

ARTÍCULO ORIGINAL

Resistencia y capacidad portante del suelo en Los Portales, Montegrande y Miraflores (Jaén) para diseño de cimentaciones

Soil Resistance and Bearing Capacity in Los Portales, Montegrande, and Miraflores (Jaén) for Foundation Design

Fuentes, F.¹ , Damián, L.² , García, J.³ , Silva, W.⁴ , Machado, D.⁵ , Coronel, J.⁶  y Alamo, Á.⁷ 

RESUMEN

Se evaluó la resistencia y capacidad portante del suelo en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén (Cajamarca, Perú), debido al crecimiento urbano y a la necesidad de sustentar técnicamente el diseño de cimentaciones en zonas con condiciones geotécnicas variables. El objetivo fue determinar parámetros geotécnicos que permitan definir criterios de diseño óptimo de cimentaciones superficiales. La metodología incluyó exploración mediante calicatas a cielo abierto hasta 2,00 m, descripción estratigráfica, muestreo representativo y ensayos de laboratorio para humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, clasificación SUCS, resistencia al corte por corte directo y evaluación química (sales solubles, sulfatos y cloruros). Los resultados indicaron suelos granulares en Montegrande (GC) y Miraflores (SC), con ángulos de fricción cercanos a 30° y presiones admisibles de 1,86 y 1,78 kg/cm², respectivamente; mientras que Los Portales presentó suelo fino cohesivo (CL), menor fricción ($\approx 20,6^\circ$) y presión admisible de 0,77 kg/cm². Los asentamientos inmediatos estimados fueron menores a 0,5 cm. Se concluye que Montegrande y Miraflores son favorables para cimentaciones superficiales convencionales, y que Los Portales requiere mayor área de apoyo o soluciones de mayor rigidez para cumplir capacidad portante.

Palabras clave: suelo, resistencia al corte, capacidad portante, cimentaciones superficiales, Jaén.

ABSTRACT

The strength and bearing capacity of the soil in the Los Portales, Montegrande and Miraflores sectors of the Jaén district (Cajamarca, Peru) was evaluated due to urban growth and the need to technically support the design of foundations in areas with variable geotechnical conditions. The objective was to determine geotechnical parameters that would allow the definition of optimal design criteria for shallow foundations. The methodology included exploration using open-pit test pits up to 2.00 m deep, stratigraphic description, representative sampling and laboratory tests for natural moisture content, grain size distribution, Atterberg limits, SUCS classification, direct shear strength and chemical evaluation (soluble salts, sulphates and chlorides). The results indicated granular soils in Montegrande (GC) and Miraflores (SC), with friction angles close to 30° and allowable pressures of 1.86 and 1.78 kg/cm², respectively; while Los Portales had fine cohesive soil (CL), lower friction ($\approx 20.6^\circ$) and an allowable pressure of 0.77 kg/cm². The estimated immediate settlements were less than 0.5 cm. It is concluded that Montegrande and Miraflores are favourable for conventional shallow foundations, and that Los Portales requires a larger support area or more rigid solutions to meet bearing capacity requirements.

Keywords: soil, shear strength, bearing capacity, shallow foundations, Jaén.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: ingfrans@unj.edu.pe, ldamiansandoval@unj.edu.pe, jandry.garcia@est.unj.edu.pe, winstler.silva@est.unj.edu.pe, delyc.machado@est.unj.edu.pe, joel.coronel@est.unj.edu.pe, angel.alamo@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El suelo es un material natural heterogéneo compuesto por partículas sólidas y vacíos que pueden estar ocupados por agua y/o aire. La interacción entre estas fases condiciona su comportamiento mecánico y explica por qué, ante cargas estructurales, el terreno puede responder con deformaciones y fallas de distinta magnitud según su granulometría, plasticidad, estructura y estado de humedad. En ingeniería civil, estas características son críticas porque las cimentaciones constituyen el vínculo directo entre la superestructura y el terreno; por tanto, el diseño exige estimar con confiabilidad parámetros geotécnicos como resistencia al corte, rigidez y capacidad portante para garantizar estabilidad, servicio y durabilidad (Sacravilca Ladera, 2024).

