PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

MAESTRÍA EN GEOTECNICA APLICADA

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO

"ZONIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO EN EL ÁREA URBANA DEL CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA, A PARTIR DE ENSAYOS GEOTÉCNICOS EXISTENTES."

AUTOR: EDISON FABRICIO LEÓN ALVEAR

TUTOR: EDDY FERNANDO SÁNCHEZ SÁNCHEZ

QUITO, 2026

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Edison Fabricio León Alvear, declaro que el trabajo de investigación denominado "Zonificación de la capacidad portante del suelo en el área urbana del cantón Ibarra, provincia de Imbabura, a partir de ensayos geotécnicos existentes.", es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Quito, 20 de abril del 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
EDISON FABRICIO LEON ALVEAR

Edison Fabricio León Alvear

C.I.: 1003766159

Copyright © 2026 por Edison Fabricio León Alvear. Todos los Derechos Reservados.

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Edison Fabricio León Alvear, en calidad de autor de la disertación declaro bajo juramento que el trabajo descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y, que se ha consultado la bibliografía. He leído las *Políticas Generales de la PUCE*, incluyendo la Titularidad de los derechos de Propiedad Intelectual PUCE, y estoy de acuerdo con su contenido. Los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas políticas.

Autorizo a la PUCE para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Atentamente,

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
EDISON FABRICIO
LEON ALVEAR

Edison Fabricio León Alvear
C.I.: 1003766159

Yo, Eddy Fernando Sánchez Sánchez, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo en su originalidad, autenticidad, como en su contenido.

Ing. Eddy Fernando Sánchez Sánchez MSc.
Director del Trabajo de titulación

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Eddy Fernando Sánchez Sánchez, tutor designando por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE para revisar el proyecto de trabajo de titulación con el tema "Zonificación de la capacidad portante del suelo en el área urbana del cantón Ibarra, provincia de Imbabura, a partir de ensayos geotécnicos existentes." del estudiante Edison Fabricio León Alvear, alumno de la Maestría en Geotecnia Aplicada, considero que la investigación cumple con todos los requisitos de fondo y todos los sometidos a la evaluación por parte de Consejo de Facultad de Hábitat, Infraestructura y Creatividad de la PUCE.

Quito, 22 de abril del 2026



Ing. Eddy Fernando Sánchez Sánchez MSc.
Director del Trabajo de titulación

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

HOJA DE EVIDENCIA ANTIPLAGIO

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I **12**
1.1. INTRODUCCIÓN 12
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
1.3. OBJETIVOS 13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL *13*
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS *13*
1.3.3. JUSTIFICACIÓN *14*

CAPÍTULO II **16**

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL **16**

2.1. MARCO TEÓRICO 16
2.1.1. ESTADO DEL ARTE *16*
2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL 19
2.2.1. Suelo y comportamiento geotécnico *19*
2.2.2. Resistencia al corte y principio de esfuerzo efectivo *19*
2.2.3. Capacidad portante del suelo *20*
2.2.4. Cimentaciones superficiales y su relación con la capacidad portante *21*
2.2.5. Ensayo de Penetración Estándar (SPT) *21*
2.2.6. Clasificación de suelos mediante el sistema SUCS *22*
2.2.7. Análisis estadístico de datos geotécnicos *22*
2.2.8. Sistemas de Información Geográfica e interpolación espacial *23*
2.2.9. Zonificación geotécnica y capacidad portante *23*

CAPÍTULO III **25**

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS **25**

3.1. ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN 25
3.2. FUENTE DE INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS 26
3.3. DEPURACIÓN, VALIDACIÓN 26
3.3.1. Depuración y control de calidad *26*
3.3.2. Criterios de inclusión y exclusión *27*
3.3.3. Detección de valores atípicos *28*
3.4. IMPUTACIÓN DE VALORES FALTANTES 29
3.4.1. Imputación de fracciones granulométricas % finos, %arena, % grava *29*
3.5. IMPUTACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%W) 31
3.6. IMPUTACIÓN DE DENSIDAD (KG/M³) 32
3.7. DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO 34
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO 34
3.9. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES 35
3.9.1. Correlación entre variables N60max y N60min *35*
3.9.2. Modelo predictivo para de valores restantes a partir de N60max y N60 min. *37*
3.10. ANÁLISIS SEGÚN CLASIFICACIÓN SUCS 38
3.11. ANÁLISIS ESPACIAL E INTERPOLACIÓN 38
3.11.1. Preparación de la información espacial *38*
3.11.2. Métodos de interpolación evaluados *39*
3.11.3. Criterio de selección cartográfica *40*
3.12. SOFTWARE Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS 40

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

3.13. FLUJO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN 41
3.14. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO 42
CAPÍTULO IV....44
4. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN....44
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 44
4.2. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ENSAYOS STP....44
4.3. VARIABLES Y RANGOS DE PROFUNDIDAD EVALUADOS 45
4.4. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS N60 DE LOS ENSAYOS ANALIZADOS. 47
4.5. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS ENSAYOS....47
4.5.1. Número de golpes corregido. 48
4.6. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE (QADM) 50
4.6.1. Método de Meyerhof 1956....50
4.6.2. Método de Bowles (1977)....51
4.6.3. Método de Hanson y Thornburn (1974) 51
4.6.4. Método de Skempton (1951)....51
4.7. EVALUACIÓN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS SUCS....54
4.8. EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA ZONIFICACIÓN. 55
4.9. RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN DE LAS MUESTRAS VALIDADAS. 55
CAPÍTULO V 57
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 57
5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS 57
5.2. ANÁLISIS EN CLASIFICACIÓN SUCS 57
5.2.1. Suelos Granulares (SM, GM) 58
5.2.2. Suelos Finos (ML) 58
5.2.3. Representación espacial de la clasificación SUCS mediante polígonos de Thiessen 58
5.3. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA ZONIFICACIÓN 59
5.3.1. Selección método Kriging y IDW para valores de N60....62
5.4. ZONIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE....69
CAPÍTULO VI....78
6. CONCLUSIONES 78
CAPÍTULO VII 79
7. RECOMENDACIONES....79
8. BIBLIOGRAFÍA 81
9. ANEXOS....83

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 ..... *30*

TABLA 2 ..... *32*

TABLA 3 ..... *33*

TABLA 4 ..... *53*

TABLA 5 ..... *54*

TABLA 6 ..... *56*

TABLA 7 ..... *61*

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 46

ILUSTRACIÓN 2 ..... *47*

ILUSTRACIÓN 3 ..... *48*

ILUSTRACIÓN 4 ..... *49*

ILUSTRACIÓN 5 ..... *59*

ILUSTRACIÓN 6 ..... *63*

ILUSTRACIÓN 7 ..... *64*

ILUSTRACIÓN 8 ..... *65*

ILUSTRACIÓN 9 ..... *66*

ILUSTRACIÓN 10 ..... *67*

ILUSTRACIÓN 11 ..... *68*

ILUSTRACIÓN 12 ..... *69*

ILUSTRACIÓN 13 ..... *71*

ILUSTRACIÓN 14 ..... *73*

ILUSTRACIÓN 15 ..... *75*

ILUSTRACIÓN 16 ..... *76*

ILUSTRACIÓN 17 ..... *77*

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo zonificar la capacidad portante admisible del suelo en el área urbana del cantón Ibarra, utilizando información geotécnica existente proveniente de ensayos de penetración estándar (SPT).

Se recopiló y depuró una base de datos de 534 estudios, de los cuales 436 fueron validados mediante procesos de control de calidad y georreferenciación. Se aplicó un enfoque cuantitativo con análisis estadístico de los valores de resistencia corregidos (N60) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica para su representación espacial.

Los resultados muestran que los valores de N60 se concentran entre 18 y 25 golpes, indicando predominio de suelos de compacidad media. La clasificación SUCS identificó como suelos predominantes las arenas limosas (SM), gravas limosas (GM) y limos de baja plasticidad (ML), con comportamientos geotécnicos diferenciados.

Mediante interpolación geoestadística (Kriging) y polígonos de Thiessen, se generaron mapas de zonificación coherentes con la variabilidad del subsuelo. Finalmente, se establecieron rangos de capacidad portante a partir de correlaciones empíricas con N60, clasificando el área en zonas de alta, media y baja capacidad portante, útiles para el diseño geotécnico preliminar.

Palabras Clave: Capacidad Portante, SPT, N60, Zonificación geotécnica, SUCS, Sistemas de información Geográfica (SIG), Interpolación Kriging, Polígonos Thiessen.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

ABSTRACT

This study aims to zone the allowable bearing capacity of soils in the urban area of Ibarra canton using existing geotechnical data derived from Standard Penetration Tests (SPT).

A database of 534 geotechnical reports was compiled, from which 436 were validated through data cleaning, quality control, and georeferencing processes. A quantitative approach was applied, including statistical analysis of corrected penetration resistance values (N60) and the use of Geographic Information Systems for spatial representation.

Results show that N60 values are mainly concentrated between 18 and 25 blows, indicating predominantly medium-density soils. According to the SUCS classification, the most representative soils are silty sands (SM), silty gravels (GM), and low-plasticity silts (ML), with distinct geotechnical behavior.

Spatial analysis was performed using Kriging interpolation and Thiessen polygons, generating maps consistent with subsurface variability. Finally, empirical correlations between N60 and bearing capacity were used to define zoning ranges, classifying the study area into high, medium, and low bearing capacity zones, providing a useful tool for preliminary geotechnical design.

Keywords: Bearing capacity, SPT test, N60, Geotechnical zoning, SUCS, Geographic Information Systems, Kriging, Thiessen polygons

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO I

1.1.INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la ciudad de Ibarra en la zona urbana incrementa la demanda de estudios geotécnicos para el diseño seguro en sus fundaciones o cimentaciones. Por to tanto en este contexto, la capacidad portante del suelo representa un factor primordial de análisis para determinar las cargas máximas que se pueden transmitir al suelo sin que este falle por corte general, punzonamiento o asentamientos excesivos de las estructuras.

Las teorías clásicas de (Terzaghi K. , 1943), (Meyerhof G. , 1951) y (Hansen, 1970) nos indican que el marco conceptual en la obtención de la capacidad portante última que en la practica de la ingeniería incorpora valores de seguridad para la obtención de factores admisibles, las cuales están determinadas de acuerdo a la NEC-15 con parámetros y valores establecidos para la el (SPT) Ensayos de penetración estándar, como una herramienta en esta caracterización en los estratos de suelos existentes.

En la ciudad de Ibarra existen numerosos informes técnicos presentados al CICI; sin embargo, estos datos permanecen dispersos y no han sido integrados en una base de datos que permita analizar su comportamiento espacial. Esta situación limita la posibilidad de establecer criterios preliminares confiables para el diseño geotécnico y la planificación territorial.

La presente investigación aborda esta brecha mediante la aplicación de herramientas estadísticas y geoespaciales que permitan zonificar la capacidad portante del suelo en el área urbana del cantón.

1.2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

En el cantón de Ibarra, no existe una base de datos geotécnica consolidada que permita un análisis sistemático de la variabilidad espacial de la capacidad portante del suelo. Los estudios de mecánica de suelos se realizan de manera individual para cada proyecto y se archivan en el CICI; sin embargo, esta información no se ha utilizado para generar indicadores estadísticos o mapas de zonificación geotécnica. La falta de sistematización crea incertidumbre técnica en las etapas de diseño preliminar, dificulta la identificación de áreas críticas y limita el uso de la información histórica disponible. Tomando en cuenta esta variabilidad geológica del cantón y su ubicación en una zona sísmica, se necesita un análisis estadístico riguroso para identificar tendencias, dispersión y diferencias significativas entre los sectores urbanos.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Zonificar la capacidad portante admisible del suelo en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, mediante la correlación de los valores de resistencia a la penetración estándar corregidos (N60), obtenidos de ensayos SPT, con modelos empíricos de estimación de capacidad portante, a partir de información recopilada en el Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura (CICI), con el fin de generar información técnica útil para el diseño geotécnico preliminar de cimentaciones.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar, clasificar y organizar los resultados de campo geotécnicos realizados en varios sectores de la ciudad de Ibarra, proporcionados por el Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura (CICI).
- Clasificar los tipos de suelos presentes en las parroquias analizadas dentro del cantón urbano.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

- Aplicar herramientas de estadística para analizar la variabilidad y distribución de las capacidades portante de suelo.
- Elaborar tablas y mapas de referencia que muestren rangos de capacidad portante por zonas, útiles para el diseño geotécnico de cimentaciones

1.3.3. JUSTIFICACIÓN

Cuando se toma en cuenta los diseños geotécnicos en las cimentaciones requieren establecer propiedades del suelo precisas basadas en métodos de diseño y aplicaciones del Código de Construcción Ecuatoriano (NEC), siendo la capacidad de carga una de las consideraciones esenciales para garantizar la seguridad estructural.

En la ciudad de Ibarra, profesionales e instituciones han realizado innumerables pruebas de campo y las han presentado al Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura (CICI), pero los datos no están organizados ni analizados sistemáticamente.

Y debido a la falta de sistematización, no se utilizan completamente en el diseño y planificación urbana de manera técnica. Esta investigación se esfuerza por satisfacer esta demanda mediante una evaluación estadística integral de la información disponible y sus objetivos incluyen:

- Identificar patrones y variaciones en la capacidad portante del suelo en diferentes sectores de la ciudad.
- Establecer rangos de referencia útiles para el diseño de cimentaciones.
- Apoyar la planificación urbana y la gestión del riesgo geotécnico.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

- Desde el ámbito académico, este estudio fortalece la conexión entre teoría y práctica, promoviendo el uso de herramientas estadísticas y computacionales en la ingeniería geotécnica. A nivel técnico, proporciona una base de datos valiosa para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura. Y desde una perspectiva social y económica, contribuye a optimizar diseños, reducir costos y mejorar la seguridad de las construcciones en Ibarra.

