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 4.....	72
Figura 7. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 5.....	75
Figura 8. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 8.....	82
Figura 9. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 9.....	85
Figura 10. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 12.....	92
Figura 11. Zonificación Geotécnica.....	95
Figura 12. Funcionamiento de la corriente en el dispositivo Schlumberger..	97
Figura 13. Esquema de ubicación del dispositivo de electrodos de SEV. ...	98
Figura 14. Curva de SEV interpretada en el software ipi2win. ....	99
Figura 15. Convenciones de los cortes Geológicos - Geofísicos.....	100
Figura 16. Corte Geológico – Geofísico y pseudoseccion de resistividad aparente A - A. ....	101
Figura 17. Corte Geológico – Geofísico y pseudoseccion de resistividad aparente B-B. ....	102
Figura 18. Corte Geológico – Geofísico y pseudoseccion de resistividad aparente C - C. ....	103
Figura 19. Corte Geológico – Geofísico y pseudoseccion de resistividad aparente D - D. ....	104
Figura 20. Modelo Geofísico de resistividad aparente a 10 m de profundidad.....	105
Figura 21. Mapa Geológico Geofísico.....	106

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Sondeo con barreno manual .....	62
Fotografía 2. Sondeo con barreno manual.....	65
Fotografía 3. Sondeo con barreno manual.....	68
Fotografía 4. Sondeo con barreno manual.....	71
Fotografía 5. Sondeo con barreno manual.....	74
Fotografía 6. Sondeo con barreno manual.....	77
Fotografía 7. Sondeo con barreno manual.....	79
Fotografía 8. Sondeo con barreno manual.....	81
Fotografía 9. Sondeo con barreno manual.....	84
Fotografía 10. Sondeo con barreno manual.....	87
Fotografía 11. Sondeo con barreno manual.....	89
Fotografía 12. Sondeo con barreno manual.....	91
Fotografía 13. Equipo Geoeléctrico.....	98

## LISTADO DE ANEXOS

Mapa Geológico de Sogamoso.

1. Mapa urbano de Sogamoso.
2. Mapa Topográfico.
3. Mapa Geológico del área de trabajo.
4. Mapa de Localización de SPT y SEV.
5. Mapa Geotécnico.
6. Corte Geotécnico.
7. Mapa Geotécnico vs Carga Admisible.
8. Mapa Geotécnico vs Resistencia a la Compresión.
9. Mapa Geofísico vs Carga Admisible.
10. Mapa Geológico Geofísico.
11. Mapa Geofísico Geotécnico.

## INTRODUCCIÓN

Mediante la implementación de métodos Geofísicos como el sondeo eléctrico vertical (SEV), siendo este método no destructivo se puede conocer cada una de las características físicas del subsuelo; con base en esto se desarrollarán los estudios para interpretar la reacción de las capas a una inyección de electricidad como fuente energética. Para poder determinar propiedades específicas de cada uno de los suelos como la cohesión, la fricción y la resistencia entre otras, se implementa el ensayo de penetración estándar (SPT), donde las muestras extraídas no alteradas son sometidas a ensayos de laboratorio.

El estudio se realiza con la finalidad de obtener una zonificación tanto Geofísica como Geotécnica para acercarse un poco más al dinamismo de los suelos y minimizar errores y riesgos en construcciones estructurales y/o eventos de naturales; estos estudios en el ámbito Geológico se realizarán a formaciones de tipo Cuaternario siendo los más influyentes los depósitos Fluvio Lacustre, Aluvial Reciente y el depósito Aluvial Antiguo, el trabajo se desarrolla en este sector porque allí es donde se encuentra ubicada la zona urbana del municipio de Sogamoso.

Con los datos obtenidos e interpretados en las dos temáticas (Geofísica y Geotécnica) se correlacionan para finalizar con la Zonificación Geofísica Geotécnica de los Depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso – Boyacá, Colombia, y así la población, las empresas y comunidad que requiera de esta información pueda adquirirla y tener una certeza o una aproximación de lo que requiere una obra estructural en los estudios previos para su construcción.

## **CAPITULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Fundamentación del problema**

El municipio de Sogamoso presenta gran variedad de litologías pertenecientes a diferentes unidades, lo que hace factible un estudio cuidadoso con el fin de detallar el comportamiento a nivel Geológico, Geofísico y Geotécnico. Sogamoso presenta alto desarrollo urbanístico e incremento poblacional requiriendo tener unos estudios serios, confiables y de gran nivel técnico y en el mejor de los casos ser favorables y factibles que den la comodidad, facilidad y seguridad a la comunidad para construir y desarrollar proyectos que puedan mejorar las condiciones de vida de la sociedad. Sería así el problema conocer las condiciones Geológicas, Geotécnicas y Geofísicas del área de desarrollo urbano que se hace necesario para mitigar y minimizar los riesgos que se puedan presentar en un evento extraño de la naturaleza. Conociendo las propiedades Geotécnicas y Geofísicas del suelo se pueden implementar soluciones prácticas y fáciles para evitar estos eventos.

#### **1.2. Formulación del proyecto**

¿En qué medida influirá la Zonificación Geofísica Geotécnica de los depósitos Cuaternarios para el desarrollo urbanístico, social y ambiental del municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá, Colombia?

##### **1.2.1. Problemas específicos**

- ¿Cómo se beneficiara la sociedad Sogamoseña al conocer el dinamismo de los suelos y como afectara el crecimiento de la ciudad?
- ¿Porque se hace necesario acercarse al conocimiento de los suelos en el municipio de Sogamoso para el desarrollo urbanístico?
- ¿Cómo se pueden minimizar los riesgos ambientales conociendo el comportamiento de los suelos en el municipio de Sogamoso?

### 1.3. **Objetivos de la investigación**

- Reconocimiento y la actualización Geológica de los depósitos Cuaternarios del Municipio de Sogamoso.
- Diseño del mapa de zonificación Geotécnica de los depósitos Cuaternarios.
- Diseño de la caracterización Geotécnica preliminar de los depósitos Cuaternarios.
- Elaborar los mapas de resistencia al cortante y carga admisible para la ciudad de Sogamoso.
- Realizar una modelación Geofísica a 10 metros de profundidad y diseñar el mapa geofísico integrado para esta profundidad y mapa de resistividades.
- Realizar y diseñar el mapa de zonificación Geofísica Geotécnica de municipio de Sogamoso.

#### 1.3.1. **Objetivo General**

Realizar la zonificación Geofísica - Geotécnica de los depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso del departamento de Boyacá - Colombia, para determinar zonas seguras y apropiadas con el propósito de efectuar un desarrollo urbanístico sostenible.

#### 1.3.2. **Objetivos Específicos**

- Conocer como minimizar los riesgos de tipo Geológico conociendo las propiedades Físicas y Geotécnicas de los suelos en Sogamoso y como la sociedad se favorecerá para plantear diseños estructurales.
- Poder tener una proyección del desarrollo urbanístico en el municipio de Sogamoso con base en condiciones técnicas y sostenibles.
- Reconocer las zonas ambientalmente sensibles que afecten el desarrollo urbanístico de Sogamoso y darle un uso adecuado a técnicas ingenieriles basándose en las normas sismoresistentes 2010.

#### **1.4. Justificación**

El planeamiento, operacionalización y determinación de resultados de la zonificación Geofísica - Geotécnica de los depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso del departamento de Boyacá – Colombia, es importante ya que la ciudad está sufriendo un desarrollo tanto industrial como comercial y se requiere tener estudios del subsuelo para construir lugares óptimos y seguros para la sociedad que se encuentra dentro del área de influencia; puesto que con estos estudios se podrán conocer datos de composición Litológica, Carga Admisible y Capacidad Portante del subsuelo, así mismo se podrán dar a conocer condiciones geológicas estructurales que puedan afectar el desarrollo de la ciudad ya que allí la acción tectónica es activa, con estas condiciones básicas se podrán tomar las opciones y actividades pertinentes en cuanto a diseños estructurales de las edificaciones para minimizar el riesgo basándose en las Normas Sismo Resistentes del 2010 para Colombia (NSR10).

#### **1.5. Factibilidad del estudio**

En el municipio de Sogamoso – Boyacá, en el área urbana no se cuenta con estudios exhaustivos (perforaciones, estudios de tesis, análisis petrofísicos) que puedan dar a conocer condiciones dinámicas del subsuelo, para conocer de una forma más detallada y concisa los eventos Geológicos; se planea hacer 12 sondeos geotécnicos (Standard Penetration Test SPT) y 19 sondeos eléctricos verticales (SEV). Se cuenta con los equipos para desarrollar cada una de estas labores, los equipos de barreno manual son muy comunes y útiles para estas labores al igual que los equipos de geoeléctrica; son de un alto costo ya que son equipos muy sensibles pero la óptima manipulación y el conocimiento hace que este estudio sea factible, adecuado y necesario para el municipio de Sogamoso. Se cuenta con el apoyo de los entes pertinentes como la alcaldía del municipio y las Juntas de Acción Comunal de cada uno de los barrios donde se plantea desarrollar el trabajo.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación.

##### *A nivel internacional*

2.1.1. **Título:** Algunas experiencias de la aplicación de métodos geofísicos en los proyectos geotécnicos y constructivos de la L.A.V. Madrid-Barcelona-Frontera Francesa, tramo Madrid-Zaragoza.

**Autor:** Ángel Granada Sanz, José Carlos Cambero Calzada.

**Fecha:** Ingeniería Civil 123/2001.

**Objetivos:** Aplicación de técnicas Geofísicas en proyectos Geotécnicos para el reconocimiento de zonas concretas de trazas tales como túneles, desmontes y apoyos de viaductos y pasos superiores.

**Síntesis:** En esta publicación se presentan ejemplos representativos de los diversos estudios realizados mediante métodos geofísicos como parte de los trabajos de los proyectos geotécnicos y constructivos de los diversos subtramos que forman el Tramo Madrid-Zaragoza de la L.A.V. Madrid-Barcelona-frontera Francesa. Entre los métodos utilizados se incluyen el Sísmico de Refracción, el Georadar, la Tomografía eléctrica, el de los sondeos EM de Dominio de Tiempos (SEDT), etc. Mediante estos métodos se han resuelto problemas tales como la caracterización de los macizos rocosos en términos relativos a su excavabilidad y la identificación de accidentes del subsuelo como por ejemplo contactos litológicos, fallas o zonas Karstificadas en diversos ambientes Geológicos.

### **Metodología:**

- Utilizar y definir todos los aspectos operativos en función de condicionantes tales como particularidades geológicas de la zona de estudio, características del problema a resolver, profundidad a investigar, aspectos logísticos de la zona.
- mediciones y cálculos.
- Como etapa final del proceso es fundamental para el buen fin del estudio la interpretación en la que a partir de los documentos geofísicos se han de elaborar otros con significación geológica.

### **Resultados y conclusiones:**

- La alta precisión requerida en los resultados y también la urgencia con que éstos hubieron de obtenerse con el fin de facilitar la toma de decisiones respecto a las pertinentes acciones correctoras. Una gran parte de los estudios geofísicos desarrollados en esta fase del Proyecto han estado orientados a la detección de accidentes de origen kárstico de diversa tipología y en diferentes medios geológicos.
- En menor medida los métodos geofísicos se han aplicado al estudio de problemas puntuales como por ejemplo la identificación y caracterización de posibles discontinuidades del terreno tales como diaclasas o fracturas en zonas de apoyo de estructuras, estudio de la efectividad de tratamientos correctores del terreno en zonas problemáticas o auscultaciones del revestimiento de túneles.

2.1.2. **Título:** Estudio de prospección geofísica y geotécnica para el emplazamiento del embalse de san Esteban de Andagoya (Álava).

**Autor:** Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Departamento de Ingeniería Geológica. Luis Alberto Alonso Díaz.

**Fecha:** noviembre de 2001.

**Objetivos:** El presente proyecto constituye el primer paso a seguir en cuanto a la definición de la estabilidad del terreno sobre el que se pretende asentar una presa, así como la determinación de las características litológicas, estructurales, hidrogeológicas y

geomecánicas, de cara a establecer de la forma más concreta posible los parámetros que van a gobernar tanto la construcción como el posterior funcionamiento de la obra. A su vez se realizará una correlación entre los resultados obtenidos por diferentes métodos y un estudio, hasta ahora inédito, para establecer soluciones constructivas.

**Síntesis:** El presente proyecto consiste en una evaluación de las condiciones geomorfológicas, estructurales, hidrogeológicas, litológicas y geomecánicas que condicionan el diseño, la construcción y el posterior funcionamiento de la presa de San Esteban de Andagoya (Álava), situada en una zona kárstica. Por su dimensión y características obliga a la utilización de diversas disciplinas científicas.

**Metodología:**

- Recopilación de información regional y búsqueda de antecedentes relacionados con la obra en curso. Para ello se cuenta con un esbozo general de la geología y la estructura de la zona extraída de la Hoja Magna, así como otros estudios que se detallan en el proyecto.
- Definición morfológica de la disposición de los elementos que constituyen la presa y su cimiento.
- En base a lo anterior diseñar la campaña de investigación. Se desarrollarán diferentes trabajos, utilizando métodos geofísicos y geotécnicos.
- Asignar propiedades geomecánicas y tenso-deformacionales en dichos elementos a partir de ensayos in situ y en laboratorio.

A partir de esta información se llevan a cabo una serie trabajos en gabinete que se irán describiendo a lo largo del informe y cuya metodología, básicamente, consta de los siguientes pasos:

- Informatización de los resultados obtenidos en campo y en laboratorio.
- Tratamiento de los datos mediante diversos programas informáticos, encaminados a obtener una interpretación científica de las investigaciones.

- Y, finalmente, la redacción de las conclusiones.

**Resultados y conclusiones:**

- En lo que a localización geográfica de la presa se refiere las características topográficas, hidrogeológicas y estructurales el emplazamiento se puede considerar aceptable.
- Para la determinación de los niveles de fracturación los diversos trabajos realizados fueron puestos en común correlacionándose positivamente y obteniendo una relación matemática que liga la prospección geofísica con la realidad geomecánica y estructural.

2.1.3. **Título:** Aplicación de la geofísica en trabajos geotécnicos y en la búsqueda de agua en las provincias orientales.

**Autor:** Orlando Dussac Tamayo (1), Jorge Acosta Breal (1). Empresa Geominera Oriente.

**Fecha:** Abril de 2005.

**Objetivos:**

- Estudios geofísicos por el trazado de una conductora de residuales de 10 Km de longitud, vinculada al desarrollo de un Polo Turístico en Baracoa, Guantánamo.
- Estudio geotectónico para el emplazamiento de una fábrica de Cemento en Santiago de Cuba.
- Estudios geofísicos para la actualización de canteras en el poblado de Yara, Granma.

**Síntesis:** En los últimos años el Grupo de Servicios Geofísicos de la Empresa Geominera de Oriente (EGMO) a desarrollados numerosos trabajos relacionados con la solución de diversos problemas Geotécnicos para diferentes clientes nacionales y compañías mixtas que operan en Cuba, Los resultados que mostramos constituyen una demostración más del poder resolutivo de los métodos geofísicos en estos trabajos.

**Metodología:** Los métodos utilizados para obtener estos resultados fueron: Sondeo Eléctrico Vertical, Perfilaje Eléctrico Simétrico de Doble Abertura, Tomografía Eléctrica y Magnetometría, se confeccionaron mapas de isolíneas de resistividad a diferentes profundidades, seudocortes de resistividad, perfiles magnéticos y cortes sintéticos de interpretación geólogo – geofísicos.

**Resultados y conclusiones:**

Los trabajos geofísicos desarrollados permitieron resolver las tareas planteadas para los diferentes objetivos:

**Conductora Amores-Cayo Güin:**

- Se cartografiaron los tipos litológicos existentes, zonas de agrietamiento, discontinuidades geoelectricas asociadas a contactos geológico y zonas de fallas y el nivel freático.

**Cantera Calambrosio:**

- Se logró determinar el espesor de las capas de interés y área donde se encuentran así como el nivel freático de la zona de estudio.

**Estudio geotectónico para el emplazamiento de una fábrica de Cemento en Santiago de Cuba:**

- Se cartografiaron tres dislocaciones tectónicas en el sector. La situada al Este consideramos es la conocida como Sardinero, descrita por otros autores, con una dirección prácticamente Norte-SUR y buzamiento hacia el Este según nuestros resultados. Por los pequeños valores de resistividad detectados es posible que por esta falla circule agua.
- Se cartografiaron en el área sedimentos con diferentes grados de compactación, de acuerdo a sus características geoelectricas y magnéticas.

2.1.4. **Título:** Estudio Geológico-Geofísico para la evaluación de los hundimientos y agrietamientos en el área metropolitana San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez.

**Autor:** H. Ayuntamiento de San Luis Potosí, H. Ayuntamiento de Soledad de Graciano Sánchez, Agencia Hábitat, Agencia Potosina de Desarrollo Hábitat, Gobierno del Estado de SLP, Secretaría de Desarrollo Social, Delegación SLP.

**Fecha:** julio del 2006.

**Objetivos:**

- Quienes tienen la responsabilidad de definir las zonas de crecimiento urbano o de adecuar el reglamento de construcción vigente para los municipios de SLP y SGS deben de contar con elementos técnicos adecuados para tomar decisiones bien fundamentadas, que reduzcan los riesgos de daños a la infraestructura civil, pública y privada, por efecto del fallamiento y agrietamientos del suelo.
- Con esta idea en mente, el objetivo central de este estudio es explicar el mecanismo de generación de los agrietamientos por subsidencia, pero principalmente ubicar espacialmente las zonas urbanas más propensas a sufrir daños debido a los hundimientos diferenciales que provocan los agrietamientos. Es posible lograr estas metas a partir de la localización de irregularidades estructurales en el lecho rocoso del valle utilizando para ello mediciones geofísicas combinadas con el análisis geológico de la zona.
- El objetivo final de éste trabajo es entonces el de generar una **carta de zonificación de riesgo de agrietamientos** para el área metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez, así como cuantificar la magnitud de los esfuerzos y desplazamientos en zonas específicas de la mancha urbana en donde actualmente se presenta esta problemática.

**Síntesis:** El suelo del Valle de San Luis Potosí se encuentra sometido a un proceso de hundimiento paulatino que es imperceptible en periodos de tiempo cortos. Los hundimientos provocan agrietamientos que se concentran particularmente en algunos sectores de la zona urbana. Estos son el resultado del fallamiento del suelo ocasionado por los esfuerzos que se ejercen en la masa de suelo por efecto de hundimientos diferenciales. Los hundimientos diferenciales han sido inducidos y continúan siendo una consecuencia de un proceso de compactación diferencial producido por el descenso desigual del nivel piezométrico del acuífero por causa de irregularidades preexistentes en el subsuelo, tales como fallas geológicas. Sus efectos se pueden observar como daños a la infraestructura urbana en los sectores en donde aparecen.

La causa principal de los agrietamientos en el Valle de San Luis Potosí parece coincidir con lo que se ha observado en otros valles del centro del país (Pacheco et al., 2006), es decir, a la compactación del suelo por la continua extracción del agua de los acuíferos en combinación con la existencia de lechos rocosos irregulares. Durante el período comprendido entre 1998-2006 se han reportado en la ciudad de San Luis Potosí daños a la infraestructura civil, entre otros, asentamientos y ruptura de pisos y bardas en casas habitación y agrietamientos de calles en algunas colonias de la ciudad. Las principales afectaciones reportadas se encuentran en el sector norte, en las colonias Aeropuerto, Industrial Aviación y en el Bulevar Río Santiago. Otras colonias afectadas son los Reyitos y Huerta del Real así como parte de la Zona Centro. Al sur-sureste de la ciudad también se han documentado afectaciones en la zona universitaria, en las cercanías del parque Tangamanga y a lo largo de la zona hotelera sobre la carretera 57. Algunos de los edificios públicos afectados son la Academia Estatal de Policía, el Mercado de La Luz, la Iglesia de la Santa Cruz, la Escuela Primaria Federal Ignacio Zaragoza e incipientemente la Escuela Normal del Estado.

A pesar de que ha habido esfuerzos por describir desde el punto de vista geológico el fenómeno de los hundimientos y agrietamientos en el área urbana de San Luis Potosí (Barboza Gudiño et al., 1998; Mata-Segura et al., 2004; Mata Segura y López Doncel, 2004) además de la geología se requiere de la combinación de otras disciplinas tales como la geofísica y los métodos numéricos para caracterizar adecuadamente el fenómeno y con ello generar información confiable que requieren los organismos de gobierno encargados de planear el crecimiento de la ciudad, reduciendo con ello los riesgos de carácter geológico-antropogénico como son los agrietamientos de suelo así como para tomar decisiones relacionadas con la reestructuración de infraestructura afectada y en última instancia para modificar consecuentemente los códigos de construcción en las zonas de mayor riesgo.

#### **Metodología:**

- Marco geológico de la zona de estudio (geología del relleno del cuaternario del valle de SLP, estratigrafía, piezometría y basamento hidrológico).
- Hundimientos y fallamiento del suelo (antecedentes, esfuerzos efectivos debidos al incremento aparente e el peso volumétrico, propiedades mecánicas del suelo).
- Levantamiento geofísico (levantamiento gravimétrico, cartas gravimétricas del valle de SLP, fundamentos del método de refracción sísmica, módulo de elasticidad del relleno del valle).

#### **Resultados y conclusiones:**

Se observan tres tipos de fallamiento de suelo en el valle: 1) desplazamientos verticales de la masa de suelo, debidos a esfuerzos de corte, 2) desplazamientos horizontales, debidos a esfuerzos de tensión, y 3) fallamientos en escalón (o en echelon), debidos a

esfuerzos de torsión en la masa de suelo. Las magnitudes de los esfuerzos de corte y horizontal fueron evaluadas en varias zonas urbanas en donde se han detectado recientemente incipientes daños a infraestructura.

Los daños por esfuerzos de torsión están aparentemente condicionados a que ocurran desplazamientos diferenciales verticales u horizontales, sin embargo se requiere de observaciones más detalladas para determinar con precisión el mecanismo de generación de éste tipo de fallamiento.

Además de los fallamientos de suelo que responden a irregularidades del basamento, generalmente con orientación NS, existe una familia de fallamientos asociada a la presencia de paleocausas, principalmente orientados EW, es decir, siguiendo la dirección dominante de los antiguos lechos de los principales ríos que drenaban al valle. El fallamiento del suelo parece ocurrir en los bordes de los paleocausas y se sugiere que el mecanismo de generación es básicamente del mismo tipo que los fallamientos descritos, es decir, por hundimientos diferenciales debidos a al tipo de materiales presentes y por el descenso del nivel piezométrico.

2.1.5. **Título:** Caracterización Geofísica y Geotécnica en la estación Guaraira Repano, urb. La Urbina, caracas.

**Autor:** Universidad Simón Bolívar decanato de estudios profesionales Coordinación de Ingeniería Geofísica. Mónica Maroño Azuaje, Sartenejas.

**Fecha:** Abril de 2009.

**Objetivos:**

- Dar a conocer períodos fundamentales de vibración del suelo y generar mapa de isoperíodos de la zona.
- Determinar espesores de capas a partir del período fundamental mediante la utilización de las fórmulas empíricas de Field, Rocabado y Parolai.

- Determinar a partir del estudio de sismica de refracción de microtremores, velocidades y espesores de capas, y en particular establecer a qué profundidad se encuentra la roca.
- Generar mapas de velocidades y espesores de sedimentos.
- Determinar el parámetro  $V_{s30}$  (velocidad promedio de los primeros 30 metros de profundidad), factor importante para el diseño y planificación de estructuras.
- Hacer la comparación entre los espesores obtenidos empírica y experimentalmente y determinar que fórmula presenta mejores resultados
- Determinar velocidades de onda S de las capas de sedimentos mediante el método de NSPT y compararlas con las obtenidas con el método de refracción de microtremores.

**Síntesis:**

Con el fin de evaluar el riesgo sísmico de la localidad donde se construirá la estación final del tramo urbano de la Línea 5 del Metro de Caracas, estación Guaraira Repano, se deben determinar los parámetros de velocidad de ondas de corte y espesor de los estratos, además del período fundamental de vibración del suelo. Para ello, se elaboró un plan de adquisición de sismica de refracción de microtremores (ReMi) y de medición de puntos de vibraciones naturales en la zona. Con el método ReMi se estimó el valor del parámetro geotécnico  $V_{s30}$  y se hizo un mapa de profundidad promedio de la roca metamórfica sana. A partir de los valores de período fundamental del suelo se generó un mapa de isoperíodos, el cual se relacionó directamente con el espesor de sedimentos sobre la roca. Para estudiar dicha relación se utilizaron 3 ecuaciones empíricas desarrolladas por Rocabado (2000), Field (2001) y Parolai *et al.* (2002) respectivamente, que generaron resultados comparables con los obtenidos con ReMi. Además, se compararon datos de perforaciones realizadas en el área de estudio, que contienen información de profundidades y litologías,

con los modelos ReMi interpretados. Dichas perforaciones fueron realizadas por la empresa Centeno-Rodríguez & Asociados con métodos SPT, las cuales muestran valores del número de golpes con los que se calculó la velocidad de ondas S de los estratos más superficiales.

### **Resultados y conclusiones:**

- El método de refracción de microtemores es una alternativa útil para estudios de suelos en áreas urbanas y los resultados que arroja son confiables. Deriva parámetros críticos para la caracterización de sitio.
- El mapa de isoperíodos muestra que los valores de período fundamental aumentan progresivamente hacia el noreste, encontrándose en la zona central el valor promedio que corresponde a 0,18 segundos.
- Con los modelos ReMi se reconocieron 4 estratos con diferentes velocidades, lo que les permite dar una caracterización litológica diferente. El estrato de roca meteorizada se define al llegar a velocidades de 830 m/s en promedio a aproximadamente 17 m de profundidad, en términos generales se profundiza hacia el noreste de la zona. En la zona donde la roca está a mayores profundidades se obtuvieron los mayores valores de período fundamental, que se asocian a mayores espesores de sedimentos.
- Al estimar el parámetro geotécnico de velocidad de ondas de corte promedio para los primeros 30 metros de profundidad, se nota que la distribución de los valores mínimos están ubicados hacia el noreste y sur de la zona, mientras que los máximos se ubican en el centro y suroeste de la zona. Los valores de  $V_{s30}$  se encuentran entre 400 y 592 m/s, siendo el promedio 500 m/s.
- Al aplicar los métodos empíricos para el cálculo del espesor de sedimentos blandos, la relación de Field es más efectiva, mostrando un error promedio de 14% con respecto a los resultados reales. A pesar de que la relación de Rocabado es la más utilizada en estudios

de determinación de parámetros en la caracterización de sitio, en el área estudiada no funciona, quedando así incierta a otras zonas. Su uso afuera de la ciudad de Caracas es inapropiado y puede guiar a errores de gran magnitud. La ecuación de Rocabado no se puede aplicar para períodos menores a 0,2 segundos ya que determina espesores que no muestran ninguna coherencia con los experimentales y errores hasta del 70%, como ocurrió en nuestro caso.

**2.1.6. Título:** Zonificación Sísmica – Geotécnica del Área Urbana de Huaycan - ATE. (Comportamiento Dinámico del Suelo).

**Autor:** Programa presupuestal n°068: reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencia por desastres. Ministerio del Ambiente. Hernando Tavera, Lima – Perú.

**Fecha:** 2012.

**Objetivos:**

El principal objetivo a cumplir en este estudio es obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) para el Área Urbana de Huaycan, Distrito de Ate, Provincia de Lima. Asimismo, es de interés del presente estudio que las autoridades dispongan de un documento técnico que sea de ayuda en el desarrollo de proyectos sobre la gestión del riesgo ante sismos, lo cual conlleva a mejorar la calidad de vida de sus pobladores, así como proyectar hacia el futuro una adecuada expansión urbana.

