

Auxiliar de ingeniería civil para la ejecución y análisis de estudios geotécnicos en la empresa

SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.

Nicolás Alfonso Ramírez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Nelson Deiwer Baza Solares

Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía constante, mi refugio en los momentos de dificultad y la luz que ha iluminado cada paso en este camino. Gracias por darme la fortaleza, la sabiduría y la paciencia para superar cada reto. Sin tu presencia en mi vida, nada de esto habría sido posible.

A mi mamá, con todo mi amor y admiración, gracias por tu entrega incondicional, por tus sacrificios silenciosos y por enseñarme a luchar con el corazón. Eres mi mayor inspiración y la razón de muchos de mis logros.

A mi padrastro, a quien considero como un verdadero padre, gracias por tu apoyo firme y constante, por tu ejemplo y por el cariño que siempre me has brindado. Tu presencia ha significado mucho más de lo que las palabras pueden expresar.

A mi hermano, mi compañero de vida, gracias por tu alegría, tu apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado. Compartir este camino contigo ha sido un regalo invaluable.

A toda mi familia quienes, con su cariño, sus palabras de aliento y su confianza en mí, me han dado fuerza y motivación para seguir adelante. Gracias por estar presentes en cada etapa de este proceso.

Y a mí mismo, por no rendirme, por levantarme cada vez que caí, por creer en mi capacidad incluso cuando las dudas se asomaban. Este logro es también una muestra de mi compromiso, mi esfuerzo y mi pasión. Me enorgullece haber llegado hasta aquí.

A todos ustedes, gracias por creer en mí. Este logro es también de ustedes.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría para afrontar cada reto, y por acompañarme en cada paso de este camino.

A mi madre Olga Lucía, por ser mi mayor ejemplo de entrega, amor y valentía; a Néstor Ramírez, quien ha sido como un padre y un pilar fundamental en mi vida; y a mi hermano Santiago Ramírez, por su cariño, compañía y alegría constante. Gracias por ser mi motor y mi refugio en los momentos difíciles.

A mis amigos Sebastián Martínez, Willer Ochoa, Wilmar Henao y Anderson Amaya, por su apoyo incondicional, sus palabras de ánimo y su presencia sincera en esta etapa tan importante.

A todos mis familiares, por estar siempre, aún en la distancia, con una palabra de aliento y una muestra de fe en mí.

A mi director, el profesor Nelson Baza, por su orientación, paciencia y compromiso, y a la empresa SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S., por brindarme la oportunidad de aprender y desarrollarme profesionalmente.

A la Universidad Industrial de Santander, por abrirme las puertas al conocimiento, retarme a crecer y formarme con excelencia.

Y finalmente, a todos aquellos que directa o indirectamente aportaron en la realización de este trabajo: docentes, compañeros, personal técnico, y quienes, con un gesto amable o una palabra de aliento, dejaron huella en este logro. A todos, ¡gracias de corazón!

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General.....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco de referencia	14
2.1 Marco contextual	14
2.2 Marco legal	14
2.2.1. NSR-10 (2010):.....	14
2.2.2. INVIAS (2013, Sección 100):.....	15
2.2.3. ASTM International:.....	15
2.2.4. AASHTO:	15
2.2.5 ISO 9001:2015:.....	15
2.3 Marco conceptual	15
2.4 Marco teórico	18
2.4.1 Fundamentos del comportamiento del suelo.....	18
2.4.2 Ensayos que evalúan esas propiedades	20
2.4.2.1 Ensayos de campo.....	20
2.4.2.2 Ensayos de laboratorio.....	20
2.4.3 Aplicaciones prácticas	21
3. Metodología	22
3.1 Fase 1 – Planificación y programación de los estudios geotécnicos	22

3.2 Fase 2 – Ejecución de actividades en campo y laboratorio	23
3.3 Fase 3 – Procesamiento, análisis e interpretación de resultados.....	23
5. Proyectos desarrollados durante la práctica profesional.....	24
4.1 Proyectos con uso residencial	24
4.1.1 Vivienda de tres niveles – Ubaté, Cundinamarca	24
4.1.2 Vivienda de tres niveles – Tunja, Boyacá, barrio San Rafael.....	28
4.1.3 Vivienda de dos niveles – Sogamoso, Boyacá.....	30
4.1.4 Vivienda de tres niveles – Sutamarchán, Boyacá	32
4.1.5 Vivienda de un nivel (zona rural) – Sutamarchán, Boyacá	34
4.1.6 Vivienda de un nivel (zona urbana) – Sutamarchán, Boyacá	36
4.1.7 Recomendaciones generales de cimentación para proyectos residenciales.....	38
4.2 Proyectos de uso no residencial	39
4.2.1 Estudio geotécnico para parque solar (zona rural) – Tuta, Boyacá	39
4.2.2 Proyecto vial – Placa Huella Rural en Chitaraque (Boyacá).....	41
4.4.1.1 Estudio geotécnico para placa huella – Vereda Palmichal, Chitaraque, Boyacá.....	42
4.4.1.2 Estudio geotécnico para placa huella – Vereda Resguardo de Blancos, Chitaraque, Boyacá	43
4.4.1.3 Estudio geotécnico para placa huella – Veredas Santa Bárbara y Santo Domingo, Chitaraque, Boyacá.....	45
4.2.3 Estudio geotécnico para planta de tratamiento de aguas residuales – Vereda Sagrabajo, Socha, Boyacá.....	46
4.2.4 Estudio geotécnico para bodega de un nivel – Hogar de Paso (JDC), Soracá, Boyacá.....	47
4.2.2 Estudio geotécnico para auditorio municipal (zona urbana) – Floresta, Boyacá.....	49

4.3 Ensayos adicionales	50
4.3.1 Determinación de pH en suelos	50
4.3.2 Ensayo de Equivalente de Arena – Proyecto de Pavimentación en Tunja	51
4.3.3 Ensayo de Resistividad Eléctrica del Suelo – Proyecto Estación EBSA, Sogamoso	52
4.3.4 Ensayo de Compresión en Cilindros de Concreto	53
5. Conclusiones	54
6. Recomendaciones	56
Referencias Bibliográficas	57

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Clasificación de perfiles de suelo para efectos sísmicos (extracto</i>	15
Tabla 2 <i>Resultados SPT – Vivienda tres niveles, Ubaté.</i>	27
Tabla 3 <i>Capacidad portante admisible y asentamientos para zapatas cuadradas.</i>	27
Tabla 4 <i>N₆₀ y cohesión no drenada (Cu) – Vivienda tres niveles, Tunja.</i>	29
Tabla 5 <i>Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas.</i>	29
Tabla 6 <i>Granulometría, Atterberg y humedad natural – Sogamoso.</i>	31
Tabla 7 <i>N₆₀ y cohesión no drenada (Cu).</i>	31
Tabla 8 <i>Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sogamoso.</i>	32
Tabla 9 <i>N₆₀ y cohesión no drenada (Cu) – Sutamarchán.</i>	33
Tabla 10 <i>Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán.</i>	34
Tabla 11 <i>Granulometría, plasticidad y humedad natural – Sutamarchán (rural).</i>	35
Tabla 12 <i>Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán (rural).</i>	36
Tabla 13 <i>Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán (urbano).</i> ...	37
Tabla 14 <i>Propiedades índice del suelo – Tuta (rural).</i>	40
Tabla 15 <i>Características geotécnicas – Vereda Palmichal</i>	43
Tabla 16 <i>Características geotécnicas – Vereda Resguardo de Blancos.</i>	44
Tabla 17 <i>Características geotécnicas – Veredas Santa Bárbara y Santo Domingo.</i>	46
Tabla 18 <i>Parámetros geotécnicos representativos – Predio 1 (Socha).</i>	47
Tabla 19 <i>Parámetros geotécnicos representativos – Bodega, Soracá, Boyacá</i>	48
Tabla 20 <i>Parámetros geotécnicos – Auditorio, Floresta.</i>	50

Tabla 21 <i>Valores de resistividad eléctrica – Estación EBSA (Sogamoso)</i>	53
Tabla 22 <i>Resultados de compresión en cilindros</i>	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Ensayo SPT – Vivienda tres niveles, Ubaté</i>	25
Figura 2 <i>Perfil stratigráfico – Sondeo 1, Ubaté</i>	26
Figura 3 <i>Ensayo SPT, proyecto de vivienda de tres niveles – Tunja, Boyacá</i>	28
Figura 4 <i>Ensayo SPT – Vivienda dos niveles, Sogamoso</i>	30
Figura 5 <i>Registro fotográfico – Proyecto Sutamarchán</i>	33
Figura 6 <i>Ensayo de compresión inconfiada – Vivienda un nivel, Sutamarchán</i>	35
Figura 7 <i>Registro fotográfico – Sondeo y recuperación de muestras, Sutamarchán (urbano)</i>	37
Figura 8 <i>Perfil stratigráfico y registro fotográfico – Tuta (rural)</i>	39
Figura 9 <i>Ubicación de los tramos – Proyecto placa huella</i>	41
Figura 10 <i>Ensayo de expansión en aparato de Lambe (INV E-120) – Vereda Palmichal, Chitaraque</i>	42
Figura 11 <i>Registro fotográfico – Apiques y subrasante, Resguardo de Blancos (Chitaraque)</i>	44
Figura 12 <i>Registro fotográfico – Apiques en veredas Santa Bárbara y Santo Domingo, Chitaraque</i>	45
Figura 13 <i>Ensayo de pH en suelos para torres de energía</i>	51
Figura 14 <i>Ensayo de equivalente de arena en agregado para pavimentación en Tunja</i>	52
Figura 15 <i>Ensayo de resistividad eléctrica – Estación EBSA, Sogamoso</i>	53

Resumen

Título: Auxiliar de ingeniería civil para la ejecución y análisis de estudios geotécnicos en la empresa SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.*

Autor: Nicolás Alfonso Ramírez**

Palabras Clave: Ingeniería geotécnica, ensayos de laboratorio, ensayos de campo, clasificación de suelos, análisis geotécnico, control de calidad, normativas técnicas, práctica empresarial.

Descripción: La práctica empresarial titulada “Auxiliar de Ingeniería Civil para la Ejecución y Análisis de Estudios Geotécnicos en la empresa SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.” tuvo como fin fortalecer competencias en el área de geotecnia, especialmente en la planificación de investigaciones del subsuelo, la ejecución de ensayos de campo y laboratorio, y la interpretación de resultados para el diseño de cimentaciones. Con una duración de 16 semanas, se organizó en tres fases: (1) planificación y programación de ensayos, (2) ejecución de pruebas en campo y laboratorio, y (3) análisis e interpretación de resultados.

El trabajo se ejecutó conforme a normativas técnicas vigentes, tales como la NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y sus actualizaciones, las especificaciones del INVIAS Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras (INVIAS), Sección 100: Suelos y la norma de gestión NTC-ISO 9001. Entre las tareas realizadas se incluyen la formulación de planes de ensayo, la toma, transporte y preservación de muestras, la aplicación de metodologías estandarizadas y el procesamiento de datos de capacidad portante y asentamientos. Asimismo, se implementaron acciones de control de calidad que garantizaron la confiabilidad y trazabilidad de los resultados.