En el Perú, el crecimiento urbano y la expansión de infraestructura pública y privada han incrementado la ocupación de áreas con condiciones geotécnicas variables. En muchas ciudades intermedias, la velocidad de construcción supera la generación de información técnica del subsuelo, lo que eleva la incertidumbre en el diseño de cimentaciones (Vásquez Eneque, 2023). En este contexto, la normativa nacional establece que el diseño debe sustentarse en estudios de mecánica de suelos que determinen las características del terreno y los parámetros necesarios para cimentaciones; cuando estos estudios se omiten o se realizan de forma insuficiente, se incrementa el riesgo de inconsistencias de diseño y de problemas en servicio, tales como asentamientos diferenciales, fisuración y sobrecostos por correcciones no previstas (MVCS, 2018). A nivel local, el distrito de Jaén (Cajamarca) muestra un crecimiento constructivo sostenido asociado al aumento poblacional y a la demanda de vivienda y equipamiento urbano. Sin embargo, parte de ese crecimiento ocurre en áreas con habilitación urbana incompleta o con limitada planificación técnica. Antecedentes vinculados a procesos de urbanización destacan que la regularización y el desarrollo urbano requieren estudios básicos de ingeniería como soporte técnico para decisiones de diseño, principalmente porque el suelo condiciona la seguridad y el desempeño de las edificaciones (Castro Casas & Chanamé Gómez, 2021).

La literatura y trabajos recientes relacionados con la problemática coinciden en que la incertidumbre del subsuelo originada por variabilidad de estratos, propiedades y modelos condiciona directamente la toma de decisiones en el diseño geotécnico; cuando la caracterización es limitada, aumentan los riesgos de selección no óptima de la cimentación y de deformaciones en servicio, además de incrementarse la probabilidad de correcciones no previstas (Phoon et al., 2022). En esa misma línea, investigaciones contemporáneas han reforzado el uso de enfoques comparativos y computacionales para mejorar la estimación de parámetros de diseño y reducir la incertidumbre en capacidad portante; por ejemplo, mediante la comparación de métodos analíticos,

modelación numérica y enfoques basados en datos para estimar la capacidad última en cimentaciones superficiales, especialmente en suelos granulares (Dehghanbanadaki & Motamed, 2024). Del mismo modo, se ha resaltado que la predicción de asentamientos en cimentaciones superficiales constituye un criterio de control del diseño, y que la incorporación de información proveniente de ensayos *in situ* (como CPT) puede mejorar la confiabilidad de las estimaciones en contextos con incertidumbre geotécnica (Zhang et al., 2025). En suelos finos, se reporta también la utilidad de enfoques integrados que vinculan capacidad portante y asentamientos mediante modelación teórica–numérica, apoyada en datos de exploración y ensayos de laboratorio, para fortalecer la toma de decisiones (Lopez & Quevedo, 2022). Asimismo, en suelos no saturados se ha evidenciado que variables hidro-mecánicas como el contenido de agua y la succión matricial pueden modificar la resistencia efectiva y, por ende, la capacidad portante, reforzando la necesidad de considerar el estado del suelo y su variabilidad durante el diseño (Yilmazoglu et al., 2023) y (Bhardwaj & Sharma, 2022).

Sobre la base de estos antecedentes, el estudio se orienta a aportar información geotécnica aplicable al diseño de cimentaciones en sectores urbanos específicos de Jaén. En términos metodológicos, una evaluación geotécnica confiable integra: (1) exploración y reconocimiento del terreno; (2) muestreo representativo por estratos; y (3) ensayos normalizados para determinar propiedades índices (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural) y propiedades mecánicas (parámetros de resistencia), debido a que estos elementos permiten clasificar el suelo, estimar su capacidad portante y sustentar la selección de cimentaciones con criterios verificables. En el caso peruano, la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” orienta la investigación del suelo y el diseño geotécnico, mientras que las Normas Técnicas Peruanas (NTP) respaldan la ejecución de ensayos de laboratorio y campo (MVCS, 2018).

El alcance de la investigación se circunscribe a los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén, con énfasis en la caracterización del estrato de interés para cimentaciones superficiales a partir de exploración, muestreo y ensayos geotécnicos normalizados, con la finalidad de derivar parámetros útiles de diseño y sustentar alternativas de cimentación acordes con las condiciones del terreno. En cuanto a limitaciones, el estudio se restringe a los puntos investigados y a las condiciones representadas por la campaña de exploración realizada (profundidad y ubicación), por lo que los resultados deben interpretarse dentro del ámbito espacial y estratigráfico analizado. Además, la variabilidad natural del suelo puede requerir ampliaciones de exploración para proyectos de mayor envergadura o para zonas no incluidas en esta evaluación;

no obstante, los hallazgos constituyen una base técnica aplicable al diseño de cimentaciones en obras civiles locales y una referencia para futuras ampliaciones de estudios en el distrito.

el objetivo general de la investigación es evaluar la influencia de la resistencia del suelo en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén, a fin de determinar un diseño óptimo de cimentaciones que garantice la seguridad y eficiencia en obras de ingeniería civil, considerando la variabilidad geotécnica identificada entre sectores.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Diseño de investigación y enfoque

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, basado en la exploración del terreno, muestreo y ensayos normalizados para obtener parámetros físicos y mecánicos del suelo. La estrategia metodológica combinó investigación de campo mediante calicatas y ensayos de laboratorio para caracterización geotécnica, enfoque comúnmente aplicado en estudios de evaluación de suelos para cimentaciones superficiales(Falae & Ogundana, 2022).