**Síntesis:**

Dentro del Programa Presupuestal por Resultados N°068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”, el Instituto Geofísico del Perú ejecutó durante el año 2012 el Proyecto “Zonas Geográficas con Gestión de Información Sísmica” y como parte del mismo, la Dirección de Sismología desarrolla la Actividad “Generación de Estudios Territoriales de Peligro Sísmico” a fin de obtener el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica

(Comportamiento Dinámico del Suelo) para las áreas urbanas de Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo.

De acuerdo a la historia sísmica de Perú, la región central ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en cada área urbana (Silgado, 1978). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que en el futuro, las mismas áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones presentes en cada área urbana.

Los estudios de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo) permitirán tener mayor conocimiento sobre las características dinámicas del suelo sobre el cual se levantan las áreas urbanas y/o futuras áreas de expansión. Para ello se realiza la aplicación de diferentes metodologías que consideran información sísmica, geofísica, geológica, geodinámica, geomorfológica y geotécnica. Los resultados que se obtienen permiten comprender que no hay suelo malo y que solamente se debe considerar la construcción de estructuras adecuadas para cada tipo de suelo.

#### **Metodología:**

Para la ejecución del estudio de Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Huaycan se ha realizado la aplicación de diversos métodos como parte de los estudios geológicos-geotécnicos, sísmicos y geofísicos, y cuyas características se detallan a continuación.

- *Estudios de Peligro Sísmico:*

Considera en términos de probabilidad, conocer la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso de tiempo y puede ser expresado en términos de aceleración. Para tal efecto, se hace uso del catálogo sísmico y fuentes sismogénicas definidas por el Instituto Geofísico del Perú, las ecuaciones de

atenuación definidas por Young et al (1997) y de Sadigh et al (1997), y el algoritmo CRISIS-2007 (Ordaz et al, 2007).

- *Estudios de Monitoreo Sísmico:*

Se ha procedido con la instalación de 7 estaciones acelerométricas de tres componentes de registro y formato digital en las áreas urbanas de Chosica (1 estación), Chaclacayo (2 estaciones), Huaycan (2 estaciones) y Carapongo (2 estaciones). Esta red de estaciones ha operado durante un periodo de 9 meses, tiempo durante el cual se ha registrado importante actividad sísmica que ha permitido conocer los niveles de aceleración y sacudimiento del suelo que podrían afectar la geomorfología local.

- *Estudios Geológicos y Geotécnicos:*

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información geológica, geomorfológica, geodinámica y de zonas susceptibles a deslizamientos y/o flujos.

- *Estudios Sísmicos y Geofísicos:*

Estos estudios consideran la recolección, en campo, de diferentes tipos de información utilizando instrumental sísmico para el registro de vibración ambiental o para realizar arreglos sísmicos lineales y circulares, además de tomografía eléctrica, todos orientados a conocer el comportamiento dinámico del suelo y sus propiedades físicas.

### **Resultados y conclusiones:**

- *Aspectos Geológicos:*

El área urbana de Huaycan se emplaza sobre el Volcánico Quilmaná constituido por derrames andesíticos e intruídas por afloramientos ígneos del grupo Santa Rosa constituidos por cuerpos tonalíticos-granodioríticos del Cretáceo Superior de gran extensión dentro del Batolito de la Costa. Estos cuerpos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales del Cuaternario Pleistoceno (Qp-al) y al Cuaternario Reciente (Qr-al). El valle es de mediana amplitud y se

interrumpe en varios sectores por conos aluviales que desembocan en el río Rímac.

- *Aspectos Geomorfológicos:*

El área urbana de Huaycan se encuentra comprendida entre las cotas de 510 a 1408 m.s.n.m y su morfología presenta una forma típica de “V” dentro de un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de modera a fuerte pendiente. Se ha identificado la presencia de cuatro unidades geomorfológicas en base a las pendientes identificadas en el mapa MDE.

- *Aspectos Geodinámicos:*

Se ha identificado e inventariado la ocurrencia de 26 movimientos en masa caracterizados por flujos de detritos y caída de rocas provenientes de zonas de pendiente alta. Los agentes detonantes típicos son las precipitaciones de lluvia, sismos y la actividad antrópica.

- *Aspectos Geotécnicos:*

La elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras realizadas en laboratorio han permitido identificar para el área urbana de Huaycan, la presencia de hasta 9 tipos de suelos, los mismos que ha sido caracterizado de acuerdo a la clasificación SUCS.

Los suelos en el sector de Horacio Zevallos presentan valores de capacidad media en un 95% del área a excepción de un lente de suelo ubicado en la Residencial las Praderas de Pariachi de capacidad baja. Los suelos del extremo Noroeste y Sureste de la localidad Huaycán presentan valores de capacidad media en un 80% del área; mientras que, los suelos en la Urb. El Descanso, Urb. Los Portales, Plaza Huaycán, Zona B, Zona O y la Zona P corresponden el 20% y presentan valores de capacidad baja.

- *Aspectos Sismológicos y Peligro Sísmico:*

Se ha registrado actividad sísmica regional con magnitudes menores a 4.7ML que han producido en el área de estudio aceleraciones de hasta 14cm/seg<sup>2</sup>, equivalentes a intensidades de III (MM), lo que produjo que cayeran, de las zonas altas, piedras de menor tamaño.

El estudio de peligro sísmico ha permitido estimar para un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia, aceleraciones de 370 a 375 cm/seg<sup>2</sup>. Estos valores son equivalentes a intensidades de VI-VII (MM); es decir, suficientes como para producir años estructurales y deslizamientos en las zonas de pendiente alta.

- *Aspectos Sísmicos y Geofísicos:*

El análisis de las razones espectrales H/V ha permitido observar gran variedad de frecuencias predominantes que van desde 0.5 a 20 Hz, lo cual sugiere que el suelo sobre el cual se encuentra el área urbana de Huaycan es muy heterogéneo y por ende, complejo. El rango de frecuencias entre 3 y 20 Hz ha permitido identificar la presencia de tres áreas con similares valores de frecuencias, lo cual confirma la heterogeneidad del suelo. Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (Vs) de 160 a 280 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 2 a 7 metros, suelos con velocidades Vs de 350 a 490 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 3 a 9 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 450 a 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras.

- *Zonificación Sísmica-Geotécnica (Comportamiento Dinámico del Suelo):*

Los resultados obtenidos en este estudio han permitido identificar, según la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia en el área urbana de Huaycan de 2 zonas sísmicas - geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2.

Esta clasificación permite proponer, en este estudio, el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el área urbana de Huaycan.

### ***A nivel nacional***

2.1.7. **Título:** Características Geológicas, Geotécnicas y Geofísicas del Subsuelo de Sogamoso.

**Autor:** Heyder Carlosama López, Sandra Liliana Pérez Rueda, Escuela de Ingeniería Geológica, UPTC.

**Fecha:** Aceptado Octubre 19 de 2005.

**Objetivos:** investigación Geofísica mediante geoelectrica y refracción sísmica del depósito cuaternario.

**Síntesis:** El presente artículo expone los resultados de las recientes investigaciones realizadas sobre el subsuelo de Sogamoso en el marco del proyecto de la Microzonificación Sismogeotécnica de la ciudad. Se presenta la descripción geológica del área, sus características geofísicas obtenidas a partir métodos geoelectricos y de refracción sísmica y una descripción geotécnica preliminar de los suelos superficiales.

#### **Metodología:**

- Revisión bibliográfica.
- Geología de Sogamoso.
- Características geofísicas del subsuelo de Sogamoso.
- Exploración por refracción sísmica. Primera etapa.
- Características geotécnicas.
- Recomendaciones.

#### **Resultados y conclusiones:**

Para efectos de la microzonificación Sismogeotécnica de la ciudad de Sogamoso es imperioso realizar un programa de exploración geotécnica mediante sondeos y perforaciones, que permitan corroborar los perfiles estratigráficos del terreno y la caracterización física,

mecánica, especialmente del comportamiento dinámico de los suelos mediante ensayos in situ y de laboratorio.

2.1.8. **Título:** Ingeominas subdirección de amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali, Convenio No. 02 de 2002.

**Autor:** República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología y Minería -INGEOMINAS-.

**Fecha:** diciembre de 2005.

**Objetivos:** el objetivo general del Estudio de Microzonificación Sísmica de Cali (MZSCali) es proporcionar un concepto técnico preliminar de la respuesta sísmica local del subsuelo en la Ciudad de Santiago de Cali, de tal manera que a partir de ella se pueda definir los parámetros específicos que deba cumplir el diseño estructural sísmo resistente. Los objetivos específicos de estudio son los siguientes:

- Verificar el marco sismotectónico al cual está sometido la región en estudio.
- Revisar e investigar la sismicidad histórica regional, así como sus efectos sobre la ciudad.
- Evaluar y revisar la amenaza sísmica regional mediante métodos probabilísticos.
- Revisar las características geológicas de la ciudad y las condiciones tectónicas y neotectónicas en zonas de influencia local.
- Identificar las características geofísicas y geotécnicas del subsuelo en la ciudad.
- Evaluar la respuesta sísmica del subsuelo en el área urbana, de expansión y de régimen diferido, además, de los efectos de amplificación por condiciones estratigráficas y topográficas.
- Apoyar técnicamente el proceso de divulgación y socialización de los resultados del proyecto a los diferentes autores como la comunidad

técnico científica, las entidades tomadoras de decisión y la comunidad en general.

**Síntesis:** debido a las condiciones de amenazas de origen geológico las entidades territoriales involucradas en el municipio de Santiago de Cali e INGEOMINAS han realizado diferentes acercamiento para promover los estudios tendientes a conocer las características de dichas amenazas, de tal forma que pudieran ser incorporados efectivamente a los planes de desarrollo y ordenamiento de la ciudad. A finales de Diciembre de 2002 se firmó un convenio entre de Departamento Administrativo del Medio Ambiente de Santiago de Cali (DAGMA) e INGEOMINAS con el fin de llevar a cabo el Estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad.

**Metodología:**

- Definición de área de trabajo.
- Generación base topográfica.
- Tectónica y neotectónica regional, sismicidad (histórica e instrumental), tectónica y neotectónica local, geología local.
- Modelo sismotectónico, geofísica y geotecnia.
- Amenaza sísmica regional, acelerogramas de diseño, respuesta del subsuelo (mapa de microzonificación sísmica, espectros).
- Evaluación de efectos locales (topografía y licuación).

**Resultados y conclusiones:**

No obstante que se dispone de una reconocida plataforma geocientífica a nivel nacional (personal técnico, infraestructura de redes y equipos, conocimiento servicio e historia), sobre la cual están soportadas todas las investigaciones temáticas que se desarrollaron en el marco del proyecto, es prudente resaltar en un estado “ideal” del conocimiento regional y local, implicaría el desarrollo de una serie complementaria de investigaciones geológicas, sismológicas, geofísicas y geotécnicas que pueden demandar muchos años de trabajo e ingentes cantidades de presupuesto.

Conscientes de lo anterior y teniendo en cuenta los alcances, la aplicación (requerimientos) y las limitantes en el tiempo y recursos económicos posee un estudio de este tipo, INGEOMINAS formuló y desarrollo el mismo optando por verificar el modelo sismotectónico regional basado en la documentación de estudio e investigaciones existentes y la interpretación de imágenes de satélite y trabajos de fotointerpretación con control de campo en sitios estratégicos, identificando y caracterizando las principales fallas activas o potencialmente activas, detallando las más próximas a la ciudad. Lo anterior con el fin de aportar nuevos datos e información que contribuyen a mejorar el entendimiento sismotectónico del suroccidente colombiano, especialmente en el Valle del Cauca, con fines de la evaluación de amenaza sísmica para la Cuidad de Cali. Además, optó por detallar el conocimiento geológico, geofísico y geotécnico del subsuelo bajo la ciudad, con el fin de estimar y zonificar su comportamiento dinámico, ayudando a una “naciente” instrumentación sismológica específica sobre la ciudad.

Por último, INGEOMINAS espera que el Estudio de MZSCali sea el inicio y punto de referencia de próximos estudios que se emprendan, con respecto a las amenazas geológicas, la evaluaciones la vulnerabilidad sísmica de edificaciones y estructuras vitales y la gestión y evaluación del riesgo sísmico sobre la ciudad.

2.1.9. **Título:** Evaluación básica e investigación geológica, sismológica y red acelerográfica como insumo para la microzonificación sísmica del área urbana y de expansión de Buenaventura.

**Autor:** Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- Convenio Especial de Cooperación CVC No. 148 de 2006. Primera etapa del Proyecto 1128.

**Fecha:** Septiembre de 2008.

**Objetivos:**

Desarrollar la primera etapa del estudio de Microzonificación Sísmica de Buenaventura.

**Síntesis:**

Para contribuir a que en el municipio, las instituciones públicas y privadas y la comunidad puedan disminuir la vulnerabilidad o debilidad ante vibraciones sísmicas, la CVC diseñó el subproyecto No. 1128, denominado “Gestión del riesgo sísmico de Buenaventura”, que está dividido en dos fases. La primera fase tiene por objetivo la realización de la microzonificación sísmica de la ciudad, en dos etapas. La primera etapa, a cargo de la Corporación OSSO, busca alcanzar evaluaciones e investigaciones básicas como insumos fundamentales para la microzonificación sísmica de la ciudad y sus áreas de expansión, que a su vez deben traducirse en conocimientos y normas para la disminución de riesgos asociados a efectos de los sismos (vibraciones fuertes, amplificaciones sísmicas, fenómenos secundarios asociados). La segunda etapa consistirá en la definición del modelo de amenaza sísmica regional y microzonificación sísmica del área urbana y de expansión urbana de Buenaventura.

**Metodología:****Etapas**

- Mapa de unidades geológicas superficiales.
- Distribuciones de daños por sismos (Catálogo de efectos en Buenaventura – Sismicidad histórica).
- Mapa de zonificación a las microtrepidaciones.
- Perfil de refracción sísmica longitudinal de velocidades de onda S.

**Etapas**

- Zonificación geotécnica a partir de estudios disponibles.
- Investigación geotécnica.
- Análisis de respuesta del suelo.
- Zonificación geotécnica.

### **Resultados y conclusiones:**

Se dispone de nuevos conocimientos sobre fallas activas en cercanías de la ciudad, las cuales presentan evidencia de rupturas recientes en términos geológicos, en los últimos centenares a miles de años, con magnitudes estimadas esperables del orden de 6,7 grados. A estas fallas puede estar asociada la actividad sísmica actual, expresada en más de 4.800 sismos de pequeña magnitud, disponibles en un catálogo de un radio de 50 km alrededor de Buenaventura, el cual podrá ser re-analizado para asignar los eventos a fallas específicas, incluidas fallas todavía no documentadas en terreno.

Se encontraron primeras evidencias que sustentan una recurrencia del orden de 400 años para sismos muy grandes, como el de 1906, en la zona de subducción.

Hay evidencias que apuntan hacia que en la parte central y norte del litoral, es decir, más o menos desde Naya hasta Bahía Solano, no hay capacidad para liberación de momento sísmico alto.

Los daños en la ciudad se han concentrado en terrenos de bajamar con rellenos de basuras y escombros y en la porción occidental del continente y la isla Cascajal. En el primer caso los terrenos amplifican las ondas sísmicas entre 1,8 y 2,2 Hz y en el segundo entre 2,5 y 5,0 Hz. Los demás tipos de terrenos amplifican arriba de 5,0 Hz, o no amplifican, con un comportamiento equivalente a roca, incluidos los rellenos de gravas y alta densidad de pilotaje.

## **2.2. Bases teóricas**

En la actualidad el municipio de Sogamoso no posee obras estructurales de gran envergadura porque la condición de los terrenos no permite el desarrollo de este tipo de infraestructura. La migración que ha presentado al municipio de Sogamoso en los últimos años hace obligatorio tener en cuenta tanto las condiciones dinámicas del subsuelo como los contextos de riesgos naturales que se puedan presentar en el municipio ya que el área urbana están localizada en un sector tectónicamente activo. Si se conocen las condiciones tanto Geológicas como Geofísicas y Geotécnicas se pueden tomar las medidas pertinentes tanto en las estructuras ingenieriles como en la capacitación a las personas en caso de ocurrir eventos de la naturaleza.

## **2.3. Formulación de la hipótesis**

A lo largo de los años y observando el crecimiento de la Ciudad de Sogamoso se hace necesario y obligatorio comprender el comportamiento del subsuelo; poder aplicar técnicas y métodos que den a conocer la conducta de estos eventos y el poder aportar desde la parte científica y técnica al crecimiento seguro de la sociedad hace necesario implementar actividades que brinden la seguridad y confianza a los entes que desean aportar al crecimiento industrial, social y comercial de la ciudad.

### **2.3.1. Hipótesis general**

La zonificación Geofísica Geotécnica de los depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso – Boyacá, Colombia influye directamente en el crecimiento que se le dará a la ciudad, para lo cual se deben conocer el comportamiento del subsuelo.

### **2.3.2. Hipótesis específicas**

- La correlación que se puede hacer entre la Carga Admisible y la Capacidad Portante de los suelos en Sogamoso da un estimativo al diseño estructural y la necesidad que requiere en las obras civiles.

- El comportamiento Litológico y estructural mediante trabajos Geofísicos entregara a la ciudad el cómo aplicar correctamente las normas sismoresistentes NSR 2010.
- Se podrá llevar a cabo una planificación urbana adecuada y acorde a las condiciones Geológico Geofísico Geotécnicas.

#### 2.4. **Definición de términos**

- Sondeo Eléctrico Vertical: es una herramienta utilizada por su sencillez; el objetivo de este estudio es delimitar capas del subsuelo obteniendo sus espesores y resistividades.
- Ensayo de penetración estándar: prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento Geotécnico.
- Carga admisible: peso que induce la máxima fatiga admisible en una sección crítica de un suelo.
- Resistencia al cortante: Propiedad de un terreno que le permite resistir el desplazamiento entre las partículas del mismo al ser sometido a una fuerza externa.
- Zonificación: sectores homogéneos conformes a ciertos criterios.
- Depósitos Cuaternarios: acumulación de materiales transportados de origen Eólico, Coluvial y/o Aluvial.

#### 2.5. **Identificación de variables**

Las variables identificadas en el desarrollo del proyecto son:

- Zonificación Geofísica.
- Zonificación Geotécnica.

## 2.6. Operacionalización de variables

Tabla 1

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>
Zonificación Geofísica	Comportamiento físico de cada uno de los horizontes hasta donde se requiera hacer el estudio de interés.
	Registrar geoespacialmente el SEV.
	Identificar los horizontes y las condiciones Geológicas que se puedan tener en el área labor.
Zonificación Geotécnica	Localizar geoespacialmente el SPT.
	Definir el tipo de barreno a utilizar para poder llevar a cabo una labor de extracción de muestras adecuada.
	Toma de muestras y procesamiento de los datos para ser interpretados.

Operación de Variables.

## **CAPITULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipificación de la Investigación.**

La investigación que se desea hacer con este proyecto denominado Zonificación Geofísica – Geotécnica de los Depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá, Colombia es de tipo aplicado, ya que se planea divulgar y publicar un artículo del proceso de obtención de la información, interpretación y análisis, de igual forma los resultados (mapas) estarán expuestos para quien lo desee y necesite un apoyo tanto para el desarrollo urbanístico, social y ambiental del Municipio lo pueda tomar como referencia para sus labores.

#### **3.2. Nivel de Investigación.**

La investigación es de tipo descriptivo pues se desea conocer cuál es comportamiento físico dinámico de los suelos en el municipio de Sogamoso aplicando técnicas Geofísicas y Geotécnicas que den a conocer características específicas de la litología, al igual que verificar como es el comportamiento tectónico en el valle de Sogamoso.

#### **3.3. Método de Investigación.**

El método a aplicar en el desarrollo el proyecto es descriptivo, ya que allí se podrá zonificar y delimitar áreas con propiedades similares tanto físicas como dinámicas de los suelos sobre el cual se encuentra construida la ciudad de Sogamoso. Los resultados arrojaran la competencia de estos suelos para diseños estructurales y cumpliendo de las normas sismoresistentes 2010.

#### **3.4. Diseño de la Investigación.**

El proyecto se basará en temáticas Geofísicas y Geotécnicas basadas en el modelo Geológico; el reconocimiento Geológico brindara la guía para el diseño, localización y estructuración del método Geofísico y el método Geotécnico que se implementara para la formación del mapa de Zonificación

Geofísica Geotécnica. Aplicando Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) donde se inyectará corriente eléctrica al subsuelo se reconocerán los niveles Litológicos y diferenciación de capas. La Geotecnia por método de Standard Penetration Test (SPT) dará a conocer mediante laboratorio propiedades de los suelos como la resistencia al cortante, la capacidad portante, granulometría. Con base en los resultados obtenidos de campo y laboratorio se confecciona los mapas Geofísico y Geotécnico siempre teniendo en cuenta la Geología para al final confeccionar el mapa Geofísico Geotécnico de los depósitos Cuaternarios.

### 3.5. Población, Muestra y Muestreo.

El proyecto tendrá una influencia directa en el área urbana del municipio de Sogamoso ya que allí es donde se planea obtener la información para conocer el comportamiento de los suelos; esto también servirá de premisa para otras ciudades aledañas que deseen impactar este método para conocer el dinamismo de los suelos.

Los Sondeos Eléctricos Verticales y los Ensayos de Penetración Estándar se localizaran con base en la interpretación Geológica, puede que en algunos casos no se localice alguno de estos eventos sobre la geología específica ya que puede estar urbanizado el sitio, por esto mismo se planteó la aplicación geofísica ya que con esta podemos estimar o aumentar el rango del área de obtención de información.

El grado de error que se espera cometer es del 30%, es decir el estudio tendrá una confiabilidad del 70%, esto obedece a que es el primer estudio que se hace de este tipo en la ciudad de Sogamoso, para lo cual se planea en un futuro aplicar otras técnicas de forma sistemática y aumentar la confiabilidad del estudio.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Con el diseño de las líneas de Sondeo Eléctrico Vertical mediante el dispositivo Schlumberger ya que este permite reconocer en profundidad objetivos que poseen una disposición horizontal; la técnica consiste en separar

progresivamente electrodos inyectoros dejando electrodos detectores fijos en torno a un punto central fijo (equipo), donde todos estos van conectados al dispositivo por un cable el cual recepciona la información y es llevada a instrumentos. La confiabilidad que da este equipo en la adquisición de información es del 95% ya que también es usado para reconocimiento de otro tipo de labores como la hidrogeología.

El desarrollo de los Ensayo de Penetración Estándar (SPT) se hace mediante un barrenos manual con el cual se puede extraer una muestra de suelo la cual será marcada respectivamente para evitar al máximo agentes externos que alteren las propiedades físicas, las muestras extraídas son llevadas a laboratorio para hacer los respectivos ensayos y así poder determinar propiedades características del suelo, la eficiencia y confiabilidad de este equipo es de 95%.

### 3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Al determinar los lugares donde se realizaran los Sondeos eléctricos Verticales y los Ensayos de Penetración Estándar y hacer las labores de campo para la adquisición de la información el procesamiento y análisis de datos se hace con un grupo de profesionales expertos en cada área; para la interpretación y análisis de los SEV y SPT se hace con software especializado para el modelamiento y generación de los productos como el mapa de resistividades aparentes y el de clasificación de suelos según sus propiedades.

### 3.8. Descripción de la prueba de hipótesis.

Posiblemente la cantidad de Sondeos Electros Verticales y Ensayos de penetración Estándar no sean los necesarios para determinar el comportamiento verdadero de los suelos del municipio de Sogamoso, pero el estudio brinda una aproximación al comportamiento y composición de los materiales que conforman el subsuelo.

## CAPITULO IV

### 4. TRABAJO DE CAMPO

#### PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

##### 4.1. GENERALIDADES.

##### 4.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Sogamoso es población central del departamento de Boyacá – Colombia localizada a  $5^{\circ}42' 57''$  545 de latitud norte y  $72^{\circ}55' 38''$  162 de longitud al oeste de Greenwich, al cual corresponde las coordenadas planas de Gauss 1.123.644,16 metros norte y 1.127.802,94 metros sur a una altitud fluctuante entre 2400 y 3000 m.s.n.m. La mayor parte del área urbana se localiza sobre los terrenos planos que constituye el valle de Sogamoso.

El municipio tiene una extensión de 154,43 Km<sup>2</sup> distribuidos en 48 barrios y 38 veredas, el casco urbano se encuentra a 2480 m.s.n.m. Sogamoso limita por el norte con Nobsa y Tópaga, por el sur con Aquitania, Cuitiva y Firavitoba, por el este con Tópaga y Monguquí y por el oeste con Iza, Firavitoba y Tibasosa. La ciudad mora en un bellissimo valle que se distingue hacia los puntos cardinales norte, sur y occidente. Hacia el oriente se contemplan unas elevadas cordilleras, cubiertas de una exuberante vegetación. El área urbana corresponde al área delimitada por el perímetro urbano vigente.

El área de estudio se encuentra entre las coordenadas planas  $X_{\max}$ : 1'133.000,  $Y_{\max}$ : 1'130.000,  $X_{\min}$ : 1'122.000,  $Y_{\min}$ : 1'115.000, allí se encuentran los depósitos de tipo Cuaternario los cuales son los el objeto fundamental del trabajo para el desarrollo del estudio.

##### 4.1.2. CLIMA.

4.1.2.1. Precipitación: El régimen de la precipitación en el municipio de Sogamoso, está directamente influenciado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el cual a su vez puede sufrir intensificaciones o atenuaciones en su efecto por el factor orográfico. Este fenómeno se pone de

manifiesto por lo general en las áreas situadas hacia la parte montañosa y de mayor altitud, donde se registran los volúmenes más altos de precipitación<sup>1</sup>.

4.1.2.2. Temperatura: Este parámetro se describe a continuación, desde la perspectiva de sus características y propiedades principales:

4.1.2.2.1. Temperatura Media: la temperatura media del aire presenta muy poca variación hacia la parte norte del Municipio, que es en donde se ubican las dos estaciones que registran este parámetro; los valores fluctúan entre 13,7°C y 14,8°C; los meses de junio y agosto presentan los valores más bajos, abril y noviembre los más altos.

Para el resto de las estaciones se calculó la temperatura media a partir del Gradiente Vertical de Temperatura (GVT), el cual consiste en aumentar o disminuir la temperatura en 0.625°C por cada 100 metros de altura<sup>2</sup>.

4.1.2.2.2. Temperatura Máxima: las temperaturas máximas presentan poca variación durante el año y por lo general se mantienen entre 22,4°C y 24,9°C hacia el sector occidental del Municipio y hacia la parte norte entre 22,8°C y 26°C.

El período seco comprendido entre los meses de junio, julio y agosto registran los valores más bajos de todo el año, mientras que el período seco diciembre - febrero presenta los más altos<sup>3</sup>.

4.1.2.2.3. Temperatura Mínima: al igual que las temperaturas máximas los valores de temperaturas mínimas varían muy poco durante el año. Sin embargo los registros indican para el sector norte, variaciones que oscilan por lo general entre los 3,2°C y 6,4°C. Hacia el sector occidental del Municipio las temperaturas mínimas alcanzan a estar por debajo de cero grados (0° C), básicamente en el período seco de diciembre a marzo<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>2</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>3</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>4</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

#### 4.1.3. VEGETACIÓN.

La vegetación en el área de estudio del municipio de Sogamoso está catalogada como de Bosque seco montano bajo, pues esta se localiza entre los siguientes factores climáticos: temperatura entre 12-18°C; promedio anual de lluvias entre 1.000 y 1.200 mm; provincia de humedad subhúmedo; altura entre los 2.000 a los 3.000 msnm con variaciones de acuerdo al nivel local, estas zonas están básicamente ocupadas por el área urbana del municipio<sup>5</sup>.

