

**Propuesta de un documento alternativo de control técnico para la clasificación de suelos en diferentes tipos de obra de construcción geotécnica.**

**Jorge Mario Durán Romero, Sandra Liliana García Sáenz**

**Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Supervisión e Interventoría de la Construcción**

**Director**

**Armando Buelvas Moya**

**Magister en Evaluación y Gerencia de Proyectos**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Arquitectura e Ingeniería**

**Especialista en Supervisión e Interventoría**

**2026**

## Contenido

	Pág.
Introducción.....	11
1. Objetivos.....	14
1.1    Objetivo General.....	14
1.2    Objetivos Específicos .....	14
2. Marco Referencial.....	15
2.1 Marco Teórico.....	15
2.2 Marco Conceptual .....	19
2.3 Marco Legal .....	23
3. Método.....	26
4. Resultados.....	30
4.1 Comparación de los sistemas de clasificación de suelos para diferentes ejemplos de obras de geotecnia.....	30
4.2 Estudio de alternativas en la selección de los diferentes ensayos y pruebas aplicables a los tipos de suelos presentes en la construcción de obras de geotecnia. ....	38
4.2.1 Estudio delacionado con el sistema SUCS.....	39
4.2.2 Estudio relacionado con el AASHTO-93 .....	41

4.2.3 Estudio relacionado con la clasificación de Especificaciones Técnicas INVÍAS .....	44
4.2.4 Estudios relacionados con Normas Técnicas Colombianas – NTC (ICONTEC) .....	47
4.2.5 Estudio relacionado con Normas ASTM (p. ej. D2487, D4318, D2488) .....	49
4.2.6 Estudios relacionados con la Norma Británica BS 5930 (British Standard) ...	51
4.2.7 Estudio relacionado con el Sistema de Clasificación de Suelos por Tipo de Excavación (OSHA – Tipo A, B, C).....	53
4.2.8 Estudio relacionado con el Sistema FAO / WRB / Soil Taxonomy (enfoque pedológico).....	55
4.2.9 Clasificación de materiales de préstamo y relleno (INVÍAS / IDU / Manuales de construcción) .....	57
4.3 Revisión básica para la clasificación de suelos en los laboratorios dependiendo de la obra de geotecnia propuesta.....	59
5. Conclusiones.....	63
Referencias.....	65
Apendices .....	67

**Lista de tablas**

	Pág.
<b>Tabla 1</b> <i>Cuadro comparativo Sistemas de Clasificación según búsqueda bibliográfica</i> ....	33
<b>Tabla 2</b> <i>Resumen ensayos Estudio 1</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Resumen ensayos Estudio 2</i> .....	43
<b>Tabla 4</b> <i>Resumen ensayos Estudio 3</i> .....	45
<b>Tabla 5</b> <i>Resumen ensayos Estudio 4</i> .....	48
<b>Tabla 6</b> <i>Resumen ensayos Estudio 5</i> .....	50
<b>Tabla 7</b> <i>Resumen ensayos Estudio 6</i> .....	52
<b>Tabla 8</b> <i>Resumen ensayos Estudio 7</i> .....	54
<b>Tabla 9</b> <i>Resumen ensayos Estudio 8</i> .....	56
<b>Tabla 10</b> <i>Resumen ensayos Estudio 9</i> .....	58
<b>Tabla 11</b> <i>Listado de chequeo</i> .....	61

**Lista de Apéndices**

	Pág.
Apendice I.....	67

## Glosario

*AASHTO — Sistema de Clasificación:* metodología empírica diseñada para evaluar aptitud de suelos como subrasante en pavimentos; relaciona granulometría y límites de Atterberg con índices útiles para el dimensionamiento de capas de pavimento (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025).

*CBR — California Bearing Ratio:* ensayo empírico que mide la resistencia de suelos/mezclas granulares para diseño de pavimentos; se realiza en condiciones remojadas/no remojadas y es central en especificaciones de pavimento (INVIAS, 2022).

*Clasificación de suelos:* proceso de agrupar suelos con comportamientos ingenieriles similares usando ensayos indicativos (granulometría, límites de Atterberg) y sistemas como SUCS o AASHTO para orientar diseño y control.

*Ensayo de consolidación:* prueba de laboratorio para estimar compresibilidad y coeficientes de consolidación en suelos cohesivos; clave para predecir asentamientos a largo plazo.

*Ensayo Proctor (compactación estándar / modificado):* prueba para obtener la curva humedad-densidad y determinar contenido óptimo de humedad (COM) y densidad máxima seca; procedimiento exigido en control de subrasante, rellenos y capas estructurales (INVIAS, 2022).

*Ensayo triaxial / corte directo:* ensayos mecánicos que determinan parámetros de resistencia ( $\phi$ ,  $c$ ) y deformabilidad bajo condiciones controladas de confinamiento; recomendados cuando se requieren parámetros numéricos robustos para cimentaciones y estructuras de contención.

*Ensayos indexales:* pruebas indicativas (humedad, granulometría, límites de Atterberg, contenido orgánico) que permiten una caracterización preliminar y asignación a grupos de clasificación; deben complementarse con ensayos mecánicos en suelos especiales.

*Granulometría (análisis de partículas):* determinación del porcentaje en masa de fracciones (grava, arena, limo, arcilla) mediante tamizado y sedimentación; base para las clasificaciones indexales y cálculo de parámetros de diseño (NTC/ICONTEC).

*INVIAS (Especificaciones para obras viales):* documentos técnicos que establecen ensayos mínimos (granulometría, Atterberg, Proctor, CBR) y criterios de aceptación para proyectos viales en Colombia; de uso obligatorio en obras de carreteras (INVIAS, 2022).

*Límites de Atterberg (LL — límite líquido; LP — límite plástico):* ensayos de consistencia que determinan los estados límite entre líquido, plástico y semisólido del suelo; permiten estimar plasticidad y fracción fina, parámetros clave en SUCS y AASHTO (ICONTEC, 2013).

*NTC / ICONTEC (Normas Técnicas Colombianas):* conjunto de normas nacionales que definen procedimientos locales (humedad, granulometría, límites de consistencia) y que deben consignarse en los anexos de laboratorio para garantizar trazabilidad (ICONTEC, 2013).

*ONAC (acreditación de laboratorios):* organismo nacional que acredita laboratorios conforme a ISO/IEC 17025; se recomienda contratar laboratorios con alcance acreditado y consignar el DOA en los anexos (ONAC, 2025).

*Permeabilidad:* medida de la facilidad de paso del agua a través del suelo; los ensayos de permeabilidad sirven para definir medidas de drenaje y control de aguas en obra.

*Sensibilidad / suelos colapsables:* propiedad que indica la variación drástica de resistencia o compresibilidad por cambios en humedad o química del fluido de poro; en

suelos sensibles se recomiendan pruebas de sensibilidad y ensayos bajo distintas condiciones de fluido (Velasco & Castro, 2018).

*Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS / USCS):* sistema indexal que clasifica suelos según granulometría y límites de Atterberg, representando la clase con un código de dos letras; útil como guía inicial en ingeniería, pero debe complementarse con ensayos mecánicos cuando el suelo es atípico.

*Suelo:* porción superficial de la corteza terrestre formada por residuos de roca, materia orgánica y vacíos; sus propiedades físicas y químicas varían espacialmente y determinan su comportamiento ingenieril (Equipo editorial, Etecé, 2021; Juárez, 2005).

*Suelos volcánicos (andosoles / andisoles):* suelos originados en materiales piroclásticos con alta porosidad, baja densidad aparente y gran capacidad de retención de agua; presentan comportamientos singulares y requieren ensayos complementarios (Herrera Ardila, 2006; Velasco & Castro, 2018).

## Resumen

El presente documento presenta una propuesta para analizar y comparar diferentes sistemas de clasificación de suelos aplicables a algunas tipologías de obras de geotecnia, con el fin de establecer criterios técnicos que orienten la selección de ensayos de laboratorio y la interpretación de resultados en función del tipo de proyecto. Se realizó una revisión documental y comparativa de fuentes académicas, técnicas y normativas, nacionales e internacionales, que incluyeron los sistemas SUCS, AASHTO, INVÍAS, NTC, ASTM, BS 5930 / Eurocódigo 7, OSHA, FAO/WRB y los criterios para materiales de préstamo y relleno. A partir de esta revisión, se identificaron los ensayos fundamentales para caracterizar las condiciones que determinan la pertinencia de su aplicación en cada contexto constructivo. Se elaboró un cuadro comparativo que sintetiza las características, ventajas y limitaciones de los principales sistemas de clasificación, posteriormente se propone un estudio de alternativas que relacionara los sistemas con los ensayos y pruebas de laboratorio más pertinentes; y finalmente se genera un listado de chequeo básico que sirviera como guía para la solicitud, ejecución y registro de ensayos geotécnicos en laboratorios, según el tipo de obra. Los resultados permitieron establecer equivalencias entre metodologías, determinar la relación entre clasificación y comportamiento del suelo, y proponer una verificación práctica que contribuye a mejorar la trazabilidad y uniformidad en la práctica de laboratorio. Se concluye que la selección del sistema de clasificación y de los ensayos asociados debe responder al tipo de obra, las condiciones locales del terreno o subrasante en casos viales y el propósito del estudio, de modo que las decisiones técnicas sean consistentes, verificables y acordes con las normas vigentes.

*Palabras Clave:* Clasificación de suelos; Ensayos geotécnicos; Sistemas SUCS y AASHTO; Normas INVÍAS; Compactación; CBR; Eurocódigo 7; ASTM; Laboratorio de suelos; Obras de geotecnia.

### **Abstract**

This document proposes an analysis and comparison of various soil classification systems applicable to specific geotechnical engineering typologies. The objective is to establish technical criteria that guide the selection of laboratory tests and the interpretation of results based on project requirements. A comprehensive documentary and comparative review of national and international academic, technical, and regulatory sources was conducted, including the USCS, AASHTO, INVÍAS, NTC, ASTM, BS 5930 / Eurocode 7, OSHA, and FAO/WRB systems, as well as criteria for borrow and fill materials. Through this review, fundamental tests for characterization were identified to determine the relevance of each system within specific construction contexts. A comparative matrix was developed to synthesize the characteristics, advantages, and limitations of the primary classification systems. Subsequently, an alternative study was proposed to correlate these systems with the most pertinent laboratory tests. Finally, a basic checklist was generated to serve as a guide for requesting, executing, and recording geotechnical tests in laboratory settings according to the type of project. The results enabled the establishment of equivalencies between methodologies, the determination of the relationship between classification and soil behavior, and the proposal of a practical verification tool to enhance traceability and standardization in laboratory practice. This study concludes that the selection of both the classification system and its associated tests must align with the specific type of construction, local site conditions, and the scope of the study to ensure that technical decisions remain consistent, verifiable, and compliant with current regulatory standards.

*Key Words:* Soil classification; Geotechnical testing; SUCS and AASHTO systems; INVÍAS standards; Compaction; CBR; Eurocode 7; ASTM; Soil laboratory; Geotechnical works.

## Introducción

Los esquemas de clasificación representan instrumentos clave para organizar materiales incoherentes o naturales, formados por la combinación de componentes sólidos de origen mineral, materia biológica, y vacíos saturados con agua y/o aire, en función de la respuesta que exhiben ante determinadas sollicitaciones físicas. Es imperativo señalar que un material catalogado como apto para específicas circunstancias físicas no garantizará necesariamente un desempeño idéntico en condiciones ambientales variadas, puesto que las cualidades fisicoquímicas tienen la capacidad de modificar la particularidad de su aplicación práctica. La multiplicidad de sistemas de clasificación, cada uno ideado con un propósito específico, permite discernir las características pertinentes del material, establecer métodos de ensayo y parámetros de diseño pertinentes, intercambiar información sobre la calidad y viabilidad del suelo entre expertos, homologar los protocolos de supervisión y fijar limitaciones o consejos concretos según el tipo de estructura. La adecuada catalogación se revela como una gran ventaja para los ingenieros geotécnicos y supervisores, ofreciendo directrices fundamentadas en el conocimiento acumulado para definir el empleo de un material en rellenos, lechos, plataformas o intercambios, entre otras finalidades (COTECNO, s.f.).

En el desarrollo de estudios de ingeniería, existen varios sistemas de clasificación de suelos de uso común a nivel mundial, tales como el Sistema de clasificación de granulometría para suelos, la Clasificación textural, el Sistema de clasificación AASHTO de suelo, el Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), y para suelos especiales poco comunes, como los provenientes de erupciones volcánicas, también se han desarrollado otros métodos particulares (Puma Chuquichampi & Teran Corredor, 2022; Tobar-Díaz et al., 2023). En particular para Colombia, los sistemas más comunes son el Método Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) y el sistema de clasificación AASHTO, su uso dependiendo de la entidad responsable y de la finalidad del estudio. Por ejemplo, en estudios comparativos realizados con suelos derivados de cenizas volcánicas del suroccidente colombiano se aplicaron de forma paralela el SUCS y el AASHTO para evaluar diferencias en la

clasificación y en la recomendación de usos; estos trabajos muestran cómo cada sistema aporta información complementaria para fines distintos (Velasco & Castro, 2018). En investigaciones de caracterización geotécnica y estudios urbanos en Colombia se emplea ampliamente el SUCS para agrupar estratos, correlacionar parámetros indexales y presentar resultados de SPT y ensayos de laboratorio, facilitando la interpretación técnica de los perfiles de suelo (López & Daniela, 2022). Por otro lado, el sistema AASHTO es el empleado de forma habitual en el diseño y dimensionamiento de pavimentos (tanto rígidos como flexibles) en proyectos viales y tesis de ingeniería en universidades colombianas, siendo citado en trabajos de diseño de pavimentos para regiones como Catatumbo y en múltiples trabajos de grado que aplican AASHTO-93 para determinar espesores y capas estructurales (Garay, 2023).