2. Área de estudio

Se ejecutaron calicatas a cielo abierto en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores, con registro estratigráfico (tipo de suelo, color, textura, humedad) y extracción de muestras representativas por estrato. El empleo de calicatas (trial pits) como técnica de reconocimiento superficial y obtención de muestras para ensayos de clasificación y resistencia ha sido reportado como una alternativa válida para caracterizar el estrato de cimentación en proyectos de edificación, especialmente cuando se requiere verificación visual de estratos y muestreo directo(Falae & Ogundana, 2022).

3. Población y muestra

La población estuvo conformada por los suelos representativos de los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores, estratos relevantes para la evaluación de cimentaciones superficiales. Se tomó una muestra de $n = 9$ muestras (3 por cada sector), siguiendo el criterio técnico y la Norma Técnica E.050 de la Reglamento Nacional de Edificaciones.

4. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando puntos de exploración representativos por sector en función de la accesibilidad y seguridad. Las

muestras fueron elegidas para reflejar las condiciones geotécnicas predominantes en cada zona de estudio.

5. Materiales y equipos

- Para la ejecución de calicatas

- Palanas y barretas
- Guantes de seguridad
- Cinta métrica y rotuladores para estratificación

- Para la recolección y embalaje de muestras

- Sacos/bolsas plásticas
- Rafia, cinta film y etiquetas de identificación
- Herramientas de extracción manual de muestras

- Equipos de laboratorio (equipo de laboratorio privado de mecánica de suelos)

- Equipos para medición de humedad, granulometría y límites de Atterberg
- Tamices, balanza y accesorios de laboratorio
- Equipos Proctor para análisis de compactación
- Prensa para ensayo de corte directo
- Equipos para análisis de propiedades químicas del suelo (sales solubles, sulfatos, cloruros).

6. Procedimiento

6.1. Exploración y recolección de muestras

Las calicatas y puntos de muestreo fueron ubicados estratégicamente dentro de cada sector de estudio (Los Portales, Montegrande y Miraflores), considerando la representatividad de las condiciones geotécnicas predominantes y la homogeneidad superficial del terreno. La selección de los puntos se realizó en zonas accesibles y seguras, evitando áreas con rellenos recientes, acumulación de desmonte o alteraciones antrópicas evidentes, con el fin de asegurar que las muestras obtenidas correspondan al estrato natural de interés para cimentaciones superficiales. En ese sentido se siguió las siguientes actividades:

1. Se delimitó el área de estudio en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores.
2. Se seleccionaron y ubicaron 3 puntos de exploración por sector.

-
3. Se realizó una excavación de calicatas (1,0 m x 1,0 m) hasta una profundidad de 2,0 m para registrar la estratigrafía del suelo, observando capas, color, estructura y contenido de humedad.

6.2. Muestreo y transporte de muestras

4. Se extrajeron muestras representativas de cada estrato mediante herramientas manuales.
5. Las muestras fueron rotuladas y transportadas al laboratorio bajo condiciones que evitaron la alteración de sus propiedades físicas.

6.3. Ensayos de laboratorio

Las muestras fueron analizadas mediante ensayos índice (humedad, granulometría, finos, límites de Atterberg y clasificación) y ensayos mecánicos para estimar parámetros de resistencia al corte. En particular, la determinación de límites de consistencia y su empleo en clasificación del suelo constituye una base ampliamente utilizada para interpretar el comportamiento de suelos finos y transicionales en ingeniería geotécnica(O'Kelly & Soltani, 2025).

Ensayos estándar:

- Humedad natural – NTP 339.127
- Granulometría – NTP 339.128
- Material que pasa tamiz N° 200 – NTP 339.132
- Límites de Atterberg (LL, LP, IP) – NTP 339.129
- Clasificación del suelo (SUCS) – NTP 339.134

Ensayos especiales:

La resistencia al corte se evaluó mediante ensayo de corte directo, obteniéndose parámetros c y ϕ , empleados posteriormente para interpretar el comportamiento resistente del suelo y su implicancia en capacidad portante. El uso del corte directo como procedimiento de laboratorio para estimación de parámetros de resistencia es ampliamente reportado en investigaciones de mecánica de suelos, particularmente para mantener consistencia entre medición experimental y parámetros de diseño (Ly & Pham, 2020).

