Geotecnia en Proyectos Habitacionales: Caracterización del Suelo en la zona "La Montaña del Potrero".

Autor(es): [1]Erick Daniel Ponce Reyes, Aarón Víctor Oseguera Escober, Alba Cristina Godoy Olivera, Alexis Josué García Moran, Hancy Melissa Martínez Gonzales, Yensy Vanessa Banegas Gonzales, Lisvel Mabeli Maradiaga Ponce, José Arnold López Zepeda, Fredy Ricardo Cruz Martínez.

Afiliación Institucional:
Universidad José Cecilio del Valle.
Vicerrectoría Académica.
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.

Tegucigalpa M.D.C.
Honduras, C.A.

Recibido:
07-05-2026

Aceptado:
01-07-2026

[1]Sobre el autor de correspondencia:
Ponce Reyes, Erick Daniel.

Universidad José Cecilio del Valle.

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.

Tegucigalpa, Honduras, C.A.

ORCID:
0009-0007-8953-7240

Correo:
erick.ponce@ujcv.edu.hn

Contacto:
+(504) 3324-5784.

Resumen:

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar las propiedades geotecnicas del suelo en la zona de La Montaña del Potrero, ubicada en Tegucigalpa, con el fin de evaluar su comportamiento mecánico y su aptitud para cimentaciones. La investigación se justifica por la necesidad de prevenir fallas estructurales asociadas a suelos de alta plasticidad (Terzaghi et al., 2021; Das y Sobhan, 2022).

La metodología se basó en un enfoque experimental mediante la recolección de muestras en puntos estratégicos del sitio, seguidas de ensayos de laboratorio conforme a normas ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, 2024, 2025, 2026). Se realizaron pruebas de contenido de humedad (ASTM D2216), análisis granulométrico (ASTM D6913) y determinación de los límites de Atterberg. (ASTM D4318), permitiendo clasificar el suelo según los sistemas USCS y AASHTO (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, 2020; Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, 2024).

Los resultados evidenciaron que el suelo presenta bajo contenido de humedad natural (entre 2.06% y 4.88%) y una composición predominantemente fina, con el 100% del material pasando el tamiz No. 4. Los índices de plasticidad obtenidos (21.04 a 44.88) indican la presencia de arcillas y limos de alta plasticidad, clasificados como CH y MH (Budhu, 2024). Estas características revelan una alta sensibilidad a cambios de humedad, lo que puede generar expansiones, contracciones y asentamientos diferenciales (Mitchell y Soga, 2022).

Se concluye que, aunque el suelo presenta rigidez en estado seco, su comportamiento puede deteriorarse significativamente en condiciones de saturación. Por ello, se recomienda implementar técnicas de mejoramiento del suelo, sistemas de drenaje eficientes y considerar cimentaciones profundas para garantizar la estabilidad estructural del proyecto (Bowles, 2019; Coduto, Kitch y Yeung, 2020).

Palabras Clave: Geotecnia, suelos finos, plasticidad, límites de atterberg, cimentaciones.

Geotechnics in Residential Projects: Soil Characterization in "La Montaña del Potrero"

Author(s): [1]Erick Daniel Ponce Reyes, Aarón Víctor Oseguera Escober, Alba Cristina Godoy Olivera, Alexis Josué García Moran, Hancy Melissa Martínez Gonzales, Yensy Vanessa Banegas Gonzales, Lisvel Mabeli Maradiaga Ponce, José Arnold López Zepeda, Fredy Ricardo Cruz Martínez.

Author(s):
Ponce Reyes, Erick Daniel
(0009-0007-8953-7240)

Oseguera Escober, Aarón Víctor
(0009-0001-3189-6431)

Godoy Olivera , Alba Cristina
(0009-0000-0269-4761)

García Moran, Alexis Josué
(0009-0004-1095-9941)

Martínez Gonzales, Hancy Melissa
(0009-0003-3843-5173),

Banegas Gonzales, Yensy Vanessa
(0009-0009-5161-9931),

Maradiaga Ponce, Lisvel Mabeli
(0009-0001-8882-7357)

López Zepeda, José Arnold
(0009-0003-0193-0867)

Cruz Martínez, Fredy Ricardo
(0009-0000-6153-184X).

Abstract:

This study aims to characterize the geotechnical properties of soils in the Potreros Mountain area, located in Tegucigalpa, in order to evaluate its mechanical behavior and suitability for foundation design. This analysis is essential due to the risks associated with high plasticity soils, such as differential settlement and reduced bearing capacity (Terzaghi et al., 2021).

The methodology followed an experimental approach, including soil sampling at strategic points and laboratory testing based on ASTM standards. Natural moisture content (ASTM D2216), grain size distribution (ASTM D6913), and Atterberg limits. (ASTM D4318) were determined, allowing soil classification using USCS and AASHTO systems (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, 2020; Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, 2024).

The results show low moisture content (2.06% to 4.88%) and a predominantly finegrained composition, with no coarse particles present. Plasticity indices (21.04 to 44.88) indicate high plasticity clays and silts (CH and MH), reflecting high sensitivity to moisture changes (Mitchell y Soga, 2005). These conditions imply unstable behavior under saturation, leading to volumetric changes and differential settlement (Budhu, 2024).

It is concluded that although the soil exhibits apparent stiffness in dry conditions, its performance may significantly deteriorate when wet. As a limitation, the study is based on a limited number of sampling points. Soil improvement techniques, drainage control, and deep foundations are recommended to ensure structural stability (Coduto et al., 2020).

Keywords:
Geotechnics, fine soils, plasticity, Atterberg limits, foundations.

Introducción

El análisis geotécnico del suelo constituye una etapa fundamental en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil, especialmente en el ámbito de la construcción habitacional, ya que permite conocer con precisión las propiedades físicas y mecánicas del terreno sobre el cual se proyectan las estructuras (Das y Sivakugan, 2022; Terzaghi et al., 2021). La adecuada caracterización del suelo no solo facilita el diseño eficiente de cimentaciones, sino que también garantiza la estabilidad, seguridad y durabilidad de las obras a lo largo del tiempo, reduciendo significativamente los riesgos asociados a fallas estructurales y asentamientos diferenciales (Bowles, 2019).

En el contexto de la mecánica de suelos, se ha demostrado que el comportamiento del terreno depende en gran medida de factores como la granulometría, el contenido de humedad y la plasticidad del material (Badillo, 2022). Estos parámetros influyen directamente en la capacidad portante del suelo, su compresibilidad y su respuesta ante cambios ambientales, como la variación en los niveles de humedad o la presencia de cargas externas (Crespo, 2021). Por ello, la aplicación de ensayos de laboratorio normalizados, como el análisis granulométrico, la determinación del contenido de humedad y los límites de Atterberg, resulta esencial para obtener información confiable y precisa sobre las condiciones del terreno (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales [ASTM], 2024, 2025, 2026).