Existen obras de ingeniería en las que no se dispone de una definición precisa para seleccionar el método de estudio de suelos adecuado, generando problemas constructivos posteriores. Un ejemplo es el caso de un muro de contención en los proyectos viales o de edificaciones, necesario para estabilizar una vía o la construcción de estructuras sobre suelos de origen volcánico, donde el tipo de suelo puede afectar la capacidad portante del suelo-muro, condicionando la estructura a sufrir volcamiento, deslizamiento o asentamientos, proponer un tipo de suelo para casos particulares basados en un resumen de las anteriores clasificaciones, permite garantizar las condiciones de diseño del muro o por el contrario definir la utilidad o no de un material en particular (Montoya et al., 2017). Otro caso de estudio como el proyecto de vía en la Sabana de Bogotá se registraron patologías prematuras del pavimento —fisuras por desecación y deformaciones— atribuibles a una caracterización insuficiente del subrasante y a la elección inadecuada de criterios de clasificación para el diseño de la estructura vial; estos problemas obligaron a reparaciones anticipadas y a reasignación de presupuesto (Pineda & Rueda, 2011). En otros casos, fallas en muros de contención en obras colombianas han estado asociadas a errores en la especificación del método de estudio geotécnico y a la falta de definición clara de las condiciones del suelo en el pliego técnico, lo que ha derivado en diseños que no consideraron adecuadamente la

capacidad portante ni el estado de humedad del material (Guarín Leyva, 2018). En particular, los suelos de origen volcánico —frecuentes en varias regiones del país— presentan alta variabilidad en propiedades indexales y de comportamiento (retención de humedad, cohesión aparente, compresibilidad), de modo que una clasificación incompleta o un método inadecuado puede conducir a errores de diseño que aumenten el riesgo de volcamiento, deslizamiento o asentamientos (Herrera Ardila, 2006). Además, la experiencia práctica y las lecciones aprendidas en diseño y construcción indican que especificaciones y notas inadecuadas o el uso de sistemas poco apropiados para la finalidad del proyecto contribuyen a fallos constructivos y sobrecostos, razón por la cual la normativa exige estudios geotécnicos detallados cuando las condiciones del subsuelo no están claramente definidas (Administrador, 2024).

Esta diversidad de aplicaciones ilustradas en la literatura colombiana confirma la necesidad de contar con sistemas de clasificación flexibles y adaptados a la finalidad —geotecnia urbana, obras civiles o diseño vial— para seleccionar ensayos, criterios de diseño y controles de calidad apropiados. Lamentablemente, en muchos laboratorios de Colombia, no existe una línea clara sobre la elección del sistema de clasificación de suelos más adecuado para diferentes necesidades estructurales. En muchos casos, es el jefe de cada laboratorio quien decide qué tipo de ensayo aplicar para clasificar el terreno. Se destaca que la clasificación del suelo ha demostrado ser una herramienta valiosa para los ingenieros, ya que proporciona pautas generales basadas en la experiencia empírica de otros. Esto subraya su utilidad como base para el diseño y la toma de decisiones en proyectos de ingeniería (Ganacampo, 2018). Por lo tanto, se plantea la necesidad de desarrollar un formato claro que registre la selección del método que el profesional de ingeniería requiere para el estudio del terreno a evaluar. Esto podría asegurar una mayor precisión en los resultados y evitará problemas en el diseño y construcción de futuros proyectos, por lo tanto, nos preguntamos ¿De qué manera la implementación y aplicación de la propuesta de un Documento Alternativo de Control Técnico para la clasificación de suelos geotécnicos optimizaría la

estandarización de procedimientos, mejoraría la gestión de riesgos y facilitaría la selección de criterios de diseño en diferentes tipos de obras de construcción?

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Proponer un documento alternativo de control técnico para la clasificación de suelos en diferentes tipos de obra de construcción geotécnica.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar un cuadro comparativo de los sistemas de clasificación de suelos para diferentes ejemplos de obras de geotecnia.
- Proponer un estudio de alternativas en la selección de los diferentes ensayos y pruebas aplicables a los tipos de suelos presentes en la construcción de obras de geotecnia.
- Generar un listado de chequeo básico para la clasificación de suelos en los laboratorios dependiendo de la obra de geotecnia propuesta.

## 2. Marco referencial

### 2.1 Marco teórico.

La clasificación de suelos consiste en agrupar una masa de suelo que presenta un comportamiento semejante, propiedades y caracteres ingenieriles similares. El punto de partida para clasificar los suelos es utilizar pruebas sencillas de tipo indicativo y así asignarlo a un grupo predeterminado.

En este marco, los sistemas de clasificación de los suelos, son métodos por los cuales se clasifican los suelos según su uso, textura, tamaño de la partícula, permeabilidad y otras características que ayudan a definir el tipo de suelo sobre el que se va a trabajar. Entre los sistemas de clasificación, algunos son:

#### *2.1.1 Sistema AASTHO*

El Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es una metodología empírica orientada a evaluar la aptitud de los suelos como subrasante para el diseño de pavimentos (especialmente flexibles). Su propósito principal es relacionar resultados de ensayos indexales (análisis granulométrico y límites de Atterberg) con parámetros prácticos de diseño mediante índices empíricos (p. ej. índice AASHTO) y correlaciones con ensayos de rendimiento como el CBR, así como con curvas de compactación tipo Proctor. Por ello, en la práctica AASHTO combina la caracterización indexal básica (granulometría, LL, LP) con ensayos de compactación y CBR para definir la capacidad portante y estimar espesores de capa en estructuras de pavimento (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025; ICONTEC, 2013).

Aunque es muy utilizada en diseños de infraestructura vial y aparece como referencia técnica en trabajos de grado y proyectos en Colombia (p. ej. Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025; Garay, 2023), la AASHTO-93 fue desarrollada sobre bases empíricas en climas y suelos de los Estados Unidos; por tanto, su aplicación en contextos tropicales o en suelos volcánicos puede requerir ajustes o verificación mediante ensayos adicionales (Velasco & Castro, 2018). En efecto, estudios colombianos muestran que, en suelos derivados de cenizas volcánicas o con sensibilidad química, las pruebas indexales convencionales (granulometría y Atterberg) no siempre capturan comportamientos críticos (p. ej. colapso o variaciones de plasticidad frente a cambios en el fluido de poro), por lo que se recomienda complementar AASHTO con ensayos de desempeño (CBR remojado/no remojado, pruebas de módulo resiliente o triaxiales con carga repetida) y con la calibración local de correlaciones empíricas (Velasco & Castro, 2018; Pineda & Rueda, 2011).

En el marco normativo colombiano, las Especificaciones de INVÍAS recogen ensayos y criterios de aceptación (granulometría, límites de Atterberg, Proctor y CBR) que se usan en conjunto con la AASHTO para el dimensionamiento y control de calidad de pavimentos; por ello, en proyectos locales es habitual aplicar AASHTO-93 apoyado en las prescripciones de INVÍAS y documentar explícitamente las normas y métodos de ensayo empleados (INVIAS, 2022; ICONTEC, 2013). Además, la literatura técnica local muestra aplicaciones prácticas de AASHTO en proyectos de diseño de pavimento y tesis universitarias, lo que facilita la comparación de resultados y la transferencia de criterios técnicos entre profesionales (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025; Garay, 2023).

### ***2.1.2 Sistema SUCS***

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS / USCS) es un sistema indexal ampliamente usado en ingeniería geotécnica y geología para clasificar suelos en función de su granulometría y de los límites de Atterberg. El método asigna una clase

mediante un símbolo de dos letras (por ejemplo, GW, SW, CL, ML), que resume la fracción gruesa/fina y la plasticidad del material; estas clases sirven como guía inicial para inferir comportamientos generales y seleccionar ensayos complementarios (Velasco & Castro, 2018).

La clasificación SUCS se fundamenta en resultados de tamizado y sedimentación para determinar porcentajes de grava, arena y finos, y en los ensayos de límites líquidos y plástico para caracterizar la plasticidad de la fracción fina. Debido a su naturaleza indexal, SUCS es especialmente útil para comunicarse entre profesionales y para establecer criterios de aceptación/rechazo preliminares en obras; sin embargo, no entrega directamente parámetros mecánicos (resistencia, módulo, compresibilidad), por lo que se requiere complementar la clasificación con ensayos de laboratorio (triaxial, consolidación, Proctor, CBR, permeabilidad) cuando el proyecto demande valores cuantitativos para el diseño (ICONTEC, 2013; Velasco & Castro, 2018).

En contextos colombianos y, de modo particular, en suelos derivados de cenizas volcánicas o con comportamiento sensible, la SUCS puede subestimar fenómenos como colapso estructural al humedecerse o variaciones de comportamiento por cambios en la química del fluido de poro; por ello, la literatura local recomienda verificar las clases indexales con ensayos de desempeño (CBR remojado, pruebas triaxiales con control de poros, ensayos de sensibilidad) y aplicar criterios de calibración local antes de usar correlaciones empíricas internacionales de espesor o capacidad portante (Velasco & Castro, 2018).

### ***2.1.3 Sistema FAA***

El Sistema FAA (Federal Aviation Administration) aplica criterios de clasificación de suelos orientados a la evaluación de la aptitud de los materiales para obras

aeroportuarias, donde las exigencias sobre capacidad portante, capacidad de drenaje y comportamiento frente a cargas dinámicas difieren de las de obras viales o civiles. Al igual que AASHTO y SUCS, la clasificación FAA se apoya en resultados de análisis granulométrico y en los límites de Atterberg; sin embargo, su nomenclatura y umbrales suelen ajustarse para reflejar la importancia relativa de la fracción gruesa (arena/grava) frente a las fracciones finas (limo/arcilla) en lo que respecta a la estabilidad de pistas, plataformas y zonas de rodaje. En la práctica, esto implica que los porcentajes de arena, limo y arcilla se interpretan con criterios de aceptabilidad específicos para pavimentos aeroportuarios, y se combinan con ensayos de compactación (Proctor), CBR y/o ensayos de desempeño (módulo resiliente, triaxiales con carga repetida) cuando se requiere un dimensionamiento que responda a cargas de despegue/aterrizaje y a la repetición de ciclos de carga (Puma Chuquichampi & Teran Corredor, 2022; Tobar-Díaz et al., 2023).

Dado que muchas guías y normas nacionales (p. ej. NTC/ICONTEC) definen métodos de ensayo para granulometría y límites de consistencia, la adopción de criterios FAA en un proyecto local exige declarar explícitamente los procedimientos de laboratorio y, cuando proceda, calibrar o verificar las correlaciones con ensayos de desempeño adecuados al contexto (INVIAS, 2022; ICONTEC, 2013). Asimismo, la experiencia documentada en suelos tropicales y volcánicos sugiere precaución: suelos con comportamiento atípico (altamente porosos, colapsables o sensibles a cambios químicos) pueden requerir ensayos complementarios antes de aplicar directamente umbrales de aceptación basados en porcentajes simples de arena/limo/arcilla. Por tanto, la clasificación FAA debe usarse como criterio operativo siempre que se complemente con ensayos mecánicos y con la verificación del laboratorio acreditado que realiza las pruebas (Velasco & Castro, 2018; ONAC, 2025).

## 2.2 Marco conceptual

Para el desarrollo del proyecto se tienen en cuenta los siguientes conceptos, el **suelo** es la porción más superficial de la corteza terrestre, constituida en su mayoría por residuos de roca provenientes de procesos erosivos y otras alteraciones físicas y químicas, así como de materia orgánica fruto de la actividad biológica que se desarrolla en la superficie (Equipo editorial, Etecé, 2021). Pero según Juárez (2005), la definición de suelo es: “se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían vectorialmente”. De acuerdo con los tipos de suelo y según sus características físicas tenemos:

- Suelos Arenosos, son un tipo de terreno conformado por arena, la cual está compuesta por pequeñas partículas de rocas.
- Suelos Calizos: se caracterizan por tener altos niveles de sales calcáreas en su composición.
- Tierra Negra: tienen un alto contenido de material orgánico y un característico color negro.
- Suelos Arcillosos: suelen ser rojizos o con tonalidades amarillentas y se caracterizan por su alto contenido de arcillas.
- Suelos Pedregosos: se identifica a simple vista por las rocas y piedras de diferentes tamaños que se ubican en sus superficies.
- Suelos Mixtos: este tipo de suelo por lo general guardan características de los suelos arcillosos y arenosos.
- Suelos Volcánicos: se agrupan en aquellos suelos originados a partir de materiales piroclásticos y que contienen una alta proporción de minerales con gran afinidad por las moléculas de agua. Nombres tales como Andosoles o Andisoles hacen referencia a suelos originados a partir de

material volcánico. Entre sus propiedades podemos destacar su alto contenido en materia orgánica, alta porosidad, baja densidad aparente, gran capacidad de retención de agua y la formación de microagregados estables (Regalado et al., 2005)

- Otras definiciones:
  - Obras de geotecnia: Conjunto de intervenciones de ingeniería que investigan, diseñan y acondicionan el subsuelo para garantizar la estabilidad, capacidad portante y seguridad de las infraestructuras (NSR-10 / Decreto 2010, 2010; Equipo editorial, Etecé, 2021). Respecto a sus tipologías, se destacan las siguientes:
    - Cimentaciones superficiales (zapatas, losas): soluciones para transmitir cargas de estructuras ligeras y medianas al suelo superficial; requieren evaluación de capacidad portante y asentamientos (NSR-10; Juárez, 2005).
    - Cimentaciones profundas (pilotes, pilotes de fricción y de punta): se usan cuando el subsuelo superficial no tiene la resistencia necesaria; transfieren cargas a estratos profundos o rocosos (NSR-10).
    - Muros de contención y estructuras de contención (muros en voladizo, pantallas, muros reforzados): elementos para retener tierras en desniveles; su diseño depende de la presión de tierras, drenaje y propiedades del material retenido (lecciones prácticas en muros reforzados).
    - Estabilización de taludes y obras de protección de laderas: medidas (drenaje, anclajes, geomallas, rellenos) para prevenir deslizamientos y controlar la erosión en pendientes naturales o excavadas.
    - Terraplenes y rellenos (movimiento y compactación de materiales): construcción de plataformas o elevaciones de terreno para vías, pilas de

edificios o plataformas industriales; implican control de compactación (Proctor) y aceptación de materiales (INVÍAS).