La estimación incorrecta de la capacidad portante puede inducir diversos tipos de posibles fallas en cimentaciones:

a) fallas generalizadas por corte en suelos cohesivos;
b) fallas por asentamientos excesivos, sobre todo diferenciales;
c) fallas por punzonamiento en cimentaciones superficiales;
d) licuación de suelos arenosos saturados en zonas sísmicas.

Estas posibles fallas pueden terminar en inestabilidad estructural, colapsos o necesidad de reforzamiento costoso.

En resumen, esta investigación es pertinente y necesaria para fomentar un desarrollo urbano más seguro y sostenible, reduciendo los riesgos geotécnicos y estructurales en el cantón.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. ESTADO DEL ARTE

El análisis de la capacidad portante del suelo siempre ha ocupado un lugar importante en los estudios de ingeniería geotécnica como uno de los parámetros que tiene un impacto significativo en la elección, dimensionamiento y verificación de las cimentaciones. Siguiendo la ecuación básica de Terzaghi y sus derivaciones posteriores por Meyerhof y Hansen, la resistencia al corte del terreno, la influencia de la estratigrafía y los factores de seguridad para mitigar el fallo de rendimiento último y de servicio (Terzaghi K. , 1943) (Meyerhof G. , 1951) (Hansen, 1970). se convirtieron en las áreas focales de una disputa técnica sustancial. En términos prácticos, la capacidad portante no solo está relacionada con el colapso por corte general, local o punzonamiento, sino también con la cantidad de asentamientos permisibles y la economía general del proyecto, por lo que está entre las prioridades de los estudios urbanos preliminares.

En el caso ecuatoriano, esta aplicabilidad se menciona explícitamente dentro del capítulo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GC Geotecnia y Cimentaciones. La normativa establece que la adecuada caracterización del subsuelo es un factor clave para lograr un diseño seguro y óptimo, y estipula la necesidad de que el estudio geotécnico se base en un modelo geotécnico claro del terreno de cimentación. También reconoce el uso del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) como un método válido en pruebas de campo, y permite para algunos materiales la aplicación de correlaciones empíricas con SPT en la estimación de propiedades de resistencia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

del suelo ((MIDUVI), 2015). Es un punto importante en particular cuando se trata de investigaciones como la actual que se integran con trabajos geotécnicos existentes y buscan convertir registros aislados en una base de datos técnicamente útil.

2.1.1.1. Capacidad portante y diseño geotécnico de cimentaciones

La literatura de ingeniería contemporánea tiene una tendencia bien establecida hacia las formulaciones clásicas de la capacidad de carga, pero con la incorporación del tratamiento de la heterogeneidad del subsuelo y herramientas de soporte espacial. En la práctica, el diseño de cimentaciones va más allá del uso de una ecuación aislada para interpretar la variabilidad del terreno, la distribución de los estratos, la presencia de agua subterránea y la calidad de la información. También es necesario considerar parámetros relevantes de resistencia del suelo en el contexto estratigráfico y constructivo porque una estimación inadecuada de la capacidad de carga puede llevar a soluciones sobredimensionadas y, en el peor de los casos, a fallos y deformaciones incompatibles con el comportamiento esperado de la estructura. (Bowles J. , 1997). De manera similar, informamos que la capacidad de carga fue una de las principales variables utilizadas para construir mapas geotécnicos y bases de datos geotécnicas para la ciudad de Erbil, y creamos mapas temáticos de propiedades del suelo que incluyen el valor SPT y la capacidad de carga última, y concluimos que la integración de la información de perforaciones con Sistemas de Información Geográfica (SIG) promueve la toma de decisiones en la etapa preliminar del diseño. Tal trabajo demuestra que el análisis de la capacidad de carga ya no se considera meramente como una verificación de cimentaciones individuales, sino como un aspecto del terreno territorial que está sujeto a zonificación y análisis espacial.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

2.1.1.2. El ensayo SPT como base de la caracterización geotécnica urbana

Una de las técnicas de campo más comunes para la caracterización del subsuelo en áreas urbanas, en particular, con la necesidad de un método rápido, económico y con un alto respaldo bibliográfico, es la Prueba de Penetración Estándar, que sigue siendo la metodología dominante utilizada en este tipo de áreas. Continuamos usándola en la práctica profesional porque los golpes del SPT pueden asociarse con la densidad relativa, la consistencia de los suelos finos, la resistencia al corte y, a través de relaciones empíricas, para estimaciones preliminares de la capacidad de carga. Está específicamente incluida en el NEC-SE-GC como uno de los métodos permitidos para la exploración directa del subsuelo y se permite como parte de la estimación de parámetros geotécnicos en dichos suelos ((MIDUVI), 2015).

2.1.1.3.Corrección, normalización y límites de interpretación del SPT

Uno de los problemas con el uso comparativo de datos SPT de diferentes campañas es la variabilidad producida por el equipo, el sistema de golpeo, la longitud de la varilla, el diámetro de perforación y el operador. Esta es una razón por la cual, según la literatura, los valores medidos en el campo no deben interpretarse directamente sin tener en cuenta los procesos de corrección y estandarización. Según la tesis presentada (Vega Bastidas, 2025) para la ciudad de Salinas, la recopilación de pruebas SPT de diferentes fuentes fue sometida a un proceso de normalización de los datos N, N60 y N1(60), específicamente para reducir la dispersión impulsada por diferencias operativas y mejorar la comparabilidad de los registros. Este tipo de precedente es metodológicamente importante e indica hasta qué punto la aplicabilidad de una base de datos

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

geotécnica es función del número de pruebas realizadas, así como de la calidad del tratamiento aplicado a los registros históricos. En otras palabras, la construcción de una zonificación robusta no puede depender solo de un proceso de informes, sino que requiere el análisis de trazabilidad, consistencia y equivalencia técnica. Este punto destacaría particularmente hacia Ibarra, donde los datos geotécnicos son recopilados por muchos profesionales y organizaciones consultoras, no todos los cuales tienen metodologías y niveles de detalle idénticos.

2.2.MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.2.1. Suelo y comportamiento geotécnico

El suelo debe considerarse como un material natural heterogéneo, multifásico y deformable dentro del contexto de la ingeniería, siendo su comportamiento mecánico influenciado por las interacciones de las partículas sólidas, el agua y el aire, así como por la historia de tensiones y las condiciones de drenaje. Con ese fin, la caracterización geotécnica del subsuelo es una base necesaria para cualquier decisión de diseño, ya que permitirá determinar parámetros de resistencia, deformabilidad y compresibilidad que regulan el comportamiento de las cimentaciones. En el contexto ecuatoriano, la NEC-SE-GC establece que la investigación del subsuelo debe proporcionar un modelo geotécnico claro y suficiente para respaldar el diseño de excavaciones y cimentaciones ((MIDUVI), 2015).

2.2.2. Resistencia al corte y principio de esfuerzo efectivo

Para conocimiento de este principio se revisa que la estabilidad y deformaciones se deriva de este concepto de resistencia al corte. La respuesta resistente de los suelos normalmente se define

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

según el criterio de Mohr-Coulomb, según el cual la falla está controlada por la cohesión y el ángulo de fricción interna. El NEC-SE-GC confirma que, para los materiales convencionales disponibles en el sitio, la resistencia del suelo es una función del esfuerzo efectivo e interpreta la falla al corte por la interdependencia entre la cohesión efectiva, el esfuerzo normal efectivo y el ángulo de fricción efectivo ((MIDUVI), 2015). Esto significa que el agua subterránea y la presión de poros modifican la resistencia disponible del suelo: la evaluación de la geotecnia desde el subsuelo es inseparable de las condiciones hidráulicas. En suelos granulares y condiciones drenadas, el esfuerzo efectivo controla directamente la resistencia, mientras que, en suelos finos saturados bajo cargas rápidas, la respuesta no drenada es más relevante ((FHWA), 2024), ((MIDUVI), 2015).

2.2.3. Capacidad portante del suelo

La capacidad portante del suelo es una medida de la presión máxima que el terreno puede soportar bajo una cimentación sin causar fallos por corte o deformaciones incompatibles con el servicio de la estructura. En la práctica de la ingeniería geotécnica se ha hecho una distinción importante entre la capacidad portante última y la admisible. La primera se refiere a la condición de fallo límite, mientras que la segunda incorpora factores de seguridad y criterios de deformación. La literatura reciente corrobora que las formulaciones clásicas de Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vesic siguen siendo el punto de partida para los análisis contemporáneos de cimentaciones superficiales, pero han sido modificadas para considerar mejor la profundidad de empotramiento, la forma de la cimentación, la excentricidad y la inclinación de la carga (Pantelidis & Meddah). Según las normativas ecuatorianas, la verificación de la capacidad portante es parte del diseño

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

estructural de la cimentación y debe ser comprobada con factores de seguridad indirectos mínimos de acuerdo con la combinación de carga considerada ((MIDUVI), 2015).

2.2.4. Cimentaciones superficiales y su relación con la capacidad portante

Los cimientos superficiales transmiten cargas estructurales a estratos relativamente cercanos a la superficie en rangos de 0 a 6m de profundidad, por lo tanto, se diseñan en gran parte basándose en la capacidad de carga y los asentamientos. La profundidad de la cimentación, la geometría de la zapata, la magnitud y distribución de la carga, el tipo de suelo y la posición del nivel freático modifican la respuesta del sistema suelo-cimentación. La FHWA indica que el diseño geotécnico de las cimentaciones debe integrar la evaluación de los datos de exploración, los parámetros de diseño, las condiciones del sitio y el análisis de riesgos, porque el terreno presenta variabilidad natural incluso en áreas aparentemente homogéneas ((FHWA), 2024). En investigaciones como esta, la capacidad de carga no se analiza simplemente como una propiedad puntual del suelo, sino como una variable distribuida espacialmente que puede servir como base para el diseño preliminar de cimentaciones dentro del área urbana.

2.2.5. Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

La Prueba de Penetración Estándar (SPT) es uno de los procedimientos más utilizados en la exploración geotécnica debido a su practicidad, costo relativamente bajo y amplia disponibilidad de correlaciones empíricas. El NEC-SE-GC lo reconoce expresamente como un método válido de exploración directa y recomienda aplicar correcciones de energía para obtener el valor N60,

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

definido como el número de golpes correspondiente al 60% de la energía teórica de la prueba ((MIDUVI), 2015).

2.2.6. Clasificación de suelos mediante el sistema SUCS

La clasificación del suelo es un paso básico para interpretar la información geotécnica y estandarizar la lectura de perfiles de diferentes estudios. El sistema de clasificación SUCS, adoptado por ASTM D2487, utiliza la distribución del tamaño de grano y los límites de Atterberg para clasificar los suelos y se ha convertido en un lenguaje común para describir el comportamiento esperado del material. Según ASTM D2487, esta categorización proporciona un primer paso útil en cualquier investigación geotécnica de campo o de laboratorio, donde se generalizan los grupos de suelos según su comportamiento ingenieril (ASTM D2487, 2017). Como parte de las características básicas mínimas de laboratorio definidas en el NEC-SE-GC, se necesita clasificar los estratos basándose en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ((MIDUVI), 2015). La clasificación SUCS es aplicable para esta tesis ya que apoya la comparación de informes elaborados por varios profesionales y compila la base de datos técnica según criterios compatibles.

2.2.7. Análisis estadístico de datos geotécnicos

La aplicación de la estadística a la geotecnia permite, aunque los datos estén dispersos, transformarlos en la interpretación de la información para la toma de decisiones. En estudios urbanos con extensas pruebas históricas, el análisis estadístico funciona a través de medidas de tendencia central, dispersión, asimetrías, valores atípicos y relaciones entre variables geotécnicas. Esto es especialmente relevante en casos donde se utilizan datos de múltiples campañas y varios

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

consultores; la variación observada surge debido a la heterogeneidad natural del suelo y las diferencias en los procedimientos de medición.

2.2.8. Sistemas de Información Geográfica e interpolación espacial

Los Sistemas de Información Geográfica son un instrumento esencial para modelar y analizar la variación espacial en las propiedades geotécnicas. Poseen la característica única de asociar valores de pruebas puntuales con coordenadas, produciendo superficies continuas a partir de los resultados de la interpolación y generando mapas temáticos para ayudar en el diseño y la planificación territorial. La literatura reciente ha mostrado resultados favorables en el uso de SIG para la representación de parámetros geotécnicos y capacidad de carga, así como en la comparación de métodos de interpolación como IDW, kriging y spline (Al-Mamoori, Al-Hameedawi, & Al-Marsoumi, 2021). En esta investigación, el uso de SIG se justifica porque la capacidad de carga del suelo no se interpretará únicamente como un punto de datos aislado, sino como un patrón espacial dentro del área urbana de Ibarra.