La práctica también aportó al fortalecimiento de los procesos internos de la empresa mediante la sistematización de información y la generación de criterios técnicos aplicables al diseño de cimentaciones. Las actividades se desarrollaron principalmente en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, con trabajos de laboratorio en Tunja, favoreciendo la integración entre el conocimiento teórico y su aplicación en un entorno profesional real.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Nelson Deiwer Baza Solares, Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Civil Engineering Assistant for the Execution and Analysis of Geotechnical Studies at SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.*

Author(s): Nicolás Alfonso Ramírez**

Key Words: Geotechnical engineering, laboratory testing, field testing, soil classification, geotechnical analysis, quality control, technical standards, professional internship.

Description: The internship entitled “*Civil Engineering Assistant for the Execution and Analysis of Geotechnical Studies at SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.*” was aimed at strengthening competencies in geotechnical engineering, especially in the planning of subsurface investigations, the execution of field and laboratory tests, and the interpretation of results for foundation design. With a duration of 16 weeks, it was organized into three phases: (1) planning and scheduling of tests, (2) execution of field and laboratory tests, and (3) analysis and interpretation of results.

The work was carried out in accordance with current technical regulations, such as the Colombian Seismic Resistant Construction Code (NSR-10) and its updates, the INVÍAS Standards for Road Materials Testing (Section 100: Soils), and the NTC-ISO 9001 quality management standard. Tasks performed included the preparation of testing plans, the collection, transportation, and preservation of samples, the application of standardized methodologies, and the processing of bearing capacity and settlement data. Likewise, quality control actions were implemented to ensure the reliability and traceability of the results.

The internship also contributed to strengthening the company’s internal processes through the systematization of information and the generation of technical criteria applicable to foundation design. The activities were carried out mainly in the departments of Boyacá and Cundinamarca, with laboratory work in Tunja, promoting the integration of theoretical knowledge with its application in a real professional environment.

* Degree Work

**Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Advisor: Nelson Deiwer Baza Solares, Civil Engineer, M.Sc. in Civil Engineering.

Introducción

La caracterización geotécnica del subsuelo es un proceso fundamental en la ingeniería civil, pues permite determinar parámetros físicos y mecánicos que garantizan la estabilidad y seguridad de las estructuras. Una caracterización inadecuada puede generar fallas en cimentaciones, sobrecostos y riesgos para la integridad de las obras, especialmente en zonas con alta sismicidad o condiciones geológicas complejas (ej. NSR-10, 2010; Rodríguez Rincón et al., 2020)

En Colombia, y particularmente en Boyacá y Cundinamarca, las construcciones enfrentan suelos heterogéneos, pendientes pronunciadas y variaciones climáticas significativas. Estas condiciones exigen metodologías estandarizadas y el cumplimiento estricto del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), las Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras (INVIAS, Sección 100: Suelos) y la NTC-ISO 9001, además de asegurar la trazabilidad de la información.

En este contexto, la práctica profesional en SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S. tuvo como propósito la planificación, ejecución y análisis de ensayos geotécnicos en campo y laboratorio, principalmente SPT, granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y clasificación SUCS, aplicados en proyectos en Ubaté, Tunja, Sogamoso, Socha, Floresta, Sutamarchán y Chitaraque.

Asimismo, se fortalecieron los procesos internos de la empresa mediante la sistematización de la información geotécnica, con la organización de informes, registros de sondeos, tablas comparativas y perfiles estratigráficos. Estos productos optimizaron la gestión de resultados y respaldaron la formulación de criterios técnicos para el diseño de cimentaciones, aportando a la calidad y seguridad de las obras civiles en la región.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desempeñar el rol de auxiliar de ingeniería geotécnica en SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S., contribuyendo al desarrollo de proyectos mediante la realización y análisis de ensayos geotécnicos, asegurando la calidad y el cumplimiento de normativas vigentes.

1.2 Objetivos Específicos

Formular un plan de ensayos geotécnicos que detalle los ensayos requeridos y su programación, asegurando el cumplimiento normativo en los proyectos en curso.

Ejecutar los ensayos de campo y de laboratorio necesarios para los proyectos de ingeniería geotécnica empleando las metodologías y equipos pertinentes.

Interpretar los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio realizados para fundamentar la selección de infraestructura geotécnica pertinente para los proyectos de ingeniería civil que se adelanten.

2. Marco de referencia

2.1 Marco contextual

Sismoingeniería P.S. S.A.S. es una empresa de consultoría en ingeniería geotécnica y de materiales, fundada en 2006 y dedicada a la prestación de servicios especializados en estudios de suelos, concretos y pavimentos. Cuenta con un laboratorio acreditado que en el cual se pueden realizar análisis de muestras obtenidas en ensayos de campo.

La empresa Sismoingeniería P.S. S.A.S. desarrolla proyectos de alto impacto a nivel regional y nacional, algunos de los proyectos que se destacan son los estudios geotécnicos para la construcción de torres de transmisión de energía en Maicao (La Guajira) y en Florencia (Caquetá), así como diversas obras civiles en Boyacá y Cundinamarca , dentro de las cuales se incluyen viviendas unifamiliares y multifamiliares, bodegas de un nivel, proyectos viales tipo placa huella y plantas de tratamiento de aguas residuales. Su trabajo se caracteriza por la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad certificado bajo ISO 9001:2015, garantizando precisión, trazabilidad y mejora continua en los resultados (Sismoingeniería P.S. S.A.S., 2023).

2.2 Marco legal

2.2.1. NSR-10 (2010): En el Título H establece la obligatoriedad y el contenido mínimo de los estudios geotécnicos, definiendo criterios de exploración, número y profundidad de sondeos, muestreo, clasificación de suelos y parámetros para diseño de cimentaciones. El Título E regula los requisitos específicos para viviendas de uno y dos pisos, incluyendo la investigación mínima con apiques. El Apéndice A.2.4.2 clasifica los perfiles sísmicos del suelo (tipos C, D y E) en función de valores corregidos de SPT (N_{60}), cohesión no drenada (C_u) o velocidad promedio de

onda cortante (V_{s30}), como se ilustra en la tabla 1, que presenta el extracto correspondiente a dicha clasificación.

Tabla 1 Clasificación de perfiles de suelo para efectos sísmicos (extracto C, D y E).

Tipo de perfil	Vs (m/s)	N o Nch	su (kPa)
C	entre 360 y 760	mayor que 50	mayor que 100 ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)
D	entre 180 y 360	entre 15 y 50	entre 100 y 50 ($0.5 \text{ a } 1 \text{ kgf/cm}^2$)
E	menor de 180	menor de 15	menor de 50 ($\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$)

Nota. Adaptado de NSR-10 (2010, Apéndice A.2.4.2).

2.2.2. INVIAS (2013, Sección 100): norma los procedimientos de campo y laboratorio aplicables a suelos y materiales, incluyendo ensayos como SPT (INV E-111), humedad (INV E-122), granulometría (INV E-123), límites de Atterberg (INV E-125/126), CBR (INV E-148/169), densidad in situ (INV E-161/162/164), equivalente de arena (INV E-133), pH (INV E-131) y resistencia de cilindros de concreto (INV E-410).

2.2.3. ASTM International: estandariza ensayos de uso extendido a nivel mundial, como ASTM D1586 (SPT), ASTM D2487 (SUCS), ASTM D4318 (Atterberg) y ASTM C39 (cilindros de concreto).

2.2.4. AASHTO: establece la clasificación de suelos para proyectos viales (AASHTO M 145), ampliamente utilizada en proyectos de infraestructura internacional.

2.2.5 ISO 9001:2015: normas internacionales que garantizan la competencia técnica de los laboratorios y promueven la mejora continua de los procesos de calidad.

2.3 Marco conceptual

- **Ensayo SPT (Standard Penetration Test):** Prueba de campo que mide la resistencia del suelo a la penetración dinámica de un muestreador estándar. El valor

corregido (N-SPT) se emplea para correlacionar parámetros de resistencia y calcular capacidad portante. El ensayo puede presentar rechazo, definido como la imposibilidad de penetrar 45 cm con 100 golpes o 15 cm con 50 golpes. En esos casos debe registrarse como tal, y solo se interpreta como estrato competente si existe evidencia de continuidad (INVIAS, INV E-111).

- **Muestreador Shelby:** Tubo de pared delgada utilizado para obtener muestras inalteradas de suelos cohesivos, necesarias en ensayos de consolidación y resistencia. (INVIAS, INV E-113).
- **Granulometría:** Ensayo que determina la distribución de tamaños de partículas y clasifica los suelos como gravas, arenas, limos o arcillas. Base para SUCS y AASHTO. (INVIAS, INV E-123).
- **Límites de Atterberg:** Parámetros de plasticidad (LL, LP, IP) que permiten identificar suelos expansivos y evaluar su comportamiento volumétrico. (INVIAS, INV E-125/126).
- **Contenido de humedad:** Relación entre el peso del agua y el peso seco de un suelo. Incide en resistencia, plasticidad y compresibilidad. (INVIAS, INV E-122).
- **Peso unitario.** Relación entre el peso y el volumen del suelo en condiciones natural, saturada o seca. Fundamental en cálculos de presiones admisibles. (*Bowles, 1996*).
- **Ensayo CBR (California Bearing Ratio):** Prueba que mide la capacidad de soporte de suelos frente a la penetración de un pistón estándar. (INVIAS, INV E-148/169).
- **Densidad y humedad in situ (PDC nuclear):** Ensayo con densímetro nuclear para verificar el grado de compactación de rellenos y terraplenes. (INVIAS, INV E-164).

- **Ensayo de resistividad de suelos:** Medición de la oposición del terreno al paso de corriente eléctrica mediante el método de cuatro electrodos. En la práctica se usó el telurómetro UNI-T UT572, código RA6-014. (Manual de usuario UNI-T UT572).
- **Equivalente de arena:** Determina la proporción de partículas finas en materiales granulares, controlando la calidad de agregados en capas de pavimento. (INVIAS, INV E-133).
- **pH en suelos:** Mide la acidez o alcalinidad del terreno, importante para prevenir corrosión de metales y deterioro de concretos. (INVIAS, INV E-131).
- **Rotura de cilindros de concreto:** Ensayo de laboratorio que mide la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, verificando la calidad de la mezcla frente al diseño. (INVIAS, INV E-410).
- **Nivel freático:** Profundidad a la que el agua subterránea se encuentra en equilibrio con la presión atmosférica, condicionando la estabilidad de cimentaciones. (NSR-10, Título H.2.3).
- **Perfil estratigráfico:** Según la NSR-10, Apéndice A.2.4.2, se clasifica como C, D o E con base en V_{s30} , N_{60} promedio o cohesión no drenada, siendo D el rango intermedio y E el correspondiente a suelos blandos. (NSR-10, Título H.2.2.2).
- **Capacidad portante:** Esfuerzo máximo que puede transmitir un suelo a la cimentación sin falla por corte ni asentamientos excesivos. (Terzaghi, 1943).
- **Asentamientos:** Deformaciones verticales que experimenta el terreno bajo cargas, clasificadas en inmediatas, por consolidación primaria o secundarias. (Bowles, 1996).