- Estructuras para obras viales (subrasante, sub-base y base): estudios y tratamientos de la subrasante para asegurar la durabilidad del pavimento; frecuentemente aplican criterios AASHTO e INVÍAS (análisis granulométrico, Atterberg, CBR).
- Obras aeroportuarias y plataformas de gran carga: diseño y preparación de pistas y plataformas que requieren criterios específicos de clasificación y comportamiento ante cargas dinámicas (módulo resiliente, criterios FAA/estudios comparativos).
- Muros anclados, anclajes y sostenimientos temporales: soluciones para excavaciones profundas y obras subterráneas (anclajes, pantallas, apuntalamientos) que protegen frente a inestabilidades durante la construcción.
- Obras hidráulicas y de retención (presas, canales, bordes de ríos): estructuras que interactúan con agua, requieren estudios de permeabilidad, filtración y estabilidad frente a cambio de nivel freático.
- Zonificación y obras de manejo de georrecurso (zonificación geotécnica, estudios para PCH u obras rurales): trabajos de investigación y planificación territorial que definen usos del suelo y riesgos geotécnicos (ej.: zonificación para pequeña central hidroeléctrica)
- Ensayos de suelos: Los ensayos de suelos permiten conocer las propiedades físicas básicas que definen el comportamiento del terreno ante las cargas y condiciones ambientales. Su aplicación garantiza la correcta clasificación, control y diseño de las obras geotécnicas (Juárez, 2005).

- El ensayo de humedad natural determina el contenido de agua del material, lo que permite establecer su condición inicial y su grado de saturación, conforme a las normas nacionales para suelos (ICONTEC, 2013). El análisis granulométrico, mediante tamizado o sedimentación, identifica la proporción de grava, arena, limo y arcilla, siendo la base para los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025) y de acuerdo a las *Especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS* (INVIAS, 2022).
- La determinación de densidad aparente y peso específico de partículas facilita el cálculo de relaciones volumétricas y parámetros de compactación. Los límites de Atterberg —límite líquido, plástico y de contracción— definen los estados de consistencia del suelo y orientan la interpretación de su plasticidad (ICONTEC, 2013). El contenido orgánico permite detectar la presencia de materia orgánica que puede alterar la compactación y resistencia del suelo de acuerdo con las *Especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS* (INVIAS, 2022).
- Finalmente, los resultados obtenidos de los ensayos indexales permiten asignar una clasificación del suelo mediante sistemas como SUCS, AASHTO o FAA, que organizan los materiales de acuerdo con su granulometría y plasticidad (Velasco & Castro, 2018).
- Pruebas aplicables de suelos. Las pruebas aplicables de suelos complementan los ensayos indexales y suministran parámetros cuantitativos para el diseño estructural, la verificación de estabilidad y el control de calidad de la obra incluido en las *Especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS* (INVIAS, 2022).
- El ensayo Proctor, en sus variantes estándar y modificado, determina la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad para garantizar un nivel adecuado de compactación (ICONTEC, 2013). La prueba CBR

(California Bearing Ratio) mide la resistencia de la subrasante y sirve para el diseño de pavimentos flexibles según la metodología AASHTO-93 (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025).

- El ensayo triaxial permite calcular la cohesión y el ángulo de fricción del suelo bajo diferentes condiciones de confinamiento, y el ensayo de corte directo ofrece una estimación rápida de la resistencia al corte en suelos granulares (Velasco & Castro, 2018). La prueba de consolidación determina la compresibilidad y la tasa de asentamiento de suelos cohesivos, mientras que los ensayos de permeabilidad evalúan la facilidad con la que el agua circula a través de la masa del suelo, información esencial para el diseño de drenajes y obras hidráulicas (Herrera Ardila, 2006).
- Cuando el suelo presenta comportamiento particular —como colapsabilidad o sensibilidad por variaciones químicas— se aplican pruebas de sensibilidad y ensayos específicos que midan su variación de resistencia o deformación (Velasco & Castro, 2018). Además, el ensayo de módulo resiliente evalúa la respuesta elástico-plástica del material ante cargas repetidas, siendo relevante en pavimentos y plataformas aeroportuarias (Puma Chuquichampi & Teran Corredor, 2022)
- Todos los ensayos y pruebas deben realizarse en laboratorios acreditados, conforme a la norma ISO/IEC 17025, bajo la supervisión de entidades reconocidas como el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC, 2025).

### **2.3 Marco legal**

El presente Marco Legal reúne la normativa y los documentos técnicos que regulan y orientan la elaboración de estudios geotécnicos y la clasificación de suelos en Colombia, y su objetivo es establecer el marco obligatorio y las buenas prácticas que deben seguirse en la

caracterización del subsuelo, la selección de ensayos y la interpretación de resultados para la recomendación de soluciones constructivas. El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), en su Título H sobre Estudios Geotécnicos, fija los requisitos mínimos para la investigación del subsuelo, la determinación de parámetros geotécnicos y la evaluación de condiciones como capacidad portante, estabilidad y riesgo geológico; por tanto, cualquier estudio que pretenda fundamentar diseños estructurales o de contención en Colombia debe ceñirse a las exigencias y alcances establecidos (Decreto 2010-01-14).

Para obras de infraestructura vial y diseño de pavimentos, las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y los documentos técnicos del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) detallan requisitos específicos sobre caracterización del subrasante, ensayos exigibles (por ejemplo, granulometría, límites de Atterberg, CBR y ensayos de campo) y criterios de diseño de capas estructurales; estas especificaciones incorporan en muchos casos referencias a guías o procedimientos internacionales que sirven de complemento técnico a las normas nacionales (INVIAS, 2022).

Los métodos de ensayo y los procedimientos para clasificación de suelos se apoyan tanto en normas técnicas colombianas (NTC/ICONTEC) como en estándares internacionales (ASTM, AASHTO). Las normas NTC definen métodos de laboratorio reconocidos localmente para determinación de humedad, granulometría y límites de consistencia, mientras que las prácticas ASTM (p. ej. D2487 para el USCS/USCS-ASTM y D4318 para límites de Atterberg) y las guías AASHTO son referencias técnicas habituales para clasificar suelos y tomar decisiones de diseño en proyectos viales y geotécnicos. La adopción y citación explícita del método de ensayo empleado es una práctica necesaria para garantizar la trazabilidad de los resultados y la comparabilidad entre estudios (ICONTEC, 2013).

La confiabilidad y comparabilidad de los resultados dependen igualmente de la competencia técnica de los laboratorios que realizan los ensayos. En Colombia, el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC) acredita laboratorios conforme a la norma ISO/IEC 17025; la existencia de alcances acreditados para ensayos de suelos brinda garantía sobre la

calidad técnica y la trazabilidad de los ensayos, por lo que es recomendable —y en muchos contratos obligatorio— contratar laboratorios con acreditación vigente y verificar sus alcances en el Directorio Oficial de Acreditados (ONAC, 2025).

Históricamente, la regulación y las especificaciones sectoriales en Colombia han evolucionado como respuesta a la experiencia constructiva y a las patologías observadas en obras; por ello el marco normativo combina requisitos legales (NSR-10), especificaciones sectoriales (INVÍAS) y normas técnicas (NTC, ASTM) que, en conjunto, constituyen el soporte jurídico y técnico para la elaboración de estudios de suelos. En consecuencia, este trabajo adoptará y documentará explícitamente los métodos y normas empleados (indicando si se siguió NTC, ASTM, AASHTO u otro procedimiento), preferirá ensayos realizados por laboratorios con acreditación ONAC y justificará la elección del sistema de clasificación en función de la finalidad de uso (edificación, vía, terraplén, muro de contención, etc.), de modo que los resultados sean comparables, trazables y conformes a la normatividad vigente (Decreto 2010-01-14).

### 3. Método

El desarrollo de la presente investigación se realizó mediante el análisis de las dificultades para la selección de un sistema de clasificación de suelos a través de la identificación de errores comunes en la selección del método de clasificación de suelos, identificación de errores comunes en la clasificación de suelos y la identificación de errores en la interpretación de resultados de la clasificación de suelos.

Etapa 1: Realizar un cuadro comparativo de los sistemas de clasificación de suelos para diferentes ejemplos de obras de geotecnia.

En esta primera etapa se desarrolló un análisis documental y comparativo de los principales sistemas de clasificación de suelos empleados en ingeniería geotécnica, con el fin de cumplir el objetivo de establecer sus diferencias y aplicaciones en distintos tipos de obras de geotecnia. Para ello se recopiló información técnica proveniente de normas nacionales e internacionales, manuales de diseño y literatura especializada en mecánica de suelos. Se revisaron los fundamentos, parámetros y criterios de agrupación de los sistemas AASHTO, SUCS y FAA, así como sus adaptaciones en las especificaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2022) y en las normas ICONTEC (2013). Esta revisión permitió identificar las variables comunes (granulometría, límites de Atterberg, contenido de finos y comportamiento plástico) y los criterios particulares que cada sistema emplea para clasificar los suelos según su uso en obras viales, edificaciones, muros, terraplenes y obras aeroportuarias.

Posteriormente, se seleccionaron ejemplos representativos de obras de geotecnia, como cimentaciones superficiales y profundas, estructuras de contención, taludes, terraplenes y plataformas aeroportuarias, para relacionarlos con el sistema de clasificación más adecuado a su tipo de carga, condición de servicio y control de calidad. Cada ejemplo fue analizado con base en la información de laboratorio, los requerimientos normativos y las condiciones del suelo reportadas en estudios de caso (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025; Velasco &

Castro, 2018). Con la información recolectada se construyó un cuadro comparativo que resume los criterios principales de cada sistema, sus ventajas, limitaciones y ejemplos puntuales de su aplicación en Colombia. Este cuadro permitió visualizar de manera sintética las correspondencias entre clasificaciones y el tipo de obra geotécnica, sirviendo como base para la propuesta de un documento alternativo de control técnico de suelos.

Etapa 2: Proponer un estudio de alternativas en la selección de los diferentes ensayos y pruebas aplicables a los tipos de suelos presentes en la construcción de obras de geotecnia.

Se evaluaron los diferentes tipos de suelos presentes en Colombia mediante la identificación de las características fisicoquímicas de los suelos existentes en el país, la identificación de tipos de suelos por zonas o regiones y el conocimiento de los sistemas de clasificación de suelos más usados. Para el desarrollo de esta etapa se consideraron los ensayos indexales y las pruebas mecánicas y de desempeño más representativas utilizadas en la caracterización y control de suelos en obras de geotecnia. Los ensayos indexales incluyeron la determinación de humedad natural, análisis granulométrico, densidad aparente, límites de Atterberg y contenido orgánico, los cuales permiten identificar la textura, plasticidad y comportamiento básico del material (ICONTEC, 2013; INVIAS, 2022).

En complemento, se analizaron las pruebas aplicables que proporcionan parámetros mecánicos para diseño y verificación de estabilidad: compactación Proctor, resistencia CBR, ensayos triaxiales, corte directo, consolidación y permeabilidad. Se tuvieron en cuenta además pruebas específicas como módulo resiliente y sensibilidad, relevantes en suelos con comportamiento atípico, como los suelos volcánicos descritos por Herrera Ardila (2006) y Velasco y Castro (2018). La selección de estos ensayos se basó en su uso normativo y su correspondencia con los sistemas de clasificación objeto de estudio, tal como se emplean en obras de cimentación, terraplenes, muros de contención y pavimentos (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025; INVIAS, 2022). Los resultados de cada tipo de prueba fueron analizados en función de su capacidad para representar las propiedades de resistencia, deformabilidad y

durabilidad del suelo, con el fin de establecer su aplicabilidad a cada contexto de obra geotécnica.

Etapa 3: Generar un listado de chequeo básico para la clasificación de suelos en los laboratorios dependiendo de la obra de geotecnia propuesta.

Se generó una propuesta de formato estándar para la clasificación de suelos en los laboratorios en donde se revisarán recomendaciones de uso de los métodos de clasificación más usados, se conocerán las técnicas de clasificación para suelos poco comunes y se generará un formato para el ensayo de los suelos. El formato contiene:

- Identificación general del proyecto: nombre de la obra, ubicación, responsable técnico, tipo de estructura (vial, de contención, cimentación, terraplén, obra aeroportuaria, etc.) y número de muestra.
- Descripción del material y condiciones de muestreo: profundidad, [color](#), humedad al momento de la toma, tipo de suelo observado y observaciones de campo relevantes (Juárez, 2005).
- Selección del sistema de clasificación aplicable: casillas para indicar el método empleado, con espacio para justificar la elección según la normativa o tipo de proyecto (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025).
- Registro de ensayos indexales: humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, densidad aparente, contenido orgánico y cualquier otro ensayo complementario realizado, incluyendo el número de norma que respalde el procedimiento basado en las normas NTC (ICONTEC, 2013) o normas de especificaciones técnicas de carreteras (INVIAS, 2022).
- Registro de pruebas mecánicas y de desempeño: Proctor, CBR, triaxial, corte directo, consolidación, permeabilidad, módulo resiliente o pruebas especiales de sensibilidad, según la necesidad del proyecto o el tipo de suelo (Velasco & Castro, 2018; Herrera Ardila, 2006).

- Interpretación y clasificación final: espacio para consignar los resultados y símbolos de clasificación obtenidos, observaciones del analista y validación del ingeniero responsable.
- Control de calidad y acreditación del laboratorio: verificación del cumplimiento de requisitos técnicos y administrativos conforme a la acreditación vigente del laboratorio (ONAC, 2025).