#### 4.1.4. VÍAS DE ACCESO.

El área de estudio cuenta con una cantidad de vías de acceso pues la zona se encuentra en la parte urbana del municipio, los corredores viales principales para el sitio de influencia del proyecto son<sup>6</sup>:

Sogamoso-Crucero

Sogamoso-Chámeza-Corrales

Sogamoso-Iza

Sogamoso-Siatame-Nobsa

Sogamoso-Morca-Monguí

Sogamoso- Duitama-Tunja

#### 4.2. GEOLOGÍA.

##### 4.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

En el municipio de Sogamoso -Boyacá- aparecen importantes formaciones Geológicas de interés tanto económico como Geológico, a continuación se nombra en secuencia estratigráfica de las más antigua a la más reciente cada una de ellas: formación Churuvita (Ksch), formación Conejo (Kscn), formación Ermitaño (Kse), formación Guaduas (Ksg), formación Areniscas del Socha (Pgars), formación Arcillas del Socha (Pgas), formación Picacho (Pgp), formación Concentración (Pgc), depósitos cuaternarios (Glacial (Qg), Coluvial

---

<sup>5</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>6</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

(Qc), Fluvio lacustre (Qpl), Aluvial antiguo (Qpv), Coluvio glacial (Qcg) y Aluvial reciente (Qal)) a continuación se describe brevemente cada una de estas formaciones según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de municipio de Sogamoso<sup>7</sup>:

#### 4.2.1.1. Formación Churuvita (Ksch).

Etayo, F, ha llamado Formación Churuvita al conjunto que aflora por la carretera de Sáchica - Tunja. Esta Formación consta de una arenisca basal, por una alternancia en la parte intermedia de arcillolitas, areniscas y calizas con presencia de ostras, y por una parte superior de areniscas y calizas. El conjunto suprayacente se le ha llamado formación San Rafael formado por Shales grises en la parte superior y pequeñas capas limolíticas - silíceas en la parte superior.

La edad de este grupo comprende desde el Cenomaniano al Turoniano y su ambiente de depositación es marino.

Esta formación geológica presenta en algunos de sus miembros características de acuífero<sup>8</sup>.

#### 4.2.1.2. Formación Conejo (Kscn).

Se encuentra formando crestas intercaladas con niveles de lutitas grises que constituyen topografías suaves (valles), hacia la parte inferior hay predominio de arcillolitas gris y ocre que alternan con capas delgadas de areniscas cuarzosa de color blanco y grano fino, lutitas grises y arcillolitas compactas y fosilíferas.

Las características hidrogeológicas de esta formación la enmarcan como acuífugo<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>8</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>9</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

#### 4.2.1.3. Formación Ermitaño (Kse).

Con este nombre ALVARADO B y SARMIENTO R (1944), denominaron una sección aflorante en el cerro el Ermitaño y el río Chicamocha al NE de Paz de Río, Boyacá. Se encuentra infrayaciendo a la formación Guaduas, se compone de tres miembros así: Miembro inferior, se compone de liditas y chert negro con alternancia de arcillolitas grises fisibles, limolitas silíceas, delgadas capas fosfóricas y areniscas calcáreas grises hacia el techo. Miembro medio, consta esencialmente de arcillolitas grises fisibles. Miembro superior, el techo de la formación lo constituyen bancos de areniscas grises, duras, cuarzosas con bancos de lumaquelas y alto contenido de glauconita. La presencia de fósiles de fauna típica en toda la sección indica un origen marino. El miembro inferior y superior por las características hidrogeológicas que posee se enmarca como un acuífero<sup>10</sup>.

#### 4.2.1.4. Formación Guaduas (KPgg).

Con este nombre ALVARADO B y SARMIENTO R (1944), denominaron al conjunto de estratos sedimentarios que contienen los mantos de carbón explotables por analogía con la formación definida por HETTNER (1982) en la región de Guaduas, Cundinamarca.

Se compone de dos conjuntos litológicos, el inferior consta esencialmente de arcillolitas grises con intercalaciones de limolitas y areniscas grises y blancas de grano medio a fino. El superior está constituido por una serie de continuas intercalaciones de limolitas, lutitas grises, areniscas y ocasionales mantos de carbón explotables económicamente (alrededor de 8 mantos con espesor de que varían ampliamente desde 0.8 a 2.2 metros presentando continuos adelgazamiento y engrosamientos). Las areniscas de este conjunto son en su mayoría grises, de grano medio y aspecto lajoso, este conjunto presenta un espesor de unos 220 metros. Esta formación geológica a nivel hidrogeológico se caracteriza como un acuífugo<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>11</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

#### 4.2.1.5. Formación Areniscas del Socha (Pgars).

La constituye en la base un banco de areniscas pardas de grano grueso a medio, masivas de unos 16 metros de espesor, supreyaciendola una sucesión de arcillolitas grises y pequeños bancos de areniscas blancas de grano medio, en la parte media se observa un conjunto de arcillolitas grises verdosas y rojizas en estratificación delgada. La parte superior la constituye una arenisca color blanco rojizo y pardo de grano variable con marcada estratificación cruzada y gradada, presenta intercalaciones de arcillolitas verdosas. La formación se originó probablemente en Facies de estuario con episodios lagunares en la parte inferior. Las condiciones hidrogeológicas de esta formación la denotan como un acuífero<sup>12</sup>.

#### 4.2.1.6. Formación Arcillas del Socha (Pgas).

Su composición es predominantemente arcillolítica de colores gris verdosas y pardo amarillentas con bancos de areniscas intercaladas, y cintas de carbón. Por su composición, geomorfológicamente la formación Socha Superior se manifiesta dando superficies suaves onduladas. La edad asignada a esta formación es Terciario Paleoceno. Esta formación geológica presenta características de acuífugo<sup>13</sup>.

#### 4.2.1.7. Formación Picacho (Pgp).

Nombre dado por ALVARADO, B. y SARMIENTO, R (1944) a un potente conjunto de Areniscas que yacen sobre la Formación Socha Superior. Está compuesta por areniscas de color blanco, a veces conglomeráticos con guijas y guijarros en la base; es común encontrar estratificación cruzada y gradada bien diferenciada, presenta localmente niveles de arcillolitas laminadas, y suprayace concordantemente sobre la Formación Socha Superior. Esta formación por sus condiciones hidrogeológicas se denota como el mejor acuífero<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>13</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>14</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

#### 4.2.1.8. Formación Concentración (Pgc).

Denominación dada por Alvarado, B y Sarmiento, R (1944), a la sección estratigráfica que aflora en el lugar denominado Concentración, ubicado sobre la carretera que une los municipios de Belén y Paz de Río.

La formación consta de dos miembros: el miembro Inferior que está constituido por intercalaciones de arenisca de grano fino, bancos de mineral de hierro oolítico de color rojizo, arcillolitas fisibles, negruzcas, gris - verdosas y arcillas arenosas blancas, plásticas.

El conjunto superior consta principalmente de arcillolitas grises, con constantes intercalaciones de bancos de arenisca de grano medio y presencia de niveles conglomeráticos. Las características hidrogeológicas de esta formación la denotan como un acuífugo<sup>15</sup>.

#### 4.2.1.9. Depósitos Cuaternarios (Q):

Comprende materiales de origen coluvial, coluvio glacial, aluvial antiguo, Fluvio lacustre, glacial, aluvial reciente suelos de alteración y mixtos. Se encuentran discordantemente sobre las rocas de las formaciones infrayacentes y constituyen las áreas donde se concentra las principales actividades humanas en el municipio<sup>16</sup>.

#### 4.2.2. TECTÓNICA.

La región de la cuenca del Chicamocha se caracteriza por haber tenido una fuerte historia tectónica de orogénesis y deformaciones, afectada por intenso fracturamiento (fallas geológicas y diaclasas) y largos y estrechos plegamientos con dirección preferencial NNE - SSW.

4.2.2.1. Falla de Soapaga: Esta gran falla separa dos regiones con estilo morfoestructural muy diferente y es evidente su influencia en las facies de los depósitos sedimentarios por lo menos durante todo el Terciario.

---

<sup>15</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>16</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

En el valle de Sogamoso la falla lleva una dirección NE-SW y en Corrales y Paz de Rio NNE-SSW. Dada la evidencia del cabalgamiento, el buzamiento de la superficie de falla debe ser hacia el noroeste, con ángulo de inclinación desconocido<sup>17</sup>.

4.2.2.2. Falla de Gámeza: En el cañón del río Gámeza, aproximadamente a kilómetro y medio de su influencia, es posible observar una dislocación entre las areniscas del Socha y gran parte de la formación Guaduas por encima de la formación Socha superior. La falla se puede seguir hacia el suroeste hacia el río Monguí, donde se transforma en falla direccional con rumbo norte-sur. Hacia el margen izquierdo del río Gámeza la falla presenta una inclinación no superior a los 40° hacia SE. El desplazamiento vertical es variable pero probablemente no inferior a 250 m<sup>18</sup>.

4.2.2.3. Falla de Tópaga: Esta falla se puede observar al noreste de Tópaga, donde levanta la formación Ermitaño sobre la formación Guaduas con un desplazamiento vertical de aproximadamente 300 m. Las areniscas del techo de Ermitaño, buzando levemente hacia él SE, se forma un escarpe característico y en la proximidad de la falla doblan para asumir la posición vertical<sup>19</sup>.

4.2.2.4. Falla de Monguí: Falla regional de tipo inverso, paralela a las anteriores; afecta a las formaciones Cretácicas Ermitaño y Guaduas<sup>20</sup>.

4.2.2.5. Falla de Matayeguas: Esta dislocación presenta un rumbo anómalo respecto al sistema general de fallas direccionales de la región, debido tal vez a un cambio en la dirección de los esfuerzos. La falla desplaza con movimiento

---

<sup>17</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>18</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>19</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>20</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

lateral derecho las formaciones terciarias adyacentes a la quebrada Matayeguas, límite nororiental del municipio de Sogamoso<sup>21</sup>.

#### 4.2.2.6. Otras Fallas.

El sector oriental se encuentra afectado por varias fallas longitudinales como las de El Morro, Maderal, Colorados, entre otras y algunas como las de Llano Grande, Costa Rica, Las Cintas y otras menores con direcciones diferentes que en conjunto configuran un sistema complejo cuyos efectos se observan sobre las formaciones Cretácicas y Terciarias del flanco oriental del anticlinal del Chicamocha, en algunas partes se encuentran sepultadas por los depósitos Cuaternarios<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

<sup>22</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000



## PROCESO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

### 4.2.3. GEOLOGÍA LOCAL.

Para el desarrollo del proyecto se denotaron las Formaciones Geológicas que afectaban directamente a la zona urbana del municipio de Sogamoso - Boyacá- por tal razón el área de trabajo se basa en las formaciones de tipo Cuaternario diferenciando el Cuaternario Aluvial Reciente (Qal), Cuaternario Fluvio-lacustre (Qpl) y el Cuaternario aluvial antiguo (Qpv):

#### 4.2.3.1. Cuaternario Aluvial Antiguo (Qpv):

Depósitos constituidos por conglomerados aluviales de gran espesor. Pueden observarse en el cerro la Cruz, al occidente de la ciudad, los conglomerados presentan elementos de dimensiones variables, pero en mayor frecuencia entre 20 y 25 cm. Los cantos son exclusivamente de areniscas provenientes de formaciones cretácicas. El Cerrito, montículo situado a noroeste de Sogamoso, es un remanente del mismo conglomerado<sup>24</sup>.

Los depósitos aluviales de este tipo son probablemente los terrenos post-andinos más antiguos de la región y su edad se coloca con toda probabilidad en el Pleistoceno Inferior (Villafranquiano). El hecho de estar constituidos de material proveniente de areniscas Cretácicas indica que los conglomerados se acumularon al quedar expuesta una extensa área de las formaciones Cretácicas, fenómeno debido tal vez a un “destape” tectónico<sup>25</sup>.

Estos depósitos aluviales deben rellenar gran parte de las paleo cuencas, por lo que es posible que actualmente cubran el fondo de los grandes valles<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>25</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>26</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

#### 4.2.3.2. Cuaternario Fluvio Lacustre (Qpl):

La parte superior de los depósitos lacustres o fluvio-lacustres se puede observar en el sector terminal del valle de Sogamoso, donde la acción erosiva del río Chicamocha la ha puesto al descubierto<sup>27</sup>.

La secuencia estratigráfica sugiere la existencia de la secuencia de una fase lacustre inicial seguida por la alternancia de episodios lacustres y fluvio-lacustres, que culminan con dos facies típicamente límnicas (arcillas plásticas grises y amarillentas) separadas por un periodo fluvial (conglomerados y arenas)<sup>28</sup>.

De Vadocastro hacia el río Monguquí puede observarse parte de la secuencia lacustre, la cual se interrumpe contra el cono de deyección del río Monguquí, que claramente fue la última barrera del lago. Otras barreras que actuaron inicialmente fueron la formación Picacho y las areniscas del Socha, que cruzan el valle en este sector<sup>29</sup>.

#### 4.2.3.3. Cuaternario Aluvial Reciente (Qal):

Depósitos aluviales se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales y consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa. Presentan una morfología plana. El depósito en el municipio de Sogamoso está asociado a las márgenes antiguas de los ríos Monquirá y chorreando junto a sus tributarios; en el curso medio bajo, ocupando sectores de las veredas Monquirá, y Primera y Segunda Chorrera, tiene forma irregular y consta de sedimentos sueltos cantos rodados y arenas no consolidadas<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>28</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>29</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>30</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

#### 4.2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

##### 4.2.4.1. Falla de Soapaga:

Como se mencionó anteriormente, la falla de Soapaga, separa dos regiones con estilo morfoestructural muy diferente y es evidente su influencia en la facies de los depósitos sedimentarios por lo menos durante todo el Terciario. En el valle de Sogamoso la falla lleva una dirección NE - SW y entre Corrales y Paz de Río adquiere una dirección NNE – SSW. La Falla pone en contacto la formación Concentración (Eoceno medio - Oligoceno) con las Formaciones del cretáceo inferior a medio o más antiguas. El desplazamiento máximo de la Falla puede alcanzar los 3.000 metros<sup>31</sup>.

##### 4.2.4.2. Falla de Gámeza:

Es una falla de tipo inverso; esta presenta la mayor influencia sobre el perímetro central de Sogamoso, su lineamiento se encuentra desde la Vereda de Morca, bordeando la carretera Sogamoso - Morca y continúa en el sector oriental del Monte Chacón, formando una depresión topográfica en todo su lineamiento; desde esta fractura se originan a la vez una serie de dislocaciones paralelas y ortogonales que causan contrastes de pendientes marcados sobre los taludes y vertientes naturales, ocasionando también un alto grado de fracturamiento en los estratos rocosos. Esta falla presenta una orientación N30°E con buzamiento al SE, afectando las formaciones terciarias que afloran al oriente del valle, la falla se pierde hacia el sur bajo los sedimentos cuaternarios, sobre los cuales está situado el barrio de Monquirá<sup>32</sup>.

---

<sup>31</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Río, 1984.

<sup>32</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Río, 1984.

#### 4.2.4.3. Falla de Tópaga:

Esta falla se puede observar al noreste de Tópaga, donde levanta la formación Ermitaño sobre la formación Guaduas con un desplazamiento vertical de aproximadamente 300 metros, la falla se desarrolla hacia el sureste, donde converge con la falla de Gámeza<sup>33</sup>.

#### 4.2.4.4. Falla de la Monquirá:

Es una falla de tipo transversal, tiene una dirección oriente – occidente y afecta a las formaciones que bordean la zona urbana en la parte oriental (Pgp, Pgas, Pgars), ocasionando un desplazamiento de las mismas y un cambio en el buzamiento de los estratos que evidencia grandes esfuerzos que afectaron la región<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

<sup>34</sup> Italo Reyes Chitaro, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio, 1984.

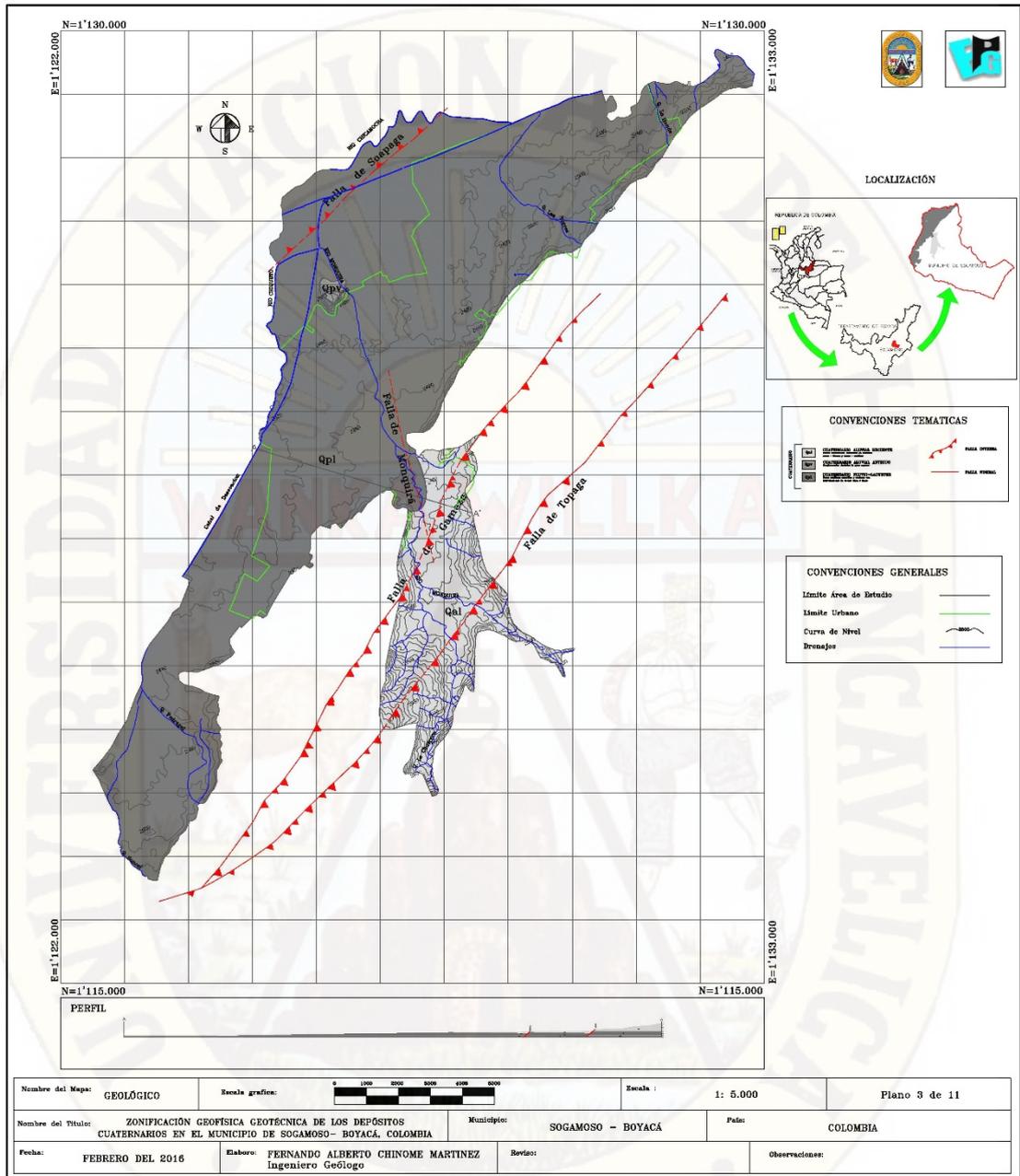


Figura 2. Mapa Geológico Local<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> Fernando Alberto Chinome, Geología Local Depósitos Cuaternarios de Sogamoso.

#### 4.3. GEOTECNIA.

Los datos tomados de campo como de laboratorio y ayuda para el procesamiento de esta información fueron apoyados por la empresa I.GEOSOFTMINE.

El estudio incluye un reconocimiento preliminar del área del proyecto y las zonas perimetrales, la exploración del subsuelo mediante perforaciones con barreno manual, efectuando ensayos de campo y un muestreo sistemático de acuerdo con Normas Sismoresistentes 2010 (NSR-10) para realizar posteriormente los ensayos de laboratorio requeridos en la determinación de las características de resistencia y compresibilidad del subsuelo, propiedades necesarias en el análisis de estabilidad y deformación para el diseño de Zonificación Geotécnica.

##### 4.3.1. METODOLOGÍA.

Para la ejecución de la Zonificación Geotécnica se planteó el siguiente conjunto de actividades:

- I. Ejecutar visitas Geológicas de campo con el fin de realizar el reconocimiento de cada una de los depósitos Cuaternarios dentro del área de influencia del proyecto.
- II. Localización de cada uno de los 12 sondeos (Standard Penetration Test) en el área.
- III. Confección de cada uno de los sondeos, para el posterior proceso de depuración e interpretación de cada uno de los sondeos (Carga Admisible y Resistencia al Cortante).
- IV. Realización de la Caracterización Geotécnica con la finalidad de conocer cada uno de los suelos que componen el área de estudio.
- V. Realización y diseño del mapa de Zonificación Geotécnica con base en una topografía con curvas de nivel cada 10 m.

#### 4.3.2. INTERPRETACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.

Los espesores de los suelos se determinaron mediante estudios de sondeos in situ como los ensayos de penetración estándar (SPT), a continuación se muestra cada uno de los sondeos con cada una de las descripciones tanto generales como específicas, el grado de alteración del material y de la roca sana; estos estudios se llevaron a cabo con base en construcciones estructurales que se proyectaron y se proyectaran.

4.3.2.1. Sondeo 1: Fabrica Santa Barbará, se presenta una Geomorfología de Valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, zona bien drenada superficialmente y presenta escorrentía superficial.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 2).

Tabla 2

SONDEO 1			
CARACTERISTICAS GENERALES			
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1029802	1027717	
<b>Nº de Perforaciones</b>	1		
<b>Profundidad (m)</b>	6		
NIVEL FREATICO			
<b>Profundidad (m)</b>	No encontrado a 6 m		Comportamiento obedece a la presencia de niveles arcillosos en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes, son bien drenadas superficialmente, por lo tanto no se presenta tendencia de saturación del perfil de suelo.
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
<b>SC</b>	Capa A: De 0,0 m a 0,3 m de profundidad promedio, con 39% de finos y 28% de Gravas.		 <p>Fotografía 1. Sondeo con barreno manual.</p>
<b>CL</b>	Capa B: Entre 0,3 m y 4,2 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media, 43% de arenas y 2% de Gravas.		
<b>CL - ML</b>	Capa C: Finalmente de 4,2 m a 6,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla limosa inorgánica de plasticidad baja, con 48% de arenas y 2% de Gravas.		
Ensayos de Laboratorio Realizados			
* Humedad natural. * Peso unitario total y seco. * Resistencia a la compresión uniaxial. * Consolidación unidimensional. * Limites de Atterberg. * Granulometría y gradación por tamizado mecánico.			

Resultados para Sondeo 1 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.1.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

La Figura 3, muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante el ensayo SPT. Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado se resumen así: valores bajos de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en  $\text{ton}/\text{m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo ( $P_{ex}$ ) baja en  $\text{ton}/\text{m}^2$ , límites de Atterberg (LL, LP e IP) bajos, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) altos en  $\text{ton}/\text{m}^3$ , relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) bajos en  $\text{ton}/\text{m}^2$  y compresibilidad baja manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc). La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 m y 0,3 m de profundidad promedio.

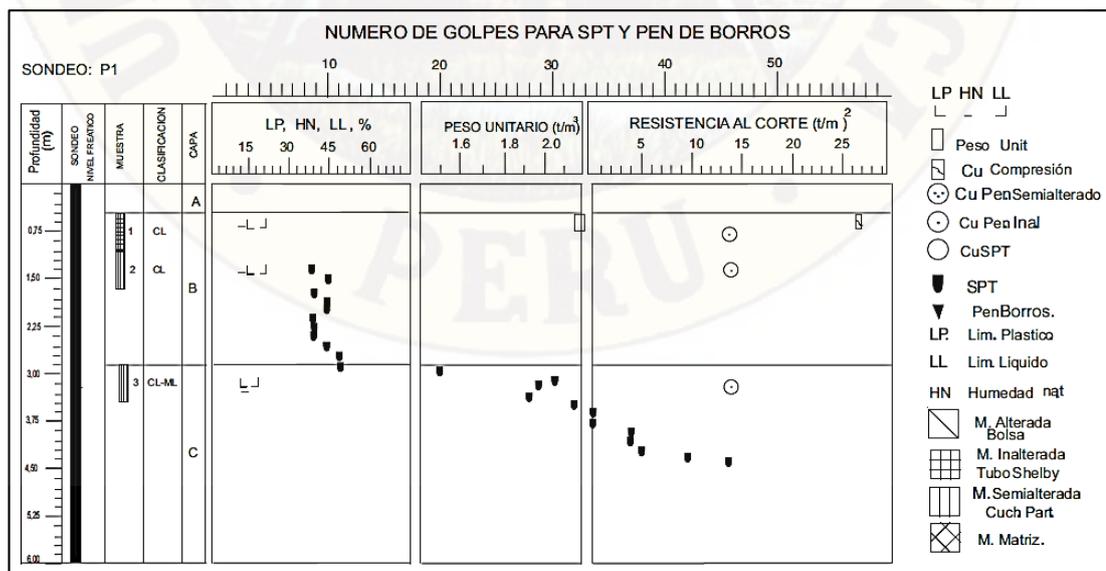


Figura 3. Numero de Golpes para SPT, Sondaje 1.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas (Capa B), de resistencia al corte media, compresibilidad baja y no se encontró nivel freático; la cota para la fundación de una posible cimentación se define a 0,5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 3,9 m, entre 0,3 m y 4,2 m de profundidad, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 8 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 5^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,20 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,84$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,19$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B son las siguientes:

Tabla 3

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
B	0,3 - 4,2	CL	14	14	21	14	8	2,20	8	2,9	5	0,10	5,0	0,84	1,19

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.2. Sondeo 2: Asilo de ancianos, se presenta una Geomorfología de valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, mal drenado superficialmente, por lo tanto existen problemas de acumulación de aguas superficiales.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 4).

Tabla 4

SONDEO 2							
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 				
	1125571	1121387					
Nº de Perforaciones	1						
Profundidad (m)	7						
NIVEL FREÁTICO		Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arenosos en el perfil de suelo, por lo tanto este, presenta tendencia a la saturación, con la consecuente resistencia al corte del suelo media y asentamientos totales medios cuando se produzcan variaciones de humedad.					
Profundidad (m)	1.2						
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO							
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)							
GM-GC	Capa A: De 0,0 m a 0,7 m de profundidad promedio se encontró una capa de Grava Limo-Arcillosa mal gradada (GM-GC) (relleno) con 20% de finos y 24% de Arenas.						
CL	Capa B: entre 0,7 m y 3,5 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 9% de Arenas y 1% de Gravas, color gris, consistencia compacta y contenido de humedad bajo, es una capa continua pero de espesor variable						
CL	Capa C: de 3,5 m a 7,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 9% de Arenas y 0% de Gravas.						
							
				Ensayos de Laboratorio Realizados			
				* Humedad natural.			
				* Peso unitario total y seco.			
				* Resistencia a la compresión uniaxial.			
* Límites de Atterberg.							
* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.							

Resultados para Sondeo 2 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.2.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

La Figura 4, muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las

propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante los ensayos SPT.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado se resumen así: valores bajos de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo (Pex) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) medios en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) medios en ton/m<sup>2</sup>, y compresibilidad media manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 metros y 0,7 metros de profundidad promedio.