Diversos antecedentes en la ingeniería geotécnica han evidenciado que la falta de estudios adecuados del suelo puede ocasionar problemas graves en las estructuras, tales como fisuras, hundimientos, deformaciones excesivas e incluso colapsos parciales o totales (Terzaghi et al., 2021). Estas situaciones no solo representan un riesgo para la integridad de las edificaciones, sino también para la seguridad de las personas que las habitan. Además, generan costos adicionales en reparación, mantenimiento y rediseño, lo cual impacta negativamente en la viabilidad económica de los proyectos (Coduto et al., 2020).

Desde una perspectiva científica, los estudios geotécnicos aportan conocimientos fundamentales sobre las características del suelo en contextos específicos, permitiendo desarrollar soluciones de ingeniería adaptadas a las condiciones reales del terreno (González de Vallejo et al., 2020). Estos estudios contribuyen a la generación de datos que pueden ser utilizados en futuras investigaciones, fortaleciendo el campo de la mecánica de suelos y mejorando las prácticas constructivas. Por otro lado, desde el punto de vista social, la correcta evaluación del suelo contribuye a la construcción de infraestructuras más seguras, resilientes y sostenibles, lo cual es especialmente relevante en zonas urbanas en crecimiento (Budhu, 2024).

En ciudades como Tegucigalpa, donde el desarrollo urbano se ha expandido hacia áreas con condiciones geológicas variables, se vuelve indispensable realizar estudios geotécnicos detallados antes de ejecutar cualquier proyecto habitacional (García y Martínez, 2025; Rico Rodríguez y Del Castillo, 2023). En muchos casos, la expansión urbana ocurre sin una adecuada caracterización del suelo, lo que genera una brecha de conocimiento significativa respecto a las propiedades reales del terreno. Esta falta de información limita la toma de decisiones técnicas adecuadas y aumenta la probabilidad de que se presenten problemas estructurales a mediano y largo plazo (Bowles, 2019).

La Montaña del Potrero, Tegucigalpa, se desarrolla en una zona donde las condiciones del suelo pueden variar considerablemente debido a factores naturales y procesos de intervención humana, como cortes, rellenos y modificaciones del terreno (Universidad José Cecilio del Valle [UJCV], 2026). Estas variaciones hacen necesario un análisis detallado del suelo para determinar su comportamiento y evaluar su aptitud para soportar cargas estructurales. En este sentido, la investigación geotécnica aplicada en este proyecto busca proporcionar información técnica relevante que permita tomar decisiones fundamentadas en el diseño y ejecución de las obras (Das, 2021).

La metodología empleada en este estudio integra tanto el trabajo de campo como el análisis de laboratorio (ASTM, 2025, 2026). En la fase de campo, se llevó a cabo la recolección de muestras de suelo en puntos estratégicos previamente seleccionados, con el fin de obtener una representación adecuada de las condiciones del terreno. Posteriormente, en el laboratorio, se realizaron ensayos normalizados siguiendo las normas ASTM, lo que garantiza la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos.

Entre los ensayos realizados se incluyen la determinación del contenido de humedad natural, el análisis granulométrico y la evaluación de los límites de Atterberg (ASTM, 2024, 2025, 2026). Estos ensayos permiten identificar la composición del suelo, su capacidad de retener agua y su comportamiento frente a cambios en el contenido de humedad (Gutiérrez Rodríguez, 2023). En particular, los límites de Atterberg son fundamentales para clasificar los suelos finos y evaluar su plasticidad, lo cual es clave para comprender su comportamiento en condiciones de carga y variación ambiental (Casagrande, 2020).

Los resultados obtenidos a partir de estos ensayos permiten clasificar el suelo según sistemas reconocidos internacionalmente, como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y el sistema AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes [AASHTO], 2024; ASTM, 2020). Esta clasificación facilita la interpretación de las propiedades del suelo y su aplicación en el diseño de cimentaciones y otras estructuras. Asimismo, el análisis comparativo de las diferentes muestras permite identificar variaciones en las características del terreno y evaluar su impacto en el comportamiento geotécnico del área de estudio.

En este contexto, el presente informe tiene como objetivo principal determinar las propiedades geotécnicas del suelo en La zona de La Montaña del Potrero mediante la integración de datos obtenidos en campo y laboratorio (UJCV, 2026). A partir de esta información, se busca evaluar el comportamiento mecánico del suelo y establecer recomendaciones técnicas que contribuyan al diseño de cimentaciones seguras, eficientes y adaptadas a las condiciones reales del terreno.

En conclusión, la realización de estudios geotécnicos como el presentado en este informe es de vital importancia para el desarrollo adecuado de proyectos de ingeniería civil, ya que permite anticipar posibles problemas y proponer soluciones técnicas que garanticen la estabilidad y seguridad de las estructuras (Salgado, 2023; Terzaghi et al., 2021). La correcta interpretación de los resultados obtenidos no solo contribuye al éxito del proyecto en cuestión, sino que también aporta al conocimiento general sobre el comportamiento de los suelos en la región, fortaleciendo así las prácticas de la ingeniería geotécnica en el país.

Metodología

A. Diseño del estudio

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental de tipo descriptivo, orientado a la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante la ejecución de ensayos de laboratorio estandarizados (Crespo, 2021). El diseño experimental permitió obtener datos cuantificables a partir de muestras reales del terreno, mientras que el enfoque descriptivo facilitó la interpretación de dichos resultados en función del comportamiento geotécnico del suelo (Budhu, 2024).

Este tipo de estudio resulta adecuado en el campo de la mecánica de suelos, ya que permite establecer relaciones entre las propiedades del material y su respuesta ante diferentes condiciones, tales como variaciones en el contenido de humedad o la aplicación de cargas (Knappett y Craig, 2020). Asimismo, la combinación de trabajo de campo y análisis de laboratorio garantiza una evaluación integral

del terreno, proporcionando información confiable para la toma de decisiones en proyectos de ingeniería civil (Terzaghi et al., 2021).

B. Población y muestra

La población objeto de estudio comprende los suelos superficiales del área del proyecto residencial ubicada en el sector de La montaña del Potrero, Tegucigalpa, M.D.C. Para el muestreo se definieron cuatro puntos de extracción estratégicos a fin de cubrir la representatividad espacial total del lote y las diferentes condiciones geomorfológicas derivadas del movimiento de tierras:

La muestra estuvo conformada por cuatro puntos estratégicos de muestreo seleccionados con el objetivo de representar de manera adecuada las diferentes condiciones del suelo dentro del área del proyecto. Estos puntos corresponden a:

- Muestra 1: Zona de acceso al proyecto
- Muestra 2: Banco de material selecto
- Muestra 3: Área de corte principal
- Muestra 4: Talud del bloque Estructural-

La selección de estos puntos permite analizar tanto suelos en condiciones naturales como materiales modificados por actividades constructivas, proporcionando una visión más completa del comportamiento del terreno. Las muestras fueron recolectadas manualmente, asegurando su integridad y evitando alteraciones significativas en sus propiedades originales.