- **Potencial de expansión:** Propiedad de arcillas con alta plasticidad de aumentar su volumen al hidratarse. La NSR-10 las clasifica en bajo, medio o alto. (NSR-10, Título H.9.1).
- **Perfil sísmico del suelo:** Clasificación en categorías C, D o E según valores corregidos de SPT y parámetros dinámicos. (NSR-10, Apéndice A.2.4.2).
- **Factor de seguridad (FS):** Relación entre fuerzas resistentes y actuantes en un análisis geotécnico. La NSR-10 establece valores mínimos para cimentaciones y taludes. (NSR-10, Título H.2.4).
- **Informe geotécnico:** Documento que reúne exploración, ensayos, análisis y recomendaciones de cimentación. Su obligatoriedad y estructura están en la NSR-10. (NSR-10, Título H.2.2.2).
- **Ensayo de expansión libre (INV E-120, aparato de Lambe):** determina el potencial de expansión de arcillas plásticas mediante la medición del incremento volumétrico de una muestra compactada al ser sumergida en agua. El resultado se expresa en porcentaje (%) y permite clasificar suelos expansivos en categorías de bajo, medio o alto riesgo, de acuerdo con la NSR-10 (2010).

2.4 Marco teórico

2.4.1 Fundamentos del comportamiento del suelo

El análisis geotécnico parte de los principios de la mecánica de suelos, que permiten describir cómo el terreno responde frente a cargas estructurales y ambientales. La relación entre esfuerzo (σ) y deformación (ε) en el rango elástico se modela mediante la ley de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

donde E corresponde al módulo de elasticidad del suelo (Bowles, 1996).

Un criterio esencial de estabilidad es la resistencia al corte, expresada en el modelo de Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan\varphi$$

donde τ es la resistencia cortante, c la cohesión y φ el ángulo de fricción interna. Estos parámetros condicionan la capacidad portante y el diseño de cimentaciones. Aunque la resistencia al corte puede determinarse en laboratorio mediante ensayos como corte directo o triaxial, en la práctica profesional desarrollada se obtuvo a partir de correlaciones empíricas con los resultados del ensayo SPT, de acuerdo con lo establecido por la normativa colombiana (INVÍAS, 2013; NSR-10, 2010).

En suelos cohesivos, los asentamientos diferidos se explican con la teoría de consolidación unidimensional de Terzaghi (1943):

$$\frac{\partial t}{\partial u} = cv \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

que describe la disipación de presiones de poro (u) en función del tiempo (t) y la profundidad (z).

Finalmente, la permeabilidad es otro principio fundamental, definida como la capacidad de los suelos de permitir el paso del agua a través de sus poros. Se rige por la ley de Darcy:

$$q = k \cdot i \cdot A$$

donde q es el caudal de filtración, k la conductividad hidráulica, i el gradiente hidráulico y A el área de flujo. La permeabilidad controla procesos de consolidación, estabilidad de taludes e interacción suelo–estructura (Coduto, 2001; Das, 2011).

2.4.2 Ensayos que evalúan esas propiedades

Los parámetros descritos se obtienen a través de ensayos normalizados de campo y laboratorio, regidos por normas nacionales e internacionales (INVÍAS, 2013; NSR-10, 2010; ASTM, 2006; AASHTO, 1993).

2.4.2.1 Ensayos de campo. Comprenden las pruebas realizadas directamente sobre el terreno con el fin de evaluar sus propiedades de resistencia, compactación y capacidad de soporte.

Entre los principales se incluyen:

- **Standard Penetration Test (SPT):** mide la resistencia dinámica del terreno, correlacionada con la densidad relativa y la capacidad portante; además, constituye la base para la clasificación sísmica de suelos en la NSR-10 (2010).
- **California Bearing Ratio (CBR) in situ:** determina la capacidad de soporte de la subrasante en proyectos viales y cimentaciones superficiales.
- **Densidad y humedad in situ:** permiten verificar el grado de compactación de rellenos y capas de apoyo mediante equipos nucleares o métodos tradicionales.

2.4.2.2 Ensayos de laboratorio. Corresponden a las pruebas ejecutadas sobre muestras obtenidas en campo, con el propósito de determinar sus propiedades físicas, mecánicas y químicas. Estos ensayos permiten complementar la caracterización del suelo y definir parámetros de diseño.

Entre los principales se encuentran:

- **Granulometría y límites de Atterberg:** definen la textura y plasticidad de los suelos, bases de los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO.
- **Ensayo Proctor (estándar y modificado):** establece la relación humedad–densidad y la humedad óptima de compactación.

- **Ensayo edométrico:** mide asentamientos por consolidación y permite calcular C_c , C_r y c_v .
- **Ensayos complementarios:** determinación de pH, equivalente de arena y compresión en cilindros de concreto, empleados para evaluar la agresividad química, la calidad de agregados y la resistencia estructural de mezclas de concreto.

2.4.3 Aplicaciones prácticas

Los resultados de los ensayos permiten aplicar los fundamentos de la mecánica de suelos al diseño y control de obras civiles:

- **Capacidad portante y asentamientos:** se estiman mediante correlaciones del SPT y la formulación clásica de Terzaghi (1943), garantizando la estabilidad de cimentaciones superficiales (Bowles, 1996).
- **Clasificación sísmica de suelos:** la NSR-10 (2010, Apéndice A.2.4.2) establece perfiles (A, B, C, D y E) a partir de valores de SPT y velocidad de onda cortante, lo que influye directamente en el espectro de diseño estructural.
- **Control de compactación:** los resultados del Proctor y de la densidad in situ permiten comprobar que rellenos y terraplenes alcancen la densidad requerida, reduciendo riesgos de asentamientos excesivos.
- **Obras viales y de pavimentación:** el CBR, junto con la granulometría y los límites de plasticidad, constituye la base para el diseño de espesores de capas y la selección de materiales de subrasante y subbase (AASHTO, 1993; INVÍAS, 2013).
- **Durabilidad y calidad de materiales:** la determinación de pH y equivalente de arena previene problemas de agresividad química o baja calidad en agregados, mientras que la

compresión en cilindros de concreto asegura el cumplimiento de especificaciones estructurales (ASTM, 2006).

3. Metodología

La metodología aplicada durante la práctica profesional en SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S. se estructuró en tres fases principales: planificación, ejecución y análisis de resultados, desarrolladas conforme al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (Título H), las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras – INVIAS (2013, Sección 100), normas internacionales de ASTM International y AASHTO, y los lineamientos del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015. Cada fase respondió directamente a los objetivos específicos planteados, lo que garantizó la trazabilidad de la información, la confiabilidad de los ensayos y la pertinencia de las recomendaciones técnicas.

3.1 Fase 1 – Planificación y programación de los estudios geotécnicos

En esta etapa se revisó la información preliminar de los proyectos, como la ubicación, los accesos, los antecedentes de estudios previos y las condiciones generales del terreno, lo que permitió definir el alcance de cada investigación. Con base en la normativa vigente se determinó el número de sondeos, la profundidad de exploración y los ensayos requeridos, asegurando la representatividad de los datos. Asimismo, se estableció un cronograma de actividades que tuvo en cuenta la disponibilidad de equipos, las condiciones climáticas y la coordinación con propietarios o entidades responsables de los predios. Esta fase permitió optimizar la logística y asegurar la pertinencia de los métodos seleccionados, constituyendo la base para una caracterización confiable del subsuelo.

3.2 Fase 2 – Ejecución de actividades en campo y laboratorio

Esta fase comprendió la aplicación práctica de los métodos de exploración y ensayos normalizados. En campo se realizaron sondeos con ensayo de penetración estándar (SPT), excavaciones tipo apique y recuperación de muestras alteradas e inalteradas, siguiendo protocolos de calibración y seguridad. Paralelamente se efectuaron registros estratigráficos detallados con observación de humedad, nivel freático y condiciones de estabilidad. Las muestras recolectadas fueron preservadas, rotuladas y trasladadas al laboratorio bajo protocolos de control, donde se ejecutaron ensayos de granulometría, límites de Atterberg, humedad natural, compactación y resistencia a la compresión no confinada, entre otros. De manera complementaria se aplicaron pruebas específicas como CBR, pH, resistividad eléctrica y rotura de cilindros de concreto. Esta fase no solo aseguró la obtención de parámetros confiables sino también el cumplimiento estricto de las normas técnicas, con controles de calidad que incluyeron la repetición de ensayos en caso de resultados atípico.

3.3 Fase 3 – Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Una vez obtenida la información se procedió a la organización de datos en hojas de cálculo institucionales y a su validación frente a rangos normativos. Los suelos fueron clasificados según los sistemas SUCS y AASHTO, y se determinó el perfil sísmico de cada proyecto conforme al Apéndice A.2.4.2 de la NSR-10. Con los parámetros obtenidos se calcularon capacidades portantes y asentamientos, verificando la compatibilidad de los suelos con las cargas de diseño. Asimismo, se interpretaron los resultados de los ensayos complementarios para reforzar las conclusiones sobre la idoneidad de las subrasantes y la calidad de los materiales. Finalmente, los resultados fueron sistematizados en informes técnicos que incluyeron perfiles estratigráficos, tablas comparativas, gráficas y recomendaciones de cimentación. La comparación con valores de referencia nacionales

e internacionales permitió validar la coherencia de los datos y formular criterios de diseño acordes a los requerimientos de cada proyecto.

5. Proyectos desarrollados durante la práctica profesional

Cada proyecto presentado en este capítulo se ejecutó siguiendo el enfoque metodológico descrito, garantizando trazabilidad, confiabilidad y cumplimiento normativo. Los estudios se organizaron en dos categorías: uso residencial y no residencial, abordando la caracterización del subsuelo, análisis geotécnico, capacidad portante, asentamientos y recomendaciones de cimentación.

Durante la práctica en SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S. se trabajó en proyectos con diversas condiciones de suelo, topografía y tipología estructural, lo que fortaleció el criterio técnico en campo y laboratorio. Las recomendaciones de cimentación se basaron en parámetros como el perfil estratigráfico, clasificaciones SUCS y AASHTO, capacidad portante, asentamientos y perfil sísmico, conforme a la normativa vigente. De forma complementaria, se realizaron ensayos adicionales (rotura de cilindros, pH, equivalente de arena y resistividad eléctrica), útiles para resolver problemáticas específicas.