- Resistencia al corte (c y ϕ) – NTP 339.171

6.4. Procesamiento e interpretación de resultados

6. Los resultados de laboratorio fueron procesados para obtener los parámetros de resistencia al corte (c , ϕ), clasificación del suelo, y demás propiedades geotécnicas, las cuales fueron integradas con la información de campo para generar perfiles geotécnicos por sector.
7. Se determinaron los parámetros geotécnicos de diseño (capacidad portante, presión admisible, etc.) y se establecieron alternativas de cimentación basadas en las características del terreno.

6.5. Procesamiento estadístico

Se aplicó estadística descriptiva para organizar los resultados, como promedios, rangos y comparaciones sectoriales. Al ser un estudio de tipo cuantitativo, los datos obtenidos fueron tratados y analizados para establecer conclusiones técnicas sobre la capacidad portante y las soluciones de cimentación más adecuadas para cada sector.

RESULTADOS

Los resultados corresponden al estudio geotécnico realizado en los sectores Montegrande, Miraflores y Los Portales del distrito de Jaén, a partir de calicatas hasta 2,00 m de profundidad (C-01) y ensayos de laboratorio ejecutados conforme a normas NTP y la Norma Técnica E.050.

1. Propiedades índice y clasificación del suelo

Tabla 1

Resultados de clasificación de suelo por sector

LOCALIZACIÓN	MONTEGRANDE	MIRAFLORES	LOS PORTALES
Calicatas	C-01	C-01	C-01
Estrato	E-01	E-01	E-01
Prof. (m)	0.00–2.00	0.00–2.00	0.00–2.00
Hum. Natural %	5.96%	3.30%	19.66%
Límite Líquido	42	25	45
Límite Plástico	21	15	19
Índice de Plasticidad	21	11	26
Índice de Grupo	2	0	14
% de Gravas	39.70%	34.70%	6.30%
% de Arenas	31.80%	46.70%	22.40%
% de Finos	28.50%	18.60%	71.20%
Clasificación SUCS	GC	SC	CL

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 1 muestra los resultados de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, índice de grupo y la clasificación SUCS del estrato E-01 (0,00–2,00 m). Se observa un comportamiento contrastante entre sectores: Montegrande y Miraflores presentan predominio de fracciones granulares, mientras que Los Portales evidencia una alta proporción de finos y mayor plasticidad. En Montegrande, la humedad natural fue 5,96 %, con LL=42, LP=21 e IP=21, y una distribución con 39,70 % gravas, 31,80 % arenas y 28,50 % finos, clasificándose como GC. En Miraflores, la humedad natural fue 3,30 %, con LL=25, LP=15 e IP=11, y fracciones 34,70 % gravas, 46,70 % arenas y 18,60 % finos, clasificándose como SC. En Los Portales, la humedad natural fue 19,66 %, con LL=45, LP=19 e IP=26, y predominio de finos (71,20 %), clasificándose como CL.

2. Parámetros de resistencia al corte y capacidad portante

Tabla 2

Resultados de corte por calicata y sector

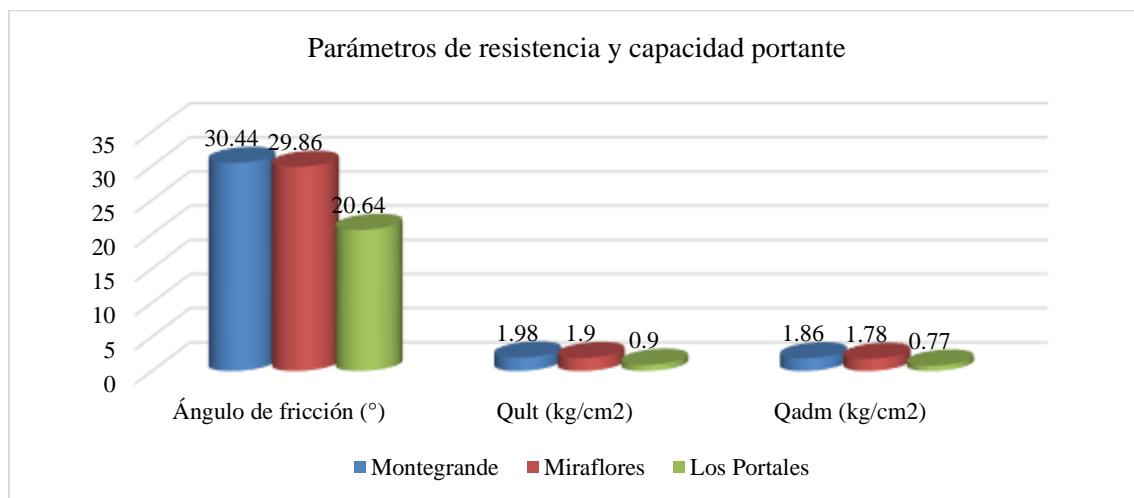
LOCALIZACIÓN	MONTEGRANDE	MIRAFLORES	LOS PORTALES
Calicata	C-01	C-01	C-01
Estrato	E-01	E-01	E-01
Prof. (m)	0.00–2.00	0.00– 2.00	0.00–2.00
Clasificación SUCS	GC	SC	CL
Áng. Fricción interna	30.44	29.86	20.64
Peso específico del suelo (γ) (kN/m ³)	17.45	17.71	20.67
Qult. (kg/cm ²)	1.98	1.9	0.9
Qadm. (kg/cm ²)	1.86	1.78	0.77