C. Criterios de inclusión y exclusión

Para garantizar la representatividad de las muestras, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión (Bowles, 2019).

1. **Criterios de inclusión:**

- Zonas representativas del terreno natural del proyecto.
- Áreas con relevancia geotécnica, como cortes, taludes y accesos.
- Sectores donde se proyecta la construcción de estructuras.

2. **Criterios de exclusión:**

- Áreas con presencia de material contaminado o residuos externos.
- Zonas con alteraciones artificiales no representativas del suelo original.
- Sectores de difícil acceso que comprometan la seguridad del muestreo.

Estos criterios permitieron seleccionar puntos de muestreo adecuados para el análisis, asegurando la validez de los resultados obtenidos (Coduto et al., 2020).

D. Procedimientos

El análisis de las muestras se desarrolló secuencialmente en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad José Cecilio del Valle, aplicando de forma estricta los protocolos dictados por la ASTM: (UJCV, 2026).

E. Trabajo de campo

En esta etapa se realizó la identificación y selección de los puntos de muestreo dentro del área del proyecto. Posteriormente, se procedió a la recolección de muestras de suelo utilizando herramientas manuales, asegurando que cada muestra fuera representativa de su ubicación y evitando la contaminación con materiales externos (Das, 2021).

Las muestras fueron almacenadas en recipientes adecuados y etiquetadas correctamente para su traslado al laboratorio, donde se realizaron los ensayos correspondientes (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales, 2026).

F. Análisis de laboratorio

Todos los ensayos se ejecutaron de manera secuencial en las instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad José Cecilio del Valle, aplicando estrictamente los siguientes protocolos internacionales (UJCV, 2026):

a. Determinación del contenido de humedad (ASTM D2216)

El procedimiento consistió en la determinación de la cantidad de agua contenida en los poros del suelo en su estado natural (ASTM, 2024). El procedimiento consistió en pesar la muestra húmeda, secar en horno a una temperatura controlada de aproximadamente 110 °C durante 24 horas y posteriormente volver a pesarla para obtener el peso seco. A partir de estos datos se calculó el porcentaje de humedad (Budhu, 2024).

b. Análisis granulométrico (ASTM D422)

El análisis granulométrico se realizó mediante el método de tamizado, el cual permitió determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo (ASTM, 2026). Las muestras fueron previamente secadas y pulverizadas para deshacer los terrones sin alterar las partículas individuales. Posteriormente, el material fue pasado por una serie de tamices de diferentes tamaños, registrando el peso retenido en cada uno para calcular los porcentajes correspondientes (Crespo Villalaz, 2021).

c. Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Para evaluar la plasticidad del suelo, se determinaron el límite líquido y el límite plástico (ASTM, 2025). El límite líquido se obtuvo utilizando la copa de Casagrande, registrando el número de golpes necesarios para cerrar una ranura en la muestra (Casagrande, 2020). El límite plástico se determinó mediante la formación de cilindros de aproximadamente 3 mm de diámetro, observando el punto en el cual el material comenzaba a desmoronarse. La diferencia entre ambos valores permitió calcular el índice de plasticidad (Budhu, 2024).

Estos ensayos proporcionaron información clave para la clasificación del suelo y la evaluación de su comportamiento ante variaciones de humedad y cargas externas (Mitchell y Soga, 2022).

G. Instrumentos

Para la ejecución de los ensayos de laboratorio se utilizaron diversos instrumentos y equipos especializados, entre los cuales se incluyen:

- Copa de Casagrande para la determinación del límite líquido
- Juego de tamices normalizados para el análisis granulométrico
- Balanza de precisión para la medición de masas
- Horno de secado para la eliminación de humedad en las muestras
- Recipientes metálicos (taras) para pesaje
- Espátulas, herramientas de corte y superficies de trabajo.

El uso de estos instrumentos permitió obtener mediciones precisas y confiables, garantizando la calidad de los resultados (ASTM, 2025).

H. Consideraciones éticas

Durante el desarrollo del estudio se siguieron las normas de seguridad establecidas para el trabajo en laboratorio, incluyendo el uso adecuado de los equipos y la manipulación responsable de las muestras. Asimismo, se aseguró el correcto manejo de los materiales para evitar contaminación o alteración de los resultados.

El trabajo se realizó bajo principios de responsabilidad académica y rigor científico, promoviendo la colaboración entre los integrantes del equipo y el cumplimiento de los procedimientos establecidos.

I. Análisis estadístico

Los datos cuantitativos derivados de los ensayos de laboratorio se procesaron mediante un análisis estadístico descriptivo para evaluar la variabilidad y consistencia de las propiedades geotécnicas (Budhu, 2024). Para cada muestra analizada, se determinaron los parámetros fundamentales de contenido de humedad natural, la distribución granulométrica y los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), derivando de estos últimos el índice de plasticidad.

La dispersión y tendencia central de estos resultados se evaluaron mediante el cálculo de la media aritmética, la desviación estándar y el coeficiente de variación, lo que permitió identificar la homogeneidad o heterogeneidad de los estratos evaluados. Posteriormente, las muestras se clasificaron rigurosamente bajo los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y el sistema AASHTO, siguiendo las normativas ASTM D2487-17 y AASHTO M 145-91, respectivamente (AASHTO, 2024; ASTM, 2020).

Asimismo, se efectuó un análisis de correlación lineal para examinar la influencia mutua entre el contenido de humedad fina y los índices de consistencia, facilitando la interpretación integral del comportamiento mecánico y la respuesta geotécnica del terreno frente a cargas estructurales (Budhu, 2024; Coduto et al., 2020).

Este enfoque permitió correlacionar los procesos de meteorización y transporte genético del suelo con su susceptibilidad a cambios volumétricos (expansión/contracción) y su estabilidad ante cortes de talud.

J. Resultados

En este apartado se exponen los hallazgos derivados de la fase de experimentación en laboratorio, donde se sometieron las muestras de suelo recolectadas en La Zona de la Montaña de Potreros. El objetivo principal fue determinar las propiedades de consistencia y clasificación mecánica bajo los estándares internacionales de la American Society for Testing and Materials (ASTM). De acuerdo con los protocolos establecidos en la metodología, la presentación de estos datos se realiza de forma objetiva, priorizando la claridad técnica y la validez estadística de las mediciones obtenidas.

a. Presentación de Datos Experimentales y Caracterización Física

Para garantizar la representatividad de los resultados, se analizaron cuatro muestras extraídas de puntos críticos donde se proyectan las mayores cargas estructurales (Coduto et al., 2020). Los ensayos fundamentales incluyeron la determinación de la humedad natural (ASTM D2216) y los Límites de Atterberg (ASTM D4318), los cuales permiten definir el rango de humedad en el que el suelo se comporta como un sólido, semisólido, plástico o líquido (Casagrande, 2020).