4.1 Proyectos con uso residencial

4.1.1 Vivienda de tres niveles – Ubaté, Cundinamarca

El proyecto se localizó en el barrio Juan José Neira y correspondió al diseño de una vivienda de tres niveles en mampostería estructural. Se ejecutaron dos (2) sondeos con profundidades de 4.45 m y 5.45 m; en ambos casos, el ensayo SPT (INV E-111) presentó rechazo antes de los 6.0 m, lo cual es aceptado normativamente como criterio de detención y evidenció la

presencia de estratos competentes a menor profundidad. Como complemento, se consideró la información de un sondeo realizado en un lote vecino con características estratigráficas semejantes. La Figura 1 muestra la ejecución del ensayo SPT durante el sondeo en el proyecto de vivienda de tres niveles en Ubaté.

Figura 1 *Ensayo SPT – Vivienda tres niveles, Ubaté.*



Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución en campo.

Sin embargo, de acuerdo con la NSR-10 (Título H, numeral H.3.2.2), para edificaciones de categoría baja (hasta tres pisos) se requieren al menos tres (3) sondeos con profundidades iguales o superiores a 6.0 m. En este proyecto no se cumplió con los criterios mínimos exigidos, ya que el número de perforaciones fue insuficiente y la profundidad alcanzada no llegó a lo reglamentario. Aunque el rechazo del SPT confirma resistencia suficiente del subsuelo, normativamente la exploración, incluso con el apoyo del registro vecino, no satisface los requisitos establecidos. La figura 2 presenta el perfil estratigráfico correspondiente al sondeo 1 del proyecto en Ubaté.

Figura 2 Perfil estratigráfico – Sondeo 1, Ubaté.

Profundidad	Avance SPT, m			Foto Litología	Clasificación S.U.C.S
	0.15	0.15	0.15		
0.00	0.45				Relleno compuesto por fragmentos de concreto y ladrillo, característico de zonas con construcciones previas. En la base del estrato, el material es arenoso, y se identifica la presencia de material orgánico..
0.45	0.90				
0.90	1.35	9	11	13	
1.35	1.80				Arcilla delgada de color marrón oscuro, con textura plástica y humedad media -CL.
1.80	2.25				
2.25	2.70	10	12	12	
2.70	3.15				
3.15	3.60	3	2	2	
3.60	4.05				Arcilla gruesa de color marrón con tonalidades rojizas, con textura plástica, mayor compactación y humedad media -CL.
4.05	4.50	12	10	12	
4.50	4.95				

Nota. Elaboración propia a partir del registro de campo del sondeo 1.

Los ensayos SPT arrojaron valores corregidos (N_{60}) entre 4 y 17, con una cohesión no drenada promedio (C_u) de 0.52 kg/cm^2 . De acuerdo con el Apéndice A.2.4.2 de la NSR-10, el perfil se clasificó como tipo D, aunque algunos estratos con valores bajos de N_{60} sugieren condiciones limítrofes hacia un tipo E, lo que refuerza la necesidad de control geotécnico en el diseño de cimentaciones.

Las muestras alteradas permitieron identificar suelos arcillosos (CL y CH) con más del 95% de finos y plasticidad alta. Las humedades naturales se situaron por debajo del límite líquido, indicando un potencial de expansión medio a alto. Esta información resulta útil para la caracterización del terreno, pero debe interpretarse con las limitaciones derivadas del incumplimiento normativo en número y profundidad de sondeos, En la tabla 2 se resumen los

resultados del ensayo SPT correspondientes al proyecto de vivienda de tres niveles en Ubaté, Cundinamarca, donde se aprecia una resistencia creciente con la profundidad.

Tabla 2 Resultados SPT – Vivienda tres niveles, Ubaté.

Sondeo	Prof. (m)	N60	ϕ (°)	Cu (kg/cm ²)
S1	1.45	13	33	0.64
	2.45	17	36	0.83
	3.45	14	35	0.69
	4.45	14	35	0.69
S2	1.45	9	32	0.48
	2.45	7	31	0.34
	3.45	4	28	0.2
	4.45	8	31	0.39
	5.45	9	32	0.48

Nota. Elaboración propia con base en resultados de campo del ensayo SPT.

La capacidad portante admisible se estimó mediante el modelo de Terzaghi para suelos cohesivos, obteniendo un valor representativo de 253 kPa para zapatas cuadradas de 1.00 m de lado. Los asentamientos elásticos, calculados con el método edométrico, resultaron inferiores a 5 mm, siendo compatibles con edificaciones livianas como la proyectada. En la tabla 3 se presentan los valores de capacidad portante y asentamientos calculados para zapatas cuadradas

Tabla 3 Capacidad portante admisible y asentamientos para zapatas cuadradas.

B (m)	L (m)	σ_{adm} (kPa)	Fa (kN)	Asentamiento (mm)
0.8	0.8	130	81.8	1.8
1	1	127.8	124.1	3
1.5	1.5	125.4	273.4	4.3

Nota. Elaboración propia con base en datos de campo, laboratorio y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

La recomendación de cimentación para este proyecto se presenta en el apartado 4.1.7 de este informe

4.1.2 Vivienda de tres niveles – Tunja, Boyacá, barrio San Rafael

El estudio correspondió a una vivienda de tres niveles en mampostería estructural. Se ejecutaron tres sondeos manuales con ensayo SPT, alcanzando profundidades de 1.35 m, 3.85 m y 4.45 m, sin identificarse nivel freático. La figura 3 muestra la ejecución del ensayo SPT durante uno de los sondeos realizados en el proyecto de vivienda de tres niveles en Tunja, Boyacá.

Figura 3 Ensayo SPT, proyecto de vivienda de tres niveles – Tunja, Boyacá.



Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución en campo.

Los suelos fueron principalmente arcillosos y limosos (CL, MH, SC y SM), con alta proporción de finos y plasticidades bajas a medias, clasificándose el potencial de expansión como bajo a medio.

Como observación técnica, los sondeos se detuvieron al encontrarse estratos firmes o endurecidos que impidieron continuar con la excavación manual. Esta condición indica la presencia de material competente a poca profundidad; sin embargo, desde el punto de vista normativo, no se alcanzó la cota mínima de 6.0 m exigida por la NSR-10 para edificaciones de hasta tres pisos, por lo que los resultados no cumplen estrictamente con el requisito de profundidad establecido.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) oscilaron entre 23 y 55 golpes, con cohesiones no drenadas (C_u) entre 0.78 kg/cm^2 y 1.91 kg/cm^2 . El perfil sísmico se clasificó como tipo D para los sondeos 1 y 2, y tipo C para el sondeo 3. En la tabla 4 se presentan los resultados de N_{60} y cohesión no drenada (C_u) para el proyecto de vivienda de tres niveles en Tunja, Boyacá.

Tabla 4 N_{60} y cohesión no drenada (C_u) – Vivienda tres niveles, Tunja.

Sondeo	N_{60} (golpes)	C_u (kg/cm^2)	Perfil sísmico
1	34	1.18	D
2	29	1	D
3	55	1.91	C

Nota. Cálculos con base en resultados de SPT y normativa NSR-10.

En laboratorio se realizaron ensayos de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, peso unitario y compresión inconfiada, obteniéndose consistencias firmes a muy firmes.

La capacidad portante admisible se calculó mediante el modelo descrito en la metodología, considerando una cohesión no drenada promedio (C_u) de 1.24 kg/cm^2 , un peso unitario del suelo de 19.23 kN/m^3 y una profundidad de fundación de 1.20 m, aplicando un factor de seguridad de 3.0. Los asentamientos se estimaron con un enfoque edométrico simplificado, obteniendo valores compatibles con la vivienda de tres niveles proyectada en Tunja. En la tabla 5 se resumen los valores de capacidad portante y asentamientos calculados para zapatas cuadradas.

Tabla 5 Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas.

B (m)	L (m)	B/L	q_{adm} (kPa)	F_a (kN)	Asentamiento (mm)
1	1	1	296.8	287.95	5.37
1.5	1.5	1	284.5	1060.1	14.26
2	2	1	272.5	1606.1	24.15

Nota. Elaboración propia con base en datos de campo, laboratorio y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

La recomendación de cimentación para este proyecto se presenta en el apartado 4.1.7 de este informe.

4.1.3 Vivienda de dos niveles – Sogamoso, Boyacá

El estudio se desarrolló para una vivienda de dos niveles en mampostería estructural. Se ejecutaron tres sondeos manuales con profundidades de 2.80 m, 4.20 m y 4.30 m, sin identificarse nivel freático durante la exploración. La figura 4 muestra la ejecución del ensayo SPT en uno de los sondeos realizados para este proyecto en Sogamoso, Boyacá.

Figura 4 *Ensayo SPT – Vivienda dos niveles, Sogamoso.*



Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución en campo.

La estratigrafía mostró suelos cohesivos compuestos por arcillas y limos con distintos contenidos de arena. Según el SUCS se identificaron materiales SM, CL, CL-ML, SC y ML, con porcentajes de finos entre 43% y 67%. Las humedades naturales estuvieron entre 12.7% y 19.8%, mientras que los límites líquidos variaron entre 15.8% y 32.5% y el índice de plasticidad (IP) entre 5.6% y 16.1%, clasificando el potencial de expansión como bajo a moderado, condición aceptable para cimentaciones superficiales. En la tabla 6 se presentan los resultados de granulometría, límites de Atterberg y humedad natura

Tabla 6 Granulometría, Atterberg y humedad natural – Sogamoso.

Perforación	Profundidad (m)	SUCS	% Grava	% Arena	% Finos	LL (%)	LP (%)	IP (%)	w (%)	Descripción
1	0,3–1,0	SM	0.23	54.86	44.91	16.84	NP	-	15.06	Arena limosa
	1,0–2,0	CL	5.92	31.03	63.05	32.48	16.32	16.16	13.75	Arcilla delgada con mucha arena
	2,0–2,8	CL-ML	2.34	45.42	52.23	15.77	9.55	6.22	13.75	Arcilla limosa arenosa
2	0,2–1,0	SM	0.91	55.14	43.96	-	NP	-	19.84	Arena limosa
	2,0–3,0	CL	0	32.8	67.2	16.81	9.73	7.58	17.03	Arcilla delgada con mucha arena
	3,0–4,20	SC	0	45.05	45.62	21.79	11.75	10.04	15.97	Arena arcillosa
3	0,3–1,0	SM	0	56.5	43.22	-	NP	-	14.13	Arena limosa
	2,0–3,0	CL	0	49.47	49.25	16.77	9.25	7.52	13.31	Arcilla de baja plasticidad con mucha arena
	3,0–4,0	CL-ML	0	44.57	55.43	15.77	10.13	5.64	15.18	Arcilla limosa arenosa
	4,0–4,30	ML	0	44.57	55.43	-	NP	-	15.04	Limo arenoso

Nota. Elaboración propia con base en resultados de laboratorio y clasificación SUCS.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) variaron entre 25 y 50 golpes. La cohesión no drenada promedio (C_u) fue de 1.55 kg/cm², con valores entre 0.88 kg/cm² y 2.45 kg/cm². El ángulo de fricción interna (ϕ) se estimó entre 35° y 45°. Según el Apéndice A.2.4.2 de la NSR-10, el perfil sísmico se clasificó como tipo C, condición que evidencia un subsuelo competente. En la tabla 7 se presentan los resultados de N_{60} y cohesión no drenada (C_u).