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 2 muestra los parámetros obtenidos del ensayo de corte (ángulo de fricción interna y peso específico) y las capacidades de carga última (Qult) y admisible (Qadm) para el estrato E-01. En Montegrande (GC) se obtuvo $\varphi = 30,44^\circ$, $\gamma = 17,45 \text{ kN/m}^3$, Qult = 1,98 kg/cm² y Qadm = 1,86 kg/cm². En Miraflores (SC) se registró $\varphi = 29,86^\circ$, $\gamma = 17,71 \text{ kN/m}^3$, Qult = 1,90 kg/cm² y Qadm = 1,78 kg/cm². En Los Portales (CL) se obtuvo $\varphi = 20,64^\circ$, $\gamma = 20,67 \text{ kN/m}^3$, Qult = 0,90 kg/cm² y Qadm = 0,77 kg/cm², lo que evidencia una capacidad portante menor respecto a los otros dos sectores.

Figura 1

Parámetros de resistencia y capacidad portante



Fuente: resultados de laboratorio

La Figura 1 resume gráficamente los parámetros de resistencia y la capacidad portante por sector, mostrando la similitud entre Montegrande y Miraflores y la disminución marcada en Los Portales.

3. Capacidad de carga admisible y asentamiento inmediato

Tabla 3

Capacidad de carga admisible

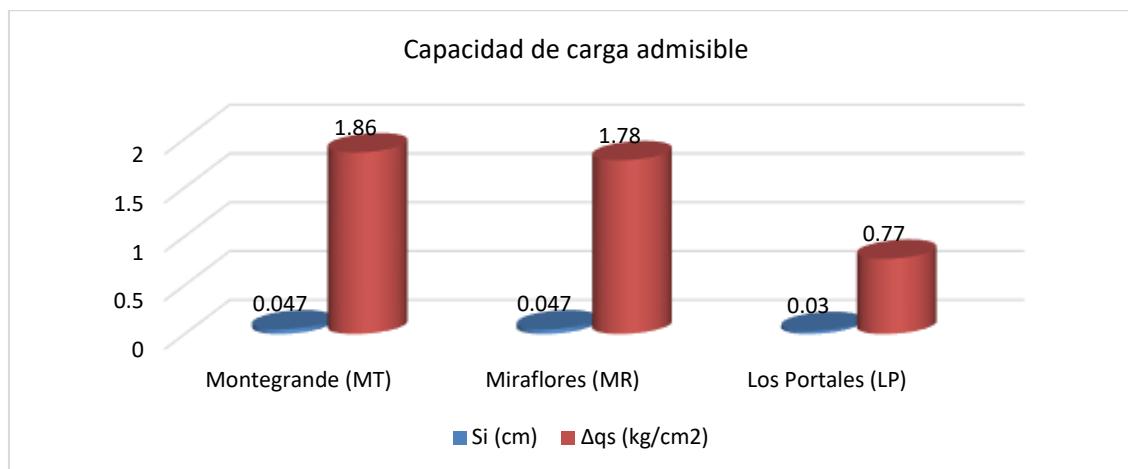
LUGAR	CALI CATA	P ROF. (m)	Δ qs (kg/cm^2)	(m)	E s (kg/cm^2)	f	I	U	S i (cm)
MONTEGRANDE	C-01	2	.86	1	500	12	1	.15	0 .047
MIRAFLORES	C-01	2	.78	1	5000	12	1	.15	0 .047
LOS PORTALES	C-01	2	.77	0	700	12	1	.4	0 .030

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 3 reporta los parámetros empleados para la estimación del asentamiento inmediato y la presión de contacto: incremento de presión Δ_{qs} , ancho de cimentación B, módulo Es, factores If y U, y el asentamiento Si. Para B = 1,00 m y Df = 2,00 m, se obtuvieron asentamientos inmediatos de 0,047 cm en Montegrande, 0,047 cm en Miraflores y 0,030 cm en Los Portales.