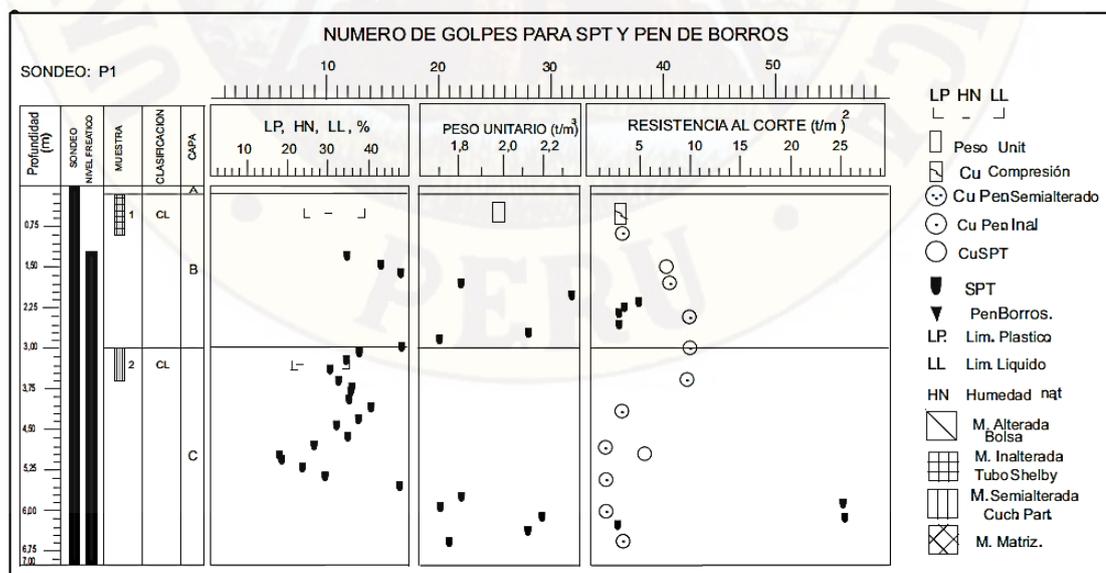


Figura 4. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 2.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas (Capa B), de resistencia al corte media, compresibilidad media y se encontró nivel freático; la cota de fundación para una posible cimentación del proyecto se define a 0,7 m de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 2,8 m, entre 0,7 m y 3,5 m de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 6 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 5^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 1,96 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,84$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,19$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B son las siguientes:

Tabla 5

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	Pex (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	$\sigma_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	Ka	Kp
B	0,7 - 3,5	CL	29	22	39	24	14	1,96	6	1,5	5	0,26	3,4	0,84	1,19

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.3. Sondeo 3: Carrera 12A entre calles 17sur y 17ª sur, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, con una Geomorfología de valle, con una altura de 2500 m.s.n.m. con una zona bien drenada superficialmente y presenta escorrentía superficial, especialmente dada por canales de desecación.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 6).

Tabla 6

SONDEO 3			
<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
		1125222	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	9.6		
<b>NIVEL FREATICO</b>			Comportamiento obedece a la presencia de delgadas capas de Limos orgánicos en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes al lote y este mismo, son mal drenadas y por lo tanto presenta tendencia de saturación del perfil de suelo.
Profundidad (m)	1.50 m		
<b>CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO</b>			
<b>Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)</b>			
OH-MH	Capa A: De 0,0 m a 0,20 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla Limosa algo orgánica de plasticidad alta (OH-MH), color café oscuro y consistencia blanda; es una capa continua pero de espesor variable y con un contenido de humedad alto.		
OH-MH	Capa B: Entre 0,20 m y 3,60 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla Limosa orgánica de plasticidad alta (OH-MH), color negro y consistencia muy blanda; capa continua de espesor variable y contenido de humedad alto.		
CL	Capa C: Seguidamente de 3,60 m a 4,50 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL), color gris oscuro y consistencia blanda; capa continua de espesor variable y contenido de humedad alto.		
CL	Capa D: Finalmente entre 4,50 m y 9,60 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL), color gris oscuro con manchas amarillas y consistencia media; capa continua, espesor variable y contenido de humedad alto.		
<b>Ensayos de Laboratorio Realizados</b>			
*Humedad natural. *Peso unitario total y seco. * Granulometría y gradación por tamizado mecánico. * Limites de Atterberg.			



Resultados para Sondeo 3 (Barreno Manual).



Debido a que topográficamente el sector está por debajo con respecto a la rasante de la vía, el nivel freático es alto y el perfil de suelo mostró baja resistencia al corte, características expansivas y compresibilidad alta, para lo cual se propone para un diseño de tipo ingenieril un relleno de 0,50 m de altura sobre la topografía actual, el cual debe estar constituido por Gravas Arenosas de buena calidad de acuerdo a las normas de INVIAS y compactación al 100% del proctor modificado. En estas circunstancias para una cimentación se apoyará e implantará sobre el relleno efectuado. Esta capa quedaría ubicada en el perfil con un espesor promedio de 0,50 metros, es decir entre 0,0 y 0,50 metros de altura, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 2,5 \text{ ton/m}^2$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,10 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,49$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 2,04$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio del relleno (R) para una fundación son las siguientes:

Tabla 7

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma_p^p$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
R	0,0 - +0,50	GW-SW	15	15	25	22	3	2,10	2,5	1,8	20	0,14	0,5	0,49	2,04

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.4. Sondeo 4: carrera 18 con calle 6, barrio Luis Carlos Galán, se presenta una Geomorfología de valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, mal drenado superficialmente y escorrentía superficial. En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 8).

Tabla 8

SONDEO 4			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1125385	1122507	
<b>Nº de Perforaciones</b>	1		
<b>Profundidad (m)</b>	8		
<b>NIVEL FREÁTICO</b>			Comportamiento obedece a la presencia de niveles Limosos en el perfil de suelo, por lo tanto el suelo, presenta tendencia a la saturación, con la consecuente resistencia al corte del suelo media y asentamientos totales bajos cuando se produzcan variaciones de humedad.
<b>Profundidad (m)</b>	2.25		
<b>CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO</b>			
<b>Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)</b>			
<b>MH</b>	Capa A: De 0,0 m a 0,4 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla Limosa inorgánica de plasticidad alta (MH) con 4% de Arenas y 0% de Gravas.		
<b>MH</b>	Capa B: Finalmente entre 0,4 m y 8,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla Limosa inorgánica de plasticidad alta (MH) con 0% de Arenas y 0% de Gravas.		
			
<b>Ensayos de Laboratorio Realizados</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 4 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.4.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo

La Figura 6, muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con

base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante el ensayo SPT.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales para la Capa B de fundación se resumen así: valores medios de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo (Pex) alta en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) altos, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) bajos en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) medios, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) altos en ton/m<sup>2</sup>, y compresibilidad alta manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 m y 0,4 m de profundidad promedio.

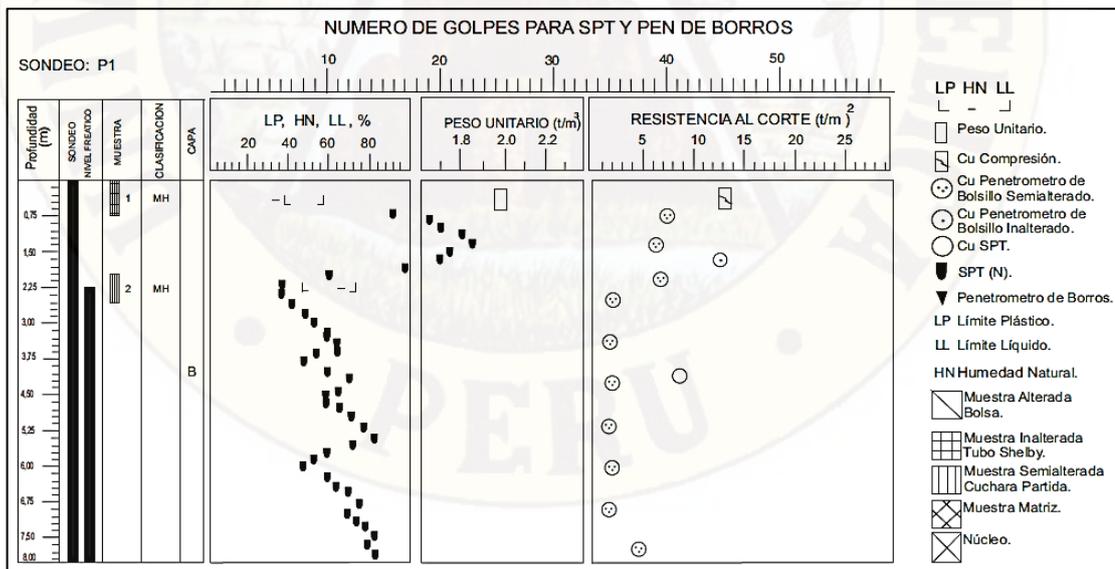


Figura 6. Numero de Golpes para SPT, Sondaje 4.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas Limosas inorgánicas (Capa B), de resistencia al corte media, compresibilidad alta, se encontró nivel freático; la cota de fundación para una posible cimentación del proyecto se define a 0,5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 7,6 metros, entre 0,4 y 8,0 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 8 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 5^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 1,93 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,84$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,19$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B de fundación son las siguientes:

Tabla 9

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
B	0,4 - 8,0	MH	38	35	66	40	27	1,93	8	2,6	5	0,51	6,1	0,84	1,19

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.5. Sondeo 5: Centro Industrial de Mantenimiento y Manufactura del SENA, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, es una zona bien drenado superficialmente y escorrentía superficial canales naturales y principalmente de desecación. En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 10).

Tabla 10

SONDEO 5			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1129545	1128328	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	5		
NIVEL FREÁTICO		Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arcillosos en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes son bien drenadas superficialmente, por lo tanto no presenta tendencia de saturación del perfil de suelo, con la consecuente resistencia al corte del suelo alta y asentamientos totales bajos.	
Profundidad	No encontrado a 5 m		
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
GC	Capa A: De 0,0 m a 0,5 m de profundidad promedio se encontró una capa de Grava Arcillosa mal gradada (GC) (relleno) con 31% de finos y 15% de arenas, forma subangular, composición calcárea, compacidad media, contenido de humedad bajo, y la fracción fina presenta plasticidad media.		
CL	Capa B: Finalmente entre 0,5 m y 5,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 6% de Arenas y 0% de Gravas, color café oscuro, consistencia muy compacta y contenido de humedad bajo.		
Las características de resistencia alta en la base de la Capa B, indican que es suelo muy competente, por lo tanto no fue necesario profundizar más de los 5 m en los sondeos realizados.			
			
Fotografía 5. Sondeo con barreno manual.			
Ensayos de Laboratorio Realizados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 5 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.5.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

La figura 7 muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario,

resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante el ensayo SPT.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales para la Capa B de fundación se resumen así: valores bajos de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en  $\text{ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo ( $P_{ex}$ ) baja en  $\text{ton/m}^2$ , límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) medios en  $\text{ton/m}^3$ , relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'v$ ) altos en  $\text{ton/m}^2$ , y compresibilidad media manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc). La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 m y 0,5 m de profundidad promedio.

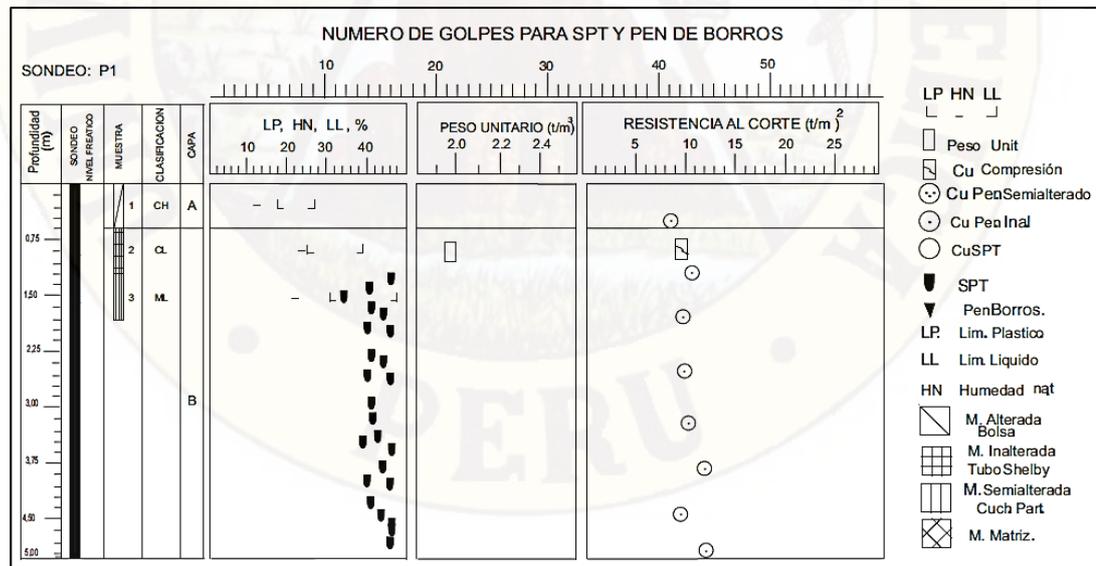


Figura 7. Numero de Golpes para SPT, Sondaje 5.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas (Capa B), de resistencia al corte media, compresibilidad media, y no se encontró nivel freático; la cota de fundación de una posible cimentación del proyecto se define a 0,5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 4,5 metros, entre 0,5 y 5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 8 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 5^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 1,99 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,84$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,19$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B de fundación son las siguientes:

Tabla 11

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
B	0,5 - 5,0	CL	25	24	43	26	17	1,99	8	2,7	5	0,30	5,5	0,84	1,19

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.6. Sondeo 6: Sector Gustavo Jiménez, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, morfológicamente posee terrenos planos que contrastan con el paisaje montañoso de los alrededores, posee drenajes naturales y principalmente de desecación.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 12).

Tabla 12

SONDEO 6			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1129806	1128559	
<b>Nº de Perforaciones</b>	1		
<b>Profundidad (m)</b>	7.2		
<b>NIVEL FREÁTICO</b>			
<b>Profundidad (m)</b>	3.6		Comportamiento obedece a que las áreas circundantes, son mal drenadas, y a que el perfil de suelo, posee capas Arenosas, las cuales contienen el agua freática, por lo tanto presentan tendencia de saturación del perfil de suelo, con la consecuente disminución de la resistencia al corte del suelo y asentamientos totales elevados cuando se produzcan variaciones de humedad.
<b>CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO</b>			
<b>Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)</b>			
<b>CL</b>	Entre 0,0 m y 3,60 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media.		 <p>Fotografía 6. Sondeo con barreno manual.</p>
<b>SM</b>	De 3,60 m a 4,20 m en promedio de profundidad se encontró una capa de Arena Limosa mal gradada de grano muy fino, fino y medio.		
<b>CL</b>	De 4,20 m a 7,20 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media, color gris oscuro con manchas amarillas y consistencia compacta.		
<b>Ensayos de Laboratorio Realizados</b>			
humedad natural * Peso unitario total y seco. * Resistencia a la compresión uniaxial. * Consolidación unidimensional. * Límites de Atterberg. * Granulometría y gradación por tamizado mecánico.			

Resultados para Sondeo 6 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.6.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales pueden resumirse así: valores medios de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión no drenada (Cu) medios en ton/m<sup>2</sup>, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) bajos y medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) medios en ton/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) bajos y medios, relación de vacíos (e) medios, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos efectivos de actuales ( $\sigma_p$ ) bajos y medios en ton/m<sup>2</sup> y compresibilidad baja manifestada en los índices de rigidez reducidos (I<sub>rr</sub>) y coeficientes de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento uniforme contra la profundidad del perfil. Los valores de límites de consistencia al igual que la compresibilidad son bajos; lo cual indica un comportamiento con estabilidad volumétrica y potencial de expansión baja.

La cota de implantación para una posible cimentación se define a 0,90 metros de profundidad respecto de la topografía actual. En estas circunstancias los cimientos se apoyarán e implantarán en la capa A; la cual está constituida por Arcilla inorgánica de plasticidad media, color café claro y consistencia media. Esta capa se encuentra en el perfil de suelo entre 0,0 a 3,60 metros de profundidad, con resistencia al corte última no drenada Cu = 7 ton/m<sup>2</sup>, peso unitario total promedio  $\gamma_t = 1,96$  ton/m<sup>3</sup>, coeficiente activo de presión de tierra Ka = 0,90 y coeficiente pasivo de presión de tierra Kp = 1,11.

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la capa A de fundación son las siguientes:

Tabla 13

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	$\sigma_p$ (ton/m <sup>2</sup> )	Ka	Kp
A	0,0 - 3,60	CL	24	19	32	17	15	1,96	7	1,6	3	0,20	3,5	0,90	1,11

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.7. Sondeo 7: Carrera 26 con calle 12, la zona presenta una Geomorfología de valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, mal drenado superficialmente y escorrentía superficial, por lo tanto pueden existir problemas de acumulación de aguas superficiales para un diseño y construcción de una obra ingenieril.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 14).

Tabla 14

SONDEO 7			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA</b> 
	1126248	1124823	
<b>Nº de Perforaciones</b>	1		
<b>Profundidad (m)</b>	7		
<b>NIVEL FREÁTICO</b>			Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arenosos en el perfil de suelo, por lo tanto este, presenta tendencia a la saturación, con la consecuente resistencia al corte del suelo baja y asentamientos totales medios cuando se produzcan variaciones de humedad.
<b>Profundidad (m)</b>	1.5		
<b>CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO</b>			
<b>Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)</b>			
<b>ML</b>	Capa A: De 0,0 m a 0,9 m de profundidad promedio se encontró una capa de Limo Arcilloso inorgánico de plasticidad media (ML) con 12% de Arenas y 0% de Gravas, color café claro, consistencia compacta y contenido de humedad bajo, es una capa continua pero de espesor variable.		 <p>Fotografía 7. Sondeo con barreno manual.</p>
<b>SC</b>	Capa B: Seguidamente entre 0,9 m y 2,4 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arena Arcillosa mal gradada (SC) con 18% de finos y 40% de Gravas, composición Cuarzosa, compactidad densa, contenido de humedad bajo y la fracción fina presenta plasticidad media.		
<b>ML</b>	Capa C: Finalmente de 2,4 m a 7,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Limo Arcilloso inorgánico de plasticidad alta (ML) con 5% de Arenas y 2% de Gravas, consistencia media y contenido de humedad medio.		
<b>Ensayos de Laboratorio Realizados</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Limites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 7 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.7.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales se resumen así : valores bajos de humedad natural (HN) y por debajo de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) altos en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) bajos en ton/m<sup>2</sup>, y compresibilidad media manifestada en el índice de rigidez reducido (I<sub>rr</sub>) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 2,4 y 7,0 metros de profundidad promedio.

La cota de implantación para una posible cimentación se define a 0,5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa A ; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 0,9 metros, entre 0,0 y 0,9 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada Cu = 10 ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 6^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,12$  ton/m<sup>3</sup>, coeficiente activo de presión de tierra Ka = 0,81 y coeficiente pasivo de presión de tierra Kp = 1,23.

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la capa A de fundación son las siguientes:

Tabla 15

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	Ka	Kp
A	0,0 - 0,9	ML	16	22	39	25	14	2,12	10	5,2	6	0,26	1,0	0,81	1,23

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.8. Sondeo 8: Carrera 14 con calle 2, la zona presenta una Geomorfología de valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, bien drenado superficialmente, por lo tanto no existen problemas de acumulación de aguas superficiales. En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 16).

Tabla 16

SONDEO 8			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1126261	1123057	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	8		
NIVEL FREÁTICO			
Profundidad (m)	No se encontro		
Este comportamiento obedece a la presencia de niveles Arcillosos en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes son bien drenadas superficialmente y por lo tanto no presenta tendencia de saturación del perfil de suelo.			
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
GP-GM	Capa A: De 0,0 m a 0,2 m de profundidad promedio se encontró una capa de Grava Limosa mal gradada (GP-GM) (relleno) con 8% de finos y 43% de Arenas.		
CL	Capa B: Entre 0,2 m y 1,1 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 32% de Arenas y 3% de Gravas.		
GM-GC	Capa C: Finalmente de 1,1 m a 6,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla Limosa inorgánica de plasticidad baja, con 48% de Arenas y 2% de Gravas.		
CL	Entre 6,0 m y 8,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 6% de Arenas y 0% de Gravas.		
			
Ensayos de Laboratorio Realizados			
Humedad natural * Peso unitario total y seco. * Resistencia a la compresión uniaxial. * Consolidación unidimensional. * Límites de Atterberg. * Granulometría y gradación por tamizado mecánico.			

Resultados para Sondeo 8 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.8.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo

La Figura 8 muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante el ensayo SPT.

las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales se resumen así: valores bajos de humedad natural (HN) y por debajo de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en  $\text{ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) bajo, presión de expansión probable en campo ( $P_{ex}$ ) baja en  $\text{ton/m}^2$ , límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) altos en  $\text{ton/m}^3$ , relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) bajos en  $\text{ton/m}^2$  y compresibilidad baja manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

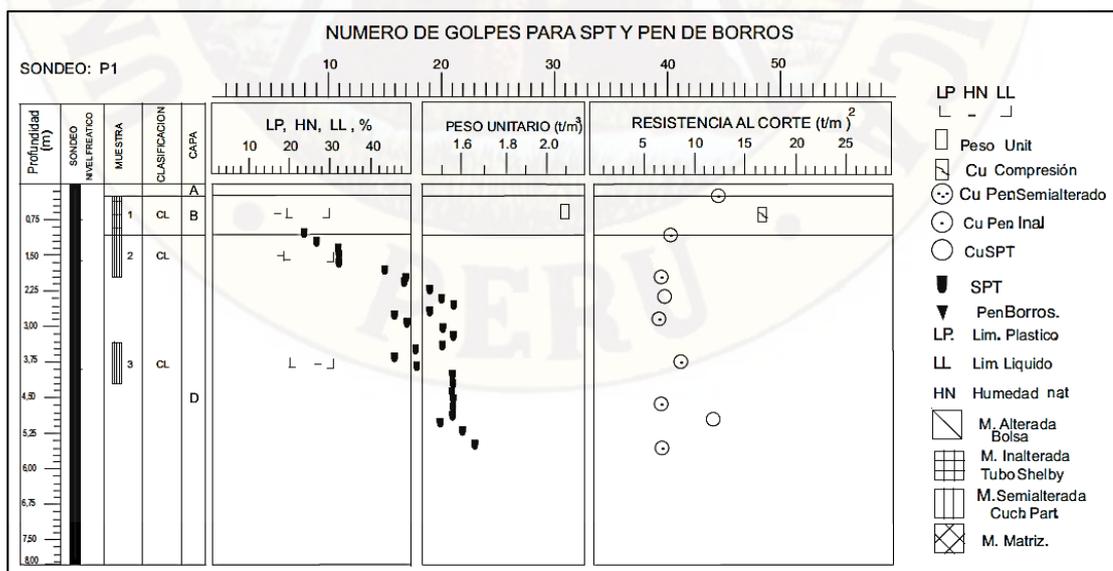


Figura 8. Numero de Golpes para SPT, Sondaje 8.

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 y 0,2 metros de profundidad promedio. Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas (Capa B), de resistencia al corte alta, compresibilidad baja y no se encontró nivel freático; la cota de fundación para la cimentación de un proyecto se define a 1,0 m de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B (Ver Figura 4); la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 0,9 m, entre 0,2 m y 1,1 m de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 11 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 7^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,07 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,78$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,28$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B de fundación son las siguientes:

Tabla 17

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
B	0,2 - 1,1	CL	17	19	33	21	12	2,07	11	3,4	7	0,10	1,4	0,78	1,28

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.9. Sondeo 9: Calle 37 con carrera 10<sup>a</sup>, la zona tiene una Geomorfología de piedemonte, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, bien drenado por lo tanto no existen problemas de acumulación de aguas superficiales.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 18).

Tabla 18

SONDEO 9			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1128980	1126126	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	8		
NIVEL FREÁTICO		Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arcillosos en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes son bien drenadas superficialmente, por lo tanto, el suelo, no presenta tendencia a la saturación, con la consecuente resistencia al corte del suelo alta y asentamientos totales bajos.	
Profundidad	No encontrado a 8 m		
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
CL	Capa A: De 0,0 m a 0,7 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 31% de Arenas y 0% de Gravas, consistencia muy compacta y contenido de humedad bajo.		 <p>Fotografía 9. Sondeo con barreno manual.</p>
SC	Capa B: Finalmente entre 0,7 m y 8,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arena Arcillosa mal gradada (SC) con 47% de finos y 10% de Gravas, composición Cuarzosa, compacidad densa, contenido de humedad bajo, y la fracción fina presenta plasticidad media.		
Las características de resistencia alta en la base de la Capa B, indican que es suelo muy competente, asimilable a un Conglomerado Rocoso, por lo tanto no fue necesario profundizar más de los 8 m en los sondeos realizados.			
Ensayos de Laboratorio Realizados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 9 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.9.1. Propiedades geomecánicas del perfil de suelo.

La Figura 9 muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante los ensayos SPT.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales para la Capa B para una fundación se resumen así: valores bajos de humedad natural (HN) y por debajo de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) baja en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) medio, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, peso unitario o gamma ( $\gamma_t$ ) altos en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) altos en ton/m<sup>2</sup> y compresibilidad baja manifestada en el índice de rigidez reducido (I<sub>rr</sub>) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

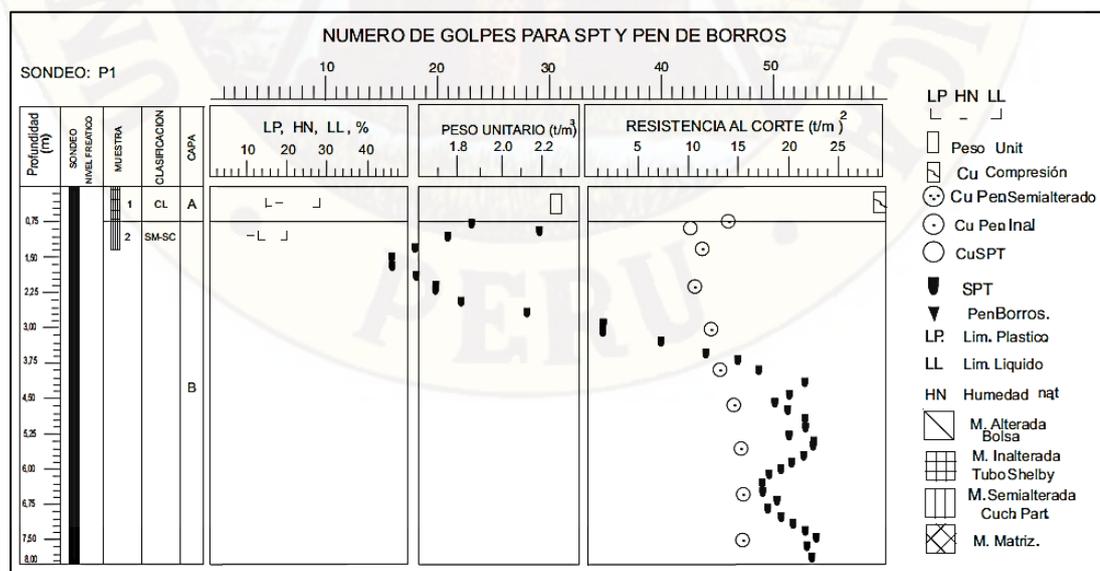


Figura 9. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 9.

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 y 0,7 metros de profundidad promedio.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arenas-Arcillosas (Capa B), de resistencia al corte alta, compresibilidad baja, y no se encontró nivel freático; la cota de una posible fundación se define a 0,8 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 7,3 metros, entre 0,7 y 8,0 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 3 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 26^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,28 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,39$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 2,56$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B son las siguientes:

Tabla 19

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
B	0,7 - 8,0	SC	12	14	22	14	8	2,28	3	4,3	26	0,11	9,9	0,39	2,56

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.10. Sondeo 10: Calle 10ª con calle 22, el área presenta una Geomorfología de valle, la topografía es plana de pendiente promedio 0%, mal drenado superficialmente, por lo tanto existen problemas de acumulación de aguas superficiales.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 20).