2.2.9. Zonificación geotécnica y capacidad portante

La zonificación geotécnica es la división de un territorio en una serie de sectores cuyas características del subsuelo son relativamente similares, de manera que permite la identificación de tendencias de comportamiento y restricciones de diseño. Precedentes recientes en Ecuador muestran la efectividad de tal enfoque. Asimismo, la microzonificación superficial con encuestas SPT, pruebas de laboratorio y modelado SIG del cantón Rumiñahui contribuyó a desarrollar mapas de distribución geotécnica utilizados en el diseño de cimentaciones y la planificación territorial.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

De esta manera, según esta lógica, el presente trabajo de grado sugiere que la zonificación de la capacidad portante en Ibarra puede servir como una herramienta técnica preliminar para el diseño geotécnico sin reemplazar el estudio específico del proyecto.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS

3.1. Enfoque y tipo de investigación

Este estudio se formula con una metodología cuantitativa basada en la recolección, limpieza, procesamiento y análisis numérico de los datos geotécnicos obtenidos de muestras de suelo recolectadas de estudios de suelos urbanos realizados en el cantón Ibarra. Sus objetivos principales son definir patrones de comportamiento, correlación de parámetros geotécnicos y la distribución espacial de estos parámetros obtenidos a través del ensayo de penetración estándar, concentrándose en las capacidades de carga del suelo y sus valores corregidos en términos de resistencia relativa. Diseño Este tipo de investigación es no experimental ya que las variables de estudio no se manipulan y se consideran los datos existentes de los estudios geotécnicos ya realizados para evaluar. Contiene tanto un alcance descriptivo, correlacional y espacial. Es de naturaleza descriptiva porque caracteriza la variabilidad en los parámetros geotécnicos para diferentes sectores y rangos de profundidad; es una investigación correlacional porque intenta conectar variables estadísticas como N60min, N60max, humedad, profundidad y composición granulométrica; y es espacial porque para el desarrollo de mapas temáticos se utilizan técnicas de interpolación y representación cartográfica mediante Sistemas de Información Geográfica. Este enfoque está en consonancia con la propuesta inicial de que este trabajo debe incorporar datos geotécnicos recopilados en el Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura: recolectando, analizando y reportando sistemáticamente esta información a partir de modelado geoespacial. Como tal, será útil no solo para mapear personas y regiones, sino que también ayuda en el diseño geotécnico preliminar de cimentaciones.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

3.2. Fuente de información y construcción de la base de datos

La información clave se proporciona en los informes técnicos geotécnicos en el archivo del Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura ((CICI), 2025), por profesionales, laboratorios, consultorías y colaboradores de empresas locales. Dichos informes son las fuentes primarias de entrada para la investigación, ya que incluyen resultados de pruebas de campo, registros estratigráficos, parámetros de laboratorio y, a veces, estimaciones de capacidad portante del suelo. Sobre la base de estos documentos, se desarrolló una base de datos técnica electrónica que está organizada por registro y presentada en formato tabular. A cada estudio se le asignó un código de identificación único, y se incluyeron las siguientes variables donde estaban disponibles: código de estudio, ubicación del proyecto, coordenadas, profundidad inicial y final del estrato, clasificación del suelo, SUCS, valores N-SPT, valores corregidos, contenido de humedad, porcentaje de grava, porcentaje de arena, porcentaje de finos, nivel de la tabla de agua, capacidad portante permisible y observaciones técnicas relacionadas. La base de datos se concibió como un instrumento clave en el proceso metodológico, no simplemente para el almacenamiento de datos, sino para tipos posteriores de análisis estadístico y espacial. La importancia de este criterio se alinea con la necesidad que se discernió de la forma en que se formuló el problema para convertir un gran número de estudios aislados en una matriz de información confiable y comparable, que luego pueda emplearse como referencia técnica para el contexto urbano de Ibarra.

3.3. Depuración, validación

3.3.1. Depuración y control de calidad

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Después de la creación de la base de datos, se realizó un proceso de depuración para probar la información almacenada, por razones técnicas y estadísticas. Esto incluyó la verificación de duplicados, la estandarización de nombres de variables, la validación de unidades, la corrección de errores de tipeo, el examen de rangos plausibles para cada parámetro geotécnico. Se examinó específicamente la coherencia espacial de las coordenadas recopiladas, ya que se encontraron discrepancias en las ubicaciones medidas en algunos puntos y tuvimos que verificar que estas estuvieran de acuerdo con el área de estudio y corregir o excluir las irregularidades de los registros en consecuencia. Era importante realizar esta etapa para prevenir distorsiones adicionales en el análisis de cartografía e interpolación espacial. Se confirmó además la coherencia de la profundidad inicial, la profundidad final y el espesor de la capa, y se confirmó la correspondencia entre la clasificación del material y los parámetros físicos reportados. Si un registro resultaba en inconsistencias mayores, falta de identificación espacial o parámetros claramente fuera de rangos realistas, se consideraba inadecuado para el análisis principal.

3.3.2. Criterios de inclusión y exclusión

Solo se recopilaron los registros que cumplían con las siguientes condiciones dentro de la base de datos final:

- Contar con identificación suficiente del estudio;
- Presentar localización espacial verificable dentro del área urbana analizada o en su zona de influencia inmediata;

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

- Disponer de información útil del ensayo SPT, especialmente valores de N o N corregido;
- Contener información estratigráfica y/o clasificación del suelo;
- Poseer parámetros complementarios necesarios para el análisis estadístico o predictivo, cuando estuvieran disponibles.

Se excluyeron los registros duplicados, incompletos, sin trazabilidad espacial, con errores tipográficos evidentes o con inconsistencias geotécnicas técnicamente injustificables. Este procedimiento es consistente con un método propuesto inicialmente en esta tesis, que contemplaba la selección de pruebas con información completa y validada, así como el descarte de informes con inconsistencias técnicas.

3.3.3. Detección de valores atípicos

Se detectaron valores atípicos utilizando diagramas de caja y bigotes (boxplot) como parte del control de calidad estadístico. La identificación inicial se realizó sobre la base del criterio del rango intercuartílico, definido por:

Ecuación 1

$$IQR = Q3 - Q1$$

$$Límite\ inferior = Q1 - 1.5(IQR)$$

$$Límite\ superior = Q3 + 1.5(IQR)$$

Valores ubicados fuera de estos límites fueron señalados como posibles valores atípicos. Sin embargo, su eliminación no fue automática, sino que se realizó una revisión de su consistencia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

desde una perspectiva geotécnica. Este criterio se utilizó para evitar la exclusión de datos extremos que, desde una perspectiva estadística, podrían reflejar características reales del subsuelo.

3.4. Imputación de valores faltantes

Dado que los datos de la base de datos se generan utilizando informes históricos (incluidos aquellos realizados por profesionales y laboratorios), también se construyó una hipótesis de valores faltantes en relación con numerosas variables. En consecuencia, se empleó una técnica de imputación de datos basada en técnicas estadísticas descriptivas, para mantener la mayor cantidad de registros útiles posible sin debilitar la consistencia técnica del análisis. La metodología de la categórica, por ejemplo, la clasificación del suelo (SUCS) se tomó de la imputación por moda en grupos homogéneos basados en la estratigrafía y las posiciones espaciales de los registros. Para las variables numéricas, principalmente la dispersión (como los valores N-SPT), se utilizó la mediana del grupo homogéneo correspondiente debido a su robustez contra valores atípicos. Los grupos homogéneos se formaron en base a características geotécnicas, incluyendo la profundidad del estrato, el tipo de suelo y la ubicación geográfica (o coordenadas) para establecer continuidad estratigráfica y coherencia espacial en la imputación. Esto es consistente con un enfoque de imputación basado en estadísticas determinísticas adoptado como práctica general en bases de datos geotécnicas que poseen variabilidad natural y heterogeneidad de origen.

3.4.1. Imputación de fracciones granulométricas % finos, %arena, % grava

La distribución granulométrica de un suelo representa la proporción relativa de partículas de diferentes tamaños y constituye uno de los parámetros fundamentales para su clasificación y comportamiento mecánico. En condiciones ideales, estas fracciones satisfacen el balance:

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

$$\%Finos + \%Arena + \%Grava = 100$$

Sin embargo, en bases de datos geotécnicas recopiladas de múltiples fuentes, es frecuente encontrar registros incompletos donde no se dispone simultáneamente de las tres fracciones. De acuerdo con el sistema ASTM D2487 (ASTM, 2017), cada grupo de suelo (SUCS) está asociado a un rango granulométrico característico, lo que permite inferir de manera aproximada la distribución de partículas en ausencia de datos completos.

De acuerdo con el sistema ASTM D2487 (ASTM, 2017), cada grupo de suelo presenta una distribución granulométrica característica, lo que permite estimar las fracciones de finos, arena y grava cuando no se dispone de resultados de laboratorio.

La asignación de estas fracciones se realizó en función de:

- La clasificación SUCS
- Los patrones observados en la base de datos
- Rangos típicos reportados en la literatura geotécnica

De esta manera se designó la siguiente clasificación para obtener las fracciones granulométricas respectivamente según SUCS, ya que en varios documentos no reportan las 3 variables de Finos, Arena y Grava. Por lo tanto, al imputar una base de datos faltante del 15.36% de los datos que no son resultados de ensayos sino valores representativos utilizados para completar esta base, garantizando una coherencia geotécnica y permitiendo un correcto análisis estadístico y espacial de la información.

Tabla 1

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Asignación de fracciones granulométricas según SUCS

Código	SUCS	%FINOS	%ARENA	%GRAVA
1	GW	5	25	70
2	GP	5	25	70
3	SW	5	85	10
4	SP	5	85	10
5	GM	20	45	35
6	GC	20	45	35
7	SM	35	55	10
8	SC	35	55	10
9	ML	60	30	10
10	CL	60	30	10
11	MH	85	10	5
12	CH	85	10	5
13	OL	85	10	5
14	OH	85	10	5
15	PT	90	5	5
16	GW-GM	20	35	45
17	GW-GC	20	35	45
18	GP-GM	20	35	45
19	GP-GC	20	35	45
20	SW-SM	35	60	5
21	SW-SC	35	60	5
22	SP-SM	35	60	5
23	SP-SC	35	60	5
24	CL-ML	60	30	10

Fuente: Propia

El sistema SUCS define indirectamente la granulometría, por lo que los suelos presentan rangos típicos reproducibles de manera general para la imputación de la data faltante, con lo que según (Das, 1983) en sus fundamentos teóricos y prácticos del comportamiento de los suelos se puede decir que mantiene un balance físico del material optando por esta distribución.

3.5. Imputación del contenido de humedad (%W)

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

El contenido de humedad depende del tipo de suelo, su estructura y su contenido de finos. Los suelos finos presentan mayor capacidad de retención de agua que los suelos granulares (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1966).

Con lo que se aplicó una metodología según jerarquía, la cual evalúa el valor medido, promedio por grupo SUCS y una estimación mediante correlación con %FINOS y N60.

Tabla 2

Rangos de estimación según su comportamiento típico

% Finos	Nprom alto	Nprom bajo
< 12	10%	14%
12–50	18%	24%
> 50	30%	40%

Fuente: Propia

Donde:

Ecuación 2

$$Nprom = \frac{Nmin + Nmax}{2}$$

Si % Finos es igual a 60 y el Npromedio es 12, el %W será del 40%.

3.6. Imputación de Densidad (kg/m³)

La densidad natural del suelo viene dada por la distribución granulométrica, el contenido de humedad, y su grado de compactación, por lo que los suelos granulares presentan mayores

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

densidades generalmente en términos de densidad seca o densidad aparente en campo, en comparación de suelos finos saturados que tienen en su mayoría mayores relaciones de vacíos (Das, 1983).

La densidad del suelo fue imputada en función del contenido de finos y el contenido de humedad, considerando que ambos parámetros controlan el comportamiento físico del material. Se definieron tres categorías granulométricas y tres niveles de humedad, asignando valores representativos dentro de rangos típicos reportados en la literatura. Este procedimiento permite mantener coherencia geotécnica en la base de datos y es adecuado para análisis estadísticos y espaciales, sin sustituir mediciones de laboratorio

Tabla 3

Tabla de rangos para imputación de Densidades en (kg/m³)

Tipo de suelo	%FINOS	Nivel de humedad	%W	Densidad (kg/m³)	Interpretación
Granular limpio	<12	Baja	≤15	1700	Arena/grava densa
Granular	<12	Media	15–30	1650	Estado medio
Granular	<12	Alta	>30	1600	Suelo más suelto o húmedo
Intermedio	12–50	Baja	≤15	1600	Mezcla compacta
Intermedio	12–50	Media	15–30	1500	Estado normal
Intermedio	12–50	Alta	>30	1400	Mayor contenido de agua
Fino	>50	Baja	≤15	1450	Limos/arcillas firmes
Fino	>50	Media	15–30	1350	Estado plástico
Fino	>50	Alta	>30	1250	Alta plasticidad o saturación

Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

3.7.Definición de variables de estudio

Para el desarrollo del análisis, se establecieron variables dependientes e independientes, organizadas según su función dentro del modelo metodológico. Las principales variables dependientes fueron:

- N60min, como indicador corregido de resistencia relativa mínima del estrato;
- N60max, como indicador corregido de resistencia relativa máxima del estrato;
- SUCS
- Peso Específico
- Presión de SobreCarga
- N corregido
- Ancho adoptado de Zapata

Las variables independientes o explicativas consideradas en el análisis incluyeron profundidad inicial, profundidad final, espesores de análisis (0-2m, 2-4m, 4-6m, 6-15m), contenido de humedad natural, porcentaje de grava, porcentaje de arena, porcentaje de finos, clasificación SUCS y ubicación espacial del punto de prueba. La selección de estas variables se debe tanto a su disponibilidad en la base de datos como a su relevancia geotécnica y estadística. Además, se alinea con la lógica metodológica propuesta en la propuesta inicial, donde se definió como necesario analizar la variabilidad de las capacidades portantes, clasificar suelos, estudiar correlaciones y desarrollar mapas temáticos del comportamiento geotécnico.

3.8. Análisis estadístico descriptivo

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Se llevó a cabo una descripción estadística descriptiva y el objetivo es indicar el comportamiento general de la base de datos y tener algunos rangos de referencia iniciales por profundidad. Para este propósito, se determinaron métricas de tendencia central y dispersión (media, mediana, moda, mínimo, máximo, rango, desviación estándar y coeficiente de variación). Para medir el comportamiento de la resistencia relativa del subsuelo en relación con la profundidad, se realizó un análisis de datos jerárquico sobre los datos entre los intervalos estratificados ((0-2m, 2-4m, 4-6m, 6-15m) basado en la información obtenida.