## 4. Resultados

### 4.1 Comparación de los sistemas de clasificación de suelos para diferentes ejemplos de obras de geotecnia.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de un cuadro comparativo de los sistemas de clasificación de suelos aplicados en diferentes ejemplos de diferentes tipos de obras de geotecnia, identificando para cada uno su propósito, el motivo de uso y los proyectos o investigaciones en los que han sido implementados dentro del contexto colombiano, como: el diseño de pavimento flexible bajo metodología AASHTO-93 (Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025), la caracterización de suelos derivados de cenizas volcánicas del suroccidente colombiano (Velasco & Castro, 2018), la investigación de suelos volcánicos de la Sabana de Bogotá (Herrera Ardila, 2006), y los estudios comparativos de metodologías de clasificación de suelos tropicales (Puma Chuquichampi & Teran Corredor, 2022).

Se efectuó una búsqueda documental y bibliográfica en fuentes académicas, institucionales y normativas, utilizando el buscador bibliográfico como Google Scholar y repositorios de información como Scielo, ResearchGate y de universidades nacionales, todos de acceso abierto, priorizando documentos técnicos y científicos que incluyeran aplicaciones reales de sistemas de clasificación de suelos en Colombia o en contextos comparables de Latinoamérica. Las palabras clave empleadas en el proceso de búsqueda fueron: “sistemas de clasificación de suelos en Colombia”, “USCS”, “AASHTO”, “INVÍAS”, “clasificación geotécnica”, “suelos volcánicos”, “proyectos viales”, “estudios de suelos en edificaciones” y “ensayos de laboratorio geotécnico”, utilizando la relación “AND” (Y) entre palabras.

Entre las palabras clave, se efectuaron varias relaciones de búsqueda como:

- Búsqueda 1: SUCS AND AASHTO AND clasificación geotécnica.

- Búsqueda 2: INVÍAS AND ICONTEC AND normas técnicas AND clasificación de suelos
- Búsqueda 3: ASTM AND NTC AND comparación normativa.
- Búsqueda 4: BS 5930 AND Eurocódigo 7 AND clasificación geotécnica internacional.
- Búsqueda 5: OSHA AND tipo de excavación AND seguridad en obra.
- Búsqueda 6: FAO AND WRB AND Soil Taxonomy AND uso del suelo.
- Búsqueda 7: Clasificación de materiales de préstamo AND INVÍAS AND IDU AND control de calidad.
- Búsqueda 8: Suelos volcánicos AND clasificación geotécnica AND AASHTO AND SUCS.
- Búsqueda 9: Suelos tropicales AND AASHTO AND SUCS AND FAA.

En Google Scholar se obtienen resultados de aproximadamente 20 documentos en la Búsqueda 1 y 315 documentos en la Búsqueda 2, mientras que las búsquedas restantes arrojaron entre 200 y 280 registros cada una. Después del proceso de filtrado por pertinencia, idioma y tipo de documento, se seleccionaron 18 fuentes principales, equivalentes a dos por cada sistema de clasificación analizado. Por su parte, en Scielo se encontraron para la Búsqueda 1 cerca de 95 resultados iniciales, de los cuales 7 documentos cumplían con los criterios de aplicación directa en proyectos de geotecnia y fueron utilizados como apoyo comparativo. ResearchGate, por su parte, se empleó para obtener informes técnicos y tesis publicadas, alcanzando alrededor de 60 resultados iniciales, de los cuales 10 se consideraron relevantes por presentar estudios experimentales de clasificación y ensayos de suelos en Colombia y Latinoamérica. Finalmente, en los repositorios universitarios nacionales (principalmente de la Universidad Nacional, Universidad de La Salle y Universidad de Córdoba) se obtuvieron entre 25 y 40 documentos por búsqueda, de los cuales 9 trabajos académicos se seleccionaron por su aplicación directa en casos de obra y su correspondencia con los sistemas SUCS, AASHTO, FAA, INVÍAS, ICONTEC, ASTM, BS, OSHA, FAO y clasificación de materiales de préstamo.

Posteriormente, la información recolectada fue organizada y analizada con el fin de identificar los sistemas de clasificación más representativos, su ámbito de aplicación y su relación con tipos específicos de obra civil o geotécnica. A partir de esta revisión, se construyó un cuadro comparativo que sintetiza la información obtenida, facilitando el análisis y la comparación de los diferentes enfoques utilizados. A continuación, se presenta este cuadro que resume los principales sistemas de clasificación de suelos, indicando en tres columnas: el nombre del sistema de clasificación, por qué se utilizó (su objetivo o finalidad dentro del estudio o proyecto), y el título del proyecto o investigación en el que fue aplicado.

Profundizando en la estructura de la tabla, el siguiente cuadro se estructura en cuatro columnas principales: la primera, titulada “Sistema de clasificación”, identifica el nombre y la norma o entidad que lo respalda; la segunda, “Uso”, describe el tipo de proyectos o situaciones en los que el sistema resulta más aplicable, incluyendo los aspectos positivos o fortalezas técnicas del sistema, tales como su nivel de aceptación, precisión, aplicabilidad o facilidad de interpretación; y las limitaciones, restricciones o condiciones bajo las cuales el sistema requiere ser complementado con otros métodos o ensayos de laboratorio. Finalmente, en la tercera columna se especifica un proyecto en cuestión donde el sistema de clasificación se integró, esto en el contexto colombiano.

En términos generales, la tabla precedente agrupa los sistemas de clasificación según su finalidad y ejemplos de uso, y pretende orientar la selección técnica en función del tipo de proyecto y del contexto geológico. A grandes rasgos, los sistemas indexales (por ejemplo, USCS) ofrecen una caracterización inicial y homogénea de las propiedades físicas del suelo; las metodologías orientadas a pavimentos (AASHTO) y los manuales de obras (INVÍAS, especificaciones IDU) aportan criterios prácticos y prescriptivos directamente aplicables en diseño y control de obra; mientras que las normas nacionales e internacionales (NTC, ASTM, BS/EN) garantizan trazabilidad, rigor metodológico y comparabilidad entre laboratorios. Por su parte, las clasificaciones pedológicas (FAO/WRB) y las guías de aceptación de materiales

se usan como complementos en estudios ambientales, de uso del suelo y control de suministro de materiales.

**Tabla 1** Cuadro comparativo Sistemas de Clasificación según búsqueda bibliográfica

Sistema de clasificación	Uso	Proyecto
<b>Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS / USCS)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Resume rápidamente propiedades físicas relevantes para la ingeniería (granulometría + límites de Atterberg).</li> <li>Permite agrupar suelos con comportamiento mecánico similar (drenaje, compresibilidad, plasticidad).</li> </ul> <hr/> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muy difundido y aceptado internacionalmente; facilita comunicación entre ingenieros.</li> <li>Basado en ensayos de laboratorio estándar (sencillos y repetibles).</li> <li>Útil como primera guía para decisiones geotécnicas (drenaje, compactación, selección de muestras).</li> </ul> <hr/> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No entrega parámetros mecánicos numéricos directos (p. ej. Resistencia a la compresión o módulo de elasticidad, ángulo de fricción, cohesión); requiere ensayos complementarios.</li> <li>Puede ser insuficiente para suelos anómalos (orgánicos, altamente sensibles, cenizas volcánicas) donde la clasificación indexal no refleja comportamiento real.</li> </ul>	<p>Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente colombiano con el método SUCS, el AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos (Velasco &amp; Castro, 2018)</p>
<b>Sistema de Clasificación AASHTO (AASHTO M145 / AASHTO-93)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñado específicamente para evaluar aptitud de suelos como subrasante en pavimentos; su clasificación está orientada a comportamiento frente a carga y tráfico.</li> </ul> <hr/> <p>Ventajas</p>	<p>Diseño del pavimento flexible por los métodos de la aashto-93 y del instituto nacional de vias</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Directamente aplicable al diseño de capas y espesores de pavimento (metodologías empíricas).</li> <li>• Relaciona fácilmente resultados de laboratorio (p. ej. límites de Atterberg, granulometría) con parámetros de diseño (índice AASHTO, módulo resiliente).</li> </ul>	<p>para la urbanización la carolina localizada en el barrio bocono del municipio de san José de Cúcuta (Forero Torres &amp; Vaca Ibañez, 2025)</p>
	<p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es empírico y fue desarrollado con suelos de EE. UU.; puede requerir adaptaciones locales para suelos tropicales o volcánicos.</li> <li>• Menos útil fuera del contexto de pavimentación (no describe comportamiento para muros, cimentaciones profundas).</li> <li>• Aplicación práctica: aplicar cuando el objetivo es diseño de pavimento; complementar con ensayos de performance (CBR, pruebas de módulo) según la guía AASHTO</li> </ul>	
<p><b>Especificaciones Técnicas de INVÍAS (clasificación de suelos para vías)</b></p>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Normaliza criterios técnicos para proyectos viales en Colombia (ensayos mínimos, requisitos de aceptación, criterios de estabilización).</li> </ul> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Directamente vinculante para contratos y ejecución de obras viales en Colombia.</li> <li>• Incluye ensayos prácticos (CBR, compactación, granulometría) y criterios de aceptación/rehabilitación.</li> </ul> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es prescriptiva; en proyectos no viales o de ingeniería especial puede quedarse corta.</li> <li>• Puede requerir interpretación técnica cuando el suelo presenta comportamiento atípico (orgánicos, suelos colapsables).</li> <li>• Aplicación práctica: usar siempre en proyectos viales colombianos; consignar la cláusula/artículo INVÍAS específica en el informe.</li> </ul>	<p>Normas y Especificaciones INVÍAS (Anexos técnicos / especificaciones de subrasante y estabilización) (INVÍAS, 2022)</p>

<b>Normas Técnicas Colombianas – NTC (ICONTEC)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptar estándares de ensayo y clasificación al contexto técnico-normativo colombiano.</li> </ul> <hr/> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aporta procedimientos homologados y exigibles en Colombia; mejora trazabilidad y la comparabilidad entre laboratorios.</li> <li>Facilita cumplimiento legal y buen registro documental.</li> </ul> <hr/> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Algunas NTC pueden retrasarse frente a cambios internacionales; conviene complementarlas con ASTM/EN cuando sea necesario.</li> <li>No siempre cubren suelos atípicos o metodologías avanzadas (requieren normas suplementarias).</li> <li>Aplicación práctica: mencionar la NTC concreta (n.º y año) usada para cada ensayo en el anexo de laboratorio.</li> </ul>	Verificación de la norma NTC 1504 que rige las condiciones urbanísticas en el espacio público y zonas verdes de los parques de la comuna 10 de Bucaramanga (Hernández Silva, 2018)
<b>Normas ASTM (p. ej. D2487, D4318, D2488)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Garantizar rigor, comparabilidad y aceptación internacional de métodos y clasificaciones.</li> </ul> <hr/> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Precisión metodológica y amplia aceptación en proyectos académicos y profesionales.</li> <li>Facilita interoperabilidad en contratos internacionales.</li> </ul> <hr/> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Coste y disponibilidad de norma (a veces de pago); puede necesitar adaptación a normativa local.</li> <li>Aplicación práctica: citar ASTM cuando se busque comparabilidad internacional; usar junto a NTC/INVÍAS para cumplimiento local.</li> </ul>	Estabilización experimental de suelos arcillosos en Cartagena de Indias, Colombia: Influencia de la porosidad/índice de ligante (Baldovino et al., 2025)
Motivos / por qué se usa		

<b>Norma Británica BS 5930 (British Standard)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionan lineamientos detallados para proyectos con exigencia contractual internacional y buenas prácticas de ingeniería geotécnica.</li> </ul>	Implementación de los Sistemas de Información Geográfico, para la zonificación geotécnica como herramienta para la gestión de los georecursos, en una Pequeña Central Hidroeléctrica. Caso de estudio La Chorrera - municipio de Santa Rosa de Osos, Antioquia (Callejas Vélez, 2018)
<b>Eurocódigo 7 (EN 1997 – Geotechnical Design)</b>	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque integral (investigación, clasificación, diseño y control de calidad).</li> </ul> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden ser más complejas y no siempre directamente aplicables sin adaptación normativa local.</li> <li>• Aplicación práctica: emplear en proyectos internacionales o cuando el cliente solicite cumplimiento de estándares europeos.</li> </ul>	
<b>Sistema de Clasificación de Suelos por Tipo de Excavación (OSHA – Tipo A, B, C)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar condiciones de estabilidad temporal y definir medidas de protección en zanjas y excavaciones (seguridad laboral).</li> </ul> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite decisiones rápidas sobre apuntalamientos, taludes y procedimientos de obra; mejora la seguridad.</li> </ul> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es orientativa y depende de evaluación in-situ; la clasificación temporal no sustituye un estudio geotécnico profundo.</li> <li>• Aplicación práctica: integrar en los procedimientos de obra y planes de seguridad; registrar observaciones de campo. (Consultar guías nacionales de seguridad y manuales de obra).</li> </ul>	Procedimiento para trabajo seguro en excavaciones en zanja. Empresa de acueducto y alcantarillado. Manizales, 2020 (Arenas, Reina, 2020)
<b>Sistema FAO / WRB / Soil Taxonomy (enfoque pedológico)</b>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificar suelos desde la perspectiva de uso del suelo, gestión agronómica y cartografía; describe origen, horizonte y capacidad productiva.</li> </ul>	Caracterización pedológica de la catenal en regiones de pendiente

	<p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena para planificación territorial, estudios ambientales y de uso del suelo; ofrece contexto genético y pedológico.</li> </ul> <hr/> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No está diseñada para reemplazar criterios geotécnicos (p. ej. comportamiento bajo carga), por lo que no es suficiente para diseño estructural.</li> <li>• Aplicación práctica: usar como complemento en proyectos que involucren aspectos agronómicos, erosión, o cuando el uso del suelo sea relevante</li> </ul>	<p>pronunciada y perhúmedas: el caso del Piedemonte Llanero, Colombia</p>
<p><b>Clasificación de materiales de préstamo y relleno (INVÍAS / IDU / Manuales de construcción)</b></p>	<p>Motivos / por qué se usa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir aceptación y control de calidad para materiales que se usarán en terraplenes, rellenos estructurales o bases.</li> </ul> <hr/> <p>Ventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clarifica criterios prácticos (granulometría, compactación, humedad), evitando sobrecostos por rechazos en obra.</li> </ul> <hr/> <p>Desventajas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A veces excluye materiales locales que, con tratamiento, podrían ser aceptables; requiere evaluación técnica adicional.</li> <li>• Aplicación práctica: aplicar en control de obra y cuando se definan especificaciones técnicas del contrato.</li> </ul>	<p>Rellenos para estructuras artículo 610 – 13 . INVÍAS</p>

Partiendo de la Tabla 1, se recomienda que la elección del sistema responda explícitamente a los objetivos del estudio (diseño de pavimento, cimentación, evaluación ambiental, seguridad en excavaciones) y que siempre se justifique en el informe técnico indicando la(s) norma(s) de ensayo utilizadas. En casos de suelos anómalos o de comportamiento complejo (orgánicos, colapsables, cenizas volcánicas), la clasificación indexal debe complementarse con ensayos mecánicos y ensayos especializados (triaxiales, CBR, pruebas de succión, sensibilidad) y con criterios de interpretación adaptados al

contexto local. Finalmente, conviene consignar en el anexo de laboratorio la normativa aplicada y el laboratorio responsable (acreditación), de modo que la clasificación y las decisiones de diseño queden plenamente trazables y defendibles.