Tabla 7 N_{60} y cohesión no drenada (C_u).

Sondeo	N_{60} (golpes)	C_u (kg/cm ²)	Perfil sísmico
1	25–45	1.2	C
2	28–50	1.55	C
3	30–48	1.9	C

Nota. Elaboración propia con base en datos de campo y clasificación sísmica según NSR-10.

La capacidad portante admisible se calculó siguiendo el modelo descrito en la metodología, alcanzando valores de hasta 340.6 kPa para zapatas cuadradas y esfuerzos de reacción máximos de 5486.3 kN, lo cual representa una capacidad adecuada para la vivienda de dos niveles proyectada en Sogamoso, Boyacá. En la tabla 8 se presentan los valores de capacidad portante y asentamientos para zapatas cuadradas.

Tabla 8 Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sogamoso. .

B (m)	L (m)	B/L	qadm (kPa)	Fa (kN)	As (mm)
0.8	0.8	1	368.3	235.68	9.4
1	1	1	357.1	357.19	11.4
1.5	1.5	1	349.3	785.93	16.72

Nota. Elaboración propia con base en resultados de campo, laboratorio y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

4.1.4 Vivienda de tres niveles – Sutamarchán, Boyacá

El proyecto se desarrolló en el municipio de Sutamarchán, Boyacá, y correspondió al diseño de una vivienda de tres niveles en mampostería estructural. Se ejecutaron tres sondeos, alcanzando profundidades de 3.70 m, 2.70 m y 3.20 m, respectivamente.

La estratigrafía evidenció suelos predominantemente arcillosos clasificados como CL (arcilla de baja plasticidad), con presencia puntual de tramos CH (arcilla de alta plasticidad), MH (limo plástico) y GC (grava arcillosa). Los índices de plasticidad (IP) variaron entre 10.35% y 30.01%, con humedades naturales en rangos típicos para este tipo de materiales. El potencial de expansión se calificó como alto en la mayoría de los tramos, y medio o bajo en zonas de menor IP. La figura 5 presenta un registro fotográfico de las actividades de campo realizadas en el proyecto de Sutamarchán, Boyacá.

Figura 5 Registro fotográfico – Proyecto Sutamarchán.

Nota. Elaboración propia con base en documentación fotográfica tomada durante la ejecución de sondeos y ensayos SPT.

Los ensayos SPT arrojaron valores corregidos N_{60} entre 10 y 58 golpes, con cohesión no drenada promedio (C_u) de 1.70 kg/cm². Según el Apéndice A.2.4.2 de la NSR-10, el perfil sísmico se clasificó como tipo C, apto para cimentaciones con control geotécnico y estructural riguroso. En la tabla 9 se presentan los resultados de N_{60} y cohesión no drenada (C_u).

Tabla 9 N_{60} y cohesión no drenada (C_u) – Sutamarchán.

Sondeo	N_{60} (golpes)	C_u (kg/cm ²)	Perfil sísmico
1	10–45	1.5	C
2	15–50	1.8	C
3	20–58	1.8	C

Nota. Elaboración propia con base en datos de campo y clasificación sísmica según NSR-10.

La capacidad portante admisible se calculó mediante el modelo aplicado en el estudio, alcanzando valores de hasta 340.6 kPa para zapatas cuadradas y esfuerzos de reacción máximos de 5486.3 kN, lo cual representa una capacidad adecuada para la vivienda de tres niveles

proyectada en Sutamarchán, Boyacá. En la tabla 10 se presentan los valores de capacidad portante y asentamientos para zapatas cuadradas.

Tabla 10 *Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán.*

B (m)	L (m)	B/L	qadm (kPa)	Fa (kN)	As (mm)
1	1	300	300	300	6.5
1.5	1.5	320	720	720	10.4
2	2	340.6	1362.4	1362.4	14.8

Nota. Elaboración propia con base en resultados de campo, laboratorio y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

4.1.5 Vivienda de un nivel (zona rural) – Sutamarchán, Boyacá

El proyecto se desarrolló en la zona rural del municipio de Sutamarchán, Boyacá, y correspondió al diseño de una vivienda de un nivel. Se ejecutó un sondeo con profundidad final de 4.00 m. De acuerdo con el numeral H.3.2.2 del Título H de la NSR-10 y la Tabla H.3.2-1, para edificaciones de hasta tres pisos el número mínimo requerido de sondeos es tres. En este caso, por solicitud expresa del cliente, se ejecutó únicamente un sondeo, lo que constituye un alcance reducido frente al requisito normativo. Esta condición fue documentada en el informe, indicando que las conclusiones y recomendaciones se basan exclusivamente en la información obtenida en dicho sondeo y que el comportamiento del subsuelo podría presentar variaciones no detectadas debido a la limitación exploratoria. La figura 6 muestra el ensayo de compresión inconfineda realizado sobre una muestra de suelo del proyecto de vivienda de un nivel en Sutamarchán, Boyacá.

Figura 6 Ensayo de compresión inconfiada – Vivienda un nivel, Sutamarchán.

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución en laboratorio.

El perfil estratigráfico estuvo conformado por suelos predominantemente arcillosos clasificados como CL (arcilla de baja plasticidad) y una capa puntual de CH (arcilla de alta plasticidad), ambos con humedades naturales moderadas a altas. Los ensayos de laboratorio incluyeron límites de Atterberg, clasificación SUCS, humedad natural y compresión inconfiada. Se obtuvieron índices de plasticidad entre 17.65% y 30.33%, calificando el potencial de expansión como medio a alto en los primeros 2.20 m. En la tabla 11 se presentan los resultados de granulometría, plasticidad y humedad natural.

Tabla 11 *Granulometría, plasticidad y humedad natural – Sutamarchán (rural).*

Prof. (m)	SUCS	% Gravas	% Arenas	% Finos	LL (%)	LP (%)	IP (%)	w (%)	Descripción
0.5–0.8	CL	1.5	12.74	85.76	38.83	21.17	17.65	26.95	Arcilla delgada
0.8–1.50	CL	5.77	10.11	84.11	52.51	22.18	30.33	28.03	Arcilla gruesa
1.50–2.20	CL	18.21	14.9	66.89	48.73	21.9	26.83	28.16	Arcilla delgada
2.20–3.10	CL	1.67	12.37	85.96	43.64	24.18	19.47	22.66	Arcilla delgada
3.10–4.00	CL	7.63	9.7	82.67	48.25	25.25	23	18.39	Arcilla delgada

Nota. Elaboración propia con base en resultados de laboratorio de granulometría y plasticidad.

Los ensayos SPT alcanzaron profundidades de 2.65 m y 3.55 m, con valores corregidos N_{60} entre 18 y 34 golpes, y ángulos de fricción interna estimados entre 33° y 40° . La cohesión no drenada promedio (C_u) fue de 0.9 kg/cm^2 , clasificando el perfil como tipo D según la NSR-10.

La capacidad portante admisible alcanzó un valor máximo de 226.9 kPa para zapatas cuadradas, con asentamientos en el rango de 3.2 a 7.1 mm. Estos resultados indican que el subsuelo ofrece una resistencia adecuada para la vivienda de un nivel proyectada en Sutamarchán, Boyacá, garantizando condiciones seguras siempre que se respeten las recomendaciones de cimentación propuestas. En la tabla 12 se presentan los valores de capacidad portante admisible y asentamientos para zapatas cuadradas.

Tabla 12 Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán (rural).).

B (m)	L (m)	B/L	Fa (kN)	As (mm)
1	1	210	210	3.2
1.5	1.5	220	495	5
2	2	226.9	907.6	7.1

Nota. Elaboración propia con base en resultados de campo, laboratorio y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

4.1.6 Vivienda de un nivel (zona urbana) – Sutamarchán, Boyacá

El proyecto se desarrolló en la zona urbana del municipio de Sutamarchán, Boyacá, y correspondió al diseño de una vivienda de un nivel. Se ejecutó un sondeo con profundidad final de 4.00 m. El perfil del subsuelo estuvo conformado por arcillas de baja plasticidad (CL), con variaciones en la proporción de finos y en la plasticidad, que oscilaron entre baja y media.

Los ensayos SPT registraron valores corregidos N_{60} de 37 y 43 golpes, con cohesiones no drenadas (C_u) entre 0.78 y 2.21 kg/cm^2 . De acuerdo con el Apéndice A.2.4.2 de la NSR-10, el perfil se clasificó como tipo C, lo que refleja un terreno de buena resistencia y comportamiento adecuado para soportar cimentaciones superficiales. La figura 7 presenta un registro fotográfico

de la ejecución de sondeo y la recuperación de muestras en el proyecto de Sutamarchán (zona urbana).

Figura 7 Registro fotográfico – Sondeo y recuperación de muestras, Sutamarchán (urbano).



Nota. Elaboración propia con base en documentación fotográfica tomada durante el trabajo de campo.

En laboratorio se realizaron ensayos de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y compresión inconfiada. Los índices de plasticidad (IP) variaron entre 12.55% y 22.83%, calificando el potencial de expansión como bajo a medio, condición que permite un comportamiento estable del suelo frente a variaciones de humedad. En la tabla 13 se presentan los valores de capacidad portante admisible y asentamientos para zapatas cuadradas.

Tabla 13 Capacidad portante y asentamientos – zapatas cuadradas, Sutamarchán (urbano).

B (m)	L (m)	B/L	Fa (kN)	As (mm)
0.8	0.8	1	217.4	6.14
1	1	1	329.6	7.45
1.2	1.2	1	491.6	9.74

Nota. Elaboración propia con base en resultados de campo y laboratorio, y cálculos de capacidad portante (modelo de Terzaghi) y asentamientos (método edométrico).

Los valores de capacidad portante admisible y asentamientos calculados para zapatas cuadradas se encuentran dentro de rangos compatibles con el diseño de cimentaciones superficiales. Por lo tanto, el suelo evaluado se considera apto para soportar la vivienda proyectada, siempre y cuando se cumplan las recomendaciones constructivas derivadas del estudio geotécnico.

4.1.7 Recomendaciones generales de cimentación para proyectos residenciales

Con base en los resultados obtenidos en los estudios geotécnicos realizados para los diferentes proyectos residenciales descritos en los apartados 4.1.1 a 4.1.6, se establece que la estratigrafía y los parámetros geotécnicos permiten emplear cimentaciones superficiales tipo zapata aislada o corrida, apoyadas en el estrato competente identificado en cada proyecto. La profundidad de desplante recomendada oscila entre 1.00 m y 1.50 m, dependiendo de las condiciones específicas de cada lote.