No obstante, para el propósito de representación espacial y generación de mapas de zonificación, se eligió los intervalos de profundidades de (0-2m, 2-4m, 4-6m) desde el nivel natural del terreno, ya que es la más representativa en términos de la densidad y continuidad de los datos disponibles. Para esta región, se generaron mapas temáticos con modelos estadísticos que incluyen el mínimo, máximo, promedio y desviación estándar del N60, Capacidad Portante (Qadm). Al hacerlo, se identificó un mayor grado de densidad de datos, con una mayor dispersión en profundidad y desarrollos potenciales de la resistencia relativa en el perfil del subsuelo. Se adoptan estadísticas descriptivas e inferenciales como parte del enfoque metodológico adoptado en el Anexo 1, donde se consideraron explícitamente histogramas, diagramas de caja, ANOVA y análisis de regresión para investigar la capacidad de carga y su variabilidad.

3.9. Análisis de correlación entre variables

3.9.1. Correlación entre variables N60max y N60min

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Para facilitar una relación entre las variables geotécnicas y ver si se pueden predecir factores faltantes o complementarios, se realizó un análisis de correlación bi-variada entre las principales variables de la base de datos. Se prestó especial atención a la correlación entre N60min y N60max y por otro lado con el contenido de humedad, la profundidad final, el porcentaje de grava, el porcentaje de arena y el porcentaje de finos. Siempre que las variables se comportaran casi normalmente y fueran linealmente similares, era aceptables. Donde no se verificó la normalidad o se sospechaba un comportamiento no lineal, se empleó el coeficiente de Pearson, más robusto para variables no paramétricas.

De las muestras obtenidas 436 validadas, se realiza una correlación de Pearson:

$$r = \frac{\sum(x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{\sum(x_i - x)^2 * \sum(y_i - y)^2}}$$

Donde:

- x_i: N60min
- y_i: N60max
- $\bar{x}, \bar{y}$: promedios

Interpretación

- $r = 1 \rightarrow$ relación perfecta positiva
- $r = 0 \rightarrow$ no hay relación
- $r = -1 \rightarrow$ relación negativa

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Por lo que con Pearson se obtiene que el R^2= 69,76% de la variabilidad de N60max Vs N60min representa la resistencia relativa del suelo obtenida a partir del SPT.

Por lo el % restante que es del 30,24% se atribuye a factores propios del comportamiento del subsuelo.

Gracias al análisis de correlación, pudimos decidir qué variables tienen una relación técnica y estadística suficiente para ser incluidas en modelos de predicción o para explicar el comportamiento del subsuelo en contextos estratigráficos.

3.9.2. Modelo predictivo para de valores restantes a partir de N60max y N60 min.

Luego se incluyó un modelo predictivo para N60max basado en las recomendaciones metodológicas definidas durante la etapa de revisión del análisis, tomando los siguientes conceptos: N60min, contenido de humedad, profundidad final, porcentaje de grava, porcentaje de arena y porcentaje de finos como variables explicativas. Propusimos este modelo para analizar el comportamiento multivariable del parámetro y, si es relevante, facilitar la imputación de datos faltantes.

El % de datos faltantes se basa en la siguiente información:

- Cantidad faltante Datos de %Finos= al 15.36%
- Cantidad faltante Datos de %Arena= al 15.36%
- Cantidad faltante Datos de %Grava= al 15.60%
- Cantidad faltante Datos de Peso Específico = al 39.22%

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Y fue imputado de acuerdo con los cálculos que se especifican en el subcapítulo 3.4. ya que, al ser una gran cantidad de datos reales, la imputación permite explicar de mejor manera la distribución espacial de los datos.

3.10. Análisis según clasificación SUCS

Para realizar un análisis completo de la base de datos, se incluyó la clasificación SUCS con el fin de relacionar el nivel de resistencia relativa del subsuelo con el tipo de material dominante. Las descripciones de esta información se organizaron basándose en los informes reportados o inferidos a partir de la información existente, distinguiendo arenas, limos, arcillas, gravas y materiales mixtos según la designación asociada a ellos. Esta parte proporciona una interpretación geotécnica mucho más sólida de las estadísticas, ya que el valor de N60 y la capacidad de carga no solo tienen un valor diferente, sino que también ocurren en un tipo de suelo diferente. En consecuencia, se realizó la creación de mapas temáticos de distribución SUCS para identificar la presencia espacial de suelos con comportamiento comparable y comparar su mapeo con los valores de N60min y N60max. El análisis con SUCS está completamente justificado en la propuesta de tesis en la que se abordó la clasificación de tipos de suelo y su utilidad en el análisis geotécnico del área urbana de Ibarra.

3.11. Análisis espacial e interpolación

3.11.1. Preparación de la información espacial

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Antes de la creación de mapas temáticos, se evaluó y validó la información espacial de cada punto de prueba. En este paso, se verificó el sistema de coordenadas, se identificaron errores de ubicación y se corrigieron los registros mal posicionados. La consistencia espacial se consideraba crítica, ya que los errores en la ubicación influyen directamente en la validez de las superficies interpoladas.

3.11.2. Métodos de interpolación evaluados

En los estudios de zonificación, se utilizaron métodos de interpolación para el modelado espacial de variables geotécnicas. En este estudio, se comparan principalmente los métodos IDW y Kriging, y se descartó el método Spline por no ajustarse adecuadamente al comportamiento esperado de la variable dentro del área de estudio. Se adoptó el enfoque IDW por su simplicidad y uso frecuente cuando la influencia de un punto disminuye con la distancia. Por el contrario, se evaluó Kriging en función de su fundamento geoestadístico y su capacidad para modelar la dependencia espacial. A partir de los criterios adoptados en esta investigación, priorizamos los mapas de Kriging para las variables N60max y N60min, ya que representan mejor la resistencia relativa del subsuelo y responden directamente a las recomendaciones metodológicas recibidas.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

3.11.3. Criterio de selección cartográfica

Su elección de técnica de interpolación no solo fue el resultado en forma gráfica, sino también la compatibilidad entre el comportamiento espacial predicho y la lógica geotécnica del subsuelo. Así, la nueva metodología adoptada implica la comparación entre superficies generadas, el examen de la continuidad espacial, la consistencia con la distribución de datos aplicada y la interpretación técnica de los patrones recibidos. La introducción de herramientas GIS para la representación cartográfica está en línea con la propuesta metodológica aceptada, que ya ha discutido la posibilidad de pruebas de georreferenciación, el desarrollo de mapas temáticos de capacidad de carga y el reconocimiento de áreas más o menos favorables para cimentaciones. En la misma línea, este enfoque se ajusta a los últimos trabajos sobre microzonificación geotécnica superficial desarrollados en Ecuador, donde el modelado espacial se ha utilizado con éxito como una herramienta conveniente para modelar el comportamiento del subsuelo.

3.12. Software y herramientas utilizadas

Se utilizaron herramientas de gestión de datos, análisis estadístico y sistemas de información geográfica para procesar la información. La base de datos fue digitalizada, organizada inicialmente y sometida a control de calidad en un entorno de hoja de cálculo. En software especializado para el procesamiento estadístico, se desarrolló un análisis estadístico descriptivo, correlacional y predictivo, mientras que la georreferenciación, la interpolación y la creación de mapas se realizaron en un entorno SIG. En la versión final del documento, se deben especificar los

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

nombres exactos de los programas utilizados, su versión y, si es necesario, los paquetes o extensiones empleados para análisis específicos.

3.13. Flujo metodológico de la investigación

Con el fin de dar una línea de flujo en la investigación, la metodología adoptada puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Recopilación de informes geotécnicos.

2. Digitalización y construcción de la base de datos.

3. Depuración y validación de registros.

4. Imputación de valores faltantes.

5. Detección de valores atípicos mediante boxplot.

6. Análisis estadístico descriptivo por intervalos de profundidad.

7. Análisis de correlación entre variables geotécnicas.

8. Formulación del modelo predictivo para N60max.

9. Clasificación y representación temática según SUCS.

10. Interpolación espacial de N60min y N60max.

11. Elaboración de tablas resumen y productos cartográficos finales.

Este flujo metodológico responde al objetivo central de la investigación, que consiste en transformar información geotécnica dispersa en una base de datos estructurada, analizable y

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

espacialmente interpretable, capaz de sustentar una zonificación de capacidad portante útil para el diseño geotécnico preliminar en el área urbana del cantón Ibarra.

3.14. Determinación de la capacidad portante del suelo

La capacidad portante del suelo es uno de los parámetros básicos para el diseño de la base de cimentaciones superficiales, asegurando que la estimación precisa es necesaria para el desarrollo de esta investigación. Al construir la base de datos geotécnica, este parámetro puede tomarse de dos fuentes:

- Parámetros reportados en los informes geotécnicos. Los valores de capacidad portante admisible que aparecieron incluidos durante los estudios del suelo se incorporaron directamente a la base de datos después de confirmar su coherencia técnica. Para prevenir inconsistencias con diferentes criterios de diseño en los datos medidos, esta validación consistió en una correlación del valor reportado, tipo de suelo, profundidad de la cimentación y valores de la prueba SPT.

- Análisis utilizando correlaciones SPT basadas en estudios empíricos. Los registros donde no estaban disponibles los valores de capacidad portante fueron estimados utilizando correlaciones empíricas (según los estándares de la prueba de penetración estándar o SPT) siguiendo los criterios recomendados en la literatura geotécnica (Bowles, 1997) (Meyerhof G. G., 1956) (Skempton, 1951) (Hansen, 1970) (Hanson & Thorburn, 1974). En particular, se utilizó la resistencia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

corregida N60 para disminuir la varianza de la condición de ejecución de la prueba. La capacidad portante admisible se calculó determinando el tipo de suelo y distinguiendo entre suelos granulares y cohesivos, y se adoptaron rangos de correlación típicos entre el número de golpes y la resistencia de un suelo.

- Consideraciones adoptadas. Usando los siguientes criterios para la comparación, para este propósito particular, establecimos el valor representativo de N60 en los primeros 6 m de profundidad, ya que este tramo representa el régimen normal de carga de cimentaciones superficiales y representa el área de estudio urbana. Los valores de capacidad portante fueron normalizados a unidades de Tn/m^2. Se asumió que las condiciones de cimentación superficial y la ausencia de cargas excéntricas o inclinadas eran apropiadas para que sea un análisis consistente. Este enfoque proporcionó una base de datos reproducible con valores reales reportados y estimados según criterios técnicos similares, un requisito importante para el análisis estadístico y la zonificación geotécnica posterior.

Sin embargo, debido a que la presente investigación se basa en datos históricos provenientes de ensayos SPT, no siempre se dispone de estos parámetros de forma directa. Por esta razón, se emplean correlaciones empíricas que permiten estimar la capacidad portante a partir del número de golpes del SPT, ampliamente documentadas en la literatura geotécnica (Bowles, 1997).

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

4.1.Descripción del Proyecto

El proyecto se enmarcó en una base de datos geotécnica todo en uno de 436 registros creíbles sobre estudios de suelos obtenidos en el Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura. En cada registro se han incorporado coordenadas UTM, elevación, clasificación SUCS, valores mínimos y máximos de N60, variables granulométricas, humedad natural, peso específico y parámetros complementarios necesarios para estimar la capacidad portante admisible. La unidad de análisis correspondió al estrato representativo de cada sondeo dentro de rangos de profundidad previamente definidos, enfocándose particularmente en el nivel de 4 m–6 m, como el intervalo con la mayor densidad de información y el más representativo para la construcción cartográfica.

La metodología de evaluación se estructura en cinco componentes principales:

- Evaluación estadística de los resultados
- Evaluación de correlaciones geotécnicas
- Evaluación geotécnica del comportamiento del suelo
- Evaluación espacial de la zonificación
- Validación de aplicabilidad en el diseño geotécnico

4.2.Recopilación de Información bibliográfica y ensayos STP.

En esta etapa de investigación se obtuvieron la mayor parte de información relacionada con la zonificación, en el sector urbano del cantón. Para obtener esta información se realizó

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

solicitudes de petición dentro de las entidades correspondientes vinculadas a la zona de investigación entre ellas son:

- Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura, que poseen el archivo histórico de los proyectos aprobados con informes geotécnicos.
- Ilustre Municipio de San Miguel de Ibarra, ya que poseen delimitaciones de las zonas urbanas y rurales del cantón.

4.3.Variables y rangos de profundidad evaluados

La información se agrupó en cuatro intervalos de profundidad: 0–2 m, 2–4 m, 4–6 m y 6–15 m para su uso en análisis comparativos; la distribución final de los registros indicó fuertemente una concentración en el intervalo de 4–6 m con 294 registros (67.4% del total), seguido por 6–15 m con 73 registros (16.7%), 0–2 m con 37 registros (8.5%) y finalmente 2–4 m con 32 registros (7.3%). Esta distribución permitió enfatizar el análisis cartográfico principal en el comportamiento del subsuelo a una profundidad de referencia de 6 m, pero el apoyo interpretativo fue proporcionado por el comportamiento de los otros intervalos.

Por lo tanto, de las 534 perforaciones recolectadas solo 436 perforaciones se lograron procesar con el dato principal de este análisis que son las coordenadas de ubicación y sus profundidades siendo el 81.6% de las mismas tienen información de coordenadas.