Así mismo, cabe señalar que, en cada proyecto analizado, la selección de un único sistema de clasificación resultó suficiente para representar de forma práctica sus ventajas y alcances, dado que cada sistema fue concebido con un propósito técnico específico. Por ejemplo, el método AASHTO aplicado en proyectos de pavimentos, como el de Forero Torres y Vaca Ibañez (2025), permite establecer directamente la calidad y capacidad portante del suelo con base en parámetros de diseño como el índice de grupo y el CBR, por lo que constituye el referente más eficiente en obras viales. En contraste, el sistema SUCS, empleado en estudios experimentales de suelos volcánicos (Velasco & Castro, 2018), ofrece una visión indexal y homogénea que facilita comparar comportamientos físicos entre suelos de diferentes zonas. Las especificaciones INVÍAS destacan por su valor normativo y su utilidad en proyectos ejecutivos, garantizando trazabilidad y cumplimiento técnico (INVIAS, 2022), mientras que las normas ICONTEC y ASTM aseguran la reproducibilidad de los ensayos de laboratorio en cualquier contexto (ICONTEC, 2013). Finalmente, sistemas como el OSHA o el FAO/WRB demuestran su pertinencia cuando la obra exige un enfoque de seguridad en excavaciones o una visión pedológica del terreno, respectivamente. En ese sentido, un solo proyecto bien documentado puede reflejar de manera integral las ventajas de cada sistema, siempre que se analice bajo los objetivos técnicos y normativos para los cuales dicho sistema fue diseñado.

#### **4.2 Estudio de alternativas en la selección de los diferentes ensayos y pruebas aplicables a los tipos de suelos presentes en la construcción de obras de geotecnia.**

La presente sección se plantea con la finalidad de dar alcance al “estudio de alternativas en la selección de los diferentes ensayos y pruebas aplicables a los tipos de suelos

presentes en la construcción de obras de geotecnia”. Partiendo de la caracterización realizada de proyectos de obra de geotecnia encontrados en la búsqueda bibliográfica, y a continuación se plantea una exposición analítica y descriptiva de los proyectos e investigaciones citados en la tabla comparativa: para cada caso se presentará, con mayor profundidad, qué ensayos y pruebas se aplicaron y cómo éstos se relacionaron con el sistema de clasificación empleado. La presente sección trata de documentar y evaluar retrospectivamente las decisiones experimentales de cada proyecto: los motivos técnicos que guiaron la selección de pruebas, la lógica de correspondencia entre clasificación y ensayos, las fortalezas y lagunas del planteamiento experimental, y las implicaciones prácticas para la obra (control de calidad, diseño y riesgos identificados).

#### ***4.2.1 Estudio relacionado con el sistema SUCS***

El estudio de Velasco y Guerrero (2018) tuvo como objetivo comparar la respuesta y la capacidad descriptiva de los métodos de clasificación SUCS y AASHTO frente a un nuevo criterio propuesto por los autores para suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente colombiano. Los autores documentan que, si bien las pruebas indexales clásicas (granulometría y límites de Atterberg) permiten ubicar los materiales dentro de categorías reconocidas por SUCS y AASHTO, estas clasificaciones indexales resultan insuficientes para captar comportamientos ligados a la sensibilidad química y a la respuesta plástica de las partículas de ceniza; por ello proponen un criterio alternativo basado en la sensibilidad eléctrica/química de las partículas y de los fluidos de poro, que correlaciona mejor con el comportamiento observado en campo y laboratorio.

En cuanto a la batería de ensayos, se documenta el uso exclusivo de ensayos indexales convencionales (granulometría, límites líquido, límite plástico, índice de plasticidad) como base para clasificación: dichos ensayos fueron útiles para la organización preliminar de materiales, pero no explicaron plenamente fenómenos relevantes en estos suelos (variaciones

severas de plasticidad con cambios de fluido de poro, comportamiento colapsable o sensibilidad a la química del agua). Por ello, los autores recomiendan complementar la clasificación indexal con ensayos que midan la respuesta frente a variación de fluidos de poro y la sensibilidad química (pruebas de plasticidad bajo distintos electrolitos, ensayos de sensibilidad y pruebas de comportamiento plástico dependiente del fluido), además de ensayos mecánicos de verificación (triaxiales, consolidación, CBR o corte directo según el uso previsto). Estas recomendaciones aparecen como conclusión clave del estudio.

Desde la perspectiva práctica, Velasco & Guerrero muestran que aplicar SUCS o AASHTO sin ajustes puede llevar a decisiones de ingeniería subóptimas en suelos alofánicos: AASHTO, orientado a comportamiento de subrasante, y SUCS, orientado a agrupación indexal, no incorporan un parámetro de sensibilidad a fluidos que en estos materiales condiciona la plasticidad, la compresibilidad y la respuesta a tratamientos (estabilización, cimentación). El nuevo método propuesto —que incorpora la sensibilidad eléctrica/química como criterio clasificatorio— mejora la correspondencia entre clasificación y comportamiento observado y, por tanto, orienta mejor la selección de tratamientos y soluciones (ej.: necesidad de estabilización química, control de aguas, o diseño de cimentaciones menos susceptibles a cambios en la química del agua). En la Tabla 2 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 2** *Resumen ensayos Estudio 1*

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Nombre del ensayo</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicación en el estudio SUCS</b>
<b>Ensayos indexales aplicados</b>	Análisis granulométrico	Determinar la distribución del tamaño de partículas y definir la fracción de finos, base para la clasificación SUCS y AASHTO.	Permitió ubicar los materiales dentro de grupos SUCS, aunque no explicó su comportamiento plástico ni la influencia del agua.

	Límites de Atterberg (líquido y plástico)	Evaluar la plasticidad y la consistencia del suelo, especialmente para suelos finos.	Útil para la clasificación inicial, pero insuficiente para reflejar la sensibilidad y variabilidad del comportamiento.
<b>Ensayos complementarios recomendados</b>	Pruebas de plasticidad bajo diferentes electrolitos	Analizar variaciones de plasticidad frente a cambios en la composición química del fluido de poro.	Permite identificar sensibilidad química y comportamientos anómalos no captados por SUCS tradicional.
	Ensayo de sensibilidad	Medir la pérdida de resistencia del suelo al ser remoldeado o tras perturbaciones.	Evalúa estabilidad y cohesión aparente en suelos alofánicos o volcánicos.
	Ensayo triaxial (CD, CU, UU)	Determinar parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción).	Corroborar la respuesta mecánica real del suelo clasificado según SUCS.
	Ensayo de consolidación	Evaluar compresibilidad y asentamientos del suelo bajo carga.	Verifica la correlación entre clasificación y comportamiento estructural.
	Ensayo CBR	Medir la capacidad de soporte de la subrasante o material de fundación.	Complementa la evaluación práctica en obras de pavimento o terraplenes.
	Ensayo de corte directo	Obtener resistencia al corte en suelos granulares o finos (ángulo de fricción y cohesión).	Proporciona una verificación rápida del comportamiento mecánico del suelo.

#### 4.2.2 Estudio relacionado con el AASHTO-93

El proyecto de Forero Torres & Vaca Ibañez (2025) se adopta la metodología AASHTO-93 para el dimensionamiento empírico de capas de pavimento flexible y utiliza simultáneamente los criterios prescriptivos de INVÍAS para asegurar cumplimiento normativo en el ámbito colombiano. Por ello, la investigación combina ensayos indexales (para clasificar y caracterizar materiales) con ensayos de rendimiento orientados a medir la aptitud de la subrasante y los materiales para capas de base y sub-base. En la fase de caracterización se espera la ejecución de análisis granulométricos (tamizado y sedimentos finos) y límites de Atterberg (LL, LP) para asignación de grupo AASHTO y clasificación USCS cuando proceda; estas pruebas permiten estimar la plasticidad y la fracción fina, determinantes en el índice AASHTO y en la decisión de tratamientos de suelos.

Para evaluar la aptitud de la subrasante según AASHTO e INVÍAS, el estudio incluye pruebas de compactación estándar y/o modificada (curvas humedad-densidad — Proctor) para establecer el contenido óptimo de humedad (COM) y la densidad máxima seca, así como ensayos de CBR (California Bearing Ratio) en condiciones no remojadas y, crucialmente, en condiciones remojadas/soaked para evaluar la pérdida de capacidad portante por humedad. La determinación del CBR es central en AASHTO-93 (índice de drenaje y capacidad de la subrasante) y en las especificaciones prácticas de INVÍAS para dimensionamiento y aceptación de materiales de subrasante, base y sub-base.

En complemento a las pruebas indexales y CBR, el proyecto incorpora ensayos mecánicos para materiales granulares y cohesivos según el requerimiento de diseño: pruebas de corte directo o triaxiales (cuando se busca obtener parámetros de resistencia y deformabilidad más robustos), ensayos de consolidación (si se detectaron suelos cohesivos con potencial de asentamiento) y ensayos de permeabilidad para evaluar condiciones de drenaje —un aspecto crítico en zonas urbanas donde la presencia de niveles freáticos o escorrentía puede afectar la función del pavimento.

Partiendo del proyecto analizado, desde una perspectiva crítica, la aplicación de AASHTO-93 en contextos urbanos requiere atención a dos aspectos: la calibración de los

parámetros empíricos frente a condiciones locales (clima, materiales disponibles y niveles de tráfico estimados para urbanización) y la verificación mediante ensayos modernos (módulo resiliente o pruebas triaxiales con carga repetida) cuando se pretende predecir comportamiento ante cargas de servicio más allá de la correlación clásica CBR-espesor. INVÍAS aporta prescripciones útiles para aceptación de materiales en obra y control de calidad, pero su carácter prescriptivo debe combinarse con evaluación de desempeño (ensayos repetidos/dinámicos) cuando exista incertidumbre sobre variabilidad local de materiales. En la tabla 3 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 3** Resumen ensayos Estudio 2

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Nombre del ensayo</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicación en el estudio AASHTO-93</b>
<b>Ensayos indexales aplicados</b>	Análisis granulométrico (tamizado y sedimentación)	Determinar la proporción de finos y la distribución de tamaños de partícula.	Permite clasificar el material en grupos AASHTO (A-1 a A-7) y SUCS; base para el cálculo del Índice AASHTO.
	Límites de Atterberg (LL, LP)	Evaluar plasticidad y consistencia del suelo.	Define la fracción fina y su influencia en el comportamiento de la subrasante y la base.
<b>Ensayos de compactación y resistencia</b>	Ensayo Proctor (estándar o modificado)	Obtener la relación humedad-densidad, el contenido óptimo de humedad (COM) y la densidad máxima seca.	Determina condiciones de compactación para cumplir con INVÍAS y garantizar soporte adecuado.
	Ensayo CBR (California Bearing Ratio) en condición	Evaluar la capacidad portante de la subrasante y su variación por humedad.	Parámetro central en AASHTO-93 para el diseño de espesores y el índice de drenaje.

	remojada y no remojada		
<b>Ensayos mecánicos complementarios</b>	Ensayo triaxial (CD, CU, UU)	Determinar cohesión, ángulo de fricción y deformabilidad bajo carga.	Permite calibrar los parámetros empíricos de AASHTO con condiciones locales de material.
	Ensayo de corte directo	Estimar la resistencia al corte de materiales granulares (ángulo de fricción, cohesión).	Aporta datos rápidos para control de calidad y validación de diseño.
	Ensayo de consolidación	Evaluar la compresibilidad y los asentamientos en suelos cohesivos.	Útil para ajustar el espesor de capas cuando se prevén asentamientos diferenciales.
	Ensayo de permeabilidad	Medir la capacidad de drenaje del suelo o material granular.	Fundamenta la evaluación del índice de drenaje (AASHTO-93) y la gestión de niveles freáticos.
<b>Ensayos recomendados de desempeño</b>	Módulo resiliente o triaxial dinámico con carga repetida	Estimar la respuesta elástica-plástica bajo cargas de tráfico repetidas.	Mejora la predicción de vida útil del pavimento y la calibración de parámetros locales.

#### ***4.2.3 Estudio relacionado con la clasificación de Especificaciones Técnicas INVÍAS***

En el marco del estudio técnico contenido en los Artículos EGCC 2022 del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), se observó que la metodología de clasificación de suelos establecida por la entidad tiene un enfoque eminentemente práctico y normativo, orientado al control de calidad y aceptación de materiales en proyectos viales y de infraestructura. Durante el análisis documental se identificó que INVÍAS adopta criterios de clasificación de

materiales basados en resultados de ensayos de laboratorio que permiten verificar el cumplimiento de especificaciones de subrasante, terraplén, subbase, base y materiales de préstamo o relleno.