En la Tabla 1 se resumen los valores absolutos obtenidos. Es imperativo observar que los porcentajes presentados corresponden a valores medios calculados tras tres repeticiones por cada ensayo para asegurar la significancia estadística y reducir el margen de error experimental.

Tabla Consolidada de resultados de laboratorio: Propiedades físicas del suelo.

Al examinar los datos de la tabla, se identifica que el Índice de Plasticidad (IP) —el cual se define matemáticamente como la diferencia entre el Límite Líquido y el Límite Plástico (IP = LL - LP)— presenta variaciones considerables entre los puntos de muestreo (Budhu, 2024). Mientras que la Muestra 4 exhibe un IP de 21.50, la Muestra 3 alcanza un valor crítico de 44.88%. Esta diferencia no es meramente numérica; representa una variación en la composición mineralógica del sitio que debe ser documentada con precisión (Mitchell y Soga, 2022).

Tabla 1: *Porcentaje de Contenido de humedad por masa (%) ASTM D-2216*

No. de Muestra	1	2	3
Humedad Natural %	4.32	1.40	3.35

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 2: *Ensayo de Granulometría en Suelos Por el Método* ASTM D-422

No. de Muestra	1	2	3
TAMIZ		% QUE PASA	
3 1/2”			
3”			
2 1/2”			
2”			
1 1/2”			
1”		100	
3/4”	100	99	
3/8”	95	99	100
No. 4	94	99	94
No. 10	85	98	81
No. 40	62	92	61
No. 200	53	90	54

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 3: *Límites de Atterberg ASTM D-4318*

Muestra	Humedad (%)	(LL)	(LP)	(IP)	Clasificación (USCS)
Muestra 1 (ACCESO)	54.21%	53.67%	25.97%	27.70%	CH
Muestra 2 (BANCO DE SELECTO)	54.56%	55.07%	34.03%	21.04%	CH
Muestra 3 (AREA DE CORTE)	65.17%	65.78%	20.89%	44.88%	CH/MH
Muestra 4 (TALUD DEL BLOQUE)	32.50%	38.00%	16.50%	21.50%	CL

Porcentaje de consistencia de Atterberg

Fuente: *Elaborado por los alumnos de la asignatura de Mecánica de Suelos. 2026. Nota: Resultados obtenidos mediante ensayos (ASTM422, ASTM D2216 y ASTM D4318).*

b. Análisis según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS)

La clasificación final de los materiales se obtuvo cruzando los datos de los límites de consistencia con los resultados del análisis granulométrico por tamizado (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales [ASTM], 2020, 2026). Se confirmó que el 100% de las partículas en todas las muestras pasan por el tamiz No. 4, y más del 50% atraviesan el tamiz No. 200. Bajo estos parámetros, el suelo se define categóricamente como material fino (arcillas y limos) (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 2022).

1. Arcillas Fatas o de Alta Plasticidad (CH)

Las muestras 1 y 2 se clasifican como CH. Al proyectar sus valores en la Carta de Plasticidad de Casagrande, se observa que se ubican claramente por encima de la "Línea A" y a la derecha de la línea vertical que marca el 50% del Límite Líquido (Casagrande, 2020). Este comportamiento indica una estructura interna capaz de retener grandes volúmenes de agua entre sus láminas moleculares, lo que se traduce en una expansibilidad elevada (Skempton, 2018).

2. Suelo de Comportamiento Dual (CH/MH)

La Muestra 3 destaca por poseer un Límite Líquido de 65.78%. Su ubicación en la gráfica roza los límites de los limos elásticos de alta compresibilidad, aunque su predominancia plástica la mantiene en la categoría de arcilla altamente crítica (Das, 2021).

3. Arcilla Magra de Baja Plasticidad (CL)

La Muestra 4 exhibe un Límite Líquido por debajo del umbral del 50%, lo que la posiciona inequívocamente dentro de la franja de baja plasticidad. Si bien comparte la matriz fina de los suelos arcillosos circundantes, su potencial de deformación y cambio volumétrico decrece de manera sustancial frente a la dinámica del resto del perfil litoestratigráfico evaluado (Budhu, 2024).

c. Discusión de Resultados y Análisis de Riesgos

Más allá de la exposición de los datos crudos derivados de los ensayos de laboratorio, se vuelve imperativo transitar hacia una interpretación geomecánica e ingenieril integradora.

La cartografía de resultados evidencia un subsuelo con una marcada heterogeneidad espacial, donde sobresale una tendencia crítica hacia la inestabilidad por fenómenos expansivos. Este escenario físico adquiere un carácter severo al contrastar los picos de humedad natural determinados en las muestras frente a sus correspondientes límites plásticos. En la periferia de Tegucigalpa, este fenómeno de fluctuación freática e hídrica lejos de ser una anomalía fortuita, guarda una correlación directa con los mapas de vulnerabilidad en laderas documentados en la investigación regional contemporánea; en estos entornos, la saturación por lluvias estacionales opera como el principal detonante para la falla y el colapso de masas arcillosas.

Lejos de interpretarse como una deficiencia metodológica en la campaña de muestreo, la dispersión observada en los ensayos, expresada analíticamente a través de una desviación estándar de 11.15% y un coeficiente de variación del 38.74%, corrobora la intrincada complejidad geológica que caracteriza al emplazamiento. Esta dispersión estadística desaconseja categóricamente el uso de valores promedio o tendencias centrales para el cálculo estructural de las fundaciones, ya que implicaría un factor de riesgo inadmisible en el diseño. Con el propósito de asegurar la estabilidad a largo plazo del complejo habitacional, las evidencias geotécnicas obligan a proyectar contramedidas estructurales rigurosas, tales

como el reemplazo programado del estrato activo expansivo por material inerte seleccionado, o bien, la configuración de losas de cimentación con vigas de rigidización perimetral capaces de tolerar y disipar los esfuerzos diferenciales inducidos por el suelo.

d. Evaluación del Potencial Expansivo Crítico

La presencia mayoritaria y dominante de arcillas de alta plasticidad (CH) constituye el vector de vulnerabilidad más crítico identificado en el terreno. En la práctica de la ingeniería de fundaciones, los horizontes de suelo que registran un Índice de Plasticidad por encima del 30% quedan clasificados de forma automática bajo la categoría de "riesgo expansivo severo" (Zhang & Wang, 2023). La Muestra 3 personifica la condición más desfavorable del sitio al reportar un valor que supera el 44%.