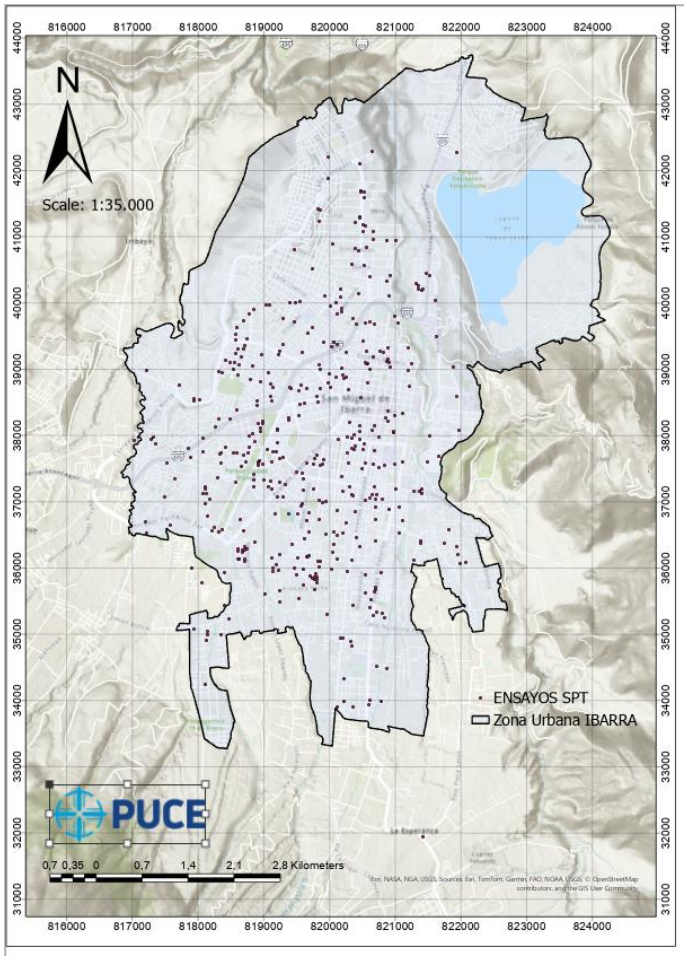
Los valores de ensayos revisados el 15.9% del grupo analizado supera los 6m de profundidad, por lo tanto, el 67.4% de los mismo se encuentran en un promedio de 4-6m de profundidad descartando así mismos ensayos que por rechazo no lleguen a la cota esperada.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Por lo tanto, se toma valores de profundidades de 0–2 m, 2–4 m, 4–6 m en el análisis. Todas las perforaciones fueron georreferenciadas mediante coordenadas WGS 84 - UTM Zona 17 N, que permitió la ubicación espacial de los datos. Toda esta información fue correlacionada a su nivel de cota inicial por parte del modelo Digital del Terreno “MDT” que fue generado con la superficie de cada uno de los puntos en análisis.

Ilustración 1

Ubicación Georreferenciada de los ensayos SPT en la zona de Estudio



Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

4.4.Estandarización de datos N60 de los ensayos analizados.

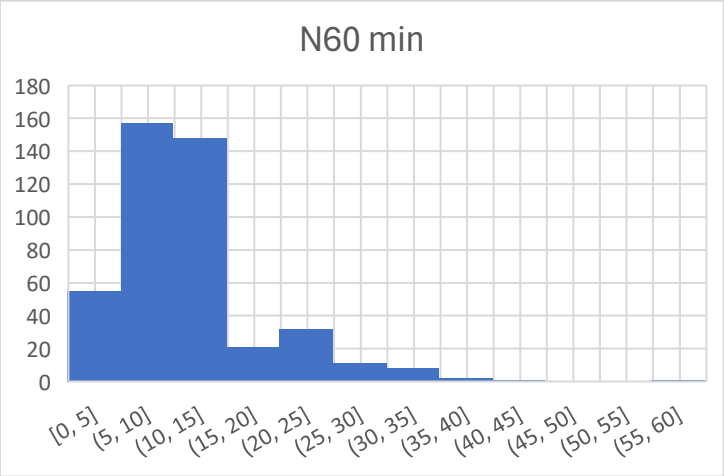
Dentro de la investigación de la información en torno a los ensayos SPT se ha demostrado que el principal valor en la estandarización es la resistencia a la penetración, debido a lo que puede variar los ensayos SPT proveniente de varios laboratorios. Por lo tanto, el marco teórico analiza valores de N obtenido en campo, mediante variaciones asociadas a factores como el tipo de quipo, eficiencia del martillo, longitud de varillaje; por lo tanto, en base a esos parámetros se optó por usar el valor N60 corregido, por el cual nos permite homogenizar los valores bajo una energía de referencia del 60%.

4.5. Evaluación estadística de los ensayos.

Esta evaluación se realiza con el objetivo de verificar la consistencia y representación que tiene la información que se procesa. Por lo cual los valores de N60min y N60max se obtuvieron a través de una base de datos depurada en la cual se aplicó medidas de tendencia central y dispersión.

Ilustración 2

Histograma N60 min con datos procesados.

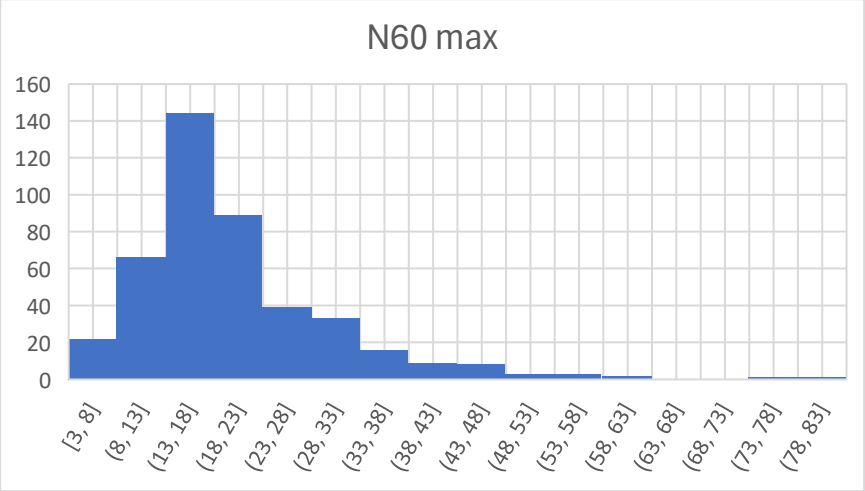


Fuente: Propio

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 3

Histograma N60 max con datos procesados.



Fuente: Propio

Según los histogramas de la ilustración 2 y 3 nos muestra una variabilidad entre los valores de golpes al 60% de energía entre 10 y 20 golpes respectivamente en N60max y N60 min, por lo tanto, la base de datos revisada, la desviación estándar y el promedio de 60 se lo analizó de acuerdo a las gráficas que se presentan.

4.5.1. Número de golpes corregido.

De acuerdo con el N de golpes obtenido se llegó a la revisión que en los datos analizados todas las correcciones se realizaban a partir del número de golpes (N) de campo, los factores de corrección de diámetro de perforación, corrección del muestreador y el factor de corrección por la longitud de la sarta de la perforación realizada.

Por lo tanto, se obtiene en base a la siguiente ecuación

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ecuación 3

$$N_{corr} = N * C_B * C_s * C_R$$

Donde:

$N = Número\ de\ golpes\ medido\ en\ campo$

$C_B = Factor\ de\ correción\ para\ el\ diametro\ de\ perforación$

$C_S = Factor\ de\ correción\ del\ muestreador$

$C_R = Factor\ de\ correción\ para\ la\ longitud\ de\ sarta\ de\ perforación.$

Ilustración 4

Valores de corrección CB, CS, CR

Borehole Diameter, Sampler, and Rod Length Correction Factors

Correction Factor	Equipment Variable	Correction Value
Borehole diameter correction factor, C_B	65–115 mm (2.5–4.5 in.)	1.00
	150 mm (6 in.)	1.05
	200 mm (8 in.)	1.15
Sampler correction factor, C_S	Standard sampler	1.00
	Sampler without liner (not recommended)	1.20
Rod length correction factor, C_R	3–4 m (10–13 ft)	0.75
	4–6 m (13–20 ft)	0.85
	6–10 m (20–30 ft)	0.95
	>10 m (>30 ft)	1.00

Source: After ***Skempton, A. W., 1986,*** *Geotechnique,* vol. 36, no. 3, 425–447.

Fuente: (Ishibashi & Hazarika, H, 2015)

En base a lo analizado, los valores de corrección son los determinados por los autores de los ensayos de laboratorio y llegan a los valores de N60max y N60 min respectivamente para el análisis de verificación de los golpes respectivos corregidos.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

4.6. Metodología para la estimación de Capacidad Portante (Qadm)

En esta evaluación se utilizaron cuatro métodos propuestos para estimar la capacidad portante admisible basados en correlaciones y formulaciones bibliográficas comúnmente reconocidas en la geotecnia aplicada: (Meyerhof G. G., 1956), (Bowles J. E., 1997), (Hanson & Thorburn, 1974), (Skempton, 1951). A partir de estos resultados, se calculó el valor promedio para cada registro como un indicador integrador para comparar las tendencias espaciales y minimizar la dependencia de un solo método. Esto les permitió comparar la sensibilidad de los valores resultantes al proceso de cálculo correspondiente, así como la consistencia de la zonificación obtenida.

4.6.1. Método de Meyerhof 1956

Al aplicar este método se estima mediante correlaciones empíricas basadas en resultados de los ensayos SPT disponibles, considerando que toma el valor N60, el ancho de zapata que en este caso será de 1.60m y considerando un asentamiento permisible.

Para cimentaciones con ancho $B > 1.22$ m:

$$q_a = 7.99 * N_{corr} * \left(\frac{3.28B + 1}{3.28B}\right)^2$$

Para cimentaciones con ancho $B > 1.22$m:

$$q_a = 11.98 * N_{corr}$$

Donde: qa: capacidad admisible (Tn/m²)

N_{corr}: número de golpes corregido

B: ancho de la cimentación (m)

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

4.6.2. Método de Bowles (1977)

Bowles nos propine una correlación de igual manera basad en el SPT por lo cual tomando en cuenta el efecto de la profundidad de desplante y el asentamiento, para efectos de este método tomamos un valor uniforme de 1.5m de profundidad de desplante y 1.6m ancho de zapata.

Para $B > 1.22$ m:

$$q_a = 11.98 * N_{corr} * \left(\frac{3.28B + 1}{3.28B}\right)^2 * F_d * \left(\frac{S_e}{25.4}\right)$$

Factor de Profundidad:

$$F_d = 1 + 0.33 * \frac{D_f}{B}$$

Donde:

Se : asentamiento permitido (mm)

D_f: profundidad de desplante (m)

B: ancho de zapata (m)

4.6.3. Método de Hanson y Thornburn (1974)

Este método propone una correlación directa con el valor Ncorr siendo uno de los métodos más sencillos de obtener para esta investigación ya que depende de una sola variable independiente.

$$q_a = N_{corr}$$

4.6.4. Método de Skempton (1951)

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Este método se aplica principalmente a suelos cohesivos, tomando en cuenta que la capacidad portante depende de la cohesión del suelo y del efecto que la profundidad de desplante le afecta a este:

$$q_u = C * N_C + \gamma * D_f$$

$$q_a = \frac{q_u}{FS}$$

Factor N_c

Depende de la relación:

$$\frac{D_f}{B}$$

Valores típicos:

Df/B	**Nc**
0	5.14
1.0	6.2
1.5	6.7
2.0	7.3

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Tabla 4

Listado de los primeros 50 Ensayos Valores imputados, Qadm, N60, entre otros.