Figura 2

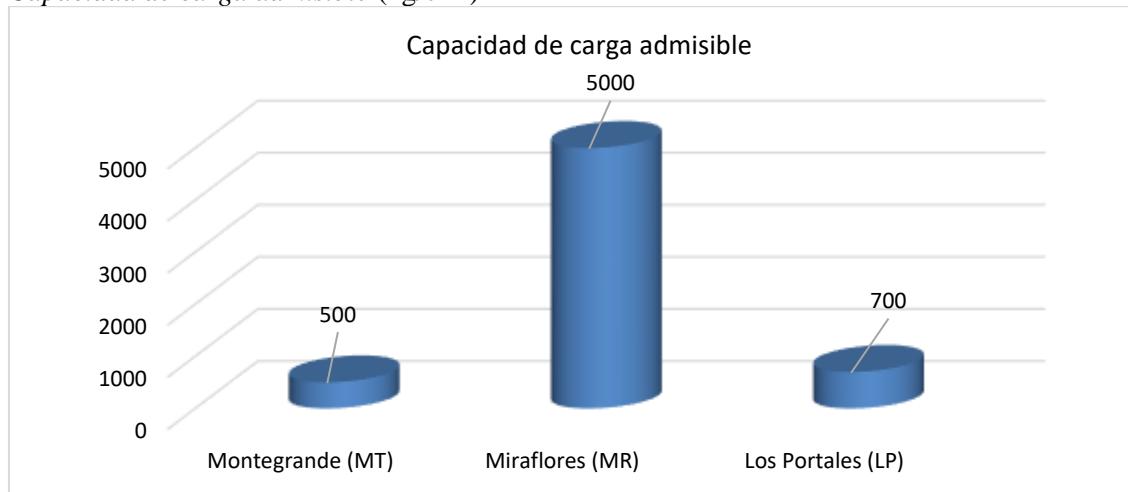
Presión de contacto y módulo de elasticidad del suelo .



Fuente: resultados de laboratorio

Figura 3

Capacidad de carga admisible (kg/cm²)



Fuente: resultados de laboratorio

La Figura 2 presenta la relación entre la presión de contacto y el módulo de elasticidad del suelo considerado en el análisis, La Figura 3 muestra la comparación de la capacidad de carga admisible (kg/cm^2) por sector, destacando mayores valores en Montegrande y Miraflores frente a Los Portales.

Tabla 4*Condiciones de cimentación para C-01-Montegrande (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca
Tipo de cimentación superficial	Zapas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	GC: Grava arcillosa
Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	1.86 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.047 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licuación	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Tabla 5*Condiciones de cimentación para C-01- Miraflores (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca

Tipo de cimentación superficial	Zapatas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	SC: Arena arcillosa V
Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	1.78 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.047 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licuación	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Tabla 6*Condiciones de cimentación para C-01- Los Portales (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca
Tipo de cimentación superficial	Zapatas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	CL: Arcilla de baja plasticidad

Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	0.77 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.030 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licuación	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Las tablas 4, 5 y 6 presentan los resultados de laboratorio de las condiciones de cimentación para la calicata C-01 en Montegrande, Miraflores y Los Portales, respectivamente, como soporte gráfico para la evaluación comparativa de las tensiones admisibles por sector.

4. Parámetros de diseño por sector

Tabla 7*Tipo de suelo y parámetros de diseño*

Sector	SUCS	Tipo de suelo	Df (m)	Qadm (kg/cm ²)	Si (cm)
Montegrande	GC	Grava arcillosa	2	1.86	0.047
Miraflores	SC	Arena arcillosa	2	1.78	0.047
Los Portales	CL	Arcilla de baja plasticidad	2	0.77	0.03

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 7 muestra el tipo de suelo y los parámetros de diseño adoptados para cimentaciones superficiales a Df = 2,00 m, incluyendo Qadm y el asentamiento Si. Se obtuvo Qadm = 1,86 kg/cm² para Montegrande (GC), 1,78 kg/cm² para Miraflores (SC) y 0,77 kg/cm² para Los Portales (CL).