Tabla 20

SONDEO 10			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<b>Coordenadas</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1126237	1124362	
<b>Nº de Perforaciones</b>	1		
<b>Profundidad (m)</b>	9		
<b>NIVEL FREÁTICO</b>			Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arenosos en el perfil de suelo, por lo tanto este, presenta tendencia a la saturación, con la consecuente resistencia al corte del suelo media y asentamientos totales medios cuando se produzcan variaciones de humedad.
<b>Profundidad (m)</b>	1.8		
<b>CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO</b>			
<b>Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)</b>			
<b>SM</b>	Capa A: Entre 0,0 m y 0,7 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arena Limosa bien gradada (SM) con 26% de finos y 7% de Gravas, de grano muy fino, fino, medio, grueso, muy grueso, con Gravas finas.		 <p>Fotografía 10. Sondeo con barreno manual.</p>
<b>CL</b>	Capa B: Seguidamente de 0,7 m a 4,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 18% de Arenas y 0% de Gravas.		
<b>SM-SC</b>	Capa C: Finalmente entre 4,0 m y 9,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arena Limo-Arcillosa mal gradada (SM-SC) con 40% de finos y 5% de Gravas.		
<b>Ensayos de Laboratorio Realizados</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 10 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.10.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales se resumen así: valores medios de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) baja en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) medio, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) medios en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) medios en ton/m<sup>2</sup> y compresibilidad media manifestada en el índice de rigidez reducido (Irr) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 y 0,7 metros de profundidad promedio.

Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas (Capa B), de resistencia al corte media, compresibilidad media y se encontró nivel freático; la cota de la posible fundación para una cimentación se define a 0,7 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa B ; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 3,3 metros, entre 0,7 y 4,0 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada Cu = 6 ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 5^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 1,96$  ton/m<sup>3</sup>, coeficiente activo de presión de tierra Ka = 0,84 y coeficiente pasivo de presión de tierra Kp = 1,19.

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B de fundación son las siguientes:

Tabla 21

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	Ka	Kp
B	0,7 - 4,0	CL	26	22	39	23	15	1,96	6	1,8	5	0,26	4,1	0,84	1,19

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.11. Sondeo 11: Carrera 6ª con calle 3, la topografía es ligeramente inclinada de pendiente promedio 1%. Geomorfológicamente se localiza sobre terrenos planos con paisaje de valle, que contrastan con las montañas de los alrededores, el sitio comprende alturas aproximadas de 2600 m.s.n.m y drenaje superficial por una serie de canales naturales y principalmente de desecación

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 22).

Tabla 22

SONDEO 11			
CARACTERISTICAS GENERALES			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1127254	1122378	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	7		
NIVEL FREATICO			Comportamiento obedece a la presencia de capas Arenosas en el perfil de suelo y debido a que las áreas circundantes son mal drenadas superficialmente y por lo tanto presenta tendencia de saturación del perfil de suelo, con la consecuyente media resistencia al corte del suelo y asentamientos totales medios cuando se produzcan variaciones de humedad.
Profundidad (m)	4.6		
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
SC	Capa A: Entre 0,0 m y 0,7 m de profundidad promedio se encontró una capa de Grava Arcillo-Limosa mal gradada (GC-GM) con 32% de Arenas, composición Cuarzosa, compactidad media, contenido de humedad medio y la fracción fina presenta plasticidad media.		
CL	CCapa B: De 0,7 m a 7,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad alta (CL) con (20%) de Arenas, color gris a café claro, consistencia compacta y contenido de humedad medio; es una capa continua pero de espesor variable.		
Las características de resistencia alta en la base de la Capa B, indican que es un Aglomerado Rocoso o capas de suelos asimilables a rocas, por lo tanto no fue necesario profundizar más de los 7,0 m en los sondeos realizados.			
			
Ensayos de Laboratorio Realizados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 11 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.11.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales pueden resumirse así: valores medios de humedad natural (HN) y por encima de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en ton/m<sup>2</sup>, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) baja en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) bajos, pesos unitarios o gamma (γ<sub>t</sub>) medios en ton/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción interna (φ) bajos, relación de vacíos (e) bajos, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual (σ'<sub>v</sub>) medios en ton/m<sup>2</sup> y compresibilidad baja manifestada en el índice de rigidez reducido (I<sub>rr</sub>) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo en la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 y 0,7 metros de profundidad promedio. Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arcillas con presencia de Arenas (Capa A), de resistencia al corte media y compresibilidad baja; la cota de una posible fundación para la cimentación del proyecto se define a 0,7 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la Capa A; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 6,3 metros, entre 0,7 y 7,0 metros de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada Cu = 9 ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna Φ = 6°, peso unitario total promedio γ<sub>t</sub> = 2,11 ton/m<sup>3</sup>, coeficiente activo de presión de tierra Ka = 0,81 y coeficiente pasivo de presión de tierra Kp = 1,23.

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa B de posible fundación son las siguientes:

Tabla 23

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	γ <sub>t</sub> (ton/m <sup>3</sup> )	Cu (ton/m <sup>2</sup> )	P <sub>ex</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	φ (°)	Cc	σ' <sub>v</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	Ka	Kp
A	0,7 - 7,0	CL	22	21	36	20	16	2,11	9	2,7	6	0,23	8,2	0,81	1,23

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

4.3.2.12. Sondeo 12: Carrera 2 con calle 5, el sector tiene una Geomorfología de piedemonte, la topografía es ligeramente inclinada de pendiente promedio 3%, bien drenado superficialmente por canales naturales principalmente canales de desecación.

En esta zona se realizaron ensayos de campo y de laboratorio (ver tabla 24).

Tabla 24

SONDEO 12			
CARACTERÍSTICAS GENERALES			
Coordenadas	X	Y	ZONIFICACIÓN GEOFÍSICO – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA 
	1127802	1122651	
Nº de Perforaciones	1		
Profundidad (m)	5		
NIVEL FREÁTICO		Comportamiento obedece a la presencia de niveles Arenosos en el perfil de suelo, se presentan Arenas circundantes las cuales son bien drenadas superficialmente y por lo tanto no presentan tendencia a la saturación del perfil de suelo.	
Profundidad (m)	2.7		
CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO			
Clasificación de Suelos (U.S.C.S.)			
CL	Capa A: De 0,0 m a 1,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL) con 40% de Arenas y 2% de Gravas.		
SC	Capa B: Seguidamente entre 1,0 m y 2,0 m de profundidad promedio se encontró una capa Arena Arcillosa mal gradada (SC) con 48% de finos y 9% de Gravas.		
CL	Capa C: Finalmente de 2,0 m a 5,0 m de profundidad promedio se encontró una capa de Arcilla inorgánica de plasticidad alta (CL) con 43% de Arenas y 1% de Gravas.		
Ensayos de Laboratorio Realizados			
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Humedad natural.</li> <li>* Peso unitario total y seco.</li> <li>* Resistencia a la compresión uniaxial.</li> <li>* Límites de Atterberg.</li> <li>* Granulometría y gradación por tamizado mecánico.</li> </ul>			

Resultados para Sondeo 12 (Barreno Manual).

#### 4.3.2.12.1. Propiedades geomecánicas del perfil del suelo

La Figura 10 muestra un resumen de los resultados de ensayos de campo y laboratorio para el perfil promedio establecido y el comportamiento de las propiedades como límites de consistencia, humedad natural, peso unitario, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al corte comparativo con base en el ensayo de penetrómetro dinámico. Sobresale el comportamiento de los valores de resistencia a la penetración dinámica mediante los ensayos SPT.

Las propiedades geomecánicas e índices por capas del perfil de subsuelo encontrado, las cuales se resumen así: valores medios de humedad natural (HN) y por debajo de la humedad de equilibrio (Heq), cohesión última no drenada (Cu) media en ton/m<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna no drenada ( $\phi$ ) medios, presión de expansión probable en campo (P<sub>ex</sub>) bajo en ton/m<sup>2</sup>, límites de Atterberg (LL, LP e IP) medios, pesos unitarios o gamma ( $\gamma_t$ ) medios en ton/m<sup>3</sup>, relación de vacíos (e) medios, pesos específicos (Gs) medios, esfuerzos verticales efectivos de sobrecarga actual ( $\sigma'_v$ ) medios en ton/m<sup>2</sup> y compresibilidad baja manifestada en el índice de rigidez reducido (I<sub>rr</sub>) y coeficiente de compresibilidad (Cc).

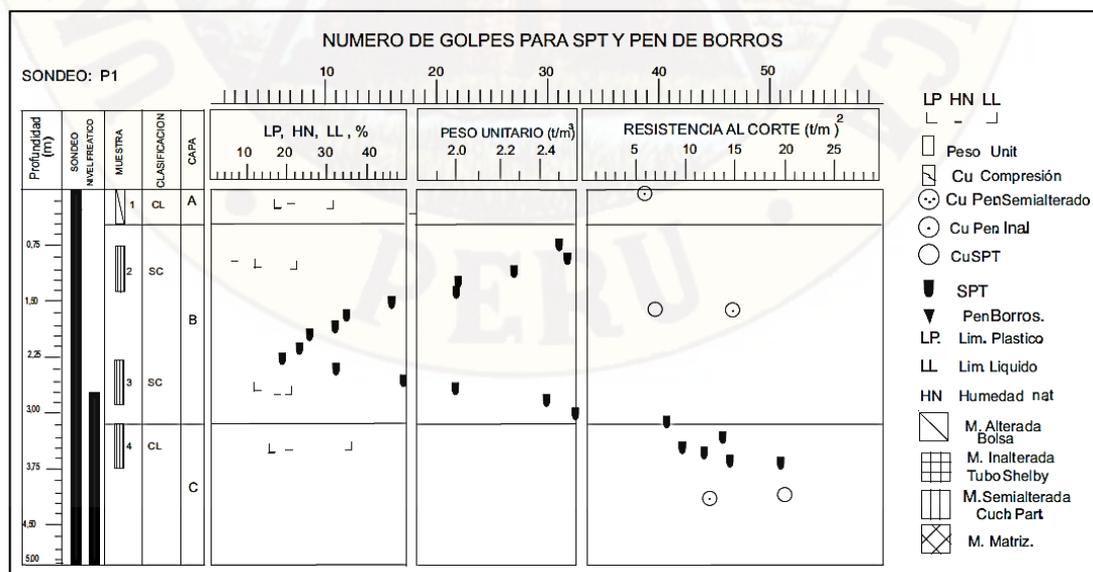


Figura 10. Numero de Golpes para SPT, Sondeo 12.

La resistencia al corte tiene un comportamiento homogéneo con la profundidad del perfil, los valores más bajos se registran entre 0,0 y 0,5 metros de profundidad promedio. Debido a que el perfil del subsuelo encontrado está compuesto principalmente por Arenas Arcillosas (Capas A), de resistencia al corte media, compresibilidad baja y se encontró nivel freático; la cota de posible fundación para una cimentación se define a 0,5 metros de profundidad respecto de la topografía actual, es decir en la capa A; la cual está ubicada en el perfil con un espesor promedio de 1,0 metro, entre 0,0 y 1,0 metro de profundidad respecto de la topografía actual, con resistencia al corte última no drenada  $C_u = 9 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de fricción interna no drenada  $\Phi = 9^\circ$ , peso unitario total promedio  $\gamma_t = 2,0 \text{ ton/m}^3$ , coeficiente activo de presión de tierra  $K_a = 0,73$  y coeficiente pasivo de presión de tierra  $K_p = 1,37$ .

Las propiedades geotécnicas e índices promedio de la Capa A de fundación son las siguientes:

Tabla 25

CAPA	Profundidad (m)	Clasificación U.S.C.S.	HN (%)	Heq (%)	LL (%)	LP (%)	IP	$\gamma_t$ (ton/m <sup>3</sup> )	$C_u$ (ton/m <sup>2</sup> )	$P_{ex}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$C_c$	$\sigma'_v$ (ton/m <sup>2</sup> )	$K_a$	$K_p$
A	0,0 - 1,0	CL	18	19	33	17	16	2,00	9	2,8	9	0,20	1,0	0,73	1,37

Resumen propiedades geomecánicas del suelo.

A continuación se describe un resumen de las propiedades de cada uno de los suelos:

Tabla 26

Número del Sondeo	Clasificación U.S.C.S	Coordenadas		Ensayos											Qadm (ton/m <sup>2</sup> )
		X	Y	Límites			Granulometría			Humedad	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	Resistencia a la Compresión (qu)	Consolidación		
				LL	LP	IP	Arcillas	Arenas	Gravas				Cohesión (ton/m <sup>2</sup> )	Fricción	
1	CL	1129802	1127717	21	14	8	54,8	43,3	1,9	12,8	2,2	5,57	8	5	18-21
2	CL	1125571	1121387	34	29	14	91,5	8,5	0	24,9	1,96	0,59	6	5	16
3	CL	1125222	1121052	25	22	3	64,8	34,1	1,1	15,7	2,1	2,11	2,5	20	4
4	MH	1125385	1122507	66	40	27	98,8	1,2	0	66	1,93	2,62	8	5	21
5	CL	1129545	1128328	43	26	17	94,2	5,5	0,3	24,2	1,99	1,95	8	5	21
6	CL	1129806	1128559	32	17	15	87,3	12,7	0	12,9	1,96	1,94	7	3	14
7	ML	1126248	1124823	39	25	14	87,8	12,2	0	13,5	1,87	5,38	10	6	28
8	CL	1126261	1123057	33	21	12	80,8	19	0,2	17,5	2,07	3,32	11	7	32
9	SC	1128980	1126126	22	14	8	45,7	43,8	10,6	11,2	2,28	7,45	3	26	34
10	CL	1126237	1124362	39	23	15	88,6	10,5	0,9	18,3	1,96	3,54	6	5	16
11	CL	1127254	1122378	36	20	16	75,4	23	1,6	16,2	2011	2,45	9	6	21
12	CL	1127802	1122651	33	17	16	42,8	55,8	1,4	18,2	2	1,37	10	10	25

Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio.

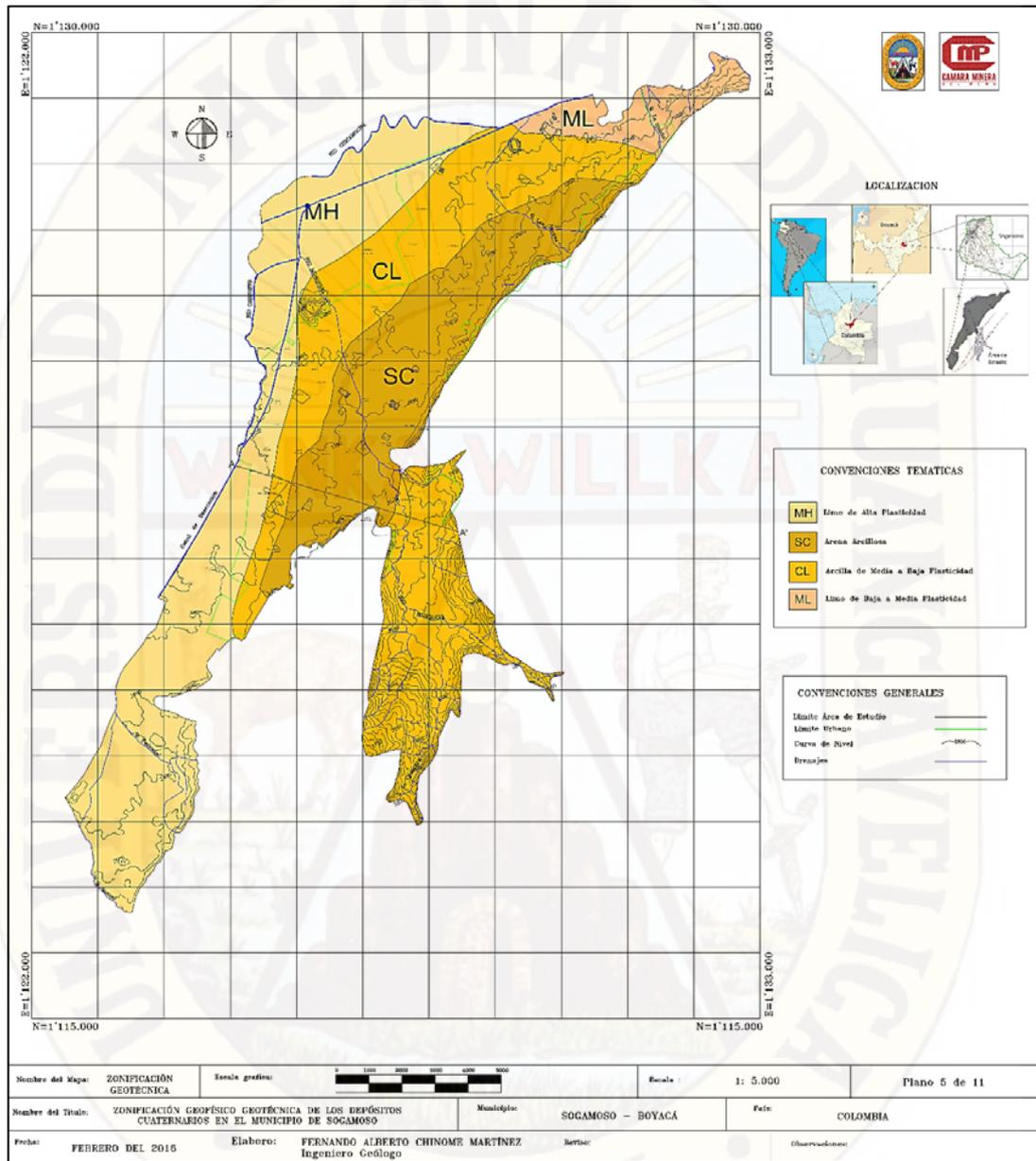


Figura 11. Zonificación Geotécnica.<sup>36</sup>

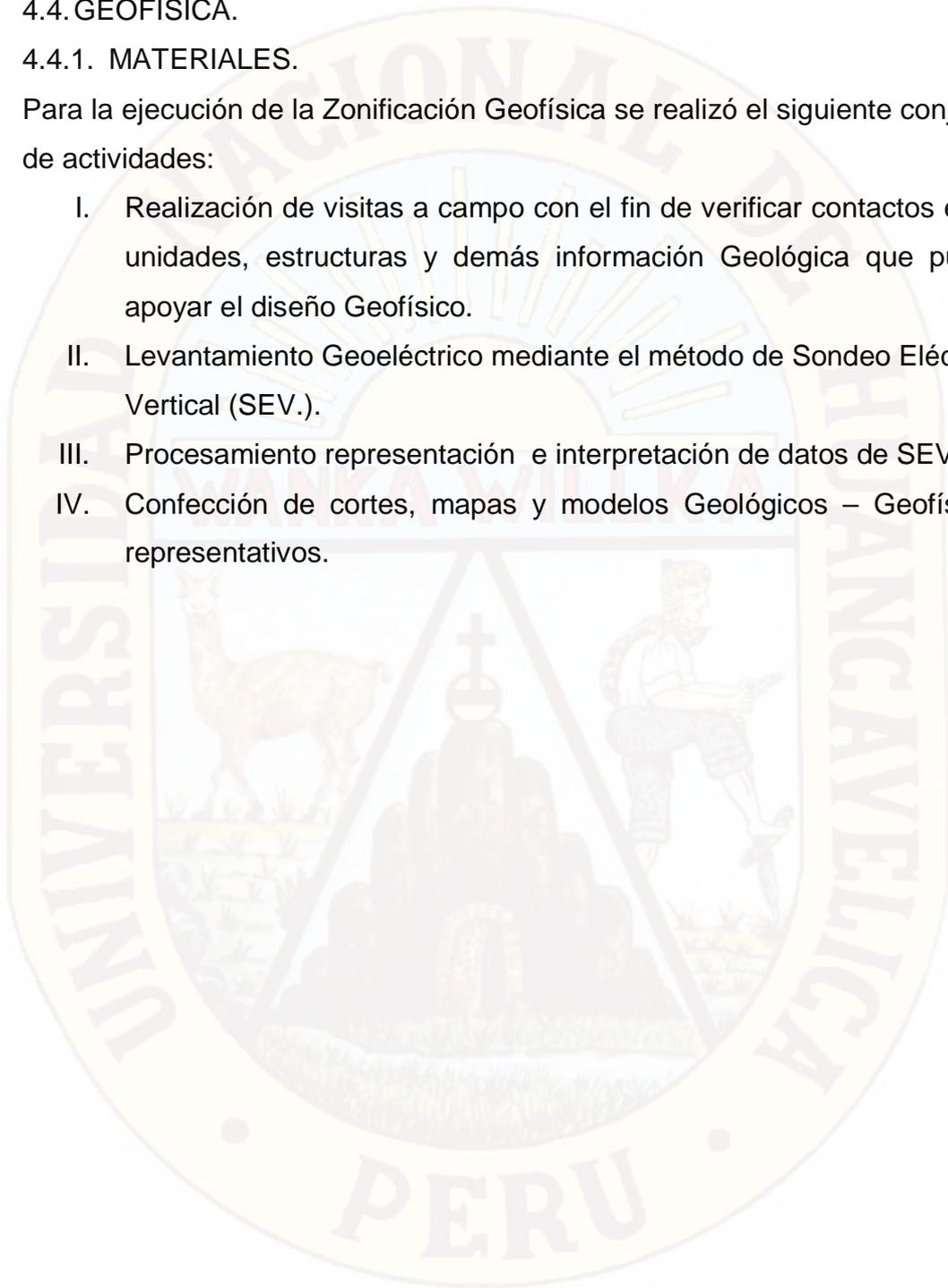
<sup>36</sup> Fernando Alberto Chinome, Zonificación Geotécnica de Depósitos Cuaternarios de Sogamoso.

#### 4.4. GEOFÍSICA.

##### 4.4.1. MATERIALES.

Para la ejecución de la Zonificación Geofísica se realizó el siguiente conjunto de actividades:

- I. Realización de visitas a campo con el fin de verificar contactos entre unidades, estructuras y demás información Geológica que pueda apoyar el diseño Geofísico.
- II. Levantamiento Geoeléctrico mediante el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV.).
- III. Procesamiento representación e interpretación de datos de SEV.
- IV. Confección de cortes, mapas y modelos Geológicos – Geofísicos representativos.



#### 4.4.2. METODOLOGÍA.

##### 4.4.2.1. Sondeo Eléctrico Vertical.

Los Sondeos Eléctricos Verticales se realizaron con el objetivo de determinar las variaciones de resistividad de los materiales por debajo de los puntos de observación, así como determinar los espesores de esas capas, y evaluar dentro de lo posible, la profundidad del material debajo de la superficie en cada punto<sup>37</sup>.

Los fundamentos Físicos-Geológicos del sondeo eléctrico vertical (SEV) se basan en el estudio de la respuesta del medio geológico al paso de la corriente a través de dos electrodos de alimentación (A y B), que mantienen un circuito cerrado. Este dispositivo fue creado por C. M. Schlumberger.<sup>38</sup>

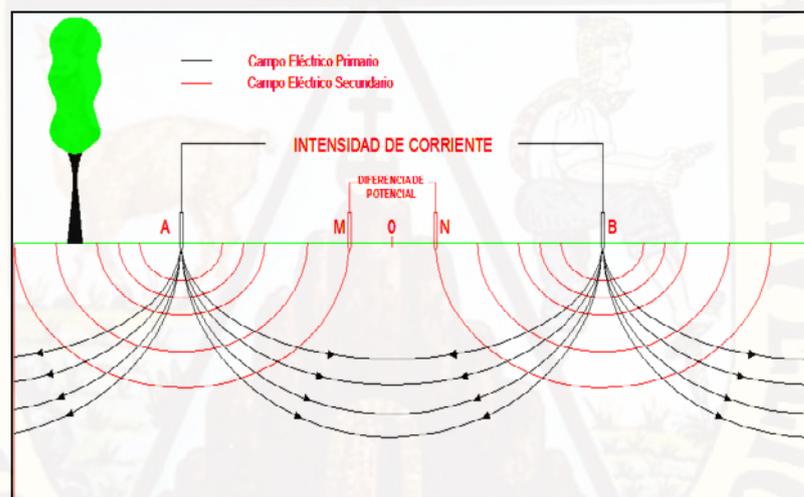


Figura 12. Funcionamiento de la corriente en el dispositivo Schlumberger.  
(Fuente: FONSECA, 2008)

Los trabajos de campo del SEV consisten en medir repetidas veces en un punto central de observación la diferencia de potencial ( $\Delta U$ ) y la intensidad de corriente ( $I$ ), para una sola posición de los electrodos de medición, variando la distancia entre los electrodos de alimentación, como se aprecia en la Figura 13.

<sup>37</sup> Estudio geofísico integrado del subsuelo de Sogamoso, Fonseca Benítez Fredy Alexander.

<sup>38</sup> Estudio geofísico integrado del subsuelo de Sogamoso, Fonseca Benítez Fredy Alexander.

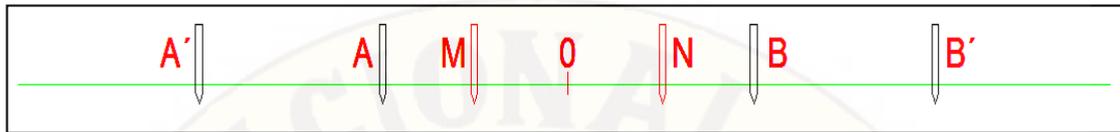


Figura 13. Esquema de ubicación del dispositivo de electrodos de SEV.  
(Fuente: FONSECA 2008).

Los sondeos eléctricos verticales se localizaron con la ayuda de un GPS (Global Positioning System). El equipamiento estuvo compuesto por un resistivímetro y un energizador marca DIAPIR VP, con sus accesorios, según se muestra en la fotografía 13.



Fotografía 13. Equipo Geoeléctrico.

En el municipio de Sogamoso, se midió la resistencia eléctrica del terreno con un electrodo de corriente (C), un electrodo de potencial (P) y un electrodo de polo a tierra (E). La distancia entre electrodos es de 5 metros.

Se obtuvo tres datos de diferencia de potencial  $\Delta U$  (mV) e intensidad de corriente  $I$  (ma) en cada punto de observación. Los datos de campo obtenidos sirvieron para calcular los valores de resistividades aparentes e interpretar las curvas de campo mediante el software IPI2win (Figura 14).

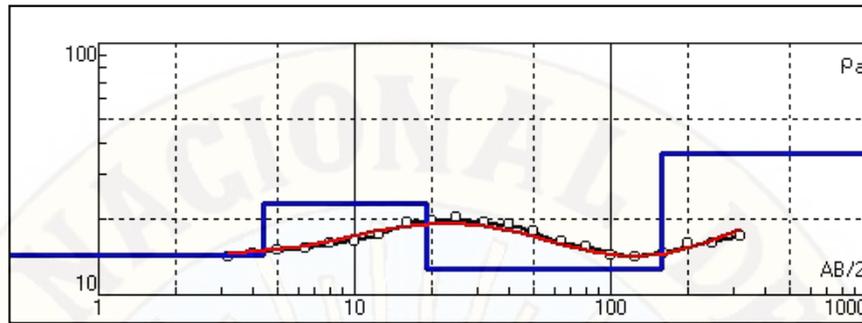


Figura 14. Curva de SEV interpretada en el software ipi2win.

Con los tres valores obtenidos, se calculó un promedio de  $\Delta U$  e  $I$ , y finalmente, las resistividades aparentes mediante la fórmula:

$$\rho_a = K \times \Delta U_{MN} / I_{AB} \quad [\text{Ohm} \times \text{m}] \quad (1)$$

La interpretación de las curvas de SEV y sus respectivos, permitieron confeccionar cortes mapas y modelos Geológicos – Geofísicos.

#### 4.4.2.2. Perfil de resistencia y voltaje

Para obtener el perfil de resistividad en un punto dado, se utiliza el método de Wenner con espaciamientos entre electrodos de prueba cada vez mayores.

La gráfica resultante de trazar el promedio de las mediciones de resistividad ( $R$ ) y Voltaje ( $V$ ) contra distancia entre puntos de medición ( $X$ ) se denomina perfil de resistencia eléctrica y voltaje del terreno.