																		Meyerhof 1956	Bowles 1977	Hanson y Thorburn 1974	Skempton	Promedio
#	ID	UTMX	UTMY	UTMZ	SUCS IMP	N60 MIN	N60 MAX	Profundidad_final_m	Codigo Profundidad		%W	%W IMP	Peso Especifico Imp (kN/m3)	Presión de Sobrecarga (kN/m2)	CN	NCORR	B ZAPATA	Capacidad Admisible del Suelo (kN/m2)	Capacidad Admisible del Suelo (T/m2)	Capacidad Admisible del Suelo (T/m2)	Capacidad Admisible del Suelo (T/m2)	Capacidad Admisible del Suelo (T/m2)	Capacidad Admisible del Suelo (T/m2)
1	001-AL-170521	819983,39	42194,41	2258	7	22	22	5	4-6 m	3	11,42	11,4	13,24	33,11	1,03	23	1,6	260,48	26,58	29,41	22,00	21,09	24,17
2	002-AL-220319	819937,17	40102,5	2221	9	22	22	6	4-6 m	3	12,67	12,7	13,24	39,73	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74
3	003-AL-230322	819848,87	41219,5	2261	7	22	22	6	4-6 m	3	8,72	8,7	13,24	39,73	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74
4	004-AL-260220	818581,7	39441,89	2216	7	9	14	6,5	6-15 m	4	13,12	13,1	13,24	43,04	0,96	13	1,6	147,23	15,02	16,62	14,00	13,67	14,76
5	005-AL-040821	819988,79	41875,38	2268	9	22	22	2	0-2 m	1		28,2	13,24	13,24	0,75	17	1,6	192,53	19,65	21,74	22,00	21,09	21,61
6	006-AL-090119	818703,65	39731,15	2223	7	22	22	6	4-6 m	3		27,8	13,24	39,73	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74
7	007-AL-050521	818852,33	39886,1	2240	7	22	22	5	4-6 m	3	19,32	19,3	14,72	36,79	1,00	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,16	23,76
8	008-AL-130922	818600,89	39614,32	2218	9	18	52	2,5	2-4 m	2	12,29	12,3	14,22	17,78	0,75	39	1,6	441,68	45,07	49,87	52,00	48,98	50,28
9	009-AL-180322	819749,87	40501,71	2224	20	22	22	4	2-4 m	2	29,96	30,0	13,73	27,47	1,08	24	1,6	271,80	27,73	30,69	22,00	21,11	24,60
10	010-AL-190922	819052,03	39954,01	2250	7	26	26	6	4-6 m	3	29,96	30,0	13,73	41,20	0,97	25	1,6	283,13	28,89	31,97	26,00	24,83	27,60
11	011-AL-211222	819052,03	39954,01	2250	7	26	26	6	4-6 m	3	29,96	30,0	13,73	41,20	0,97	25	1,6	283,13	28,89	31,97	26,00	24,83	27,60
12	012-AL-200121	819865,44	41394,06	2281	7	22	22	6	4-6 m	3	29,96	30,0	13,73	41,20	0,97	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,11	23,32
13	013-AL-010921	819104,51	39968,95	2247	9	22	22	2	0-2 m	1	20,15	20,2	13,54	13,54	0,75	17	1,6	192,53	19,65	21,74	22,00	21,10	21,61
14	014-AL-201118	819485,58	39996,26	2221	5	22	22	6	4-6 m	3	22,21	22,2	13,54	40,61	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74
15	015-AL-200220	820057,2	40875,34	2217	7	22	22	5,5	4-6 m	3	23,21	23,2	13,54	37,23	1,00	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74
16	017-AL-300919	819569,3	40011,15	2221	7	22	22	6	4-6 m	3	24,1	24,1	13,54	40,61	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74
17	018-AL-190422	819311,19	39750,77	2225	9	22	30	6	4-6 m	3	25,11	25,1	13,54	40,61	0,98	29	1,6	328,43	33,51	37,08	30,00	28,53	31,87
18	019-AL-091222	818792,11	39826,15	2229	4	26	26	6	4-6 m	3		14,0	16,19	48,56	0,93	24	1,6	271,80	27,73	30,69	26,00	24,95	27,21
19	020-AL-190522	818756,4	39442,5	2215	9	6	42	6	4-6 m	3	18,47	18,5	14,22	42,67	0,96	41	1,6	464,33	47,38	52,43	42,00	39,70	44,71
20	021-CA-010922	818318,39	37346,19	2225	7	22	22	6	4-6 m	3	18,47	18,5	14,72	44,15	0,96	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,16	23,34
21	023-CA-250521	819208,71	36040,85	2262	18	37	37	5	4-6 m	3	14,35	14,4	15,70	39,24	0,99	36	1,6	407,70	41,60	46,03	37,00	35,13	39,39
22	024-CA-150421	820359,12	34818,51	2357	9	22	22	6	4-6 m	3	14,35	14,4	15,70	47,09	0,94	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36
23	025-CA-300519	820129,55	36124,75	2267	7	22	22	6	4-6 m	3	8,15	8,2	15,70	47,09	0,94	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36
24	026-CA-290419	819979,58	35291,9	2321	7	22	22	6	4-6 m	3	11,95	12,0	15,70	47,09	0,94	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36
25	027-CA-131219	818143,1	34894,69	2316	7	5	35	2	0-2 m	1	7,9	7,9	15,70	15,70	0,75	26	1,6	294,45	30,05	33,25	35,00	33,28	33,84
26	028-CA-290719	819814,06	35765,23	2286	4	22	30	6	4-6 m	3	-	14,0	16,19	48,56	0,93	28	1,6	317,10	32,36	35,80	30,00	28,66	31,49
27	029-CA-310521	818629,11	36119,19	2248	9	25	25	5,5	4-6 m	3	19,24	19,2	14,22	39,12	0,99	25	1,6	283,13	28,89	31,97	25,00	23,92	26,96
28	034-CA-180619	819693,53	36171,27	2258	9	5	30	3	2-4 m	2	34,81	34,8	17,17	25,75	1,09	33	1,6	373,73	38,14	42,20	30,00	28,71	33,64
29	035-CA-190421	818115,46	34230,21	2376	7	5	30	2	0-2 m	1	30,72	30,7	17,17	17,17	0,75	23	1,6	260,48	26,58	29,41	30,00	28,71	29,37
30	036-CA-210720	818613,08	36254,31	2245	7	40	45	8,5	6-15 m	4	-	27,8	13,73	58,37	0,89	40	1,6	453,00	46,22	51,15	45,00	42,46	46,20
31	037-CA-240120	819801,01	35913,25	2275	9	30	50	8,5	6-15 m	4	-	28,2	13,24	56,28	0,90	45	1,6	509,63	52,00	57,54	50,00	47,07	51,54
32	039-CA-090622	819723,62	35864,88	2278	7	31	31	6	4-6 m	3	21,57	21,6	13,05	39,14	0,99	31	1,6	351,08	35,82	39,64	31,00	29,43	33,36
33	040-CA-100720	820724,15	34511,13	2382	7	5	10	4	2-4 m	2	27,14	27,1	16,19	32,37	1,03	10	1,6	113,25	11,56	12,79	10,00	10,10	10,96
34	042-CA-140521	819150,18	35933,8	2267	7	15	15	6	4-6 m	3	15,41	15,4	13,05	39,14	0,99	15	1,6	169,88	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25
35	043-CA-310120	819035,73	35596,3	2281	7	15	22	6	4-6 m	3	25,6	25,6	13,24	39,73	0,98	22	1,6	249,15	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74
36	045-CA-280220	819255,66	35487,15	2295	7	15	15	5	4-6 m	3	8,5	8,5	13,54	33,84	1,02	15	1,6	169,88	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26
37	046-CA-270718	820807,75	33978,11	2426	9	18	54	6	4-6 m	3	30,88	30,9	13,24	39,73	0,98	53	1,6	600,23	61,25	67,77	54,00	50,78	57,52
38	049-CA-051219	820705,81	36404,84	2259	7	15	15	6	4-6 m	3	15,6	15,6	12,95	38,85	0,99	15	1,6	169,88	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25
39	054-CA-040722	818613,18	36276,79	2244	7	32	32	6	4-6 m	3	20,14	20,1	13,05	39,14	0,99	32	1,6	362,40	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43
40	055-CA-231219	820076,65	36353,67	2254	7	22	22	6,5	6-15 m	4	14,48	14,5	12,95	42,08	0,97	21	1,6	237,83	24,27	26,85	22,00	21,07	23,31
41	056-CA-290120	819607,26	35970,78	2270	7	22	32	8,5	6-15 m	4	-	27,8	13,73	58,37	0,89	28	1,6	317,10	32,36	35,80	32,00	30,39	32,73
42	057-CA-040718	820620,71	34002,75	2426	7	24	30	6	4-6 m	3	-	27,8	13,73	41,20	0,97	29	1,6	328,43	33,51	37,08	30,00	28,54	31,87
43	059-CA-010719	820705,14	35666,34	2301	9	17	43	8,5	6-15 m	4		28,2	13,24	56,28	0,90	39	1,6	441,68	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48
44	060-CA-210918	820362,24	35435,51	2315	7	15	32	6	4-6 m	3		27,8	13,73	41,20	0,97	31	1,6	351,08	35,82	39,64	32,00	30,39	34,01
45	061-CA-100918	820415,08	36454,71	2254	7	15	32	6	4-6 m	3	15,03	15,0	14,05	42,14	0,97	31	1,6	351,08	35,82	39,64	32,00	30,41	34,02
46	063-CA-280619	819867,32	36095,35	2263	7	15	30	6	4-6 m	3	14,06	14,1	12,95	38,85	0,99	30	1,6	339,75	34,67	38,36	30,00	28,50	32,29
47	064-CA-180719	819867,33	36095,36	2263	7	15	30	6	4-6 m	3	14,06	14,1	12,95	38,85	0,99	30	1,6	339,75	34,67	38,36	30,00	28,50	32,29
48	066-CA-271021	818691,24	36235,27	2246	7	15	32	6	4-6 m	3	11,88	11,9	13,05	39,14	0,99	32	1,6	362,40	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43
49	067-CA-170818	820703,26	35632,56	2303	7	30	30	6	4-6 m	3		27,8	13,73	41,20	0,97	29	1,6	328,43	33,51	37,08	30,00	28,54	31,87
50	068-CA-191121	818357,97	34983,63	2312	7	31	31	6	4-6 m	3	12,41	12,4	15,70	47,09	0,94	29	1,6	328,43	33,51	37,08	31,00	29,56	32,55

Fuente: Propio

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

4.7.Evaluación de clasificación de suelos SUCS.

En la evaluación geotécnica se verificó los resultados obtenidos lleven una coherencia entre los comportamientos esperados en los datos analizados, así como su clasificación y condiciones de formación.

Por lo tanto, los suelos según la clasificación SUCS fueron los siguiente:

Tabla 5

Clasificación SUCS con código numero para revisión de datos.

Código numérico	Clasificación SUCS	Descripción geotécnica
1	GW	Grava bien gradada
2	GP	Grava mal gradada
3	SW	Arena bien gradada
4	SP	Arena mal gradada
5	GM	Grava limosa
6	GC	Grava arcillosa
7	SM	Arena limosa
8	SC	Arena arcillosa
9	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad
10	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
11	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
12	CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
13	OL	Limo orgánico o arcilla limosa orgánica de
14	OH	Arcilla orgánica o limo orgánico de alta
15	PT	Turba y suelos altamente orgánicos
16	GW-GM	Grava bien gradada con limo
17	GW-GC	Grava bien gradada con arcilla
18	GP-GM	Grava mal gradada con limo
19	GP-GC	Grava mal gradada con arcilla
20	SW-SM	Arena bien gradada con limo
21	SW-SC	Arena bien gradada con arcilla
22	SP-SM	Arena mal gradada con limo
23	SP-SC	Arena mal gradada con arcilla
24	CL-ML	Limo arcilloso o arcilla limosa de baja
0	Sin clasificación / no	Registro sin información SUCS válida

Fuente: Propio

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Dentro de esta clasificación se identificó que los suelos granulares SM, GM presentan mayores valores de resistencias

Los suelos finos como ML presentan menor resistencia y mayor variabilidad de esta.

Así mismo existen estratos que generan cambios locales de comportamiento del subsuelo, pero debido al volumen extenso de datos analizados se descarta en el alcance el análisis por cada estrato obtenido en el muestreador.

Se observó adicionalmente que se obtiene valores de resistencias más altas con forme se profundiza en el sondeo del muestreador.

4.8.Evaluación espacial de la zonificación.

La evaluación de los valores mediante los análisis de mapas generados se verificó que, las superficies generadas presentan continuidad espacial coherente con los estratos y tipos de suelos analizados, por lo tanto, no se observaron cambios abruptos que no justifiquen los registros entregados.

El método krigin fue el seleccionado para hacer la distribución espacial debido a que su capacidad de generar una representación adecuada a su variabilidad en el subsuelo analizado, con el método IDW se trabajará en los rangos donde existan un volumen de datos cortos ya que se ajusta de mejor manera gráficamente.

4.9. Resumen de datos obtenidos en función de las muestras validadas.

Los valores de los informes con profundidades variables se analizan en función de las muestras tomadas en la bibliografía, por lo tanto, se clasificó de acuerdo con la siguiente tabla que

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

resume la información disponible y la variación más acertada de valores que se obtienen en rangos desde 6 a 8m de los estudios tomados en cuenta.

Tabla 6

Tabla Resumen de valores analizados de muestras.

Rango	N° Muestras	Mínimo 60	Máximo N60	Promedio N60	Desviación Estandar
0-2m	37	16	38	23	6
2-4m	32	10	80	23	12
4-6m	294	6	60	20	9
6-15m	73	4	75	23	14

Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.Análisis estadístico de los resultados

En función de la base de datos que se encuentra depurada, correspondiente a 436 perforaciones su análisis estadístico de esta información con respecto a la penetración estándar corregida "N60", la cual considera intervalos de profundidad representativos la cual su mayor concentración se dan de 4 a 6m con 294 muestras correlacionadas.

Lo cual se observa que los valores promedio de N60 se concentran entre 18 y 25 golpes en la mayoría de los intervalos por lo cual existe una tendencia general de incremento en la resistencia conforme la profundidad aumenta, y eso se debe a un proceso normal de consolidación del suelo a lo largo de los procesos naturales del suelo.

Por otro lado, los valores superficiales de 0 a 2m de profundidad presentan una mayor variabilidad en sus valores de N60 debido a la heterogeneidad del material superficial, lo cual la desviación estándar sugiere que existe una variabilidad natural del subsuelo que es típico en depósitos volcánicos y aluviales debido a la cercanía con el volcán Imbabura.

5.2.Análisis en clasificación SUCS

El análisis de clasificación de suelos permite identificar sus clasificaciones predominantes en el área urbana destacándose los siguientes:

- SM (Arena Limosa)
- GM (Grava Limosa)
- ML (Limo de baja plasticidad)

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Por lo cual se establecieron los siguientes comportamientos:

5.2.1. Suelos Granulares (SM, GM)

Dichos suelos granulares presentan unos valores altos de N60, así mismo como un comportamiento competente para los estratos que conforman esta clasificación, por lo cual se claifica como suelos de alta capacidad portante.

5.2.2. Suelos Finos (ML)

Dentro de esta clasificación obtenemos que sus valores de N60 son de rangos bajos, con lo que existe una variabilidad de comportamiento en la capacidad portante lo que hace difícil determinarlos directamente como un factor determinante en la clasificación.

Existe una susceptibilidad a asentamientos considerable en estos estratos con lo que su interpretación requiere de análisis más profundo de su comportamiento mecánico en cimentaciones superficiales que es su gran mayoría dentro de la zona urbana en análisis.

Por lo tanto, como interpretación geotécnica se determina que su resistencia está directamente relacionada con la granulometría y la estructura interna de sus clasificaciones, por lo cual suelos granulares presentan este comportamiento favorable por su mayor fricción interna y menor compresibilidad, con lo cual es coherente con la teoría de resistencia al corte.