Los valores admisibles de capacidad portante calculados mediante el modelo de Terzaghi se ubican en el rango de 180 kPa a 300 kPa para zapatas cuadradas de 1.00 m de lado. Se deberá considerar el valor más bajo obtenido en cada estudio como referencia de diseño para garantizar un factor de seguridad mínimo de 3.0.

Los asentamientos elásticos estimados mediante el método edométrico se encuentran por debajo de 25 mm en todos los proyectos, cumpliendo con los límites admisibles establecidos en la NSR-10 para estructuras de baja a media rigidez.

Se identificaron suelos con potencial de expansión bajo a medio, especialmente en arcillas de plasticidad media a alta, por lo que se recomienda el control de humedad durante la construcción y el uso de rellenos estructurales compactados en áreas críticas.

Durante la construcción, el ingeniero residente deberá verificar que el estrato de cimentación corresponda al nivel competente descrito en el estudio de suelos, mediante inspección directa y, de ser posible, pruebas de carga o ensayos in situ complementarios.

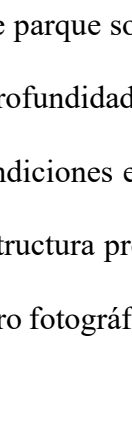

Estas recomendaciones son de carácter general y no reemplazan las especificaciones particulares indicadas en cada estudio, las cuales prevalecen para el diseño y ejecución de las cimentaciones.

4.2 Proyectos de uso no residencial

4.2.1 Estudio geotécnico para parque solar (zona rural) – Tuta, Boyacá

El estudio de suelos para el proyecto de parque solar, localizado en el municipio de Tuta, Boyacá, se realizó mediante cinco sondeos a profundidades finales entre 4,45 m y 5,95 m, con el fin de caracterizar con mayor precisión las condiciones estratigráficas y geotécnicas del terreno, dada la magnitud y distribución lineal de la estructura proyectada. La Figura 8 muestra un perfil estratigráfico representativo junto con un registro fotográfico de campo del proyecto en Tuta (zona rural).

Figura 8 Perfil estratigráfico y registro fotográfico – Tuta (rural).

Profundidad		Avance SPT, m			Foto Litología	Clasificación S.U.C.S
		0.15	0.15	0.15		
0.00	0.45					Material superficial correspondiente al terreno natura de 0,0-0,10. Arcilla delgada con arena. CL
0.45	0.90					
0.90	1.35	15	16	16		Arcilla delgada con arena, color café oscuro, consistencia media-CL
1.35	2.00					

Nota. Elaboración propia a partir del registro de campo del sondeo 4

El perfil del subsuelo presentó una variabilidad significativa, con predominio de materiales cohesivos y resistencia intermedia, clasificados según SUCS como CL, ML, CL-ML y GC. Los contenidos de finos fueron altos en la mayoría de los estratos, con límites líquidos entre 17,01% y 43,24%, índices de plasticidad bajos a moderados y potencial de expansión entre bajo y medio. En la tabla 14 se resumen las propiedades índice del suelo obtenidas en el proyecto de Tuta (zona rural).

Tabla 14 *Propiedades índice del suelo – Tuta (rural).*

SUCS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Potencial de expansión
GC	35.28	23.47	11.81	Bajo
ML	27.65–43.24	24.52–27.27	3.13–15.97	Bajo–Medio
CL	33.01–42.77	18.53–25.81	13.05–18.00	Bajo–Medio
CL-ML	17.01	12.31	4.71	Bajo

Nota. Elaboración propia con base en resultados de laboratorio de límites de Atterberg y clasificación SUCS.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) oscilaron entre 11 y 47 golpes, lo que indica una resistencia intermedia a alta en algunos estratos. La cohesión no drenada (C_u) se encontró en el rango de 0,54 kg/cm² a 0,87 kg/cm², mientras que los ángulos de fricción interna estimados para los suelos granulares fueron de 28° a 34°. Con base en estos parámetros, todos los perfiles se clasificaron como tipo D según la NSR-10.

Si bien se evaluó la capacidad portante para cimentaciones superficiales, la variabilidad estratigráfica y de resistencia en los estratos superiores, junto con la disposición lineal y cargas concentradas de las estructuras del parque, llevó a descartar esta alternativa por razones de eficiencia estructural y control de asentamientos diferenciales.

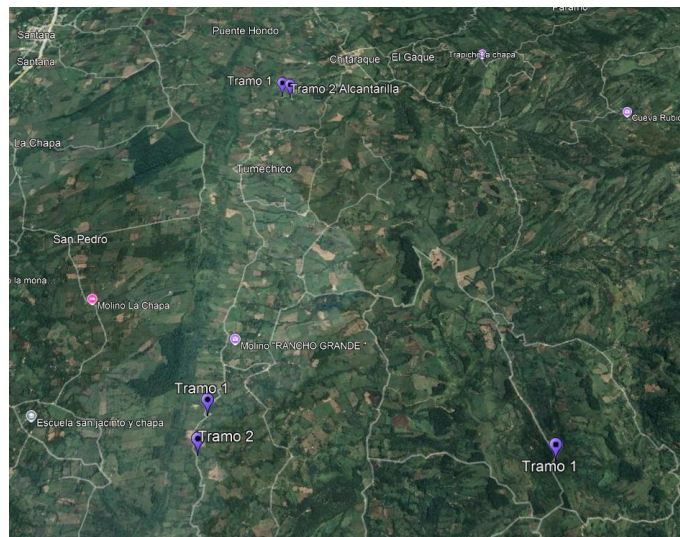
En consecuencia, se recomendó la cimentación profunda mediante pilotes hincados tipo H, a fin de alcanzar estratos con mejores condiciones de confinamiento y capacidad de carga,

asegurando un control adecuado frente a asentamientos diferenciales y el correcto desempeño estructural del sistema de soporte del parque solar.

4.2.2 Proyecto vial – Placa Huella Rural en Chitaraque (Boyacá)

El proyecto de placa huella en el municipio de Chitaraque tuvo como propósito garantizar la transitabilidad y mejorar la conectividad rural en una zona caracterizada por suelos con alta variabilidad en propiedades mecánicas. Debido a la naturaleza arcillosa predominante en algunos sectores y la presencia de materiales granulares en otros, fue necesario evaluar de manera precisa la capacidad de soporte del terreno, su comportamiento ante cambios de humedad y el potencial de expansión, factores determinantes en el desempeño y durabilidad de la estructura vial. La figura 9 muestra la ubicación general de los tramos del proyecto de placa huella en las diferentes veredas.

Figura 9 Ubicación de los tramos – Proyecto placa huella.



Nota. Elaboración propia a partir de Google Earth (2025).

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de campo, entre ellos apiques de reconocimiento (INV E-101/102), penetrómetro dinámico de cono – PDC (INV E-172), CBR in situ con placas de carga (INV E-169), así como la determinación de límites de Atterberg (INV E-125/126) y el análisis granulométrico por tamizado (INV E-123), permitieron establecer

diferencias significativas entre los tramos estudiados, identificando sectores con suelos altamente plásticos y baja resistencia que requieren estabilización, y otros con condiciones más favorables donde basta con controles de compactación y drenaje. Las recomendaciones derivadas del análisis constituyen la base para un diseño que cumpla con la *Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella* (INVÍAS, 2013) y garantice la seguridad y funcionalidad del corredor vial.

4.4.1.1 Estudio geotécnico para placa huella – Vereda Palmichal, Chitaraque, Boyacá

En la vereda Palmichal se evaluaron dos tramos mediante apiques a profundidades entre 0,50 m y 0,80 m. Los suelos se clasificaron según AASHTO como tipo A-7-5, con contenidos de finos superiores al 74%, límites líquidos de 55,4% y 79,2%, e índices de plasticidad entre 20,5% y 37,8%. Los contenidos de humedad natural fueron altos (36,6% y 43,8%), el potencial de expansión se determinó mediante el ensayo INV E-120 (aparato de Lambe), clasificándose los suelos como de expansión alta y muy alta, respectivamente, tal como se ve en la figura 10.

Figura 10 *Ensayo de expansión en aparato de Lambe (INV E-120) – Vereda Palmichal, Chitaraque.*



Nota. Elaboración propia con base en documentación fotográfica tomada durante la ejecución del ensayo.

Los valores de CBR en condición natural fueron de 5,8% y 5,3%, mientras que en condición sumergida descendieron a 2,95% y 1,98%, indicando una capacidad de soporte muy limitada para subrasante. Estas condiciones hacen necesaria la estabilización o el reemplazo parcial del material, así como un control estricto de humedad durante la construcción, a fin de prevenir deformaciones excesivas y garantizar la durabilidad de la estructura vial. En la tabla 15 se presentan las características geotécnicas de la vereda Palmichal.

Tabla 15 Características geotécnicas – Vereda Palmichal

Tramo	Apiques	Prof. (m)	AASHTO	LL (%)	IP (%)	w (%)	Expansión (%)	CBR natural (%)	CBR sumergido (%)	Potencial
1	A1-M1	0,5–0,8	A-7-5	55.4	20.5	36.6	7.19	5.8	2.95	Alto
2	A2-M1	0,5–0,8	A-7-5	79.2	37.8	43.8	10.42	5.3	1.98	Muy alto

Nota. Valores bajos de CBR y alta plasticidad evidencian comportamiento crítico para subrasante.

Se recomienda control de humedad y estabilización.

4.4.1.2 Estudio geotécnico para placa huella – Vereda Resguardo de Blancos, Chitaraque, Boyacá

En la vereda Resguardo de Blancos se evaluó un tramo mediante apiques a profundidades aproximadas entre 0,60 m y 0,90 m. Los materiales encontrados correspondieron a suelos arcillosos (A-6) y limosos-arenosos (A-4), con límites líquidos entre 30,6% y 31,9%, índices de plasticidad de 9,2% a 13,1% y humedades naturales moderadas (22,5% a 28,9%). El potencial de expansión se clasificó como medio según el ensayo INV E-120 (aparato de Lambe). La Figura 11 presenta un registro fotográfico de los apiques y del material de subrasante en la vereda Resguardo de Blancos, Chitaraque, Boyacá.

Figura 11 Registro fotográfico – Apiques y subrasante, Resguardo de Blancos (Chitaraque).

Nota. Elaboración propia con base en documentación fotográfica tomada durante el trabajo de campo.

Los valores de CBR en condición natural fueron de 1,24% y 1,19%, mientras que en condición sumergida descendieron a 0,56% y 0,49%, lo que indica una capacidad de soporte deficiente para subrasante. Debido a esta condición, especialmente en el sector de alcantarilla, se recomienda la implementación de un tratamiento de estabilización o el reemplazo parcial del material, acompañado de drenaje eficiente para garantizar la durabilidad de la estructura vial. En la tabla 16 se presentan las características geotécnicas de la vereda Resguardo de Blancos.

Tabla 16 Características geotécnicas – Vereda Resguardo de Blancos.