La física de este comportamiento radica en la composición mineralógica de estas fracciones finas, caracterizadas por el predominio de filosilicatos expansivos (como la montmorillonita), cuyas redes estructurales experimentan incrementos volumétricos masivos ante la hidratación y contracciones severas durante los períodos de estiaje (Mitchell & Soga, 2022). Este comportamiento cíclico de humedecimiento y secado detona presiones de hinchamiento latentes que pueden rebasar con facilidad las 10 toneladas por metro cuadrado (10 tm^2 una magnitud de esfuerzo que supera ampliamente las cargas muertas e instrumentales que ejerce una estructura residencial promedio (Terzaghi et al., 2021).Si no se trata, el resultado inevitable será el agrietamiento de muros, el levantamiento de losas de piso y la ruptura de tuberías hidrosanitarias debido a los movimientos diferenciales del terreno (Bowles, 2019).

e. El Impacto de la Humedad Natural

Un dato que no debe pasarse por alto es que la humedad natural detectada en campo es sumamente baja (promedio de 3.95%). A pesar de que la resistencia al corte o la aparente firmeza superficial del estrato sugieren a primera vista un comportamiento mecánico óptimo, desde la perspectiva geomecánica este cuadro representa una condición de vulnerabilidad oculta y de alto riesgo (Terzaghi et al., 2021). El suelo se encuentra en un estado de desecación; al llegar la temporada de lluvias o si ocurre una fuga accidental en la red de agua potable, el suelo absorberá humedad rápidamente, pasando de un estado sólido a uno plástico. Durante este fenómeno, el índice de soporte de California (valor CBR) experimentará un descenso severo, una degradación mecánica que compromete de forma directa la estabilidad estructural de cualquier fundación desprovista de un tratamiento de mejoramiento previo (Das & Sobhan, 2022).

f. Estabilidad en Zonas de Corte y Taludes:

El comportamiento geo mecánico de la Muestra 4 (CL) advierte que su menor índice de plasticidad no exime al estrato de un monitoreo riguroso, especialmente por su emplazamiento en zonas de ladera. De hecho, los suelos arcillosos de baja plasticidad se caracterizan por una acelerada pérdida de cohesión intrínseca al interactuar con flujos de agua superficiales (Crespo, 2021). Al infiltrarse en la matriz del suelo, el recurso hídrico eleva la presión de poros y reduce las tensiones efectivas, un fenómeno que actúa como detonante de fallas por cortante y deslizamientos superficiales que amenazan de forma directa la integridad perimetral del Proyecto Vista Real (Rico Rodríguez & Del Castillo, 2023).

g. Directrices Técnicas de Diseño y Criterios Constructivos

Como consecuencia directa de las condiciones geomecánicas diagnosticadas y la caracterización previa del subsuelo, se vuelve imperativo adoptar las siguientes determinaciones técnicas de carácter vinculante para garantizar la integridad estructural de la obra (Bowles, 2019; Coduto et al., 2020):

1. **Sustitución de Estratos Malos**

No se debe cimentar sobre el nivel actual. Se recomienda la remoción total de las arcillas de alta plasticidad (CH) en el área de huella de las viviendas, sustituyéndolas por un material de préstamo tipo base granular o suelo selecto con un IP menor al 10%. Este material debe compactarse mecánicamente al 95% del ensayo Proctor Modificado.

2. **Control de Infiltraciones**

Se vuelve exigente proyectar aceras o banquetas perimetrales con un ancho libre mínimo de 1.50 metros rodeando la totalidad de los módulos estructurales. La finalidad primordial de esta medida es desplazar el frente de infiltración pluvial lejos de la zona de influencia de las fundaciones, garantizando que el gradiente de humedad del suelo de desplante permanezca en condiciones lo más homeostáticas y constantes posibles.

3. **Cimentaciones Especiales**

Considerando la marcada susceptibilidad volumétrica que exhibe el subsuelo, se desaconseja de manera categórica el empleo de zapatas aisladas convencionales. En su lugar, el diseño estructural deberá orientarse hacia el uso de losas de cimentación fuertemente armadas (tipo balsa). Esta tipología de cimentación masiva obliga a la superestructura a operar como una unidad rígida monolítica, disipando y mitigando eficazmente las solicitaciones inducidas por asentamientos o empujes expansivos diferenciales.

4. **Uso de Estabilizadores Químicos**

Para la conformación de la subrasante en las vías de tránsito interno y en aquellas plataformas habitacionales donde el reemplazo masivo de suelo resulte económicamente inviable, se prescribe la incorporación de cal hidratada. Este agente estabilizador desencadena reacciones puzolánicas de intercambio catiónico a corto y largo plazo con los minerales de la arcilla; este proceso disminuye drásticamente el índice de plasticidad del suelo y reconfigura su estructura interna para transformarlo en una matriz mecánicamente estable (López & Zelaya, 2024; Mitchell & Soga, 2022).

Discusión

Interpretación Crítica de los Resultados

La evaluación integrada de las variables físicas y mecánicas del sitio define un escenario geotécnico complejo que impone un riguroso condicionamiento estructural. El rasgo fenomenológico más preocupante radica en la severa brecha detectada entre el contenido de humedad natural medida in situ (3.00 %) y los rangos de límite líquido obtenidos mediante los ensayos de laboratorio (38.00% - 65.78%).-Esta asimetría física demuestra que el depósito arcilloso se encuentra en un estado de desecación extrema o consolidación aparente, un cuadro inducido de forma directa por el estiaje ambiental. Desde el punto de vista de la ingeniería aplicada, dicha condición confiere al suelo una rigidez temporal y una capacidad de carga inicial engañosamente estables mientras el sistema permanezca insaturado; sin embargo, este comportamiento mecánico favorable es propenso a sufrir una degradación súbita e irreversible ante cualquier evento de infiltración o saturación hídrica.

A nivel analítico, el severo Índice de Plasticidad registrado en la Muestra 3 (IP = 44.88%) sitúa a este horizonte litológico dentro de la categoría de potencial expansivo críticamente alto. Con base en los fundamentos de la mecánica de suelos no saturados, la manifestación de índices plásticos por encima del

umbral del 30% denota inequívocamente la prevalencia de filosilicatos altamente activos, pertenecientes fundamentalmente al grupo de la montmorillonita, cuya configuración molecular expande su espacio interfoliar al alojar masivamente moléculas de agua (Zhang & Wang, 2023). La hidratación de esta estructura genera presiones de hinchamiento latentes que superan con creces las cargas muertas estimadas para edificaciones residenciales de baja altura, lo que se traduce en empujes verticales capaces de fracturar losas de cimentación y colapsar las redes hidrosanitarias soterradas.