#### 4.4.3. INTERPRETACIÓN.

Se exponen dos gráficos de Voltaje (V) vs. X (m), dos dromocronas, cuatro cortes Geológicos-Geofísicos y sus representativas pseudosecciones así como un mapa de isohomas a una profundidad de 10 m, se pueden apreciar las fallas y contactos determinados. Por otra parte, se presentan los modelos geofísicos 3D de los parámetros físicos medidos y un modelo geofísico integrado. Los rangos de resistividades aparentes, Voltajes y velocidades de propagación asociados a las litologías presentes en la zona de estudio, se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27

Litología	$\rho_a (\Omega * m)$	Voltaje (V)	$V_p$ (m/mseg)
Limo	0 – 16	0.1 – 0.2	1.49 - 2
Arcilla limosa	16 – 25	0.2 – 0.3	-
Arcilla	25 - 70	0.3 – 0.4	-
Arena	>70	0.4 – 0.8	-

Rangos de variación de resistividades, voltajes y velocidades de propagación de las litologías en el sector de estudio.

A continuación en la figura 15, se describen las convenciones de los cortes Geológico Geofísicos para cada una de las Litologías, eventos Geológico Estructurales y Sondeo Eléctrico Vertical.

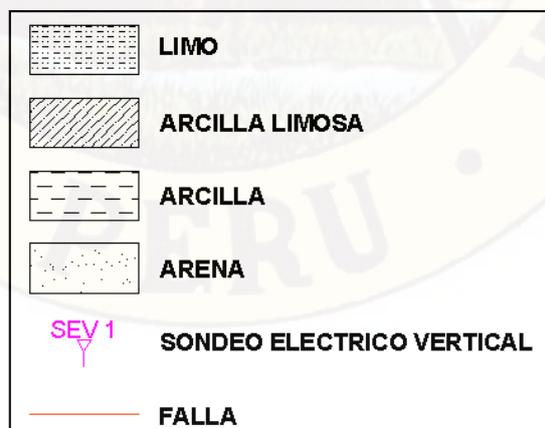


Figura 15. Convenciones de los cortes Geológicos - Geofísicos.

## CORTE GEOLÓGICO GEOFÍSICO A-A

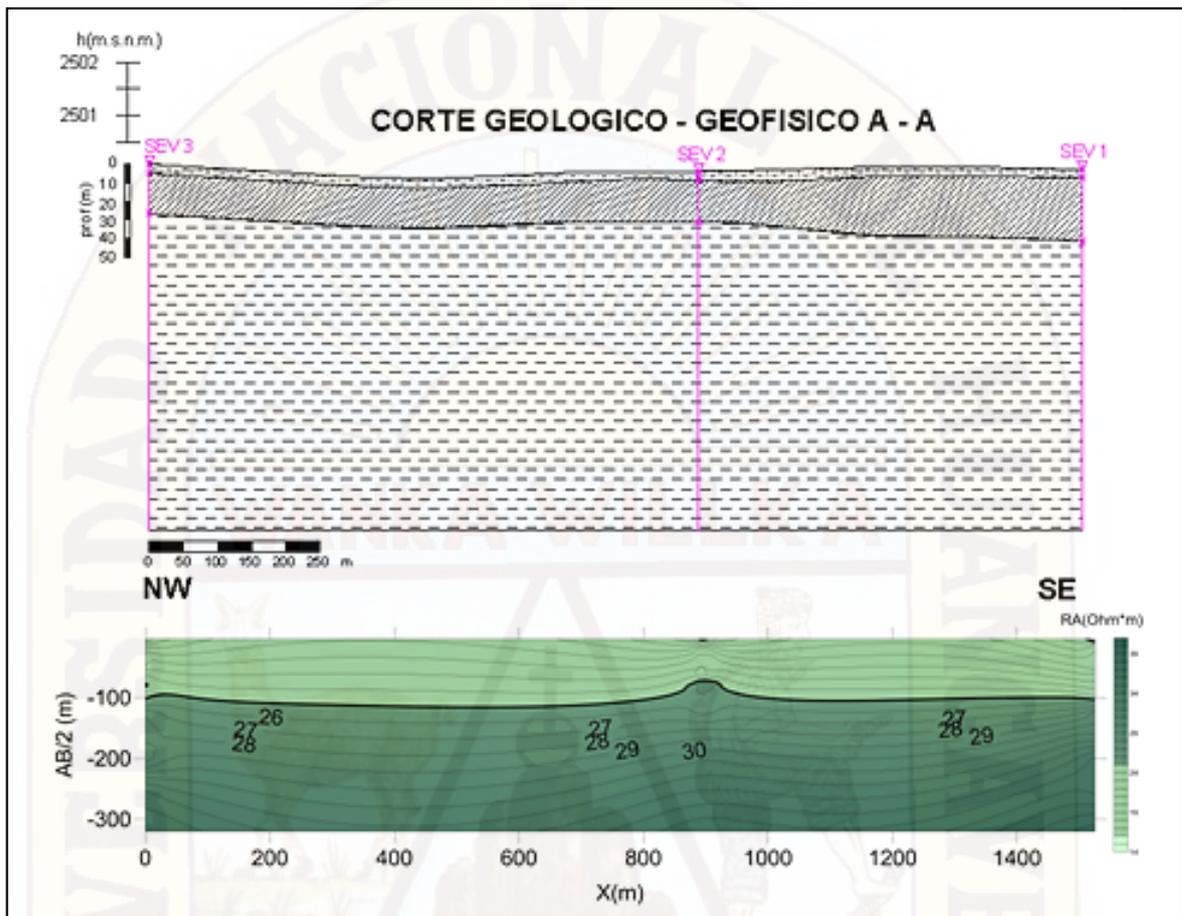


Figura 16. Corte Geológico–Geofísico y pseudosección de resistividad aparente A-A

Con base en la interpretación Geológica – Geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar la existencia de tres capas las cuales presentan continuidad a lo largo del perfil y corresponden a Limo (Superficie), Arcilla limosa, Arcilla (profundidad).

Por su parte la pseudosección presenta tres zonas comprendidas entre los 14 – 16, 16 – 25 y 25 – 41  $\Omega \cdot m$  correspondientes a las litologías mencionadas arriba respectivamente (Figura 15).

## CORTE GEOLÓGICO GEOFÍSICO B - B

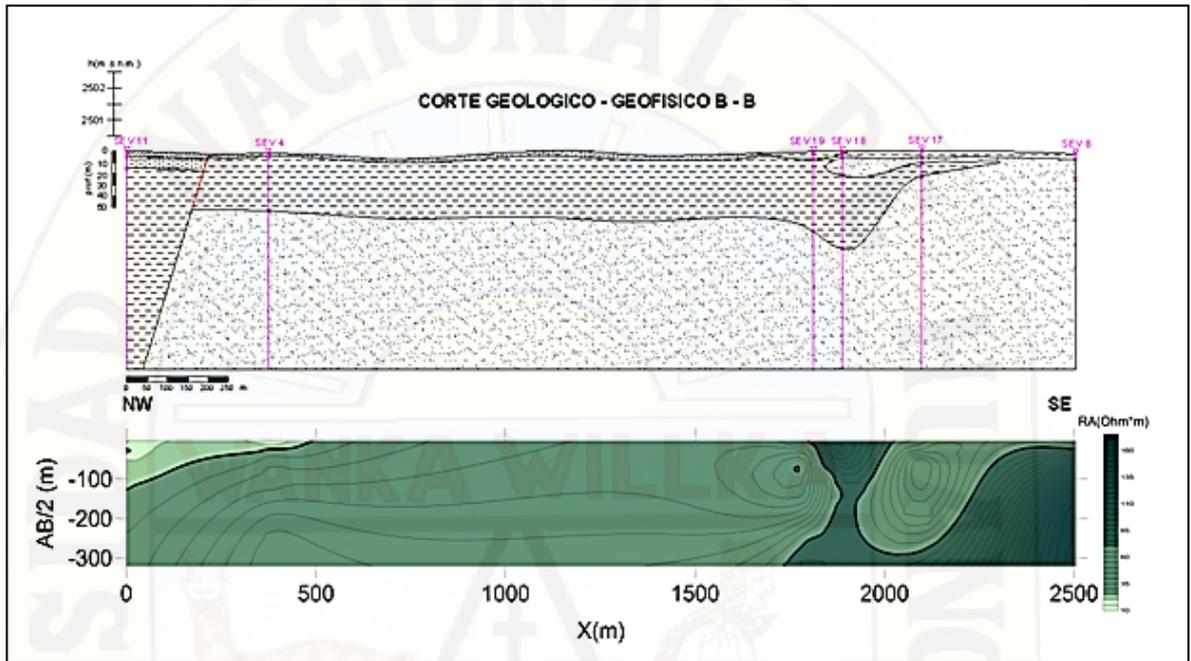


Figura 17. Corte Geológico–Geofísico y pseudosección de resistividad aparente B-B

A partir de la interpretación Geológica – Geofísica de los datos obtenidos encampo se logró identificar la ubicación posible de una Falla entre los Sondeos Eléctricos Verticales 11 y 4. (Figura 17).

Se logró determinar la existencia de tres capas las cuales presentan continuidad a lo largo del perfil desde los SEV 8 hasta el 4 que corresponden a Arcilla Limosa (Superficie), Arcilla y Arenas (profundidad); entre el SEV 4 y 11 se presentan capas de Limo (Superficie), Arcilla limosa, Arcilla (profundidad).

De la misma manera la pseudosección presenta cuatro zonas comprendidas entre los 10 – 16, 16 – 25, 25 – 70 y  $> 70 \Omega \cdot m$ .

## CORTE GEOLÓGICO GEOFÍSICO C –C

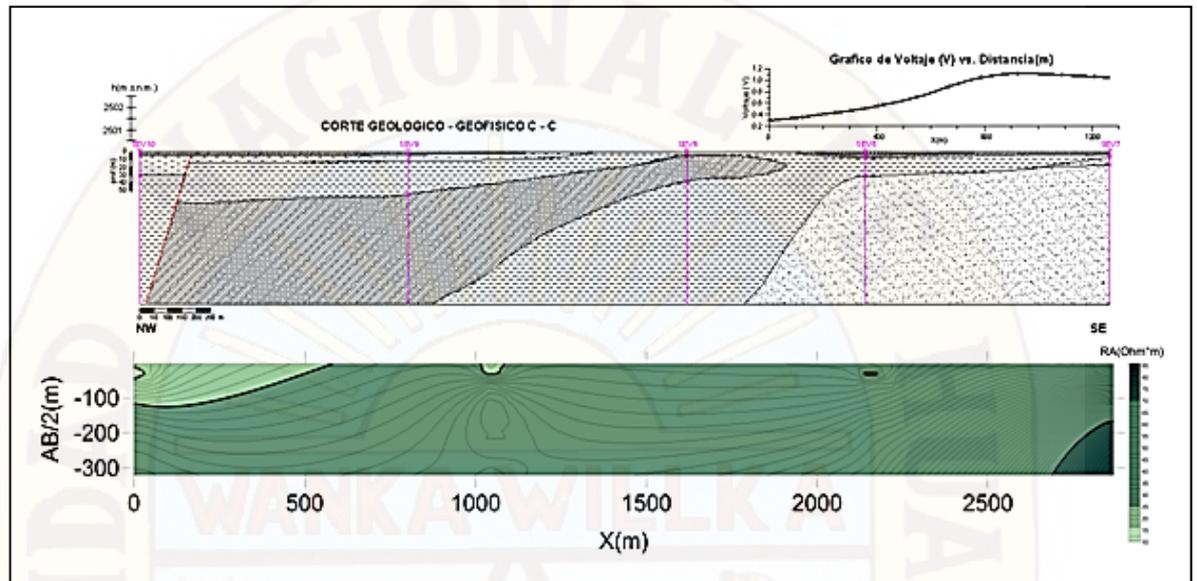


Figura 18. Corte Geológico–Geofísico, pseudosección de resistividad aparente C-C

Mediante la interpretación Geológica – Geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar una Falla ubicada entre los SEV 10 y 9. En el gráfico de X (m) vs. Voltaje (V) se puede observar el contacto entre una capa de voltaje intermedio (Arcilla) y otra con alto voltaje (Arena), marcado claramente por el punto de inflexión. (Figura 18).

De igual manera la pseudosección presenta cuatro zonas comprendidas entre los 10 – 16, 16 – 25, 25 – 70 y 70 - 85  $\Omega \cdot m$ .

## CORTE GEOLÓGICO GEOFÍSICO D –D

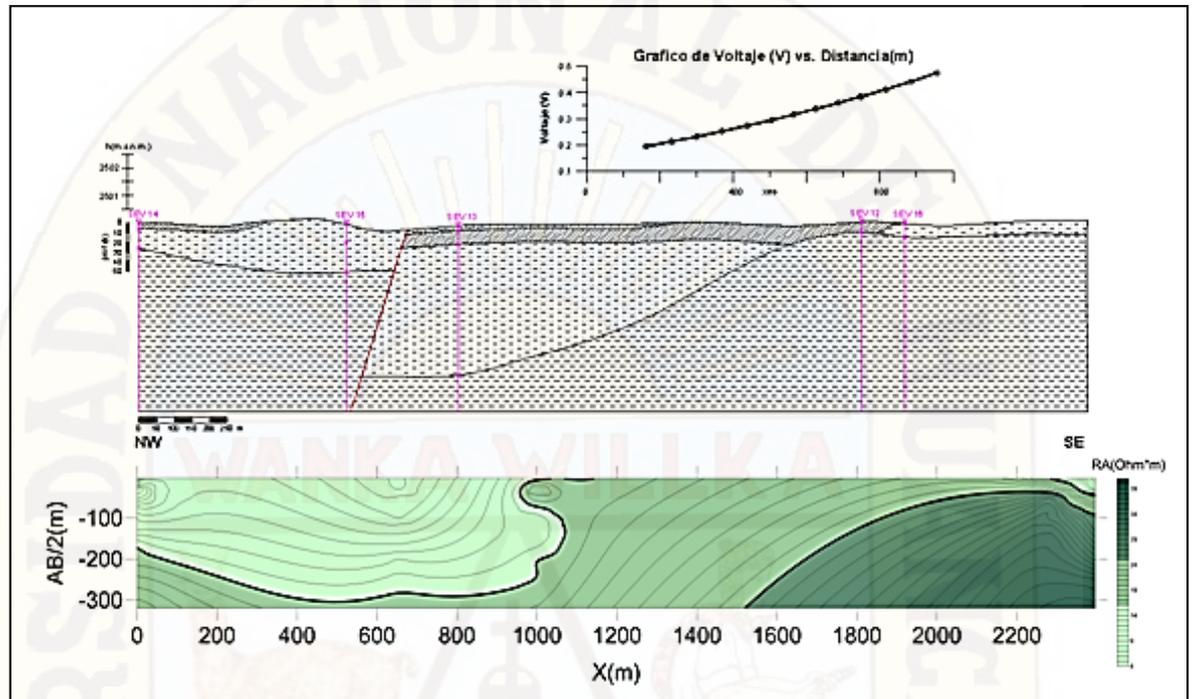


Figura 19. Corte Geológico–Geofísico, pseudosección de resistividad aparente D-D

Por medio de la interpretación Geológica – Geofísica de los datos obtenidos en campo se logró determinar la posible ubicación de una Falla entre los SEV 15 y 13 (Figura 19). En el gráfico de X (m) vs. Voltaje (V) se puede observar el contacto entre una capa de bajo voltaje (Limo) y otra con voltaje intermedio (Arcilla), identificado claramente por el punto de inflexión. La pseudosección presenta tres zonas comprendidas entre los 4 – 16, 16 – 25 y 25 – 40  $\Omega \cdot m$ .

## MODELACIÓN GEOFÍSICA A 10 METROS DE PROFUNDIDAD

En el modelo se observan cuatro zonas, con mayor frecuencia existen dos zonas, en las cuales la resistividad aparente fluctúa entre 5 - 16 y 25 - 70  $\Omega \cdot m$  respectivamente. La zona menos frecuente fue la contemplada entre los valores de 16 – 25 y mayor a 70  $\Omega \cdot m$  (Figura 20).

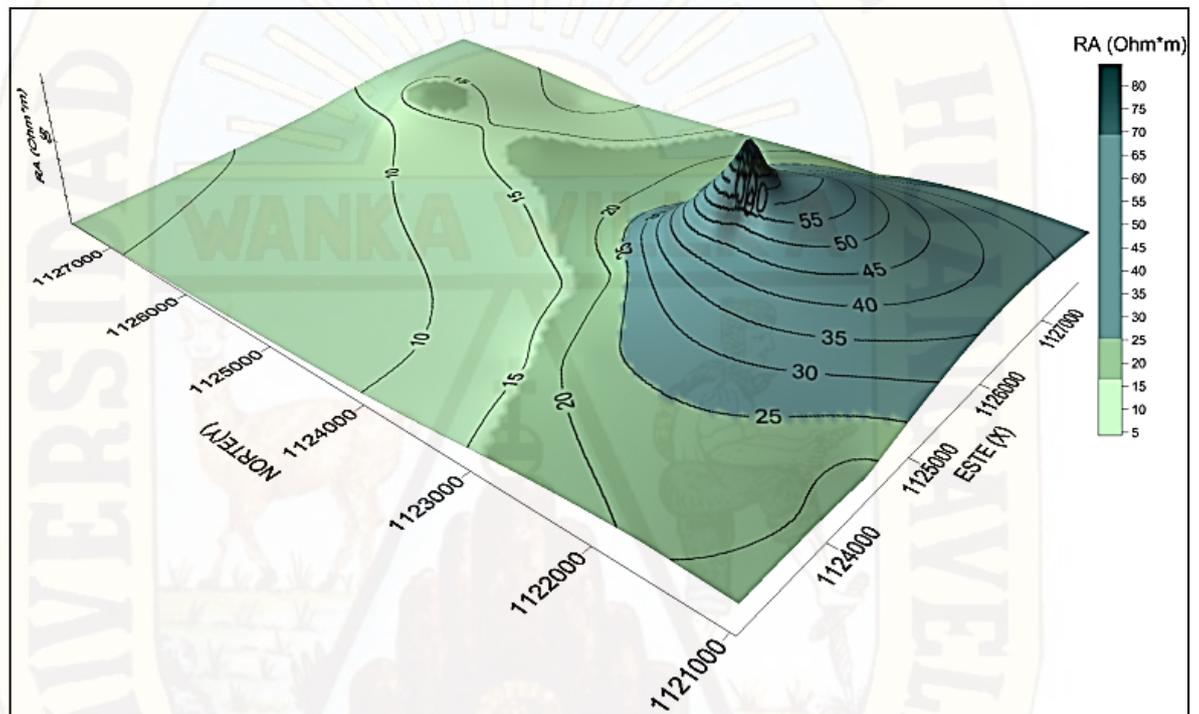


Figura 20. Modelo Geofísico de resistividad aparente a 10 m de profundidad.

## MODELO GEOFÍSICO INTEGRADO

Por último se construyó el modelo Geológico – Geofísico el cual muestra que en superficie la zona de resistividad aparente baja ( $< 16 \Omega \cdot m$ ) asociada a Limo y Arcilla Limosa es frecuente y dicha frecuencia disminuye en profundidad.

Por su parte la zona con resistividades aparentes intermedias y altas ( $> 16 \Omega \cdot m$ ) correspondiente a Arcillas y Arenas son poco frecuentes en superficie y su frecuencia aumenta en profundidad (Figura 21).

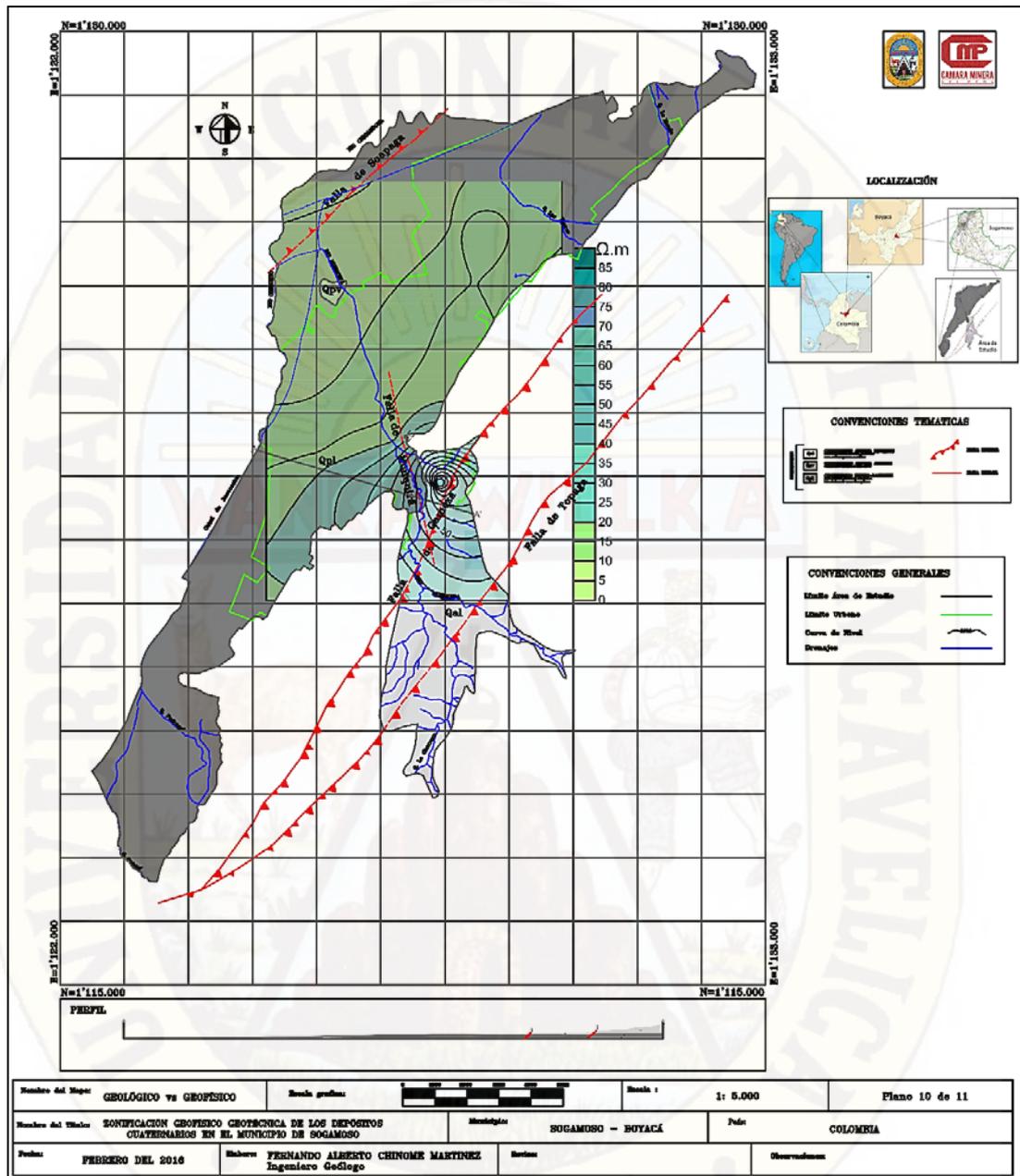


Figura 21. Mapa Geológico Geofísico<sup>39</sup>.

<sup>39</sup> Fernando Alberto Chinome, Geológico Geofísico de los Depósitos Cuaternarios de Sogamoso.

#### 4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Se expone un (1) mapa de Zonificación Geotécnica (ver mapa 5) en el cual se puede observar cada uno de los tipos de suelos presentes en el área de estudio, los sondeos realizados fueron 12 de los cuales se obtuvieron cuatro tipos de suelos según la clasificación U.S.C.S.: Limo de alta plasticidad (MH), Arena Arcillosa (SC), Arcilla de media a baja plasticidad (CL) y Limo de baja a media plasticidad (ML), estos se categorizaron con base a las normas sismoresistentes 2010 de Colombia para la fundación de obras de tipo Geotécnico y su profundidad de cimentación.

Con base en ensayos y pruebas de laboratorio como el ensayo de humedad natural, peso unitario total y seco, granulometría y gradación por tamizado mecánico, límites de Atterberg, consolidación y resistencia a la compresión uniaxial, se obtuvo la clasificación U.S.C.S. para cada uno de los suelos, la carga admisible de fundación (posible) para cada uno de los terrenos a profundidad y resistencia al cortante, con estos datos se pudo verificar la correlación entre los suelos de los Depósitos Cuaternarios y la de Unidades Geológicas que circundan el área de trabajo (ver anexo 1, Geología de Sogamoso<sup>40</sup>), dando hacia la parte oriental de la zona de trabajo suelos de tipo Arena Arcilloso (SC), y hacia la parte noroccidental suelos Limosos (ML y MH) los cuales están afectados por la falla de Soapaga.

Se diseñó la exploración Geofísica en el área de estudio, en la cual se realizaron 19 sondeos eléctricos verticales (SEV) a profundidad de 10 metros en los cuales se pudo analizar el cambio en resistividad debido al comportamiento de los materiales, grado de saturación y densidad; se observan cuatro zonas características de mayor frecuencia y se presentan dos rangos de resistividad aparente los cuales fluctúan entre 5-16 y 25-70  $\Omega$ .m, en el primer rango se encuentra el Cuaternario Aluvial Reciente (Qal) el cual está afectado por la falla de Gámeza y Monquirá, en el otro rango se ubica sobre el Cuaternario Fluvio-Lacustre (Qpl).

---

<sup>40</sup> POT municipio de Sogamoso de 2000

Con base en los intervalos obtenidos el rango que comprende entre 5-16  $\Omega$ .m se caracterizan a los suelos de tipo Arcilloso y Limoso como CL y MH según U.S.C.S, el rango de 25 -70  $\Omega$ .m pertenece a suelos de tipo Arenoso en nuestro caso se encuentra en el suelo tipo SC según U.S.C.S.

Se confecciono una Caracterización Geotécnica (mapa 6) a partir de tres sondeos con barreno manual (numero 8, 11 y 12), con la finalidad de acercarse al comportamiento de estos suelos, allí la profundidad máxima alcanzada con estos tres sondeos fue de 8 metros, en el cual se obtienen cuatro tipos de suelo: Grava Limosa mal gradada (GP-GM), Arcilla inorgánica de plasticidad media (CL), Grava Arcillo-Limosa mal gradada (GC-GM), Arena Arcillosa mal gradada (SC), la correlación da a conocer en la parte superior una capa de Grava la cual pertenece a un relleno (antrópico), seguida de una capa de Arcilla inorgánica de un espesor variable, siendo en el sondeo numero 11 donde se encuentra con un espesor mayor de 6,3 metros; teniendo en cuenta que las profundidades de cimentación de las estructuras civiles son relativamente someras en la ciudad de Sogamoso se puede conocer a que profundidad se puede hacer un diseño de una obra ingenieril.

Tomando como referencia el mapa de Zonificación Geotécnica y los datos obtenidos del análisis de la información obtenida en laboratorio, se diseñó el mapa de Carga Admisible (mapa 7), el cual representa los valores más altos entre 23 a 34 Ton/m<sup>2</sup>; hacia la zona donde se encuentra el suelo de tipo Areno-Arcilloso (SC) se localiza una zona intermedia que presenta valores de carga admisible entre 17-24 Ton/m<sup>2</sup> correspondiente a suelos de tipo Arcillosos de media a baja plasticidad y Limos de alta plasticidad y por ultimo una zona de bajos valores comprendidos entre 4 a 16 Ton/m<sup>2</sup> que corresponden a suelos Limosos de baja a media plasticidad y a suelos Arcillosos de media a baja plasticidad.

Con los datos de laboratorio se obtuvo los valores de Resistencia a la Compresión Uniaxial con el cual se modeló un mapa que lleva este nombre (mapa 8), arrojando resultados cuantitativos los cuales tomando como referencia el mapa de Zonificación Geotécnica se obtuvo intervalos así: 0,59 a 2,5 Ton/m<sup>2</sup> bajo ya que se encuentran suelos de tipo Arcilloso de media a baja plasticidad y Limoso de alta plasticidad, 2,5 a 4 Ton/m<sup>2</sup> representa suelos tipo Arcilloso de media a baja plasticidad y por último de 4 a 7,5 Ton/m<sup>2</sup> suelos correspondientes a litología de Areno-Arcillosos.