5. Resultados de análisis químico del suelo

Tabla 8*Resultados de valores químicos*

LUGAR	ATA	CALIC	ATO	ESTR	SALES SOLUBLES (ppm)	SULFA TOS (ppm)	CLORU ROS (ppm)
Montegr ande		C-1		E-1	3000	245.4	345.25
Miraflor es		C-1		E-1	0	221.7	302.41
Los portales		C-1		E-1	0	194.8	284.31

Nota. La Tabla 8 presenta los valores de sales solubles, sulfatos y cloruros obtenidos para las muestras del estrato E-01. Se reportó presencia de sales solubles únicamente en Montegrande (3000 ppm), mientras que Miraflores y Los Portales registraron 0 ppm. Los sulfatos fueron 245,4 ppm (Montegrande), 221,7 ppm (Miraflores) y 194,8 ppm (Los Portales); y los cloruros fueron 345,25 ppm, 302,41 ppm y 284,31 ppm, respectivamente.

DISCUSIÓN

El estudio confirma una variabilidad geotécnica sectorizada dentro del distrito de Jaén, con suelos de comportamiento contrastante entre zonas cercanas. Esta heterogeneidad es un factor determinante en geotecnia urbana, porque incrementa la incertidumbre del diseño cuando la exploración es limitada y obliga a sustentar decisiones con parámetros medidos por sector, no con criterios generalizados. Esta condición coincide con lo señalado por Phoon et al., (2022) respecto a que la variabilidad del subsuelo y la incertidumbre asociada condicionan la selección de modelos y parámetros de diseño, afectando directamente la confiabilidad de las decisiones geotécnicas.

La relación observada entre tipo de suelo y desempeño resistente es coherente con la teoría geotécnica, los sectores con predominio granular muestran un comportamiento más competente para cimentaciones superficiales, mientras que el sector dominado por finos cohesivos presenta condiciones más restrictivas. En términos de interpretación, esta diferencia no solo refleja cambios de fracción fina y plasticidad, sino también mayor sensibilidad del suelo cohesivo a variaciones de humedad y a cambios en el estado tensional, lo que puede traducirse en mayor dispersión del comportamiento mecánico. Es respaldado por Dehghanbanadaki & Motamedi, (2024) donde se verifica que la estimación de capacidad portante en cimentaciones superficiales depende de forma crítica de parámetros de resistencia y del estado del suelo, y que comparar enfoques analíticos, numéricos y basados en datos mejora la robustez de la estimación, especialmente en suelos granulares. En suelos finos, se ha reportado que vincular resistencia y deformabilidad mediante modelación integrada contribuye a decisiones más consistentes para cimentaciones superficiales (Lopez & Quevedo, 2022).

Respecto al asentamiento inmediato calculado resulta reducido en los sectores evaluados, por lo que el control del diseño se concentra principalmente en el criterio de capacidad portante. Sin embargo, en suelos finos cohesivos el desempeño en servicio no siempre queda representado por el asentamiento elástico inmediato, debido a la posible contribución de deformaciones dependientes del tiempo. En ese sentido, Zhang et al. (2025). destaca que la predicción de asentamientos es un componente de control del diseño y que incorporar información de ensayos *in situ* puede mejorar la confiabilidad de la estimación en escenarios con incertidumbre geotécnica. Esta recomendación cobra importancia cuando se evalúan sectores con mayor proporción de finos.

Desde la perspectiva de diseño, los resultados sustentan la conveniencia de cimentaciones superficiales convencionales en los sectores con suelos granulares, bajo control adecuado de compactación, humedad y drenaje. En contraste, el sector con suelo fino cohesivo requiere un enfoque más conservador en la selección de cimentación, priorizando tensiones de contacto menores, mayor área de apoyo y, cuando la demanda estructural lo exija, medidas de mejoramiento del terreno. Phoon et al. (2022). Enfatiza que decisiones de cimentación deben incorporar explícitamente la variabilidad del subsuelo para reducir riesgos de soluciones no óptimas y correcciones posteriores. Adicionalmente, en suelos con condiciones variables de humedad, se ha evidenciado que el estado hidromecánico puede modificar la resistencia efectiva y afectar la

capacidad portante, reforzando la necesidad de control de agua y drenaje en suelos con fracción fina (Yilmazoglu & Ozocak, 2023).

La condición química observada sugiere agresividad baja a moderada para los materiales de cimentación en los sectores evaluados, por lo que la durabilidad depende principalmente del cumplimiento de buenas prácticas constructivas y de control de calidad del concreto (relación a/c, recubrimiento, compactación y curado), más que de requerimientos de protección química extraordinarios. Esta interpretación es coherente con criterios usuales de durabilidad cuando las concentraciones de agentes agresivos no alcanzan umbrales críticos.

CONCLUSIONES

La clasificación SUCS del estrato 0,00–2,00 m diferenció el comportamiento del subsuelo por sector (Montegrande: GC, Grava arcillosa; Miraflores: SC, suelo granular; Los Portales: suelo fino cohesivo CL), estableciendo condiciones geotécnicas distintas que controlan el criterio de diseño de cimentaciones en cada zona.