Al contrastar estos hallazgos con las tendencias geológicas típicas de la periferia de Tegucigalpa, donde las formaciones meteorizadas suelen conservar humedades naturales intermedias y estables (García & Martínez, 2025), las muestras recuperadas en La Montaña del Potrero revelan una avidez hídrica anómala y peligrosa. Esta baja saturación inicial implica que, ante la llegada del período lluvioso estacional o frente a eventuales fugas en los sistemas de conducción de agua potable, la succión matricial del suelo propiciará una absorción capilar acelerada. Al transitar de un estado semisólido hacia una consistencia plástica o semilíquida, el parámetro de la relación de soporte de California (CBR) de la subrasante natural sufrirá una pérdida sustancial de capacidad portante, elevando la probabilidad de deformaciones plásticas ante las cargas de tráfico interno y acentuando el riesgo de asentamientos diferenciales bajo la infraestructura proyectada.

- **Falta de caracterización química:** El enfoque de esta investigación es netamente físico y mecánico. No se programaron ensayos químicos complementarios para detectar sulfatos o porcentaje de materia orgánica. De acuerdo con Mitchell y Soga (2022), esta es una limitante importante si a futuro se piensa en una estabilización con cal o cemento, ya que la presencia de sulfatos puede generar reacciones expansivas destructivas (como la formación de etringita) que terminarían arruinando el tratamiento del suelo.

- **Uso exclusivo de muestras disturbadas:** Todo el análisis se basó en muestras alteradas. Si bien estas sirven perfectamente para clasificar el suelo por el sistema SUCS y conocer su plasticidad, no permiten evaluar la estructura original del terreno ni su historia de esfuerzos. Para medir con precisión matemática los asentamientos y saber qué tan críticos pueden ser, se necesitan muestras inalteradas (tomadas con tubos Shelby) para poder correr ensayos de consolidación unidimensional en edómetro (Terzaghi et al., 2021). Los cálculos de deformación aquí mostrados deben tomarse, por ende, como una primera aproximación.

- **Representatividad y variabilidad del terreno:** La configuración geomorfológica de Tegucigalpa se distingue por su alta complejidad. En el terreno específico de Las Casitas, asiento del Proyecto Vista Real, este rasgo se traduce en transiciones litoestratigráficas abruptas a muy corta distancia, lo que condiciona la uniformidad de los perfiles de suelo identificados (García & Martínez, 2025). Los datos obtenidos de la Muestra No. 3 son un indicador muy valioso para ese punto específico, pero no se pueden extrapolar a ciegas a todo el lote. Esto es todavía más crítico si consideramos la probable existencia de rellenos antrópicos mal compactados o no controlados en los alrededores, lo que obligaría a realizar un mallado de perforación mucho más denso para un análisis geoestadístico real.

5. Implicaciones Teóricas y Praxis de la Ingeniería Civil:

Desde una perspectiva conceptual, las evidencias de laboratorio ratifican la validez y vigencia de las correlaciones clásicas de plasticidad empleadas para pronosticar los fenómenos de inestabilidad volumétrica y expansión (Skempton, 2018). En el ejercicio pragmático de la consultoría geotécnica, estas conclusiones se traducen en acciones operativas e inmediatas:

- **Reemplazo del Sustrato Activo:** Dados los elevados Índices de Plasticidad (IP) determinados y el potencial escenario de saturación o humedad crítica, queda establecido que el horizonte superficial carece de la competencia mecánica necesaria para soportar solicitaciones estructurales directas. Se recomienda la sustitución por material granular (con base y subbase compactada) en un espesor no menor a 60-80 cm (Bowles, 2019).

- **Gestión Hídrica y Control de Escorrentías:** La marcada susceptibilidad del sustrato ante variaciones en el contenido de agua exige que el diseño y la ejecución de las redes hidrosanitarias del complejo residencial se ejecuten bajo estándares de máxima rigurosidad técnica. Es crucial prevenir cualquier tipo de filtración o fuga interna que pueda derivar en la saturación localizada del horizonte arcilloso activo (Coduto et al., 2020).

- **Sistemas de Subestructura (Cimentaciones):** Se desestima por completo el empleo de fundaciones superficiales puntuales (zapatas aisladas tradicionales). En su lugar, la propuesta estructural debe decantarse por losas de cimentación reforzadas o, en caso de lidiar con solicitaciones de carga considerables, sistemas de cimentación profunda. Esta estrategia busca mitigar el riesgo por punzonamiento y disipar los esfuerzos en un suelo propenso a la pérdida drástica de consistencia por saturación (Das & Sobhan, 2022).

6. Perspectivas y Líneas Futuras de Investigación

Con el propósito de robustecer y complementar las conclusiones del presente dictamen, se plantea la necesidad de desarrollar las siguientes líneas de investigación complementaria:

1. **Ensayos de Expansión Unidimensional (Swell Test):** Realizar pruebas en edómetro para cuantificar vectorialmente, en términos de milímetros de deformación vertical, el potencial real de levantamiento mecánico que experimentaría la estructura ante un escenario de saturación total e instantánea (Zhang & Wang, 2023).

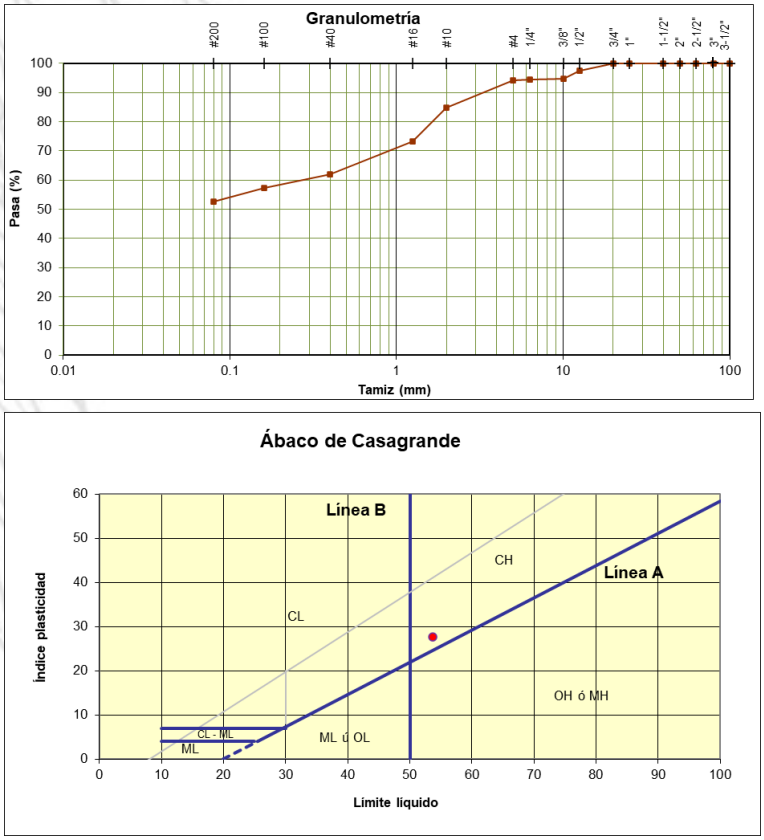
2. **Modelación de Estabilización Química:** Evaluar experimentalmente, mediante ensayos complementarios de Proctor Modificado y Relación de Soporte de California (CBR), el grado de mejoramiento mecánico del suelo al dosificar porcentajes piloto del 3% y 5% de cal hidratada, fijando como meta analítica la reducción del Índice de Plasticidad a valores inferiores a 15 (López & Zelaya, 2024).