5.2.3. Representación espacial de la clasificación SUCS mediante polígonos de Thiessen

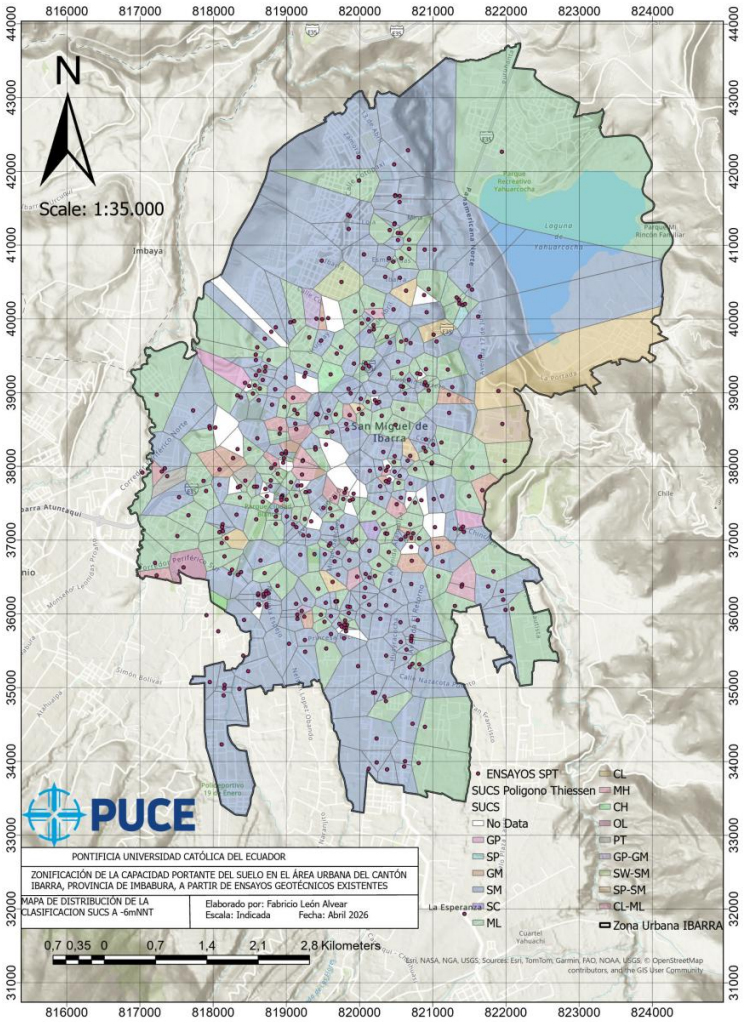
Para le representación espacial de esta clasificación se tomó en cuenta una clasificación de suelos de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 2, por lo tanto en función de su clasificación numérica se pudo correlacionar estos valores mediante el método de polígonos de Thiessen que interpreta el entorno en SIG en el cual consiste en dividir el área de estudio en regiones poligonales a partir de los puntos georreferenciados de los ensayos SPT y con cada uno de estos puntos se

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

generan polígonos que representan el área de influencia de cada muestreo, por lo cual se dividen en función de cada punto de control cercano y cierra su polígono si no son de la misma clasificación.

Ilustración 5

Zonificación del mapa de SUCS mediante polígonos de Thiessen



5.3. Análisis espacial de la zonificación

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

En la distribución espacial de esta información geotécnica se constituyó dentro de esta investigación como una transformación de datos puntuales de ensayos SPT procesados en superficies continuas, el cual representa el comportamiento del subsuelo del área urbana en el cantón Ibarra.

La preparación de la información se analizó en la zona del cantón que se ubica en el sistema de coordenadas de WGS 84 – UTM Zona 17N, con lo que se verificó sus coordenadas de cada estudio como se muestra en la siguiente tabla:

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Tabla 7

Georeferenciación de los primeros 50 estudios

#	ID	UTMX	UTMY	UTMZ	SUCS	N60 MIN	N60 MAX
1	001-AL-170521	819983,39	42194,41	2258	7	22	22
2	002-AL-220319	819937,17	40102,5	2221	9	22	22
3	003-AL-230322	819848,87	41219,5	2261	7	22	22
4	004-AL-260220	818581,7	39441,89	2216	7	9	14
5	005-AL-040821	819988,79	41875,38	2268	9	22	22
6	006-AL-090119	818703,65	39731,15	2223	7	22	22
7	007-AL-050521	818852,33	39886,1	2240	7	22	22
8	008-AL-130922	818600,89	39614,32	2218	9	22	22
9	009-AL-180322	819749,87	40501,71	2224	20	22	22
10	010-AL-190922	819052,03	39954,01	2250	7	26	26
11	011-AL-211222	819052,03	39954,01	2250	7	26	26
12	012-AL-200121	819865,44	41394,06	2281	7	22	22
13	013-AL-010921	819104,51	39968,95	2247	9	22	22
14	014-AL-201118	819485,58	39996,26	2221	5	22	22
15	015-AL-200220	820057,2	40875,34	2217	7	22	22
16	017-AL-300919	819569,3	40011,15	2221	0	22	22
17	018-AL-190422	819311,19	39750,77	2225	9	22	30
18	019-AL-091222	818792,11	39826,15	2229	0	26	26
19	020-AL-190522	818756,4	39442,5	2215	9	6	42
20	021-CA-010922	818318,39	37346,19	2225	7	22	22
21	023-CA-250521	819208,71	36040,85	2262	18	37	37
22	024-CA-150421	820359,12	34818,51	2357	9	22	22
23	025-CA-300519	820129,55	36124,75	2267	7	22	22
24	026-CA-290419	819979,58	35291,9	2321	7	22	22
25	027-CA-131219	818143,1	34894,69	2316	7	5	35
26	028-CA-290719	819814,06	35765,23	2286	0	22	30
27	029-CA-310521	818629,11	36119,19	2248	0	25	25
28	034-CA-180619	819693,53	36171,27	2258	9	5	30
29	035-CA-190421	818115,46	34230,21	2376	7	5	30
30	036-CA-210720	818613,08	36254,31	2245	7	40	45
31	037-CA-240120	819801,01	35913,25	2275	9	30	50
32	039-CA-090622	819723,62	35864,88	2278	7	31	31
33	040-CA-100720	820724,15	34511,13	2382	7	5	10
34	042-CA-140521	819150,18	35933,8	2267	7	15	15
35	043-CA-310120	819035,73	35596,3	2281	7	15	22
36	045-CA-280220	819255,66	35487,15	2295	7	15	15
37	046-CA-270718	820807,75	33978,11	2426	9	18	54
38	049-CA-051219	820705,81	36404,84	2259	7	15	15
39	054-CA-040722	818613,18	36276,79	2244	7	32	32
40	055-CA-231219	820076,65	36353,67	2254	7	22	22
41	056-CA-290120	819607,26	35970,78	2270	7	22	32
42	057-CA-040718	820620,71	34002,75	2426	7	24	30
43	059-CA-010719	820705,14	35666,34	2301	9	17	43
44	060-CA-210918	820362,24	35435,51	2315	7	15	32
45	061-CA-100918	820415,08	36454,71	2254	7	15	32
46	063-CA-280619	819867,32	36095,35	2263	7	15	30
47	064-CA-180719	819867,33	36095,36	2263	7	15	30
48	066-CA-271021	818691,24	36235,27	2246	7	15	32
49	067-CA-170818	820703,26	35632,56	2303	7	30	30
50	068-CA-191121	818357,97	34983,63	2312	7	31	31

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

5.3.1. Selección método Kriging y IDW para valores de N60

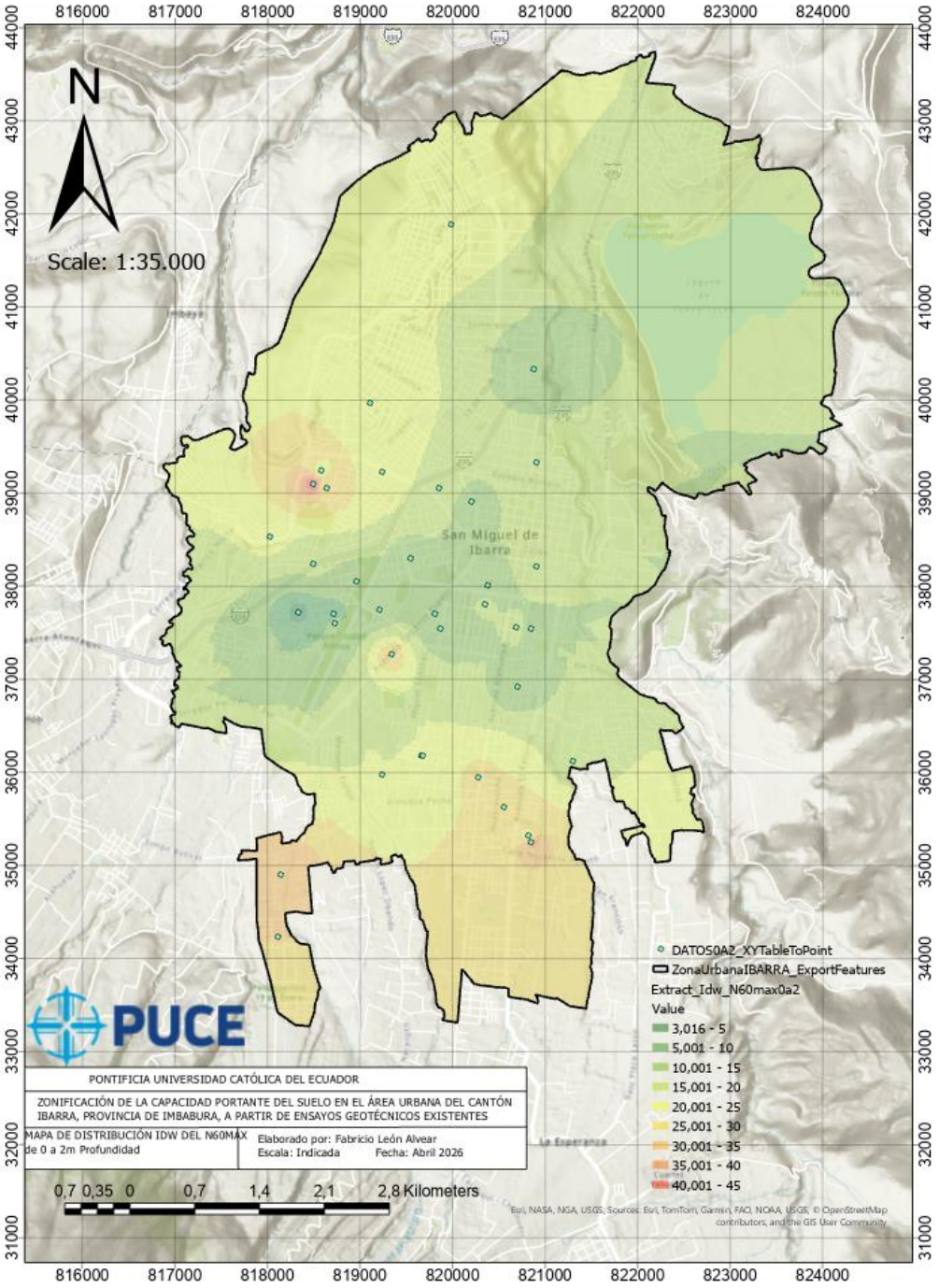
Debido a que las variables analizadas se presentan de manera numérica y con gran variabilidad, para poder representar esta variable se toma en cuenta una interpolación geoestadística mediante el método de Kriging que permite modelar la dependencia espacial con una gran cantidad de datos y considera que existe variación del suelo mediante semi vario gramas y en función donde hay pocos datos se ocupa el método de IDW que se justa de mejor manera a nivel espacial la distribución estadística de estos datos.

Estos métodos generan superficies continuas con mayor rigor estadístico debido a su capacidad de reducir efectos de sobre estimación local, así como representa de mejor manera y más realista la variabilidad del subsuelo con el N60max y N60 min, con respecto a las profundidades de 0-2m, 2-4m, 4-6m.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 6

Mapa de zonificación en valores de N60max de 0 a 2m de profundidad con el método de IDW.

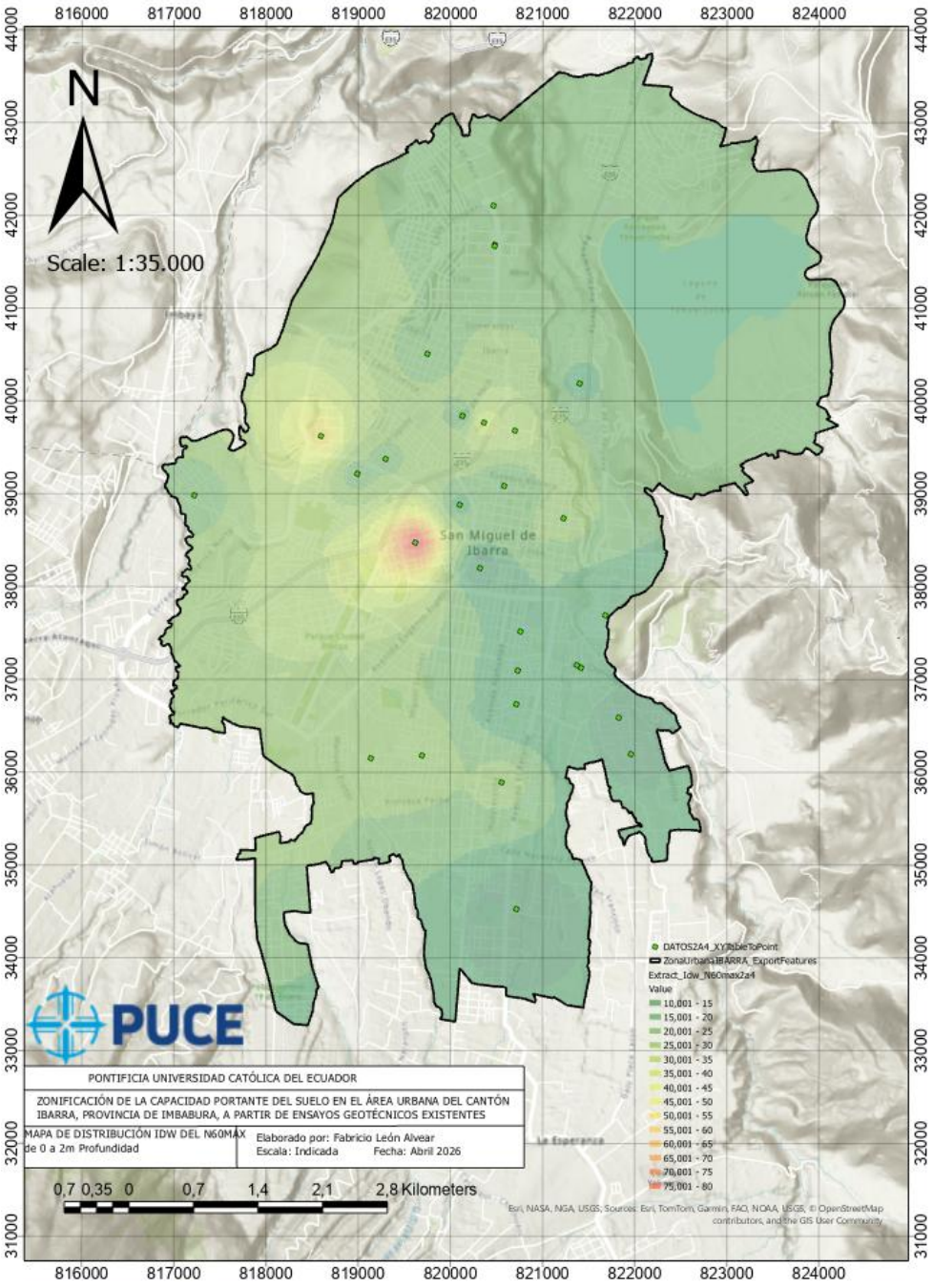


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 7

Mapa de zonificación en valores de N60max de 2 a 4m de profundidad con el método de IDW.