Tramo	Apiques	Prof. (m)	AASHTO	LL (%)	IP (%)	w (%)	Expansión (%)	CBR natural (%)	CBR sumergido (%)	Potencial
1	A3-M1	0,6–0,9	A-6	31.9	13.1	22.5	4.38	1.24	0.56	Medio
2	A4-M1	0,6–0,9	A-6	30.6	9.2	28.9	2.68	1.19	0.49	Medio

Nota. Baja capacidad de soporte, especialmente en el sector de alcantarilla. Es indispensable drenaje y estabilización granular

4.4.1.3 Estudio geotécnico para placa huella – Veredas Santa Bárbara y Santo Domingo, Chitaraque, Boyacá

En las veredas Santa Bárbara y Santo Domingo se evaluaron tres tramos mediante apiques con profundidades entre 0,50 m y 0,80 m. En Santa Bárbara, los suelos correspondieron a materiales arcillosos de alta plasticidad (A-7-5 y A-7-6), con humedades naturales cercanas al límite líquido, evidenciando condición de saturación. El potencial de expansión se clasificó como alto en el tramo 1 y medio en el tramo 2. Los valores CBR sumergidos fueron inferiores al 2%, lo que implica necesidad de control estricto de humedad y drenaje superficial. La figura 12 muestra el registro fotográfico de las actividades de campo realizadas en los apiques de las veredas Santa Bárbara y Santo Domingo, en Chitaraque, Boyacá.

Figura 12 Registro fotográfico – Apiques en veredas Santa Bárbara y Santo Domingo, Chitaraque.



Nota. Elaboración propia con base en documentación fotográfica tomada durante la ejecución del ensayo.

En Santo Domingo, se identificó material granular (A-2-6) con predominio de gravas (72,5%), baja plasticidad ($IP = 12,7\%$) y baja expansión (5,22%), alcanzando valores CBR

superiores al 8 %, lo que indica condiciones favorables para subrasante, aunque se recomienda control de humedad y del porcentaje de finos. En la tabla 17 se presentan las características geotécnicas de las veredas Santa Bárbara y Santo Domingo.

Tabla 17 Características geotécnicas – Veredas Santa Bárbara y Santo Domingo.

Tramo	Apiques	Prof. (m)	AASHTO	LL (%)	IP (%)	w (%)	Expansión (%)	CBR natural (%)	CBR sumergido (%)	Potencial
1	A4-M1	0,5–0,8	A-7-5	60.4	24.3	38.5	4.4	1.8	1.8	Alto
2	A5-M1	0,5–0,8	A-7-6	42.4	21.2	29.4	4.3	1.27	1.27	Medio
3	A3-M1	0,5–0,8	A-2-6	34.2	12.7	10.6	8	6.5	6.5	Bajo

Nota. En Santa Bárbara, los altos valores de expansión exigen implementar filtros y cunetas para controlar escorrentía. En Santo Domingo, los valores de CBR fueron obtenidos por correlación con PDC y ensayos de laboratorio; el material granular presenta buen desempeño siempre que se controle la humedad.

4.2.3 Estudio geotécnico para planta de tratamiento de aguas residuales – Vereda Sagrabajo, Socha, Boyacá

El estudio se realizó en la vereda Sagrabajo, municipio de Socha (Boyacá), en un predio destinado a la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). La zona de exploración se encuentra adyacente a una vertiente utilizada para la evacuación de aguas residuales, condición que exige un control riguroso de infiltraciones durante la ejecución y operación de la obra.

Se ejecutaron tres sondeos con profundidades máximas de 3,40 m, sin hallazgo de nivel freático. El subsuelo está conformado por arcillas de baja plasticidad (CL) con intercalaciones limo-arenosas (ML). Los índices de plasticidad e índices de consistencia señalan un potencial expansivo bajo a medio, lo que permite el uso de cimentaciones superficiales, siempre que se garantice una adecuada protección hidráulica.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) oscilaron entre 8 y 36 golpes, asociados a materiales cohesivos de consistencia blanda a media. La cohesión no drenada promedio (C_u) fue de 1,60 kg/cm², alcanzando valores máximos de 2,50 kg/cm². Conforme a la NSR-10, se clasificó el sitio como perfil sísmico tipo D. La capacidad portante admisible, calculada con el modelo de Terzaghi para una profundidad de fundación de 1,20 m, varió entre 300 y 360 kPa, con asentamientos elásticos estimados inferiores a 20 mm, condición favorable para la estructura proyectada.

Recomendación técnica: se sugiere emplear zapatas aisladas de concreto reforzado, unidas mediante vigas de amarre y desplantadas a una profundidad mínima de 1,20 m. Debido a la cercanía de la vertiente, es indispensable incorporar drenaje perimetral tipo francés y sistemas de control superficial de escorrentías para prevenir filtraciones hacia la base de las cimentaciones. Los rellenos deberán compactarse al 95% Proctor modificado y protegerse contra saturación. En la tabla 18 se presentan los parámetros geotécnicos representativos del predio 1 en Socha.

Tabla 18 *Parámetros geotécnicos representativos – Predio 1 (Socha).*

Parámetro	Valor representativo
Profundidad máxima explorada	3,40 m
Clasificación SUCS	CL – ML
N_{60} (rango)	8 – 36
Cohesión (C_u)	1,60 kg/cm ² (máx. 2,50 kg/cm ²)
Perfil sísmico	Tipo D
Capacidad portante admisible	300 – 360 kPa

Nota. valores obtenidos a partir de los resultados del ensayo SPT, análisis de laboratorio y correlaciones normativas (NSR-10, Título H).

4.2.4 Estudio geotécnico para bodega de un nivel – Hogar de Paso (JDC), Soracá, Boyacá

El estudio geotécnico se realizó en el Hogar de Paso (JDC), ubicado en el municipio de Soracá, Boyacá, con el fin de establecer los parámetros de diseño para la cimentación de una

bodega de un nivel. Se ejecutaron tres sondeos manuales con profundidades finales de 3,80 m, 3,90 m y 3,70 m, sin hallazgo de nivel freático durante la exploración.

El subsuelo está constituido por arcillas de baja plasticidad (CL) con intercalaciones limo-arcillosas (ML). Los índices de plasticidad indican un potencial de expansión bajo a medio, lo que exige implementar control de humedad y drenaje en la etapa constructiva.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) oscilaron entre 12 y 45 golpes, clasificando el suelo como de consistencia media a dura. La cohesión no drenada promedio (C_u) fue de 1,43 kg/cm², con valores entre 0,59 y 2,21 kg/cm². Según la NSR-10, el perfil corresponde a un suelo tipo C. La capacidad portante admisible, calculada mediante el método de Terzaghi para una profundidad de fundación de 1,20 m, se ubicó entre 272 y 342 kPa, con asentamientos elásticos máximos proyectados de 24,8 mm, compatibles con la estructura propuesta.

Recomendación técnica: se recomienda el uso de zapatas aisladas de concreto reforzado, interconectadas mediante vigas de amarre y desplantadas a 1,20 m desde el nivel de terreno natural. Es indispensable la implementación de drenaje perimetral tipo francés y control estricto de compactación en rellenos ($\geq 95\%$ Proctor modificado). En la tabla 19 se presentan los parámetros geotécnicos representativos del proyecto de bodega en Soracá, Boyacá.

Tabla 19 *Parámetros geotécnicos representativos – Bodega, Soracá, Boyacá*

Parámetro	Valor representativo
Profundidad máxima explorada	3,90 m
Clasificación SUCS	CL – ML
N_{60} (rango)	12 – 45
Cohesión (C_u)	1,43 kg/cm ² (máx. 2,21 kg/cm ²)
Perfil sísmico	Tipo C
Capacidad portante admisible	272 – 342 kPa

Nota. Valores obtenidos a partir de análisis de campo y laboratorio conforme a la NSR-10.

4.2.2 Estudio geotécnico para auditorio municipal (zona urbana) – Floresta, Boyacá

El estudio se realizó en el casco urbano del municipio de Floresta, Boyacá, en un lote destinado a la construcción de un auditorio municipal. Se ejecutaron tres sondeos con profundidades entre 2,50 m y 3,60 m, recuperando muestras alteradas para ensayos de laboratorio. Durante la exploración se identificó la presencia de nivel freático en el sondeo 3, a una profundidad aproximada de 2,30 m, lo que exige control de infiltraciones y drenaje en la etapa constructiva.

El subsuelo está conformado por materiales heterogéneos, con predominio de arcillas de baja plasticidad (CL) y gravas arcillosas (GC), intercaladas con lentes limo-arenosos (CL-ML). Los índices de plasticidad indican un potencial expansivo bajo, condición favorable para cimentaciones superficiales siempre que se garantice protección hidráulica.

Los valores corregidos del ensayo SPT (N_{60}) oscilaron entre 24 y 45 golpes, correspondientes a suelos cohesivos de consistencia media a dura. La cohesión no drenada promedio (C_u) fue de 1,74 kg/cm², con valores entre 1,13 y 2,21 kg/cm². De acuerdo con la NSR-10, el perfil se clasifica como tipo D. La capacidad portante admisible, calculada mediante la ecuación general de Terzaghi para cimentaciones superficiales a 1,20 m de profundidad, fue del orden de 330 a 340 kPa, con asentamientos estimados entre 20 y 26 mm, compatibles con la estructura proyectada.

La recomendación técnica emitida fue emplear zapatas aisladas de concreto reforzado, unidas mediante vigas de amarre, con desplantación mínima de 1,20 m sobre estrato competente. Debido a la presencia de nivel freático, se debe implementar drenaje perimetral tipo francés y un sistema de canalización de aguas superficiales para evitar pérdida de capacidad portante y variaciones de humedad en el subsuelo. Los rellenos deberán compactarse al 95% Proctor

modificado. En la tabla 20 se presentan los parámetros geotécnicos representativos del proyecto de auditorio en Floresta.

Tabla 20 *Parámetros geotécnicos – Auditorio, Floresta.*

Parámetro	Valor representativo
Profundidad máxima explorada	3,60 m
Clasificación SUCS	CL – GC - CL - ML
N ₆₀ (rango)	24 – 45
Cohesión (Cu)	1,74 kg/cm ² (máx. 2,21 kg/cm ²)
Perfil sísmico	Tipo D
Capacidad portante admisible	330 – 340 kPa

Nota. Valores obtenidos del análisis de campo y laboratorio conforme a NSR-10.

4.3 Ensayos adicionales

4.3.1 Determinación de pH en suelos

El ensayo de pH en suelos se realizó como parte del análisis complementario para la construcción de torres de energía, con el fin de identificar posibles riesgos de corrosión en elementos metálicos de cimentación.

La prueba consistió en mezclar la muestra de suelo con soluciones de agua destilada y cloruro de calcio (CaCl₂), utilizando tiras indicadoras universales para estimar la acidez o alcalinidad. El resultado obtenido fue de aproximadamente pH 6.5 – 7.0, lo que indica un comportamiento neutro a ligeramente ácido, condición favorable para estructuras metálicas y cimentaciones en concreto, reduciendo el riesgo de corrosión. La figura 13 muestra el ensayo de pH realizado en suelos destinados a torres de energía.