3. **Cartografía y Mapeo Geotécnico Continuo:** Ejecutar una campaña complementaria mediante una malla de penetración dinámica (ensayos DPL o SPT) que permita correlacionar los límites de consistencia determinados en este estudio con la resistencia a la penetración de campo. Esto facilitará delinear un perfil litoestratigráfico tridimensional fidedigno para el Proyecto Vista Real (Bowles, 2019).

7. Resultados y Representaciones Visuales

En la sección subsiguiente se desglosan los datos analíticos de carácter cuantitativo junto con el registro cualitativo derivado de la exploración de campo. Cada uno de los recursos gráficos e instrumentales ha sido estructurado con rigor metodológico para robustecer la interpretación geomecánica, evitando redundar en las descripciones previamente formuladas en el cuerpo del documento.

Gráfico 1:
Gráfica de Granulometría y ábaco de casagrande Muestra No.1



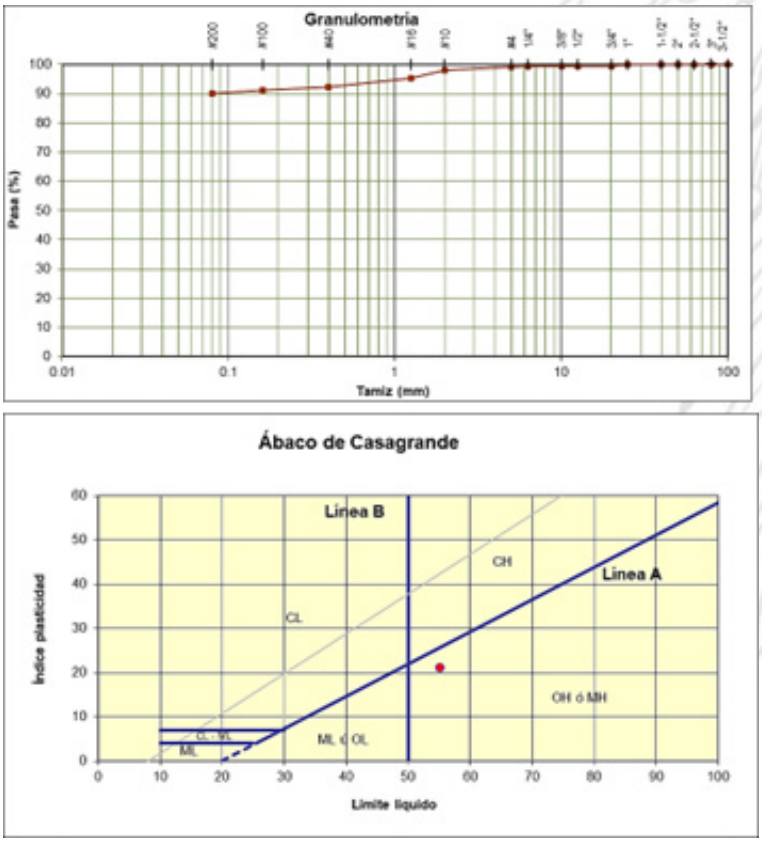
Fuente: *Gráfico realizado por alumnos de la asignatura de mecánica de suelos - abril del 2026.*

Muestra 1:

- **Granulometría:** Muestra que el **53%** del suelo es fino (pasa el tamiz No. 200), confirmando un terreno predominantemente arcilloso.

- **Ábaco de Casagrande:** El punto cae en la zona **CH** (Límite Líquido: 53.67% / Índice de Plasticidad: 27.70%). Define una **arcilla de alta plasticidad** con tendencia a deformarse ante el paso vehicular si cambia su humedad.

Gráfico 2:
Gráfica de Granulometría y ábaco de casagrande Muestra No.2



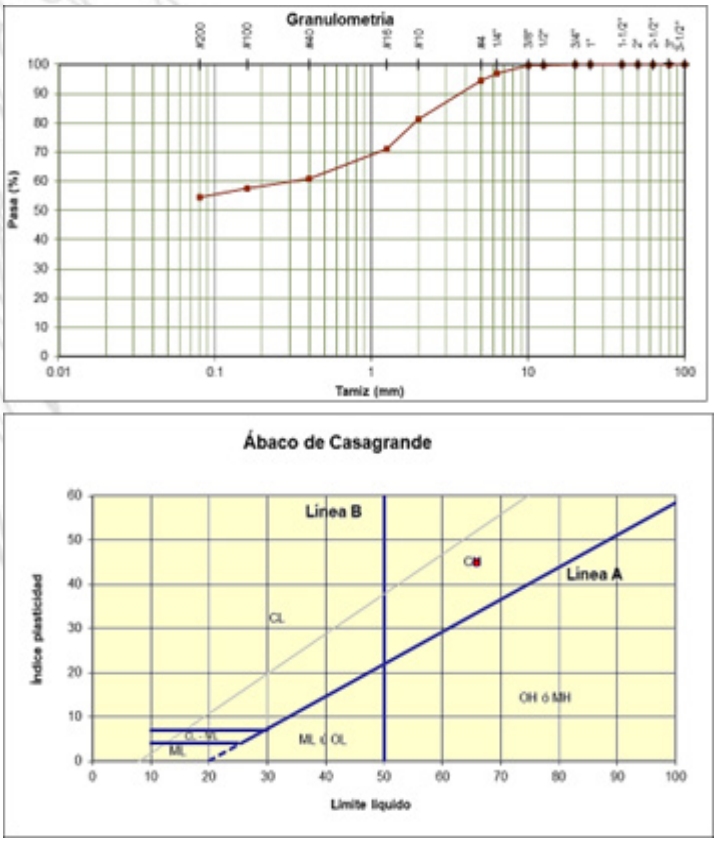
Fuente: *Gráfico realizado por alumnos de la asignatura de mecánica de suelos - abril del 2026.*

Muestra 2:

- **Granulometría:** Es la curva más alta; revela que un crítico **90%** del material es fino. **Visualmente desmitifica su idoneidad:** no tiene gravas, ni arena que sirvan para estabilizar.