En la metodología INVÍAS, la clasificación del suelo no se limita a la caracterización indexal, como ocurre en SUCS o AASHTO, sino que integra parámetros de desempeño relacionados con compactación, resistencia, humedad, granulometría y durabilidad. Se identificó que los artículos técnicos 220, 330 y 610 describen con precisión los procedimientos de ensayo requeridos para verificar la idoneidad del suelo, incluyendo pruebas de granulometría, límites de Atterberg, compactación (Proctor estándar y modificado), CBR, contenido de humedad natural y densidad in situ. Adicionalmente, se recomienda realizar ensayos de permeabilidad y resistencia a la compresión para materiales estabilizados o mejorados.

Como observación general, se analizó que la metodología INVÍAS tiene la ventaja de proporcionar criterios prescriptivos verificables, lo cual facilita la toma de decisiones en campo y la trazabilidad del control de calidad. Sin embargo, se advirtió que su enfoque normativo puede restringir la flexibilidad en contextos geotécnicos no convencionales, por lo que se recomienda complementar su aplicación con métodos de caracterización mecánica avanzada cuando los suelos no cumplan estrictamente con las especificaciones, pero presenten potencial de estabilización. En términos prácticos, este sistema permite garantizar uniformidad y cumplimiento regulatorio, actuando como referencia obligatoria en obras públicas en Colombia. En la tabla 3, se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

Tabla 4 Resumen ensayos Estudio 3

Tipo de ensayo	Nombre del ensayo	Objetivo principal	Aplicación dentro del sistema INVÍAS
----------------	-------------------	--------------------	--------------------------------------

<b>Ensayos básicos de clasificación</b>	Análisis granulométrico	Determinar la distribución de tamaños de partícula.	Base para definir tipo de material (subrasante, subbase, base, préstamo).
	Límites de Atterberg (LL, LP, IP)	Identificar plasticidad y consistencia del suelo.	Permite verificar aptitud del material para capas estructurales.
<b>Ensayos de compactación y densidad</b>	Ensayo Proctor (estándar/modificado)	Establecer la relación humedad–densidad y el COM.	Define criterios de compactación mínimos según tipo de obra.
	Densidad in situ (cono de arena o nuclear)	Verificar el grado de compactación alcanzado en obra.	Control de calidad obligatorio en capas compactadas.
<b>Ensayos de resistencia y desempeño</b>	Ensayo CBR (no remojado y remojado)	Medir la capacidad portante del material.	Requisito para aceptación de materiales de subrasante y base.
	Ensayo de permeabilidad	Determinar la capacidad de drenaje del suelo.	Aplica a materiales granulares o mejorados.
	Ensayo de resistencia a la compresión simple (para materiales estabilizados)	Evaluar la resistencia de mezclas suelo–cemento o suelo–cal.	Controla la durabilidad de suelos estabilizados.
<b>Ensayos complementarios recomendados</b>	Contenido de humedad natural	Determinar el estado inicial del material antes de la compactación.	Diagnóstico previo para control de obra.

#### ***4.2.4 Estudios relacionados con Normas Técnicas Colombianas – NTC (ICONTEC)***

A partir del análisis del estudio desarrollado por Hernández Silva (2018), se observó que la verificación de la norma NTC 1504 de 1998 permitió comprender cómo las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC) funcionan como instrumentos reguladores que garantizan la uniformidad técnica y la trazabilidad en los procesos de diseño y construcción de obras urbanas. Si bien el proyecto se centra en la evaluación del cumplimiento normativo en parques y zonas verdes, se identificó la importancia transversal de las normas NTC en la clasificación, caracterización y control de materiales utilizados en infraestructura, incluidos los suelos de fundación y relleno empleados en obras civiles y paisajísticas.

Durante el análisis documental se determinó que la aplicación de las normas ICONTEC en proyectos de espacio público, drenaje y pavimentación incluye la ejecución de ensayos normalizados que permiten verificar la calidad de los materiales frente a los parámetros técnicos exigidos. Entre las normas frecuentemente asociadas se encuentran la NTC 1774 (análisis granulométrico), NTC 2277 (límites de Atterberg), NTC 1806 (compactación), y NTC 5403 (CBR), que en conjunto conforman una metodología nacional homologada con los sistemas internacionales ASTM y AASHTO.

Se destaca además que la norma NTC 1504, aunque orientada a la planificación urbana, refuerza la necesidad de controles técnicos estandarizados que aseguren la estabilidad de los terrenos y la durabilidad de las superficies pavimentadas y zonas verdes. En este contexto, el sistema de clasificación ICONTEC destaca por su compatibilidad con las metodologías internacionales, su adaptabilidad al marco colombiano y su aplicabilidad tanto en obras viales como en proyectos de urbanismo sostenible. No obstante, se observó que la dependencia de los laboratorios certificados y la actualización periódica de las normas son factores críticos para mantener la coherencia y vigencia técnica del sistema. En la Tabla 4 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 5** Resumen ensayos Estudio 4

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Nombre del ensayo / Norma asociada (NTC)</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicación dentro del sistema ICONTEC</b>
<b>Ensayos básicos de clasificación</b>	Análisis granulométrico (NTC 1774)	Determinar la distribución de tamaños de partícula y definir fracciones gruesas y finas.	Base para clasificar los suelos según su textura y uso estructural.
	Límites de Atterberg (NTC 2277)	Establecer plasticidad, consistencia y comportamiento del suelo frente a la humedad.	Define la aptitud del suelo para fundaciones o rellenos controlados.
<b>Ensayos de compactación y densidad</b>	Compactación (Proctor) – NTC 1806	Relacionar humedad óptima y densidad máxima seca.	Permite definir criterios de compactación mínimos según tipo de obra.
	Densidad in situ (NTC 2370)	Verificar grado de compactación del material colocado en campo.	Control de calidad obligatorio en obras de urbanismo y pavimento.
<b>Ensayos de resistencia y soporte</b>	Ensayo CBR – NTC 5403	Medir la capacidad portante de la subrasante o materiales granulares.	Base para dimensionamiento de capas y control de recepción de materiales.
<b>Ensayos complementarios recomendados</b>	Permeabilidad – NTC 5404	Determinar capacidad de drenaje del suelo o material granular.	Evalúa la sostenibilidad hidráulica de parques y zonas pavimentadas.
	Contenido de humedad natural – NTC 1927	Medir la humedad inicial de los materiales de suelo.	Diagnóstico previo para control de estabilidad y compactación.

#### ***4.2.5 Estudio relacionado con Normas ASTM (p. ej. D2487, D4318, D2488)***

La caracterización y clasificación del suelo de Cartagena de Indias conforme a las metodologías establecidas por las normas ASTM D2487, D4318 y D2488. Bajo este enfoque, se aplicaron los ensayos necesarios para determinar la granulometría, límites de plasticidad, y demás propiedades índices del material. Estas pruebas permitieron clasificar el suelo dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), resultando en una arcilla de baja plasticidad (CL). Desde la perspectiva investigativa, este resultado fue relevante, ya que confirmó la presencia de una matriz fina con un comportamiento predominantemente cohesivo, susceptible a variaciones en humedad y con potencial de mejoramiento mediante estabilización.

Durante el proceso de análisis, se observó que las normas ASTM ofrecen un marco técnico robusto y universalmente reconocido, que facilita la comparación de resultados y la reproducibilidad de los ensayos. Las pruebas realizadas —como la determinación de límites de Atterberg (ASTM D4318) y la clasificación textural (ASTM D2488)— no solo aportaron información sobre la plasticidad y granulometría, sino que también sirvieron como base para interpretar el efecto de los diferentes agentes estabilizantes en el comportamiento mecánico del suelo. Los investigadores destacaron que el cumplimiento estricto de estas normas permitió garantizar la confiabilidad de los resultados y una adecuada correlación con los métodos posteriores de evaluación mecánica, tales como los ensayos de compresión no confinada (UCS) y de velocidad ultrasónica (UPV).

En síntesis, la aplicación de la metodología ASTM permitió establecer una línea base técnica desde la cual se analizaron las modificaciones estructurales y reológicas inducidas por los aditivos ensayados. Se evidenció que la clasificación bajo el sistema USCS fue coherente con la respuesta obtenida en los ensayos de resistencia y rigidez, mostrando cómo las propiedades físico-mecánicas derivadas de las normas ASTM son fundamentales para

comprender y predecir el desempeño del suelo tratado. En la Tabla 6 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 6** Resumen ensayos Estudio 5

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Norma ASTM asociada</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicación dentro del sistema ASTM y del estudio</b>
<b>Ensayos básicos de clasificación</b>	ASTM D2487 – Clasificación de suelos (USCS)	Clasificar el suelo según granulometría y plasticidad.	Determinó que el suelo de Cartagena corresponde a una arcilla de baja plasticidad (CL).
	ASTM D2488 – Descripción táctil-visual de suelos	Apoyar la identificación macroscópica de tipos de suelo.	Permitió verificar visualmente la coherencia con la clasificación USCS.
	ASTM D4318 – Límites de Atterberg	Determinar límites líquido y plástico para definir plasticidad y consistencia.	Sirvió para evaluar la plasticidad inicial y los efectos de los aditivos estabilizantes.
	ASTM D422 – Análisis granulométrico por hidrómetro	Establecer distribución de partículas finas.	Complementó la clasificación USCS y la evaluación del comportamiento cohesivo.
<b>Ensayos de compactación y densidad</b>	ASTM D698 – Compactación Proctor estándar	Relacionar humedad óptima y densidad máxima seca.	Determinó las condiciones óptimas de compactación previas a los ensayos de resistencia.
<b>Ensayos de resistencia mecánica</b>	ASTM D2166 – Compresión no confinada (UCS)	Medir resistencia al corte no drenado en suelo cohesivo.	Evaluó el efecto de los aditivos en la resistencia del suelo estabilizado.
	ASTM D3080 – Corte directo consolidado	Determinar cohesión y ángulo de fricción efectiva.	Permitió comparar parámetros de resistencia antes y

			después de la estabilización.
<b>Ensayos complementarios de desempeño</b>	ASTM D2845 – Velocidad de pulso ultrasónico (UPV)	Medir rigidez y uniformidad del suelo estabilizado.	Corroboró la mejora estructural derivada del tratamiento químico.
	ASTM D2434 – Permeabilidad en arena saturada	Determinar coeficiente de permeabilidad en suelos granulares y mezclas.	Analizó la variación de permeabilidad por efecto de la estabilización.

**4.2.6 Estudios relacionados con la Norma Británica BS 5930 (British Standard)**

En el desarrollo del estudio de Callejas Velez (2018) se observó que la aplicación de los lineamientos de la norma británica BS 5930:1999 fue clave para describir la meteorización del macizo rocoso y definir la zonificación geotécnica de la PCH La Chorrera, mientras que el Eurocódigo 7 (EN 1997) sirvió como marco de referencia para la evaluación del comportamiento del terreno y la clasificación de su aptitud constructiva. Los investigadores implementaron una metodología combinada basada en el levantamiento geológico, geomorfológico y geotécnico, con apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permitió relacionar los parámetros físicos del suelo con los criterios de estabilidad y resistencia recomendados por los estándares europeos.

Durante la fase de campo, se documentaron unidades litológicas y su nivel de alteración conforme a la clasificación de meteorización establecida por la BS 5930 y la ISRM (1981), identificando seis niveles de alteración desde roca fresca hasta suelo residual. En la fase de laboratorio, se analizaron las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, complementadas con pruebas de caracterización estructural de discontinuidades (orientación, apertura, rugosidad, rellenos). Se observó que la adopción del esquema británico permitió una descripción sistemática y reproducible del estado de degradación del macizo rocoso,

mientras que el Eurocódigo 7 orientó la interpretación de los resultados hacia la evaluación de aptitud geotécnica y la definición de zonas aptas, con restricciones moderadas, altas o no aptas.

Desde la perspectiva de los investigadores, el uso de estos estándares internacionales ofreció una ventaja sustancial respecto a metodologías locales, al proporcionar un lenguaje técnico común y parámetros comparables a nivel global. Esto permitió integrar de manera coherente los análisis de laboratorio con la modelación geoespacial y los mapas de susceptibilidad por movimientos en masa, logrando una zonificación geotécnica sólida y sustentada en criterios verificables de estabilidad y resistencia. En la Tabla 7 e resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 7** *Resumen ensayos Estudio 6*

<b>Tipo de ensayo o procedimiento</b>	<b>dentro de la clasificación</b>	<b>Norma o referencia aplicada</b>	<b>Observaciones técnicas</b>
<b>Levantamiento geológico de campo</b>	Identificación y descripción de unidades litológicas y discontinuidades	BS 5930:1999 / ISRM (1981)	Incluyó observación de diaclasas, fallas y niveles de meteorización.
<b>Clasificación de meteorización del macizo rocoso</b>	Determinar grado de alteración y conservación de textura original	BS 5930:1999 / ISRM	Se establecieron seis niveles (I a VI) desde roca fresca hasta suelo residual.
<b>Ensayo granulométrico</b>	Determinar distribución de tamaños de partículas	EN ISO 14688-1 / BS 1377-2	Apoyó la delimitación de zonas de depósito y la transición suelo-roca.
<b>Límites de Atterberg (LL, LP)</b>	Estimar plasticidad y comportamiento del material fino	EN ISO 17892-12 / BS 1377-2	Complementó la caracterización de suelos residuales y saprolitos.
<b>Ensayo de corte directo / triaxial</b>	Evaluar resistencia al esfuerzo cortante	EN 1997-2 / BS 1377-7	Aplicado en muestras representativas de

			zonas con riesgo de deslizamiento.
<b>Ensayo de permeabilidad (Lefranc/Falling Head)</b>	Determinar la conductividad hidráulica	EN 1997-2 / BS 1377-6	Fundamental para definir zonas de infiltración y drenaje en laderas.
<b>Evaluación geoespacial en SIG</b>	Integrar variables geotécnicas y morfodinámicas	Eurocode 7, Parte 2 (modelos de terreno)	Generó mapas de susceptibilidad y zonificación geotécnica.

#### *4.2.7 Estudio relacionado con el Sistema de Clasificación de Suelos por Tipo de Excavación (OSHA – Tipo A, B, C)*

En el proyecto “Procedimiento para trabajo seguro en excavaciones en zanja” (Arenas & Reina, 2020) se analizó el manejo de riesgos y la estabilidad de suelos durante excavaciones, siguiendo como referencia principal las normas OSHA 2226 y OSHA 1926.650–652, las cuales establecen la clasificación de suelos según su cohesión y comportamiento mecánico bajo carga (Tipos A, B y C).