Al observar el mapa Geológico Geofísico (ver mapa 10) y los cortes Geológico Geofísicos del capítulo de Geofísica se puede interpretar que mediante la Geoeléctrica diseñada se actualizó y se verificó la Geología Estructural de los Depósitos Cuaternarios así como la correlación entre la Geología y la Geofísica.

El mapa de Zonificación Geofísico-Geotécnica (mapa 11), se diseñó tomando como base el mapa de Zonificación Geotécnica y solapándole o superponiendo el mapa Geofísico del cual se obtuvo la comparación y correlación entre los datos Geofísicos y Geotécnicos, mostrando que la zona correspondiente a los suelos de tipo Areno-Arcilloso (SC) presentan los valores más altos de resistividad aparente, los suelos clasificados como Arcillosos de media a baja plasticidad (CL) presentan valores intermedios de resistividad aparente y los suelos Limosos se encuentran con los valores más bajos de resistividad aparente, lo cual demuestra que gracias a la Geotecnia, Geofísica y Geología los suelos de tipo SC necesitan un menor tratamiento para la construcción de obras de tipo ingenieril, pues las profundidades de cimentación serán más someras que las de los suelos de tipo CL, MH y ML.

## CONCLUSIONES

Al tener un mapa de zonificación Geofísica Geotécnica el desarrollo urbanístico y la sociedad del municipio de Sogamoso puede plantear y tomar decisión y opciones para la construcción de estructuras civiles que beneficien tanto a la comunidad como al crecimiento del municipio de forma más estructurada y con responsabilidad social, ya que podrán tomarse las precauciones necesario para evitar incidentes antrópicos y naturales.

El área de estudio se encuentra localizada sobre Depósitos de origen Fluvio Lacustre, Aluvial antiguo y Aluvial reciente. Además la zona de interés forma parte de la cobertura plegada de la cordillera oriental. Tectónicamente se encuentra en una zona plegada y afectada por una serie de fallas con una orientación NE-SW con presencia de actividad Neotectónica.

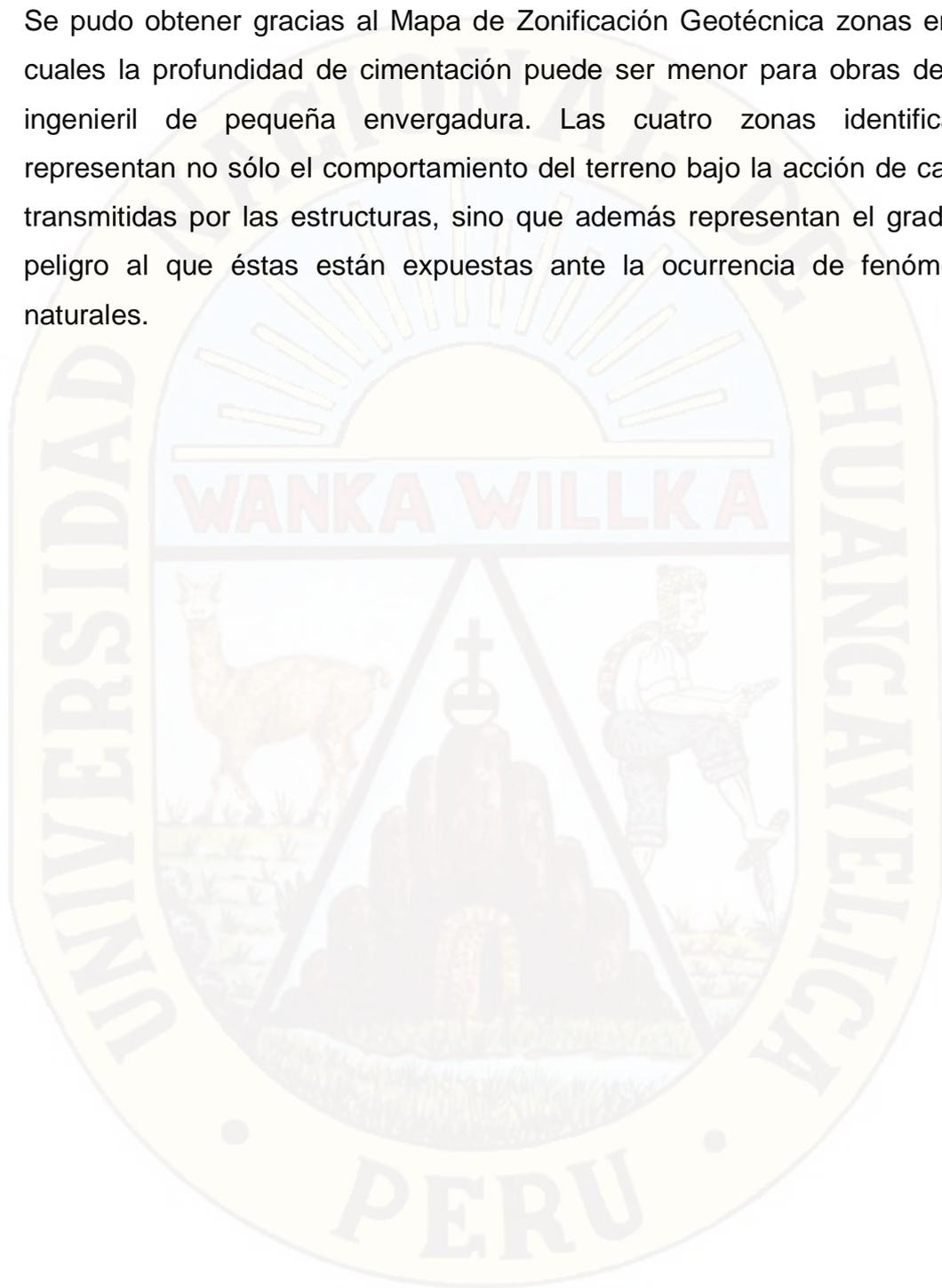
La aplicación de métodos Geofísicos (Geoeléctrica) muestra una tendencia al aumento de las resistividades en sentido W – E y a profundidad de 10 metros (máximo del estudio). Este comportamiento está relacionado con el tipo de suelo, grado de saturación y densidad de forma directa.

La interpretación y análisis de los datos obtenidos permitió evaluar las características Litológicas de los Depósitos Cuaternarios y conocer parámetros Geofísicos de gran interés, los cuales se correlacionaron con información a nivel Geológico y Geotécnico.

La realización de los sondeos eléctricos verticales (SEV) permitió conocer de manera detallada la Geología del subsuelo cercano a los 213 m, lo cual estuvo dado por el AB máximo de 640 metros.

Se confecciono una caracterización Geotécnica para mostrar la disposición del terreno hacia profundidad, en el cual se integran las características Geotécnicas presentes en el medio.

Se pudo obtener gracias al Mapa de Zonificación Geotécnica zonas en las cuales la profundidad de cimentación puede ser menor para obras de tipo ingenieril de pequeña envergadura. Las cuatro zonas identificadas representan no sólo el comportamiento del terreno bajo la acción de cargas transmitidas por las estructuras, sino que además representan el grado de peligro al que éstas están expuestas ante la ocurrencia de fenómenos naturales.



## RECOMENDACIONES

Es necesario tomar en cuenta estas características para orientar el crecimiento de la ciudad y reglamentar los tipos de estructuras que se pueden construir en las áreas apropiadas de las zonas de mayor peligro y la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio.

Efectuar sondeos con barreno manual (SPT ó DCPT) con una distribución sistemática, con la finalidad de realizar una Caracterización Geotécnica detallada, ya que con esta se podrá aproximar a la realidad del comportamiento dinámico de los suelos.

Las zonas Geotécnicas presentadas en este estudio representan la caracterización del terreno de fundación del área de estudio en la ciudad de Sogamoso. En consecuencia, su utilización está orientada a la planificación urbana y la construcción de viviendas. Para la construcción de edificaciones de mayor importancia se recomienda hacer un estudio de suelos específico, para garantizar la seguridad de la estructura.

Realizar perforaciones con el fin de solapar y corroborar la información Geológica y Geofísica obtenida, así como para relacionar otros métodos Geofísicos como la magnetometría y la sísmica de refracción con el fin de cartografiar unidades Geoestructurales como la falla de Soapaga.

Plantear ensayos de laboratorio tipo dinámico para obtener parámetros concretos respecto al comportamiento de los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal del municipio de Sogamoso, 2004, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Sogamoso, Colombia.
- Italo Reyes Chitaro, 1984, Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz de Rio (Departamento de Boyacá), Colombia.
- Joseph E. Bowles, 1981, manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil, McGraw-Hill, México.
- Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, 2005, Mecánica de suelos tomo 1 fundamentos de la mecánica de suelos, editorial Limusa, México.
- Fredy Alexander Fonseca Benítez, 2012, Modelamiento geológico-geofísica y análisis geoestadístico en sectores de Boyacá, Colombia, Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.
- Dobrin y Milton, 1975, Introducción a la prospección geofísica aplicada, Ed ITGE.
- Grants F.S. y West G.F., 1965, Applyes geophisic, Ed. Magrofi.

## **Anexos**

- A. Mapa Geológico del municipio de Sogamoso Boyacá. POT, 2004.
- B. Mapa urbano de Sogamoso.
- C. Mapa Topográfico.
- D. Mapa Geológico del área de trabajo.
- E. Mapa de Localización de SPT y SEV.
- F. Mapa Geotécnico.
- G. Corte Geotécnico.
- H. Mapa Geotécnico vs Carga Admisible.
- I. Mapa Geotécnico vs Resistencia a la Compresión.
- J. Mapa Geofísico vs Carga Admisible.
- K. Mapa Geológico Geofísico.
- L. Mapa Geofísico Geotécnico.

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO: ZONIFICACIÓN GEOFÍSICA – GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA.**

Tabla 28.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INSTRUMENTO	MÉTODO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente			Población
¿En qué medida influirá la Zonificación Geofísica Geotécnica de los depósitos Cuaternarios para el desarrollo urbanístico, social y ambiental del municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá, Colombia?	Realizar la zonificación Geofísica - Geotécnica de los depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso del departamento de Boyacá - Colombia, implementando métodos, procesamiento e interpretación de datos Geofísicos y Geotécnicos.	La zonificación Geofísica Geotécnica de los depósitos Cuaternarios en el municipio de Sogamoso – Boyacá, Colombia influye directamente en el crecimiento que se le dará a la ciudad, para lo cual se deben conocer el comportamiento del subsuelo.	Geología	Cartografía, Geología, Topografía, Dispositivo Schlumberger y Barreno Manual.	El método a aplicar en el desarrollo el proyecto es descriptivo, ya que allí se podrá zonificar y delimitar áreas con propiedades similares tanto físicas como dinámicas de los suelos sobre el cual se encuentra construida la ciudad de Sogamoso. Los resultados arrojarán la competencia de estos suelos para diseños estructurales y cumpliendo de las normas sismoresistentes 2010.	Área urbana del municipio de Sogamoso, Departamento de Boyacá, Colombia.
Problemas Especifico	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	Variable dependiente			Muestra
¿Cuál será el beneficio de la comunidad Sogamoseña al conocer con mayor detalle las propiedades Físicas y Geotécnicas de los suelos pertenecientes al área urbana del Municipio?	Desarrollar el trabajo de campo en el ámbito Geológico, Geotécnico y Geofísico empleando técnicas y métodos (Ensayo de Penetración Estándar y el Sondeo Eléctrico Vertical) para obtener los parámetros dinámicos y composición Litológica del subsuelo.	La correlación que se puede hacer entre la Carga Admisible y la Capacidad Portante de los suelos en Sogamoso da un estimativo al diseño estructural y la necesidad que requiere en las obras civiles.	Zonificación Geofísica.			Depositos Cuaternarios.
¿Por qué le municipio de Sogamoso al conocer las propiedades Geotécnicas y Físicas de los suelos podrá tener un mejor desarrollo urbanístico factible que beneficie a la sociedad y al medio ambiente?	Procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en campo para el desarrollo del Mapa Geofísico – Geotécnico de los depósitos Cuaternarios.	El comportamiento Litológico y estructural mediante trabajos Geofísicos entregara a la ciudad el cómo aplicar correctamente las normas sismoresistentes NSR 2010.	Zonificación Geotécnica.			
	Plasmar los resultados en un artículo de alguna revista científica en Colombia.	Se podrá llevar a cabo una planificación urbana adecuada y acorde a las condiciones Geológico Geofísico Geotécnicas.				

Matriz de consistencia.

## GLOSARIO

**Arcilla:** material de suelo o roca constituido por agregados de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa.

**Arenisca:** roca sedimentaria que contiene espacios intersticiales entre sus granos.

**Capa:** nivel de cambio en composición litológica del suelo a profundidad.

**Caracterización:** integración de la información para generar un modelo con características similares.

**Corte Geológico:** reconstrucción en profundidad de la estructura geológica de una zona.

**Cuaternario:** periodo Geológico de 2.58 millones de años caracterizado por el fin de la glaciación reciente.

**Deposito:** lugar donde se acumulan sedimentos o materia después de haber estado en suspensión en un líquido.

**Dromocronas:** registro de la primera llegada de la onda en función del tiempo y la profundidad.

**Electrodo:** Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.

**Energizador:** fuente de energía para crear la corriente eléctrica.

**Falla:** es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven bloques rocosos que son separados por ella.

**Formación:** unidad Litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes que las diferencian de las adyacentes.

**Geofísica:** Parte de la geología que estudia la estructura y composición de la Tierra y los agentes físicos que la modifican.

**Geología:** Ciencia que estudia el origen, formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura.

**Geología Local:** Conjunto de características del subsuelo o de la corteza terrestre de una zona detallada.

**Geotecnia:** Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, para el asiento de todo tipo de construcciones y obras públicas.

**Granulometría:** ensayo de laboratorio de suelos que sirve para poder determinar de manera adecuada la distribución de las partículas de un suelo.

**Humedad natural:** es una propiedad física del suelo sirve para determinar el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción por la cantidad de agua que contienen.

**Isohomas:** curva que une vértices que representan la misma resistividad aparente en un gráfico de profundidad contra energía.

**Limo:** es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento.

**Nivel de cimentación:** profundidad mínima adecuada para transmitir cargas o elementos apoyados en el suelo.

**Nivel freático:** nivel superior de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

**Propiedades Geomecánicas:** propiedades físicas que poseen los suelos sobre los cuales se desea hacer un diseño estructural.

**Pseudosección:** es una sección con curvas de isorresistividad que reflejan cualitativamente la variación espacial (2D) de resistividad aparente en un perfil investigado.

**Relación de vacíos:** es el volumen de suelo no ocupado por partículas sólidas.

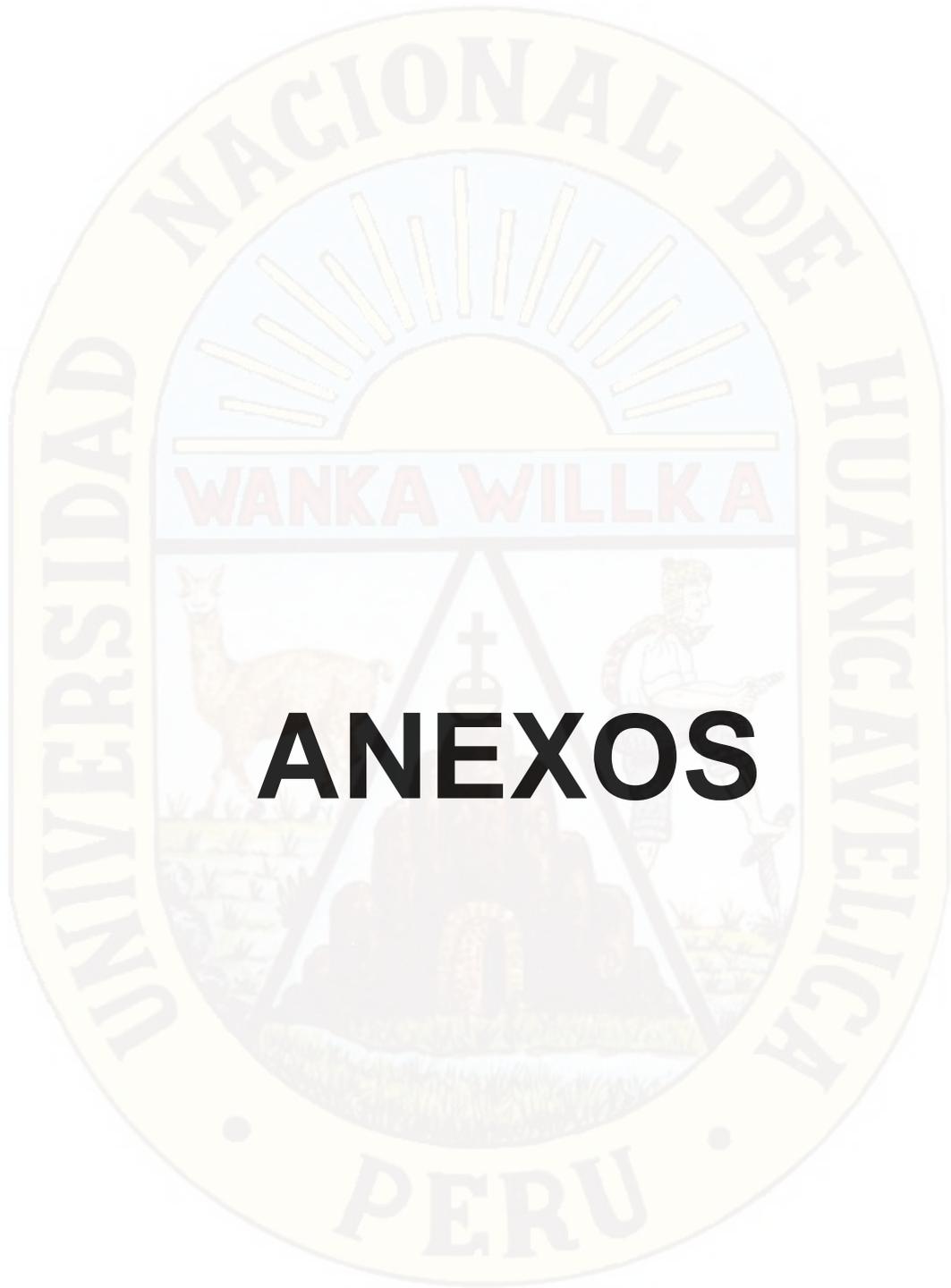
**Resistencia a la compresión:** Capacidad máxima de carga que soporta un material antes de llegar a su límite de ruptura.

**Resistivímetro:** instrumento para medir los campos de potencial eléctrico del subsuelo.

**Sondeo Eléctrico Vertical:** técnica geofísica para distinguir o conocer las formaciones geológicas que se encuentran en profundidades con una distribución determinada.

**Sondeo Geotécnico:** técnica de reconocimiento mecánico del terreno llevada a cabo para conocer sus características del subsuelo.

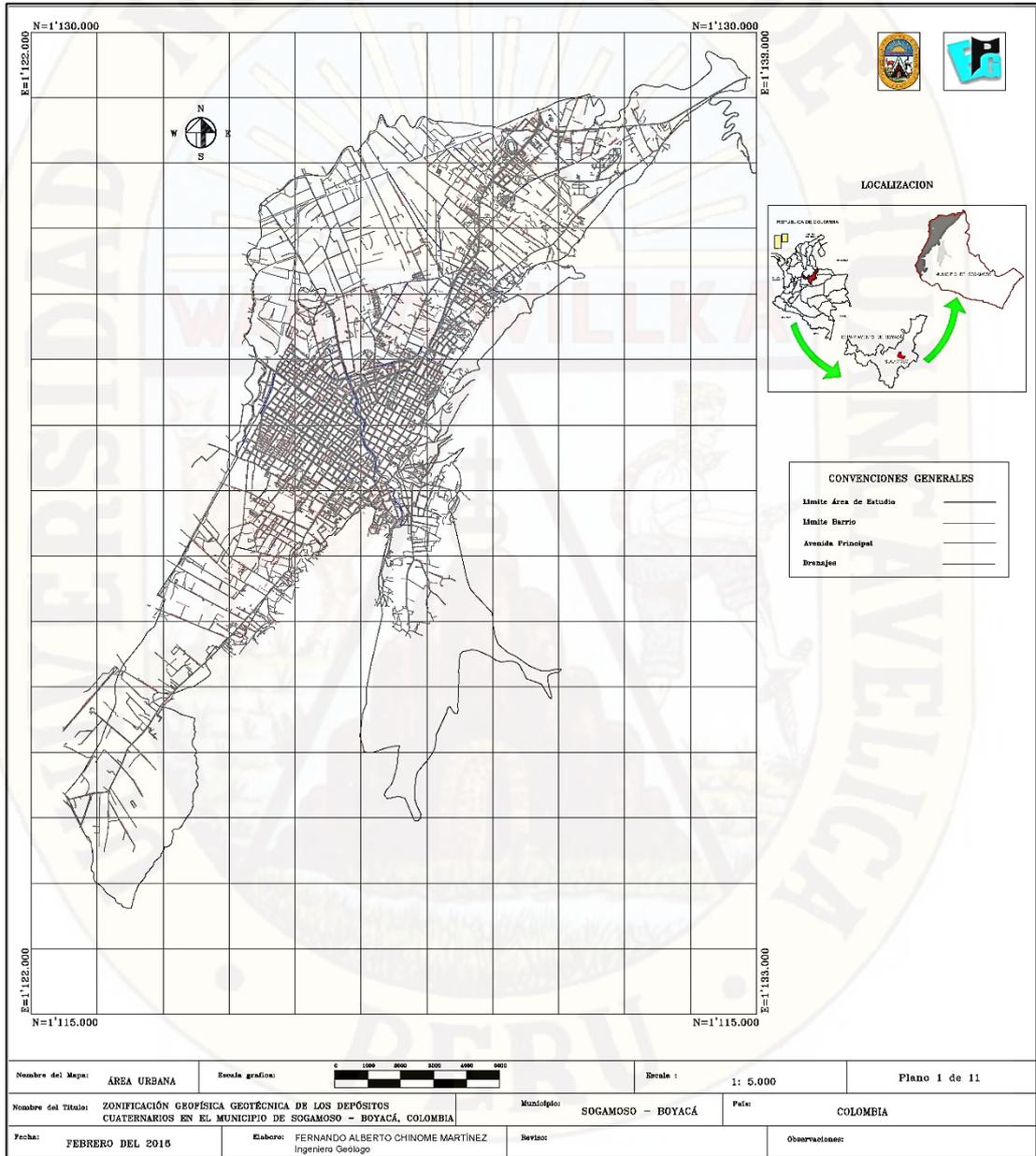
**Tectónica:** Parte de la geología que estudia los plegamientos, deformaciones y fallas de la corteza terrestre y las fuerzas internas que los originan.



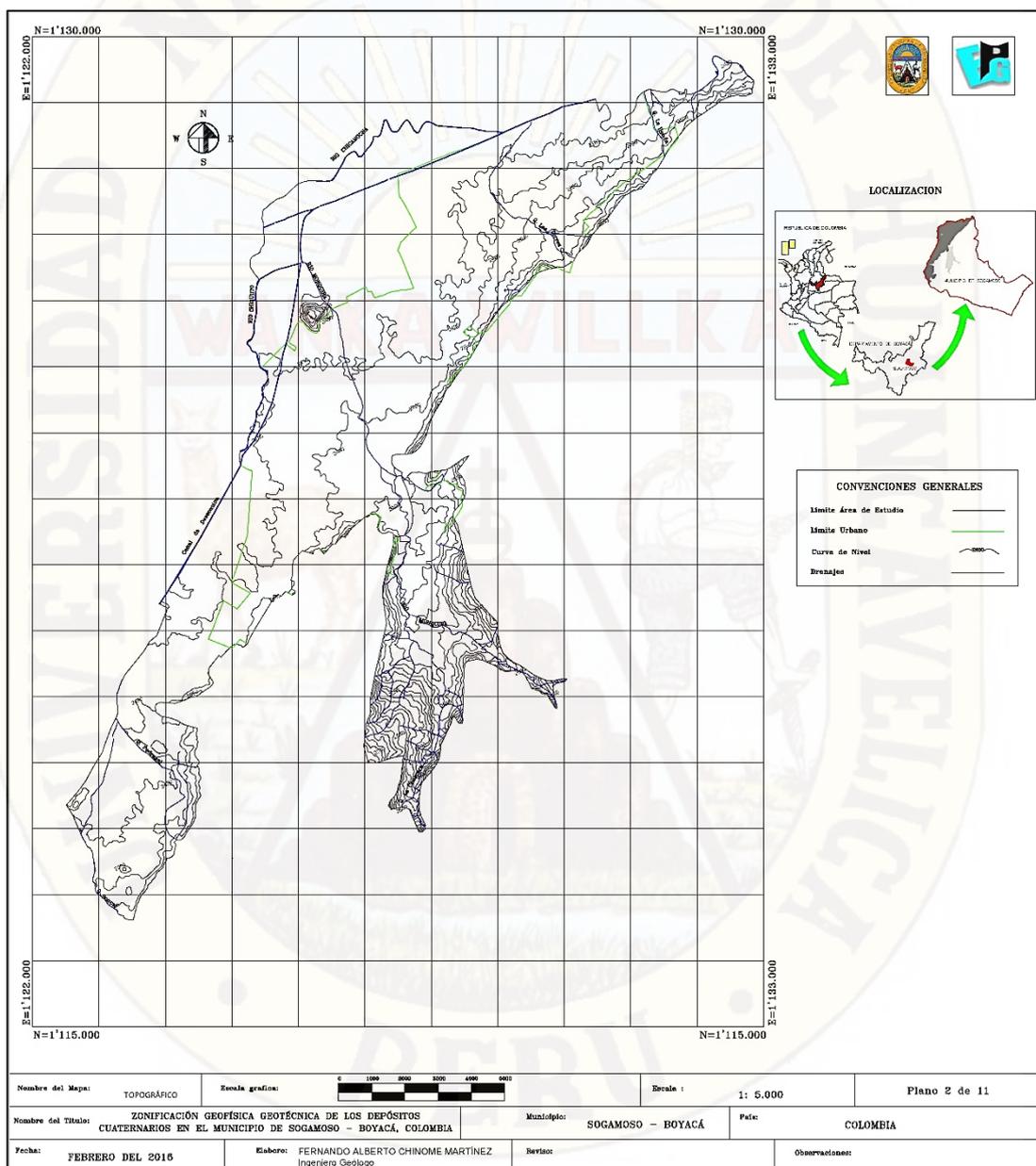
# ANEXOS



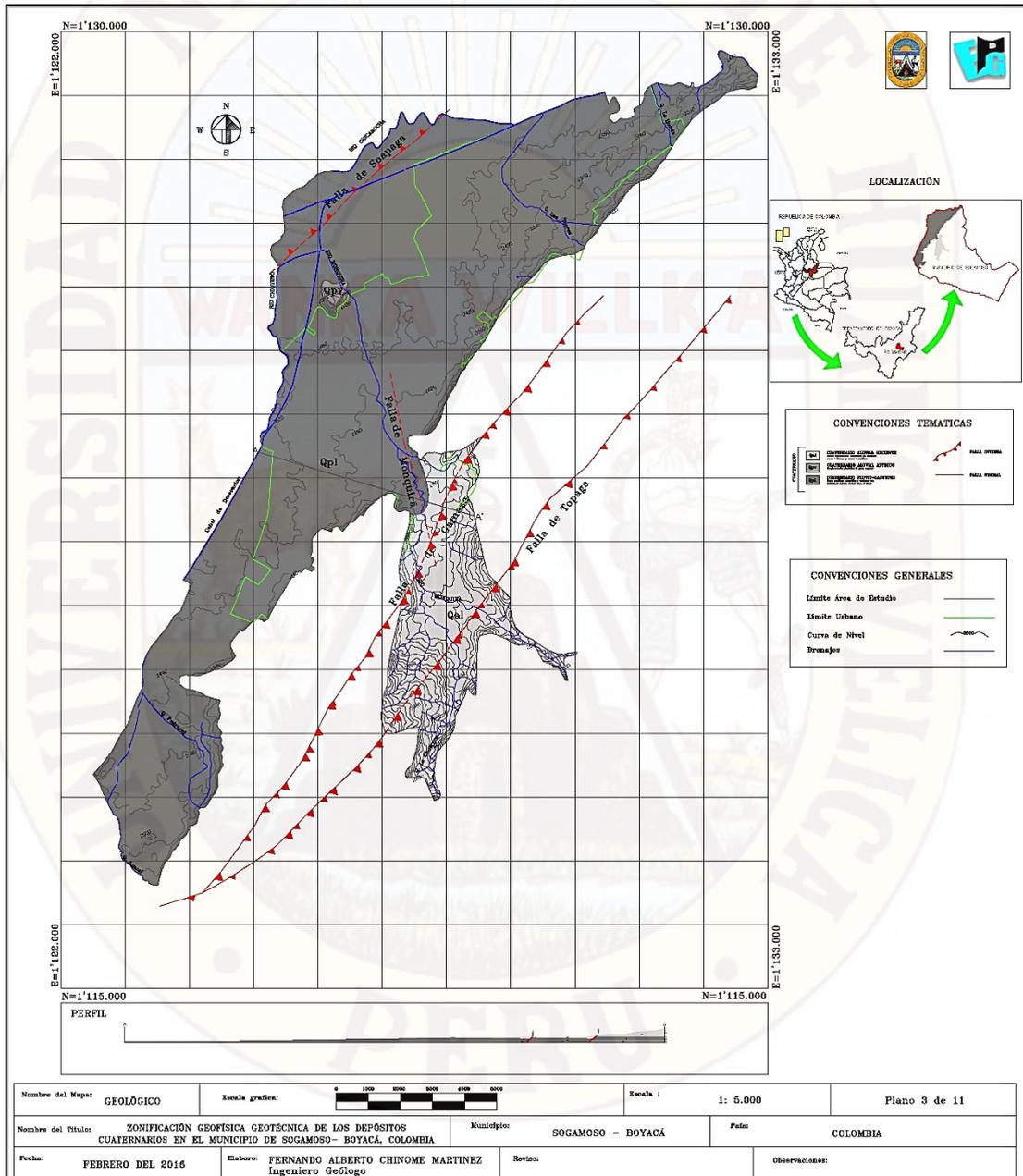
## ANEXO 1. MAPA URBANO DE SOGAMOSO.