La resistencia al corte obtenido (ϕ mayor en suelos granulares y menor en suelo cohesivo) se reflejó en capacidades portantes admisibles contrastantes, por lo que el diseño de cimentaciones superficiales queda condicionado por Qadm: valores altos en Montegrande y Miraflores y un valor significativamente menor en Los Portales.

Con base en los valores de Qadm, el diseño para Montegrande ($1,86 \text{ kg/cm}^2$) y Miraflores ($1,78 \text{ kg/cm}^2$) es compatible con cimentaciones superficiales convencionales (zapatas aisladas/corridas y losas), mientras que en Los Portales ($0,77 \text{ kg/cm}^2$) el diseño requiere mayor área de apoyo o soluciones de mayor rigidez (por ejemplo, platea) para mantener tensiones de contacto acordes con la capacidad portante del terreno.

Los asentamientos inmediatos calculados fueron menores a 0,5 cm en los tres sectores para la geometría analizada, por lo que, en el marco del modelo aplicado, la selección y dimensionamiento de la cimentación se encuentra controlada principalmente por la capacidad portante admisible y no por el asentamiento elástico inmediato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhardwaj, A., & Sharma, R. K. (2022). Bearing Capacity Evaluation of Shallow Foundations on Stabilized Layered Soil using ABAQUS. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 45(1), 55-71.
<https://doi.org/10.2478/sgem-2022-0026>

- Castro Casas, A. A., & Chanamé Gómez, J. P. (2021). *Estudio de zonificación de suelos para diseño de cimentaciones superficiales en el sector Lagunas I y II, distrito de Santa Rosa, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10099>
- Dehghanbanadaki, A., & Motamed, S. (2024). Bearing capacity prediction of shallow foundation on sandy soils: A comparative study of analytical, FEM, and machine learning approaches. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 7(2), 1293-1310. <https://doi.org/10.1007/s41939-023-00280-8>
- Falae, P. O., & Ogundana, A. (2022). Geotechnical Investigation of Subsoil Materials in a Typical Basement Terrain, Southwestern Nigeria- A Case study. *ABUAD International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(2), 116-122. <https://doi.org/10.53982/aijnas.2022.0202.09-j>
- Lopez, M., & Quevedo, R. (2022). MODELING OF SETTLEMENT AND BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOUNDATIONS IN OVERCONSOLIDATED CLAYS. *Journal of GeoEngineering*, 17(1), 1-10. [https://doi.org/10.6310/jog.202203_17\(1\).1](https://doi.org/10.6310/jog.202203_17(1).1)
- Ly, H.-B., & Pham, B. T. (2020). *Predicción de la resistencia al corte del suelo mediante un ensayo de corte directo y un modelo de máquina de vectores de soporte*. <https://doi.org/10.2174/1874836802014010268>
- MVCS. (2018). *Norma Técnica E.050*. Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones". <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/222983-406-2018-vivienda>
- O'Kelly, B. C., & Soltani, A. (2025). Discussion: Atterberg limits determination and soil classification using fall cone device on the silty sands and sandy silts [International Journal of Geotechnical Engineering 19(1–3): 78–87]. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 19(6), 472-478. <https://doi.org/10.1080/19386362.2025.2502774>
- Phoon, K.-K., Cao, Z.-J., Ji, J., Leung, Y. F., Najjar, S., Shuku, T., Tang, C., Yin, Z.-Y., Ikumasa, Y., & Ching, J. (2022). Geotechnical uncertainty, modeling, and decision making. *Soils and Foundations*, 62(5), 101189. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101189>
- Sacravilca Ladera, M. (2024). Análisis Geotécnico para determinar la Capacidad Soporte de Subrasante en el Diseño de Pavimentos Rígidos en el AA.HH. Keiko Fujimori—Distrito de Ventanilla. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/4084168>

- Vásquez Eneque, L. K. (2023). Análisis Comparativo entre la Capacidad Portante Determinada con el Ensayo de Corte Directo y El ensayo de Penetración Estándar, del Suelo para el Proyecto Sistema de Saneamiento Rural en el Distrito de Jesús-Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5440>
- Yilmazoglu, M. U., Ozocak, A., Yilmazoglu, M. U., & Ozocak, A. (2023). Bearing Capacity of Shallow Foundations on Unsaturated Silty Soils. *Applied Sciences*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/app13031308>
- Zhang, R., Zhang, W., Zhang, R., & Zhang, W. (2025). A Shallow Foundation Settlement Prediction Method Considering Uncertainty Based on Machine Learning and CPT Data. *Applied Sciences*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/app152212174>