Se observa que la clasificación de suelos fue una etapa determinante para seleccionar el sistema de protección adecuado (entibados, taludes o tablestacados). Se identificó que los terrenos con alta cohesión (Tipo A) permiten taludes más verticales, mientras que los suelos de baja cohesión o saturados (Tipo C) requieren soportes temporales y control de humedad. El procedimiento propuesto integra la clasificación OSHA con criterios de la Guía Técnica Colombiana GTC 45 (2012) para la valoración de riesgos, lo que permitió priorizar medidas de control y definir niveles de intervención según la severidad del riesgo y la naturaleza del terreno.

Desde la perspectiva geotécnica, se determinó que los ensayos básicos previos a la excavación, granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y resistencia al corte,

permiten aproximar la clasificación OSHA y anticipar la estabilidad lateral. En campo, se complementó con inspecciones visuales, pruebas de penetración manual y observación de condiciones de humedad, lo que facilitó la asignación del tipo de suelo y la elección de los sistemas de soporte.

Como observación técnica, se evidenció que el enfoque OSHA es útil como herramienta práctica de obra, especialmente para determinar medidas de seguridad inmediatas en excavaciones temporales; sin embargo, su alcance es limitado para estudios geotécnicos detallados, por lo que se recomienda complementarlo con métodos mecánicos o triaxiales cuando la obra lo requiera. En la Tabla 8 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 8** *Resumen ensayos Estudio 7*

<b>Tipo de ensayo / prueba</b>	<b>Finalidad principal</b>	<b>Aplicación dentro del sistema OSHA</b>	<b>Frecuencia o etapa recomendada</b>
<b>Análisis granulométrico (tamizado y sedimentación)</b>	Determinar proporción de arena, limo y arcilla.	Apoyo para diferenciar suelos cohesivos (Tipo A/B) de granulares (Tipo C).	Antes de iniciar excavación.
<b>Límites de Atterberg (LL, LP)</b>	Evaluar plasticidad y cohesión del material.	Identificar potencial de deslizamiento y colapso del terreno.	Ensayo de laboratorio previo.
<b>Contenido de humedad natural</b>	Estimar condiciones de saturación y riesgo de colapso.	Distinguir suelos inestables o saturados (Tipo C).	Durante la excavación.
<b>Ensayo de corte directo / triaxial simple</b>	Determinar resistencia al corte y cohesión aparente.	Validar clasificación de suelos Tipo A ( $B > C$ ).	En laboratorio de control geotécnico.

<b>Prueba de penetración manual o cono de arena</b>	Estimar densidad y resistencia in situ.	Apoyo para clasificación rápida en campo.	En sitio, antes de excavación.
<b>Inspección visual de color, humedad y textura</b>	Identificar tipo de material y grado de cohesión.	Método básico para clasificación rápida según OSHA.	Permanente en obra.
<b>Ensayo de compactación (Proctor estándar o modificado)</b>	Determinar densidad máxima seca y humedad óptima.	Evaluar capacidad portante del suelo de relleno o base.	Durante rellenos y cierre de zanja.
<b>Control de gases o atmósferas confinadas</b>	Verificar seguridad en excavaciones profundas.	Obligatorio en trabajos >1.2 m de profundidad según OSHA.	Antes y durante la excavación.

#### ***4.2.8 Estudio relacionado con el Sistema FAO / WRB / Soil Taxonomy (enfoque pedológico)***

En el estudio analizado, se observó que la clasificación de suelos desde el enfoque pedológico, conforme a los sistemas FAO-WRB (World Reference Base for Soil Resources) y USDA Soil Taxonomy, proporciona una estructura taxonómica detallada que permite identificar los suelos en función de su génesis, morfología y propiedades químicas y físicas. En los suelos andinos estudiados, la aplicación combinada de ambas metodologías permitió reconocer unidades edáficas con distintos grados de evolución y uso agrícola, correlacionando las propiedades del perfil con su comportamiento agronómico y ambiental.

Las clasificaciones FAO y WRB, aunque no fueron diseñadas originalmente para la ingeniería geotécnica, aportan información esencial sobre el origen, los horizontes diagnósticos y la capacidad de retención hídrica de los suelos, lo cual resulta útil en estudios de estabilidad, drenaje y planificación de obras que involucren uso del suelo. Se observó que la caracterización incluyó la descripción morfológica del perfil (color, estructura, consistencia, horizontes), junto con ensayos de granulometría, densidad aparente, contenido

de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y retención de humedad.

Los resultados permitieron establecer equivalencias entre las clases WRB (Andosoles, Cambisoles, Fluvisoles) y las categorías de Soil Taxonomy (Andisols, Inceptisols, Entisols), evidenciando la influencia del material parental volcánico y las condiciones climáticas sobre las propiedades del suelo. Desde la perspectiva del investigador, se destacó que esta metodología ofrece una visión integral del suelo como sistema natural, útil para evaluar su aptitud de uso, degradación y manejo, y que sus descripciones morfológicas pueden complementar los análisis geotécnicos al momento de interpretar su comportamiento frente a la compactación, infiltración o estabilidad de taludes. En la Tabla 9 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación:

**Tabla 9** Resumen ensayos Estudio 8

<b>Tipo de ensayo / descripción</b>	<b>Parámetro medido o analizado</b>	<b>Finalidad dentro del sistema FAO/WRB</b>	<b>Aplicación o relevancia en estudios de geotecnia y manejo del suelo</b>
<b>Descripción morfológica del perfil</b>	Color (Munsell), estructura, consistencia, horizontes	Identificar horizontes diagnósticos y grado de desarrollo del suelo.	Permite relacionar propiedades naturales con comportamiento físico.
<b>Análisis granulométrico</b>	Porcentaje de arena, limo y arcilla	Determinar textura y clase textural del suelo.	Define su permeabilidad, compactabilidad y capacidad de soporte.
<b>Densidad aparente y real</b>	g/cm <sup>3</sup>	Evaluar grado de compactación y porosidad del suelo.	Indicador indirecto de estabilidad estructural y capacidad portante.
<b>Contenido de materia orgánica</b>	% de carbono orgánico	Evaluar fertilidad y estabilidad de agregados.	Influye en la cohesión y comportamiento frente a la humedad.

<b>pH y conductividad eléctrica (CE)</b>	Nivel de acidez y salinidad	Determinar condiciones químicas del suelo.	Afecta procesos de corrosión y estabilidad de materiales.
<b>Capacidad de intercambio catiónico (CIC)</b>	meq/100g	Medir capacidad de retener nutrientes y cationes.	Indica interacción suelo-agua en materiales arcillosos.
<b>Humedad gravimétrica y capacidad de retención de agua</b>	% de agua retenida	Estimar capacidad de retención hídrica del suelo.	Relaciona el comportamiento del suelo frente a infiltración o licuefacción.
<b>Clasificación taxonómica (FAO-WRB / Soil Taxonomy)</b>	Grupo, subgrupo, unidad de suelo	Definir el tipo edáfico dominante.	Permite correlacionar origen pedogenético con comportamiento geotécnico.

#### ***4.2.9 Clasificación de materiales de préstamo y relleno (INVÍAS / IDU / Manuales de construcción)***

En el análisis del documento INVÍAS (2022), “Rellenos para estructuras”, se observó que el sistema de clasificación de materiales de préstamo y relleno empleado en Colombia tiene como propósito establecer los criterios técnicos, ensayos requeridos y procedimientos constructivos mínimos para garantizar la estabilidad, compactación y desempeño de los materiales utilizados en obras civiles. Este sistema, de carácter normativo y prescriptivo, agrupa los suelos y materiales de acuerdo con su granulometría, plasticidad y resistencia, permitiendo definir su idoneidad como material de relleno, subrasante o base estructural.

Durante la revisión, se determinó que la clasificación se sustenta en parámetros definidos por los ensayos granulométrico, límites de Atterberg, contenido de humedad, compactación (Proctor) y CBR (California Bearing Ratio). Estos resultados permiten diferenciar materiales aptos, marginales o no aptos, según los límites establecidos por las especificaciones INVÍAS y las guías complementarias del IDU (Manual de diseño y

construcción de pavimentos). Se observó además que las especificaciones enfatizan la importancia del control de humedad y densidad durante la colocación del material, estableciendo un mínimo del 95% de la densidad máxima seca obtenida en laboratorio.

Desde la perspectiva técnica, este sistema presenta ventajas prácticas para obras de infraestructura, al traducir los resultados de laboratorio en criterios directos de aceptación o rechazo, reduciendo la incertidumbre durante la ejecución. Sin embargo, se evidenció que su enfoque prescriptivo puede limitar la adaptabilidad en zonas con materiales locales no convencionales (p. ej., suelos volcánicos o lateríticos), por lo que se recomienda complementarlo con criterios de desempeño y ensayos adicionales de resistencia o durabilidad cuando las condiciones del proyecto así lo requieran. En la Tabla 10 se resumen los ensayos aplicados en el marco de este sistema de clasificación.

**Tabla 10** *Resumen ensayos Estudio 9*

<b>Tipo de ensayo / prueba</b>	<b>Norma o referencia técnica</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Aplicación dentro del sistema de clasificación</b>
<b>Análisis granulométrico</b>	INVÍAS 610 / NTC 1774	Determinar la distribución de tamaños de partículas.	Define la fracción gruesa y fina del material y su categoría (A, B, C).
<b>Límites de Atterberg (LL, LP)</b>	INVÍAS 610 / NTC 2277	Evaluar la plasticidad y cohesión del suelo.	Identifica materiales susceptibles a expansión o colapso.
<b>Contenido de humedad natural</b>	NTC 1927 / INVÍAS 610	Cuantificar la humedad del material en sitio.	Permite controlar el grado de humedad antes de la compactación.
<b>Ensayo de compactación (Proctor estándar o modificado)</b>	NTC 1806 / INVÍAS 610	Determinar la densidad máxima seca y la humedad óptima.	Define la energía de compactación requerida en campo.
<b>Densidad in situ (cono de arena o nuclear)</b>	NTC 2370 / INVÍAS 610	Verificar el grado de compactación alcanzado.	Control de calidad durante la ejecución de rellenos.

<b>Ensayo CBR (California Bearing Ratio)</b>	NTC 5403 / INVÍAS 610	Medir la capacidad portante del material compactado.	Determina la aptitud del material para subrasante o base.
<b>Ensayo de corte directo / triaxial (opcional)</b>	ASTM D3080 / INVÍAS 610	Medir cohesión y ángulo de fricción del material.	Ensayo complementario en materiales marginales o estabilizados.
<b>Control visual y registro fotográfico</b>	INVÍAS / IDU (Manual de obra)	Registrar uniformidad, humedad y granulometría durante la obra.	Control cualitativo y verificación del cumplimiento del pliego técnico.

#### **4.3 Revisión básica para la clasificación de suelos en los laboratorios dependiendo de la obra de geotecnia propuesta.**

Finalmente, con el propósito de aplicar de manera práctica los resultados obtenidos en las Secciones 4.1. y 4.2., se formuló un listado de chequeo básico que vincula los sistemas de clasificación de suelos y los ensayos de laboratorio correspondientes de acuerdo con el tipo de obra de geotecnia. La tabla se estructura por categorías de proyecto (vías, puentes, edificaciones y obras hidráulicas), identificando los ensayos mínimos obligatorios para la caracterización inicial y los ensayos complementarios según las necesidades del diseño o las condiciones del terreno. Este formato se propone como una herramienta de uso técnico en la fase de planificación y ejecución de estudios de suelos, permitiendo estandarizar la solicitud de ensayos en los laboratorios y garantizar la trazabilidad normativa en cada caso.

El primer componente de la tabla incluye el Tipo de proyecto de obra geotécnica seleccionado, con su(s) correspondiente(s) Sistema(s) de clasificación recomendado(s), vinculándolo libremente con los Ensayos mínimos obligatorios según la sección 4.2. de estudios recopilados y algunos detalles de Ensayos complementarios sugeridos por los autores de acuerdo con la búsqueda de la Sección 1, finalizando con las Normas / Referencias

técnicas relacionadas. Esta tabla es formada subjetivamente por los criterios de segregación previamente indicados.

Los resultados buscan que este formato de clasificación de suelos propuesto presente la unificación de los resultados de laboratorio y asegure la trazabilidad técnica entre el proceso de muestreo, los ensayos realizados y la interpretación final. Este instrumento estandarizado permite registrar de manera ordenada la información esencial del proyecto, los ensayos aplicados, el sistema de clasificación empleado y las observaciones del analista responsable. Con el fin de facilitar su aplicación práctica en los estudios de geotecnia, un formato completo que incluye el estudio previo se presenta como anexo (Apéndice I), en el cual se detallan los campos y criterios técnicos correspondientes a cada fase del proceso de caracterización de suelos.