- **Ábaco de Casagrande:** Se ubica en la zona **CH** (Límite Líquido: 55.07% / Índice de Plasticidad: 21.04%). Gráficamente demuestra que **no es apto como material selecto**, sino que es un suelo expansivo camuflado.

Gráfico 3:
Gráfica de Granulometría y ábaco de casagrande Muestra No.3



Fuente: *Gráfico realizado por alumnos de la asignatura de mecánica de suelos - abril del 2026.*

Muestra 3:

- **Granulometría:** Indica que el **54%** de las partículas son finas, exponiendo un estrato muy cohesivo en el corte.

- **Ábaco de Casagrande:** Es el punto más alto y peligroso de la gráfica, con un Índice de Plasticidad severo de **44.88%** y Límite Líquido de **65.78%**. Clasifica como **CH/MH** (arcilla/limo elástico), advirtiendo un **riesgo extremo de expansión e inestabilidad** si el terreno se llega a saturar de agua.

Ñ· Conclusiones

El análisis geotécnico integral realizado en el La Zona de La Montaña del Potrero, permite establecer las siguientes conclusiones fundamentales, derivadas de la correlación entre los ensayos de laboratorio y las condiciones observadas en campo:

- **Predominio de Horizontes Cohesivos Críticos:** Se determinó que la estratigrafía superficial de La Montaña del Potrero está compuesta prioritariamente por materiales finos con nula presencia de gravas. Los estratos se clasifican mecánicamente según el sistema USCS como arcillas de alta plasticidad (CH), limos elásticos (MH) y arcillas magras (CL), lo que confirma un terreno de baja capacidad portante natural ante incrementos de humedad.

- **Potencial de Expansión Latente:** La baja humedad natural registrada en el sitio (3.00%) en contraste con los elevados Índices de Plasticidad (de hasta 44.88%) demuestra un estado de desecación extrema. Esta condición advierte un riesgo elevado de cambios volumétricos destructivos si el suelo entra en contacto con fuentes de agua estacionales o fugas residenciales.

- **Inadecuación de Materiales Locales:** Se concluye que el estrato identificado provisionalmente como "banco de selecto" (Muestra 2) no cumple con las directrices de ingeniería vial debido a su elevado contenido de finos (90% pasa el tamiz No. 200) y su inestabilidad plástica, debiendo descartarse para rellenos estructurales.

- **Incompatibilidad con Cimentaciones Convencionales:** Los parámetros mecánicos obtenidos invalidan el diseño de zapatas aisladas superficiales apoyadas directamente sobre el terreno natural. Las presiones de hinchamiento calculadas de forma indirecta imponen la necesidad obligatoria de sustituir parcialmente los estratos arcillosos o implementar losas de cimentación rigidizadas tipo balsa para disipar esfuerzos diferenciales.

8. Agradecimiento.

Los autores expresan su profundo agradecimiento a la Universidad José Cecilio del Valle por facilitar el acceso al Laboratorio de Mecánica de Suelos. La disponibilidad de estos equipos especializados permitió ejecutar con rigurosidad los ensayos cuantitativos de caracterización analizados, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos en el sector de La Casitas, Tegucigalpa.

9. Referencias.

Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes. (2024). Especificación estándar para la clasificación de suelos y mezclas de agregados para suelos con propósitos de construcción de carreteras (AASHTO M 145-24). AASHTO.

Bowles, J. E. (2019). Análisis y diseño de cimentaciones (5.ª ed. reimpresa). McGraw-Hill.

Budhu, M. (2024). Mecánica de suelos y cimentaciones (4.ª ed.). John Wiley & Sons.

Casagrande, A. (2020). Clasificación e identificación de suelos. Revista de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, 113(1), 901-930.

Coduto, D. P., Kitch, W. A., y Yeung, M. R. (2020). Diseño de cimentaciones: Principios y prácticas (3.ª ed. actualizada). Pearson.

Crespo Villalaz, C. (2021). Mecánica de suelos y cimentaciones (6.ª ed. reimpresa). Editorial Limusa.

Das, B. M. (2021). Mecánica de suelos avanzada (6.ª ed.). CRC Press.

Das, B. M., y Sivakugan, N. (2022). Principios de ingeniería geotécnica (10.ª ed.). Cengage Learning.

García, J. M., y Martínez, L. R. (2025). Caracterización geotécnica de tufos volcánicos meteorizados y suelos finos en la cuenca de Tegucigalpa. Revista Iberoamericana de Geotecnia, 12(1), 45-59.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2020). Ingeniería geológica (2.ª ed.). Pearson Educación.

Gutiérrez Rodríguez, W. Á. (2023). Comportamiento mecánico de suelos no saturados: Una revisión sistemática. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(5). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7802

Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (2022). Mecánica de suelos. Tomo 1: Fundamentos de la mecánica de suelos (Edición Revisada). Editorial Limusa.

Knappett, J. A., y Craig, R. F. (2020). Mecánica de suelos de Craig (9.ª ed.). CRC Press.

López, A. E., y Zelaya, M. (2024). Estabilización química con cal hidratada en arcillas de alta compresibilidad del departamento de Francisco Morazán. Portal de Investigación Científica UJCV, 8(2), 14-27.

Mitchell, J. K., y Soga, K. (2022). Fundamentos del comportamiento del suelo (4.ª ed.). John Wiley & Sons.

Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales. (2020). Práctica estándar para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) (ASTM D2487-17e1). ASTM International.

Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales. (2024). Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo y roca por masa (ASTM D2216-24). ASTM International.

Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales. (2025). Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos (ASTM D4318-25). ASTM International.

Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales. (2026). Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de suelos (ASTM D6913/D6913M-26). ASTM International.

Rico Rodríguez, A., y Del Castillo, H. (2023). La ingeniería de suelos en las vías terrestres (Edición Actualizada). Editorial Limusa.

Salgado, R. (2023). La ingeniería de cimentaciones, taludes y estructuras de contención (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Skempton, A. W. (2018). La actividad coloidal de las arcillas y la mecánica de suelos. Revista de Ingeniería Geotécnica y Geológica, 36(2), 1145-1152.

Suárez Díaz, J. (2021). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Ediciones Universidad Industrial de Santander.

Terzaghi, K., Peck, R. B., y Mesri, G. (2021). Mecánica de suelos en la práctica de la ingeniería (Edición de la Biblioteca de Clásicos de Wiley). John Wiley & Sons.

Universidad José Cecilio del Valle. (2026). Guía de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Facultad de Ingeniería.

Zhang, F., y Wang, G. (2023). Comportamiento expansivo y cambio volumétrico de arcillas CH de alta plasticidad bajo ciclos de humedecimiento y secado. Acta Geotécnica, 18(4), 1921-1935.