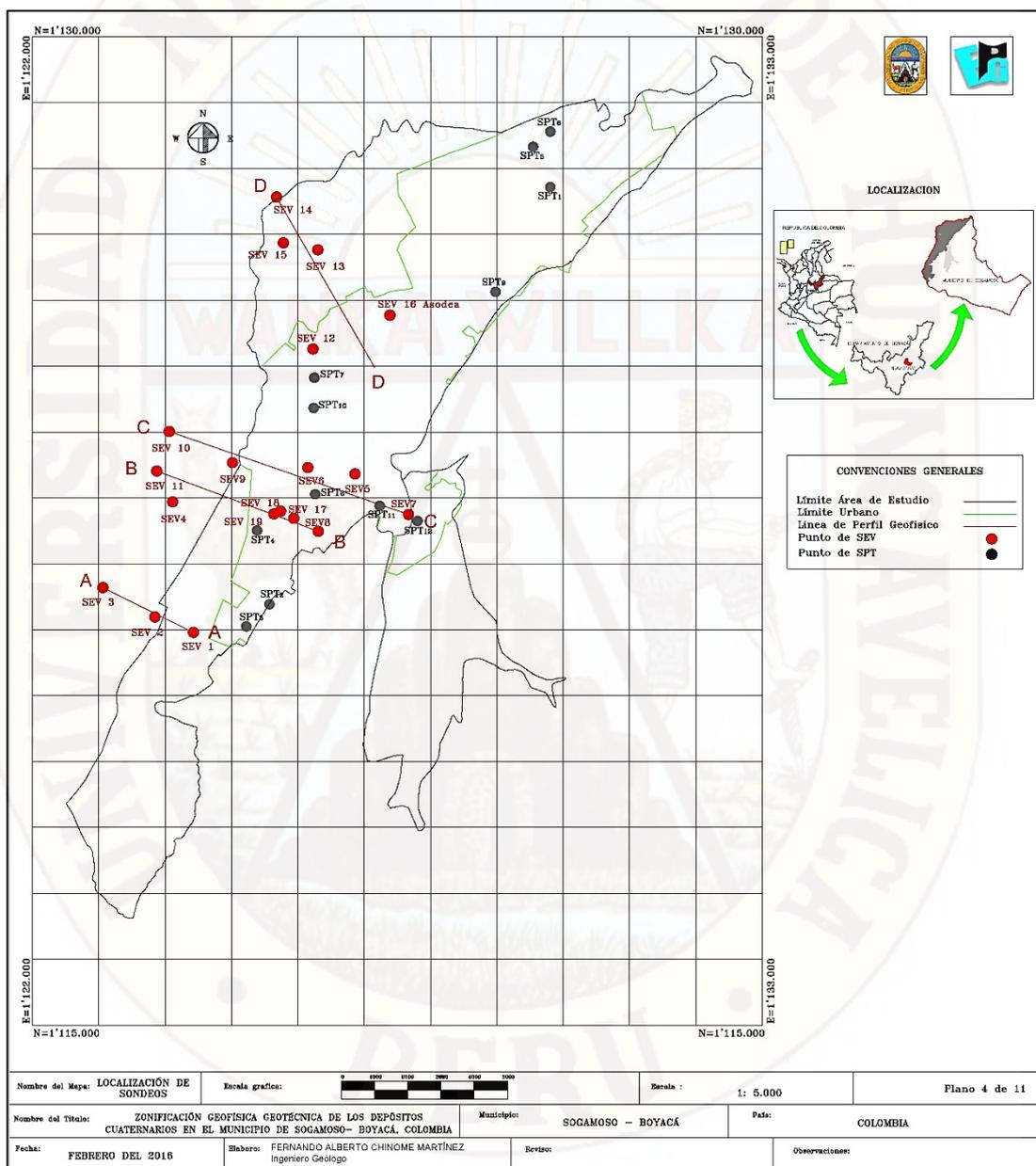
## ANEXO 2. MAPA TOPOGRÁFICO.



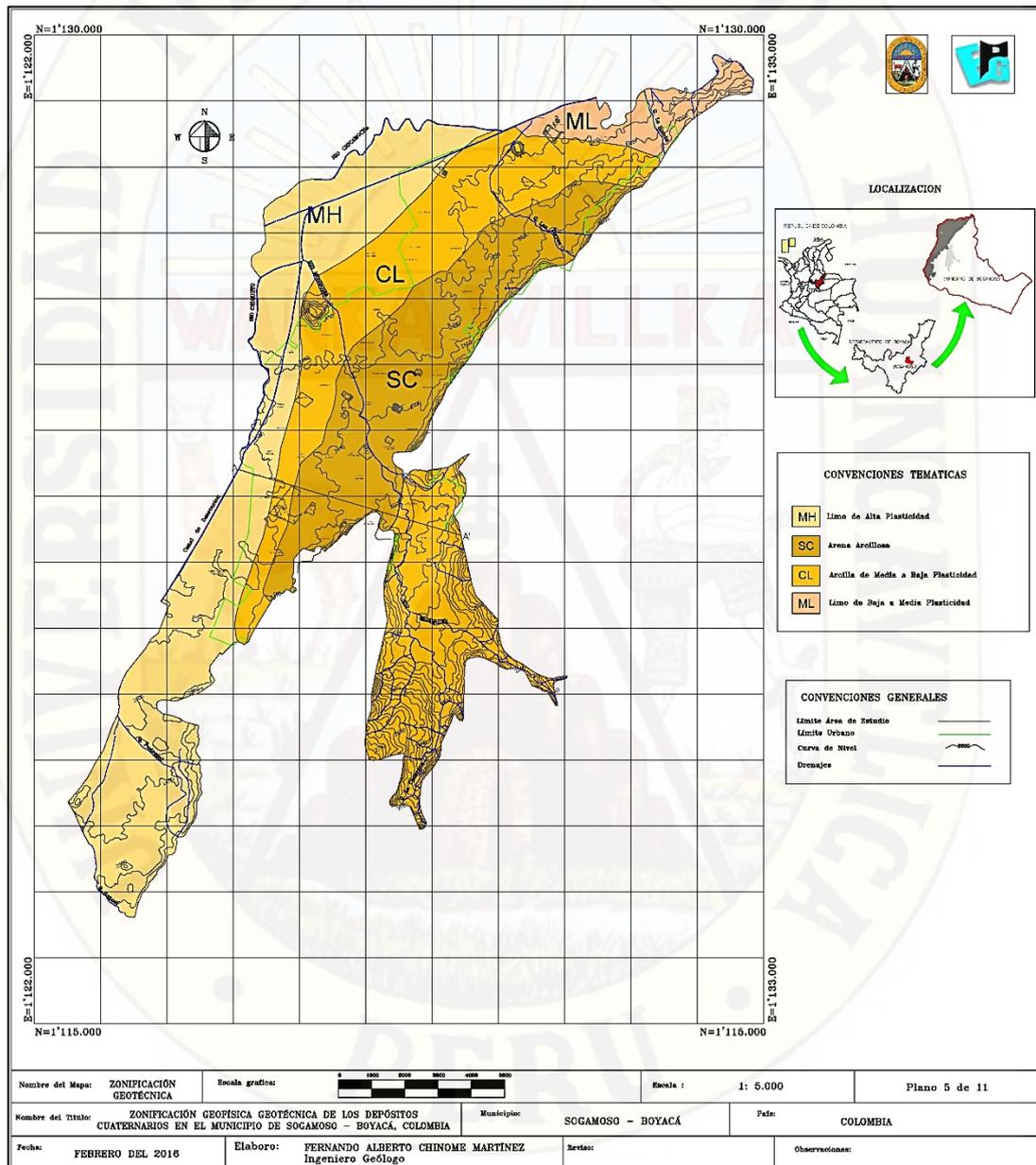
### ANEXO 3. MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE TRABAJO.



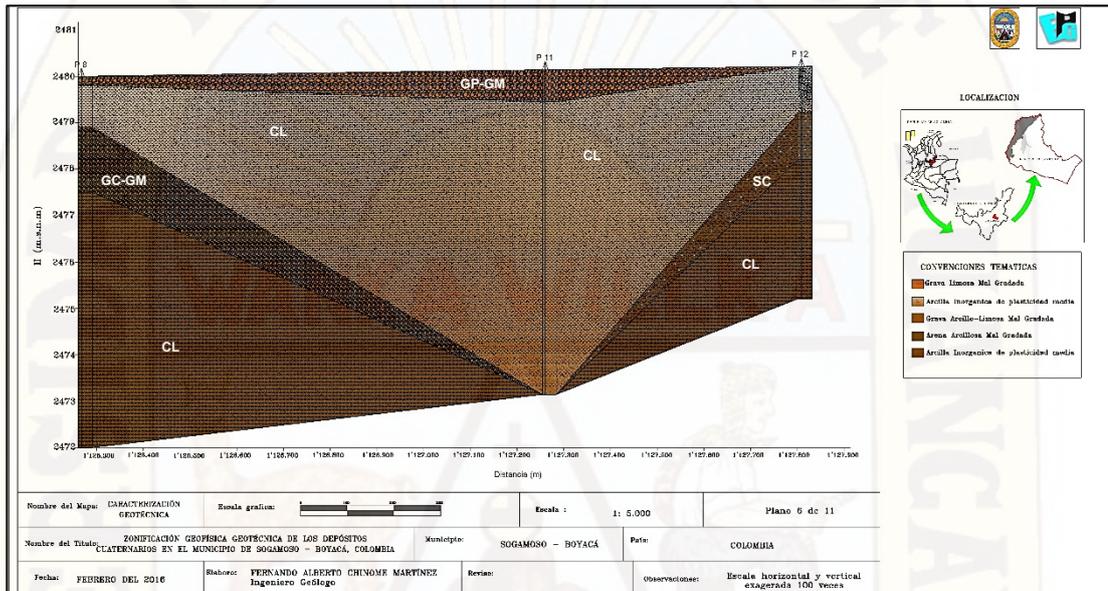
## ANEXO 4. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE SPT Y SEV.



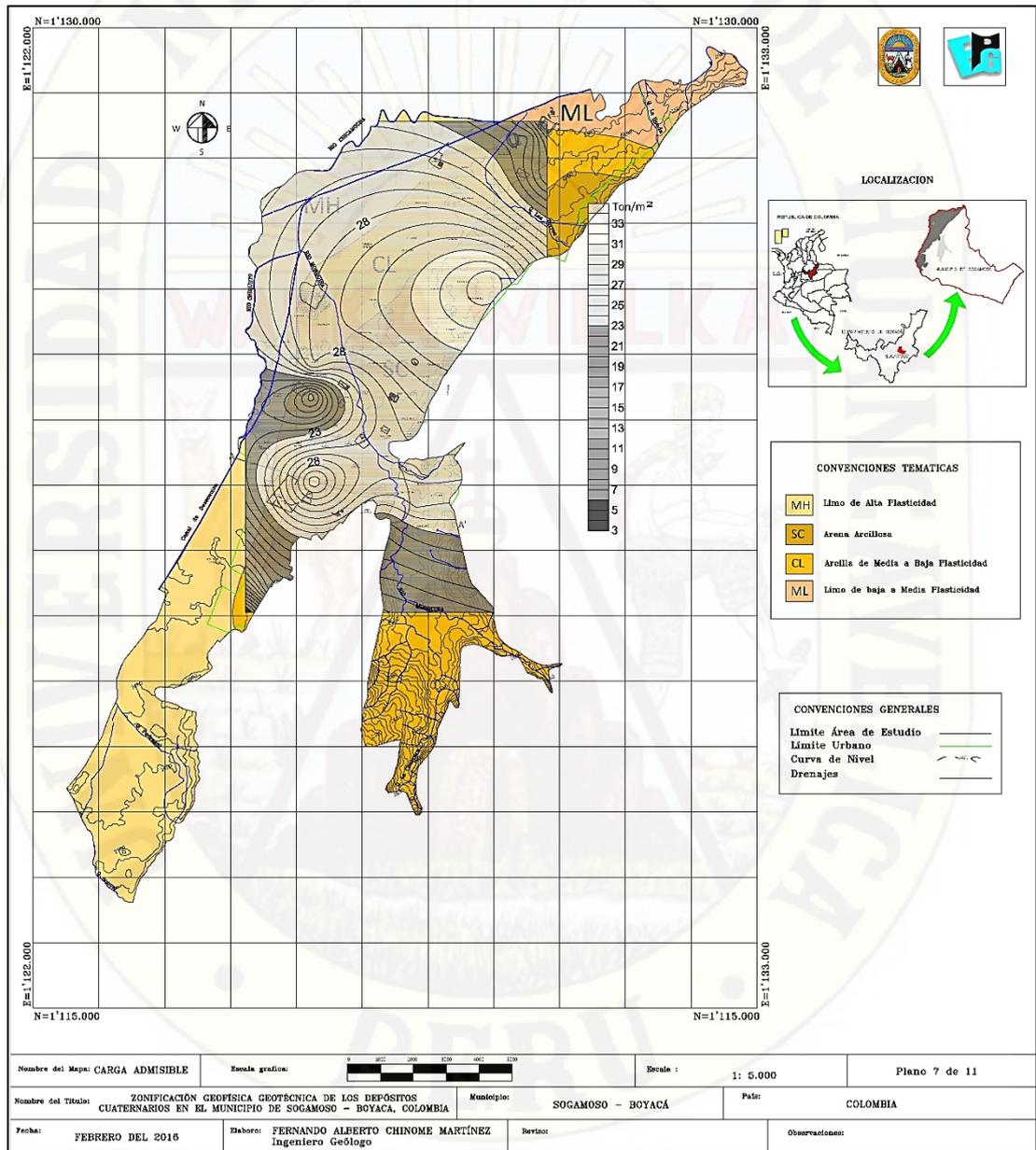
## ANEXO 5. MAPA GEOTÉCNICO.



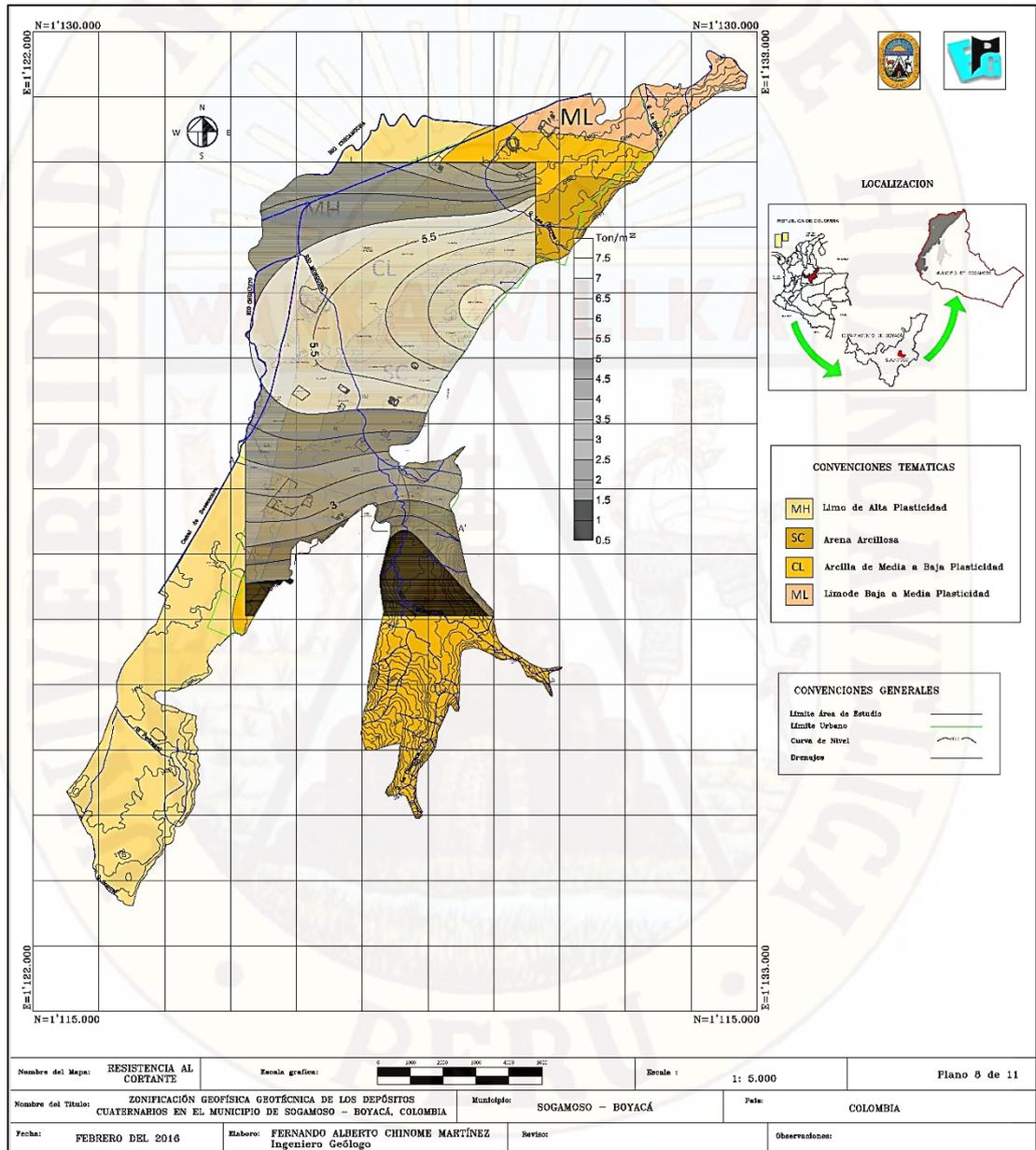
## ANEXO 6. CORTE GEOTÉCNICO.



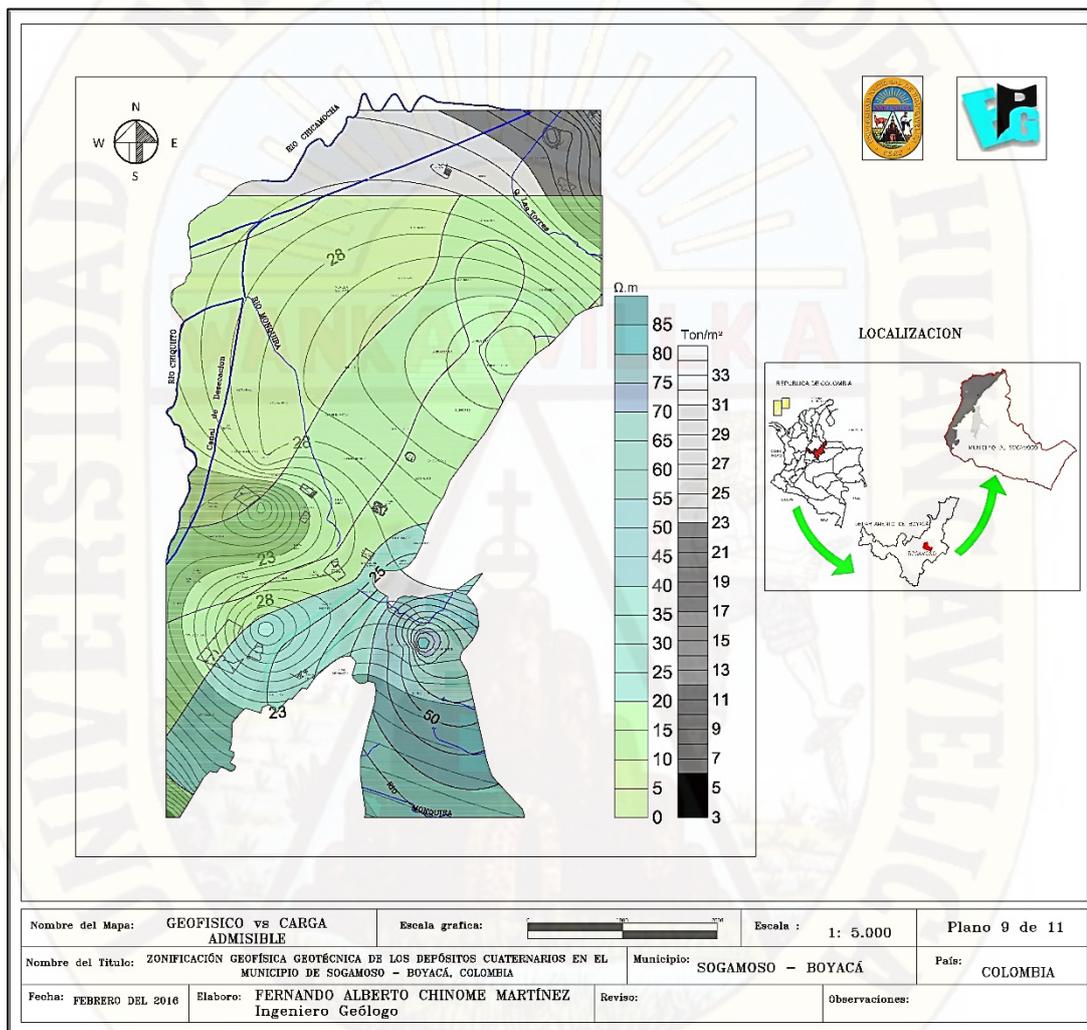
## ANEXO 7. MAPA GEOTÉCNICO VS CARGA ADMISIBLE.



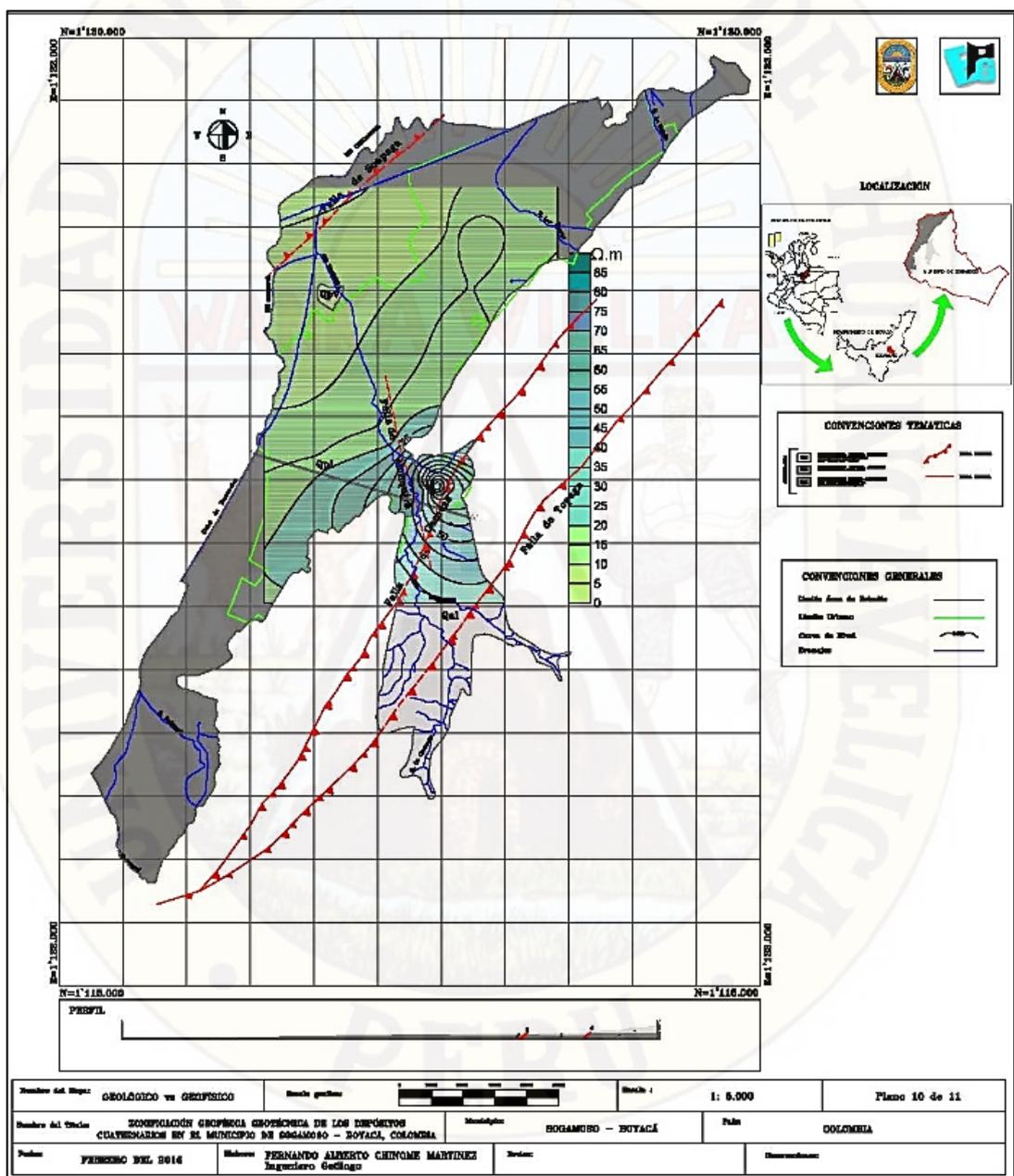
## ANEXO 8. MAPA GEOTÉCNICO VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.



## ANEXO 9. MAPA GEOFÍSICO VS CARGA ADMISIBLE.



## ANEXO 10. MAPA GEOLÓGICO GEOFÍSICO.



## ANEXO 11. MAPA GEOFÍSICO GEOTÉCNICO.