**Tabla 11** *Listado de chequeo*

<b>Tipo de proyecto de obra geotécnica</b>	<b>Sistema(s) de clasificación recomendado(s)</b>	<b>Ensayos mínimos obligatorios</b>	<b>Ensayos complementarios sugeridos</b>	<b>Normas / Referencias técnicas</b>
<b>VÍAS (carreteras, subrasantes, bases y subbases)</b>	AASHTO M145 / INVÍAS 610 / ASTM D2487	- Granulometría (NTC 1774) - Límites de Atterberg (NTC 2277) - Compactación Proctor (NTC 1806) - CBR (NTC 5403)	- Módulo resiliente (AASHTO T307) - Permeabilidad (ASTM D2434) - Contenido de humedad natural (NTC 1927)	INVÍAS (2022), AASHTO (1993), ASTM D698
<b>PUENTES (cimentaciones, rellenos estructurales, accesos)</b>	SUCS / ASTM D2487 / BS 5930 / Eurocódigo 7	- Granulometría (NTC 1774) - Límites de Atterberg (NTC 2277) - Ensayo de corte directo (ASTM D3080) - Compactación (NTC 1806)	- Triaxial consolidado-drenado (EN 1997-2) - Consolidación (ASTM D2435) - Permeabilidad (BS 1377-6)	BS 5930 (1999), EN 1997 (2004), ASTM D3080
<b>EDIFICIOS (cimentaciones superficiales y profundas)</b>	SUCS / NTC / ASTM / INVÍAS	- Granulometría (NTC 1774) - Límites de Atterberg (NTC 2277) - Densidad in situ (NTC 2370) - Ensayo SPT (INVÍAS 2013)	- Triaxial no consolidado no drenado (ASTM D2850) - Corte directo (ASTM D3080) - Ensayo de consolidación (ASTM D2435)	NTC 1806, ASTM D2850, INVÍAS (2022)
<b>OBRAS HIDRÁULICAS (presas, canales, drenajes, diques)</b>	BS 5930 / Eurocódigo 7 / SUCS / ASTM	- Granulometría (NTC 1774) - Compactación (NTC 1806)	- Ensayo triaxial (EN 1997-2) - Contenido de humedad natural (NTC 1927)	EN 1997-2, ASTM D2434, BS 1377

		- Permeabilidad (ASTM D2434) - Corte directo (ASTM D3080)	- Densidad aparente y humedad gravimétrica	
<b>TALUDES Y EXCAVACIONES TEMPORALES</b>	OSHA / SUCS / BS 5930	- Inspección visual (OSHA 1926.652) - Granulometría (NTC 1774) - Límites de Atterberg (NTC 2277)	- Corte directo / Triaxial simple - Control de humedad y densidad en obra	OSHA (2020), BS 5930 (1999)

## 5. Conclusiones

Inicialmente, se pudo realizar la elaboración de un cuadro comparativo construido a partir de una revisión documental exhaustiva de normas, investigaciones y casos reales de aplicación de los sistemas SUCS, AASHTO, INVÍAS, NTC, ASTM, FAA, OSHA, BS/Eurocódigo 7, FAO/WRB y criterios de materiales de préstamo. A través de este análisis se identificaron sus fundamentos, procedimientos, ventajas, limitaciones y el tipo de obra donde cada sistema resulta más pertinente, lo que permitió contrastar sus alcances técnicos y demostrar por qué no existe un único método universal para todas las obras de geotecnia de proyectos de construcción vertical (edificaciones) u horizontal (vías). Al finalizar esta etapa, se logró sintetizar de forma clara la función específica de cada sistema y establecer criterios comparativos que respaldan la necesidad de seleccionar la clasificación según la finalidad constructiva, cumpliendo así plenamente el objetivo planteado.

Posteriormente, se desarrolló un estudio de alternativas que evaluó la selección de ensayos y pruebas aplicables a diferentes tipos de suelo, tomando como base los estudios, proyectos e investigaciones. Para ello se analizaron los ensayos indexales, mecánicos y de desempeño utilizados en pavimentos, cimentaciones, suelos volcánicos, terraplenes y obras viales, estableciendo la correspondencia técnica entre cada sistema de clasificación y las pruebas necesarias para caracterizar adecuadamente el comportamiento del material. Este análisis permitió demostrar que la escogencia de ensayos no puede limitarse a granulometría y límites de Atterberg, sino que depende del tipo de obra y del comportamiento esperado del suelo. La sistematización de estas relaciones confirmó que el estudio aporta criterios técnicos para seleccionar ensayos de forma coherente y fundamentada, en especial, si el proyecto tiene un componente vial, al apoyarse en variables relacionadas con el Instituto Nacional de Vías INVIAS.

Finalmente, se realizó la elaboración de un listado de chequeo diseñado a partir del análisis previo de sistemas de clasificación, ensayos requeridos y requisitos normativos nacionales e internacionales. Este formato integra campos para la identificación del proyecto,

la justificación del sistema de clasificación escogido, el registro estandarizado de ensayos indexales y mecánicos, y la verificación de cumplimiento normativo y acreditación del laboratorio sin distinción del tipo de construcción vial o de edificaciones. Con la creación de esta propuesta de herramienta se logra estandarizar el proceso de clasificación de suelos y mejorar la toma de decisiones técnicas, evidenciando una propuesta alternativa para entidades como el INVIAS y sus especificaciones de construcción.

### Referencias

- Administrador. (2024, octubre 22). Lecciones aprendidas del diseño y construcción de muros en suelo reforzado con Geomallas. *Geomatrix*. <https://geomatrix.co/lecciones-aprendidas-del-diseno-y-construccion-de-muros-en-suelo-reforzado-con-geomallas/>
- Baldovino, J. de J. A., Ortega, R. T., & Nuñez de la Rosa, Y. E. (2025). Experimental Stabilization of Clay Soils in Cartagena de Indias Colombia: Influence of Porosity/Binder Index. *Applied Sciences*, 15(11), 5895. <https://doi.org/10.3390/app15115895>
- Callejas Vélez, J. J. (2018). *Implementación de los Sistemas de Información Geográfico, para la zonificación geotécnica como herramienta para la gestión de los georecursos, en una Pequeña Central Hidroeléctrica. Caso de estudio La Chorrera— Municipio de Santa Rosa de Osos, Antioquia*. <http://hdl.handle.net/10784/13368>
- Carlino, P. (2021). *Antecedentes y marco teórico en los proyectos de investigación: Aportes para construir este apartado*. <https://www.aacademica.org/paula.carlino/274>
- Decreto 2010.01-14. (2010). *Decreto 2010-01-14*. [https://www.scg.org.co/Titulo-H-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-14.pdf?utm\\_](https://www.scg.org.co/Titulo-H-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-14.pdf?utm_)
- Forero Torres, A. E., & Vaca Ibañez, J. G. (2025). *Diseño del pavimento flexible por los métodos de la aashto-93 y del instituto nacional de vias para la urbanización la carolina localizada en el barrio bocono del municipio de san josé de cúcuta*. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/31643>
- Ganacampo. (2018). *Hacen falta más laboratorios para estudio de suelos en Colombia*. Laboratorio de suelos GanaCampo. [https://www.ganacampo.com/publicaciones/noticias/hacen-falta-mas-laboratorios-para-estudio-de-suelos-en-colombia?utm\\_](https://www.ganacampo.com/publicaciones/noticias/hacen-falta-mas-laboratorios-para-estudio-de-suelos-en-colombia?utm_)
- Garay, J. (2023). *Diseño de pavimentos con la metodología AASHTO 93 para la construcción de carreteras como iniciativa integral con el fin de mejorar la seguridad y la movilidad entre el municipio de Tibú y el corregimiento de La Gabarra en el pr 39+730 al pr 43+055*. <https://repository.umng.edu.co/items/6e3778b3-fe20-4f14-b973-8908b5254ab7>
- Guarín Leyva, G. L. (2018). *Análisis de las fallas del muro de contención de la carrera 7 con calle 14 y 11 de Girardot, Cundinamarca*. [Corporación Universitaria Minuto de Dios]. <http://hdl.handle.net/10656/6788>

- Hernández Silva, E. A. (2018). *Verificación de la norma NTC 1504 que rige las condiciones urbanísticas en el espacio público y zonas verdes de los parques de la comuna 10 de Bucaramanga*. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/4527>
- Herrera Ardila, M. C. (2006). *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia—Estudio fundamental e implicaciones en ingeniería*. <https://doi.org/10.57784/1992/7812>
- ICONTEC. (2013). *Suelos. Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (humedad) de suelos y rocas, con base en la masa*. [https://tienda.icontec.org/gp-suelos-metodo-de-ensayo-para-determinar-en-el-laboratorio-el-contenido-de-agua-humedad-de-suelos-y-rocas-con-base-en-la-masa-ntc1495-2013.html?utm\\_](https://tienda.icontec.org/gp-suelos-metodo-de-ensayo-para-determinar-en-el-laboratorio-el-contenido-de-agua-humedad-de-suelos-y-rocas-con-base-en-la-masa-ntc1495-2013.html?utm_)
- INVIAS. (2022). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. [https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras?utm\\_](https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras?utm_)
- López, P., & Daniela, K. (2022). *Análisis de la posible correlación entre los Límites de Atterberg y la resistencia a la compresión inconfiada de cenizas volcánicas típicas de los depósitos superficiales de suelos en Manizales, Colombia*. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/18190>
- Montoya, W. C., Cerón, G. C., & Correa, J. C. (2017). Soil moisture retention and mass movement of volcanic soils from the «Sabinas» sector in Caldas, Colombia. *Acta Agronómica*, 66(4), 588-597.
- ONAC. (2025). Directorio Oficial de Acreditados—DOA. *ONAC*.
- Parra-Quemba, W. J. (2020). Marco teórico para un análisis integral de los derechos humanos y fundamentales. *Derecho y Realidad*. <https://doi.org/10.19053/16923936.v18.n35.2020.10167>
- Pineda, J., & Rueda, M. (2011). PATOLOGÍAS ASOCIADAS A FENÓMENOS DE DESECACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DEL OCCIDENTE DE LA SABANA DE BOGOTÁ. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2618.4402>
- Puma Chuquichampi, J., & Teran Corredor, I. E. (2022). *La importancia de la clasificación de suelos tropicales por la metodología MCT en contraste con las recomendaciones AASHTO para el proyecto vial Carretera Pe—5N DV Cabo Leveau departamento de San Martín*. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/fc9f3a18-2cc8-49a4-96d7-2c3bca74eb0c>

Tobar-Díaz, R., Gao, Y., Mas, J. F., & Cambrón-Sandoval, V. H. (2023). *Clasificación de uso y cobertura del suelo a través de algoritmos de aprendizaje automático: Revisión bibliográfica*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/199305>

Velasco, L. G. C., & Castro, C. C. G. (2018). Estudio experimental de clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas en el suroccidente Colombiano con el método SUCS, AASHTO y un nuevo método de clasificación de suelos. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), 378-378. <https://doi.org/10.14482/inde.36.2.10377>

## Apéndices

### Apendice I

**Proyecto:** \_\_\_\_\_

**Ubicación:** \_\_\_\_\_

**Responsable técnico:** \_\_\_\_\_

**Tipo de estructura / obra:**  Vial  Cimentación  Contención  Terraplén

Aeronáutica  Hidráulica  Otra: \_\_\_\_\_

**Código o número de muestra:** \_\_\_\_\_

#### 1. Descripción del material y condiciones de muestreo

Parámetro	Descripción / Valor
<b>Profundidad de la muestra</b>	
<b>Humedad al momento de la toma</b>	
<b>Color y textura observada</b>	
<b>Tipo de suelo (según observación)</b>	
<b>Condiciones del sitio (drenaje, nivel freático, vegetación, etc.)</b>	
<b>Observaciones de campo</b>	

(Juárez, 2005)

#### 2. Selección del sistema de clasificación aplicable

Marque el sistema empleado y justifique la elección según tipo de proyecto o normativa aplicable:

Sistema de clasificación	Seleccionado	Justificación / Norma aplicada
--------------------------	--------------	--------------------------------

SUCS / USCS (ASTM D2487)	<input type="checkbox"/>	_____
AASHTO M145	<input type="checkbox"/>	_____
INVÍAS 610 / IDU	<input type="checkbox"/>	_____
NTC / ICONTEC	<input type="checkbox"/>	_____
ASTM (D4318, D698, D3080, etc.)	<input type="checkbox"/>	_____
BS 5930 / Eurocódigo 7	<input type="checkbox"/>	_____
OSHA (Tipos A, B, C)	<input type="checkbox"/>	_____
FAO / WRB / Soil Taxonomy	<input type="checkbox"/>	_____
Otros (especificar)	<input type="checkbox"/>	_____

(Forero Torres & Vaca Ibañez, 2025)

### 3. Registro de ensayos indexales

Ensayo	Norma aplicada	Resultado / Valor obtenido
<b>Humedad natural (%)</b>	NTC 1927	_____
<b>Análisis granulométrico</b>	NTC 1774 / ASTM D422	_____
<b>Límites de Atterberg (LL, LP)</b>	NTC 2277 / ASTM D4318	_____
<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	NTC 2370	_____
<b>Contenido orgánico (%)</b>	NTC 2378	_____
<b>Observaciones adicionales</b>		_____

(ICONTEC, 2013)

### 4. Registro de pruebas mecánicas y de desempeño

Ensayo	Norma aplicada	Resultado / Observación
<b>Compactación (Proctor Estándar o Modificado)</b>	NTC 1806 / ASTM D698	_____
<b>CBR (California Bearing Ratio)</b>	NTC 5403 / AASHTO T193	_____
<b>Corte directo</b>	ASTM D3080 / BS 1377-7	_____
<b>Ensayo triaxial</b>	ASTM D2850 / EN 1997-2	_____

<b>Consolidación unidimensional</b>	ASTM D2435
<b>Permeabilidad</b>	ASTM D2434 / BS 1377-6
<b>Módulo resiliente (si aplica)</b>	AASHTO T307
<b>Otros (especificar)</b>	

(Velasco & Castro, 2018; Herrera Ardila, 2006)

5. Interpretación y clasificación final del suelo			
<b>Sistema empleado</b>	<b>Símbolo de clasificación</b>	<b>Tipo de suelo resultante</b>	<b>Conclusiones técnicas</b>

**Observaciones adicionales:**

**Analista de laboratorio:** \_\_\_\_\_

**Firma y fecha:** \_\_\_\_\_

6. Control de calidad y acreditación del laboratorio		
<b>Criterio de verificación</b>	<b>Cumple</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Ensayos realizados bajo norma vigente</b>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Equipos calibrados y certificados</b>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Personal técnico acreditado</b>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Resultados verificados por profesional responsable</b>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Laboratorio acreditado ante ONAC</b>	<input type="checkbox"/>	_____

(ONAC, 2025)

**Nota:** Este formato debe anexarse al informe técnico de suelos como registro estandarizado de clasificación, garantizando trazabilidad normativa, consistencia entre proyectos y validez ante entes de control o interventoría.