Figura 13 *Ensayo de pH en suelos para torres de energía*

Nota. Se observa la muestra mezclada con agua destilada y CaCl_2 para la medición del pH mediante tiras indicadoras. Fuente: Fotografía propia.

4.3.2 Ensayo de Equivalente de Arena – Proyecto de Pavimentación en Tunja

Este ensayo se realizó como parte del control de calidad en la caracterización de agregados finos para el proyecto de pavimentación en Tunja, con el objetivo de determinar la proporción de material fino y arcilloso presente en la mezcla granular.

El procedimiento consistió en la preparación de una suspensión de suelo y su posterior decantación en una probeta graduada, midiendo la relación entre la altura de la arena y la suspensión arcillosa. Este valor permite evaluar la limpieza del material, parámetro fundamental para garantizar la durabilidad y capacidad estructural de las capas granulares en pavimentos.

El resultado evidenció que el material cumple con las especificaciones para su uso en capas de subbase y base granular, asegurando un comportamiento adecuado frente a las cargas de tránsito. La figura 14 muestra el ensayo de equivalente de arena realizado en agregado para pavimentación en Tunja.

Figura 14 *Ensayo de equivalente de arena en agregado para pavimentación en Tunja*



Nota. Se observa la suspensión decantada en la probeta graduada, utilizada para la determinación del equivalente de arena. Fuente: Fotografía propia.

4.3.3 Ensayo de Resistividad Eléctrica del Suelo – Proyecto Estación EBSA, Sogamoso

Este ensayo se ejecutó para el proyecto de la Estación EBSA en Sogamoso, con el fin de evaluar las condiciones del terreno para el diseño del sistema de puesta a tierra, garantizando la seguridad eléctrica y el cumplimiento normativo.

La prueba se realizó mediante el método de Wenner (cuatro electrodos) empleando un telurómetro digital UNI-T UT572, variando la separación entre electrodos en 1 m, 2 m y 4 m. El equipo calculó automáticamente la resistividad del suelo a partir de las mediciones de resistencia.

Los valores obtenidos oscilaron entre $5.53 \Omega \cdot m$ y $10.81 \Omega \cdot m$, lo que indica un suelo de textura arcillosa con humedad moderada, condición favorable para la instalación de sistemas de puesta a tierra. La figura 15 presenta el ensayo de resistividad eléctrica del suelo mediante el método de Wenner, realizado en la Estación EBSA de Sogamoso, Boyacá.

Figura 15 Ensayo de resistividad eléctrica – Estación EBSA, Sogamoso.

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución en campo.

Importancia: Una resistividad baja favorece la eficiencia y seguridad de los sistemas de puesta a tierra, reduciendo riesgos eléctricos y asegurando la estabilidad operativa de infraestructuras eléctricas. En la tabla 21 se presentan los valores de resistividad eléctrica obtenidos en la Estación EBSA de Sogamoso.

Tabla 21 Valores de resistividad eléctrica – Estación EBSA (Sogamoso)

Espaciamiento (m)	Resistencia (Ω)	Resistividad
1	1.19	7.42
2	0.44	5.53
4	0.45	10.81

Nota. Lecturas tomadas con telurómetro digital UNI-T UT572, método Wenner.

4.3.4 Ensayo de Compresión en Cilindros de Concreto

El ensayo de compresión en cilindros de concreto se ejecuta para verificar el cumplimiento de la resistencia especificada en diseño, en concordancia con los criterios del Título C de la NSR-10. Este control es fundamental para garantizar la seguridad estructural y la durabilidad de las obras.

Durante la práctica profesional se evaluaron cilindros de dos proyectos:

- Centro de Desarrollo Infantil (CDI) en Tunja, con resistencia de diseño 3000 psi (\approx 21 MPa).
- Edificio Villamizar en Tunja, con resistencia de diseño 4000 psi (\approx 28 MPa).

En la tabla 22 se presentan los resultados de los ensayos de compresión realizados en estos proyectos.

Tabla 22 Resultados de compresión en cilindros

Código	Edad (días)	Resistencia diseño (psi)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia (MPa)	Cumplimiento (%)
FC-0578	21	3000	4682	32.3	156
FC-0579	27	3000	5222	36	174
FC-0580	27	3000	5382	37.1	179
FC-0581	14	3000	4089	28.2	136
FC-0582	21	3000	4223	29.1	141
FC-0583	28	3000	4444	31	148
FC-0586	28	3000	3061	21.1	102

Nota. Resistencias calculadas conforme a INV E-410. Fuente: Informes de laboratorio SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos respondieron de manera directa a los objetivos: se formularon planes de ensayo ajustados a cada proyecto, se ejecutaron pruebas de campo y laboratorio bajo protocolos normativos y se interpretaron los parámetros geotécnicos requeridos para definir capacidades portantes, asentamientos y perfiles sísmicos. Este proceso garantizó recomendaciones de cimentación confiables y acordes con la normativa vigente.

La información recolectada, procesada y analizada, incluyendo la aplicación de correlaciones normativas y el uso de criterios comparativos, se tradujo en productos tangibles como perfiles estratigráficos, tablas de resultados, cuadros resumen de parámetros y

recomendaciones de cimentación, los cuales constituyen herramientas técnicas para la empresa y aportan valor agregado en la toma de decisiones de diseño.

La aplicación de ensayos in situ como el SPT (INV E-111), el CBR en terreno (INV E-169) y el ensayo de placa de carga (INV E-168) permitió contrastar la información de laboratorio con el comportamiento real del subsuelo bajo condiciones de confinamiento natural. Esta complementariedad entre campo y laboratorio proporcionó mayor confiabilidad en la definición de módulos de reacción, parámetros de resistencia y correlaciones normativas exigidas por la NSR-10, lo que redundó en cimentaciones más seguras y optimizadas.

La estandarización de procedimientos de muestreo, transporte y conservación de muestras según las normas INV E-101 a E-113 del INVIAS garantizó la calidad y representatividad de los datos obtenidos. Este aspecto evidenció la importancia de la gestión técnica en el control de calidad de los estudios de suelos, ya que errores en estas etapas iniciales pueden repercutir directamente en la precisión de los análisis y en la toma de decisiones para el diseño de cimentaciones.

Finalmente, la práctica profesional contribuyó al contexto local y regional al generar estudios que aseguran la estabilidad de edificaciones y obras civiles en municipios con alta variabilidad geotécnica y amenaza sísmica. A nivel académico y personal, la experiencia permitió integrar la teoría con la práctica, consolidando competencias en exploración geotécnica, análisis de laboratorio, gestión documental y redacción técnica, lo que fortalece el perfil profesional del estudiante para su desempeño futuro en el ámbito de la ingeniería civil.

6. Recomendaciones

En el marco de la práctica empresarial desarrollada en SISMOINGENIERÍA P.S. S.A.S., se plantean las siguientes recomendaciones específicas para fortalecer los procesos internos de la compañía:

- Implementar ensayos avanzados, como pruebas triaxiales o de consolidación edométrica, en suelos con alta compresibilidad o expansividad, con el fin de obtener parámetros de diseño más precisos y confiables en los proyectos que atiende la empresa.
- Mejorar el sistema de SPT, dado que durante la práctica se evidenció que el equipo actualmente utilizado requiere un esfuerzo manual considerable; la modernización con equipos que incorporen polea y motor facilitaría la operación, reduciría la fatiga del personal y aseguraría una aplicación más uniforme de la energía.
- Fortalecer la gestión documental digital mediante la consolidación de una base de datos propia de la empresa, que organice los resultados de ensayos y proyectos ejecutados por municipio, tipo de suelo y parámetros obtenidos, lo que permitirá agilizar la consulta de antecedentes y establecer correlaciones estadísticas útiles para futuros estudios.

Referencias Bibliográficas

- American Society for Testing and Materials – ASTM. (2006). *Annual Book of ASTM Standards*.
ASTM International. West Conshohocken, PA.
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill. New York, NY.
- Coduto, D. P. (2011). *Fundamentos de geotecnia*. Alfaomega. México, D.F.
- Das, B. M. (2011). *Principios de ingeniería de cimentaciones* (7.^a ed.). Cengage Learning. México,
D.F.
- Das, B. M. (2013). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning. Stamford,
CT.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D., & Sheahan, T. C. (2011). *An introduction to geotechnical engineering*
(2nd ed.). Pearson. Upper Saddle River, NJ.
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-103-13: Conservación y transporte de
muestras de suelos*. Recuperado de [https://www.labicivil.com/Media/pdfs/INV%20E-103-
13.pdf](https://www.labicivil.com/Media/pdfs/INV%20E-103-13.pdf)
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-111-13: Ensayo normal de penetración (SPT)
y muestreo de suelos con tubo partido*. Recuperado de [https://www.da-lab.co/wp-
content/uploads/2021/04/INV-111-13.pdf](https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-111-13.pdf)
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-120-13: Ensayo de expansión libre en
aparato de Lambe*. INVIAS.
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-122-13: Determinación de contenido de
humedad*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-123-13: Granulometría por tamizado*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-125-13: Determinación del límite líquido de los suelos*. Recuperado de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-125-13.pdf>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-126-13: Determinación del límite plástico e índice de plasticidad de suelos*. Recuperado de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-126-13.pdf>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-131-13: Determinación de pH en suelos*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-133-13: Ensayo de equivalente de arena*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-148-13: CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada*. Recuperado de <https://www.labcivil.com/Media/pdfs/INV%20E-148-13.pdf>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-161-13: Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono de arena*. Recuperado de <https://www.labcivil.com/Media/pdfs/INV%20E-161-13.pdf>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-162-13: Densidad y humedad in situ – Método del cilindro de parafina*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-164-13: Densidad y humedad in situ – Método nuclear*. INVIAS.

Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-169-13: Ensayo CBR en campo*. INVIAS.

- Instituto Nacional de Vías – INVIAS. (2013). *INV E-410-13: Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de concreto*. INVIAS.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems—Requirements*. ISO. Ginebra, Suiza.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10. Título H: Estudios Geotécnicos*. Recuperado de <https://www.scg.org.co/Titulo-H-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-14.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10. Título E: Casas de uno y dos pisos*. Recuperado de https://camacol.co/sites/default/files/descargables/T%C3%ADtulo%20E%20NSR-10%20del%20Decreto%20926%20del%2019032010_1.pdf
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1974). *Foundation engineering* (2nd ed.). Wiley. New York, NY.
- Rodríguez Rincón, E., da Cunha, R. P., & Caicedo, B. (2020). Analysis of settlements in piled raft systems founded in soft soil under consolidation process. *Canadian Geotechnical Journal*, 57(4), 537–548. <https://doi.org/10.1139/cgj-2018-0702>
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics*. Wiley. New York, NY.
- UNI-T. (2022). *UT572 — User Manual*. UNI-T. Recuperado de <https://meters.universitytrend.com/download/ut572-user-manual/>