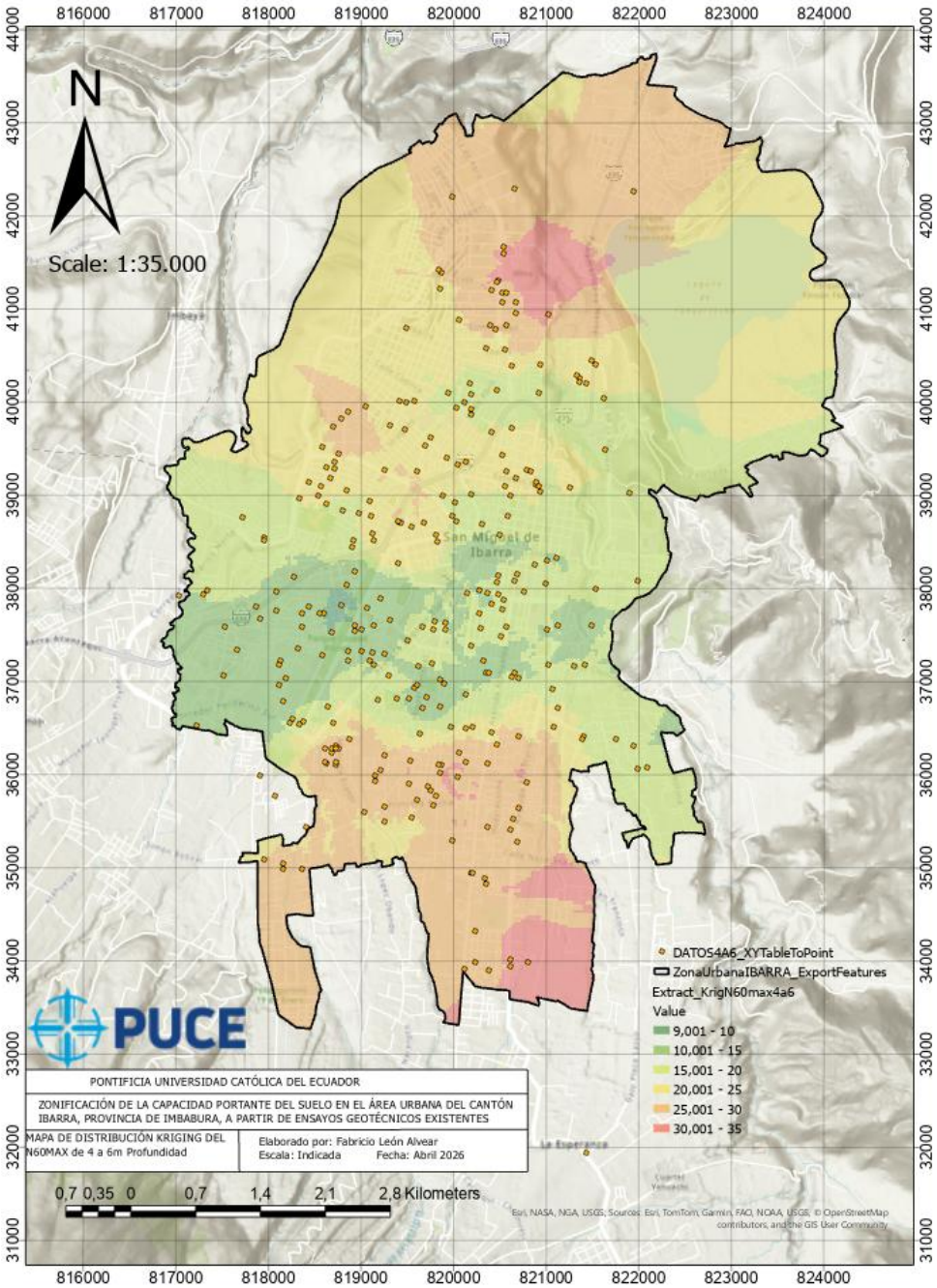


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 8

Mapa de zonificación en valores de N60max de 4 a 6m de profundidad con el método de Krigin.

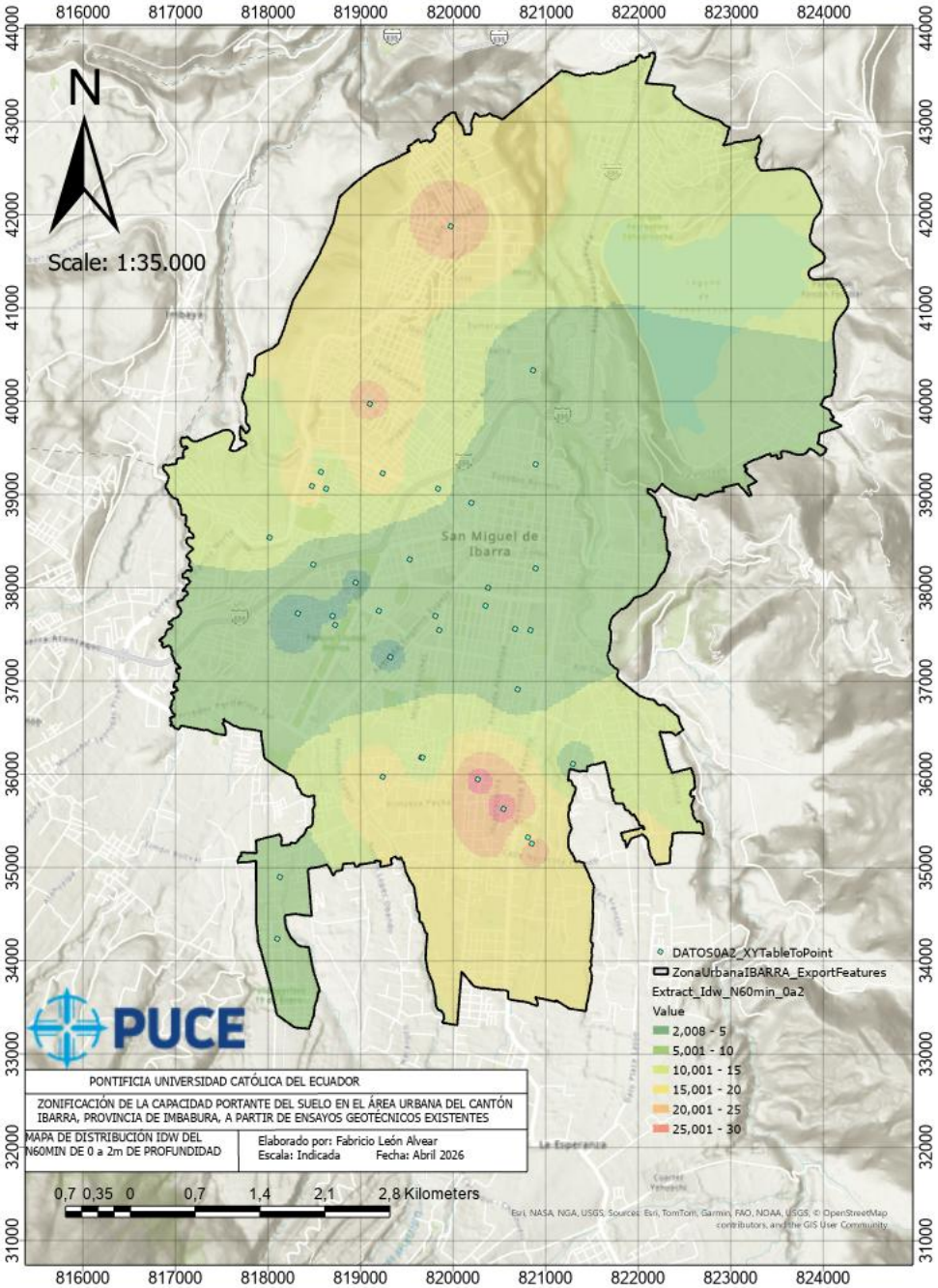


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 9

Mapa de zonificación en valores de N60min de 0 a 2m de profundidad con el método de IDW.

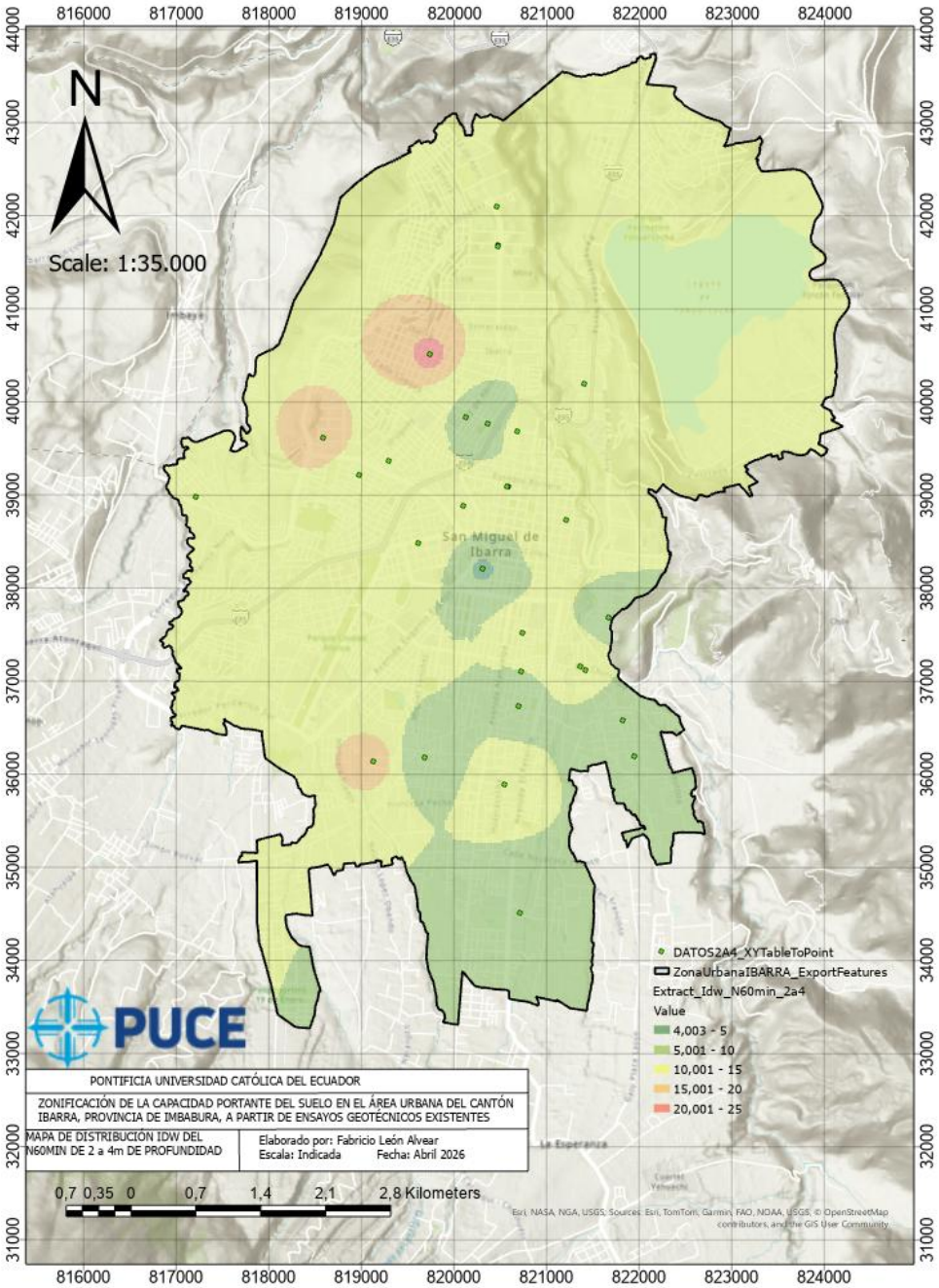


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 10

Mapa de zonificación en valores de N60min de 2 a 4m de profundidad con el método de IDW.

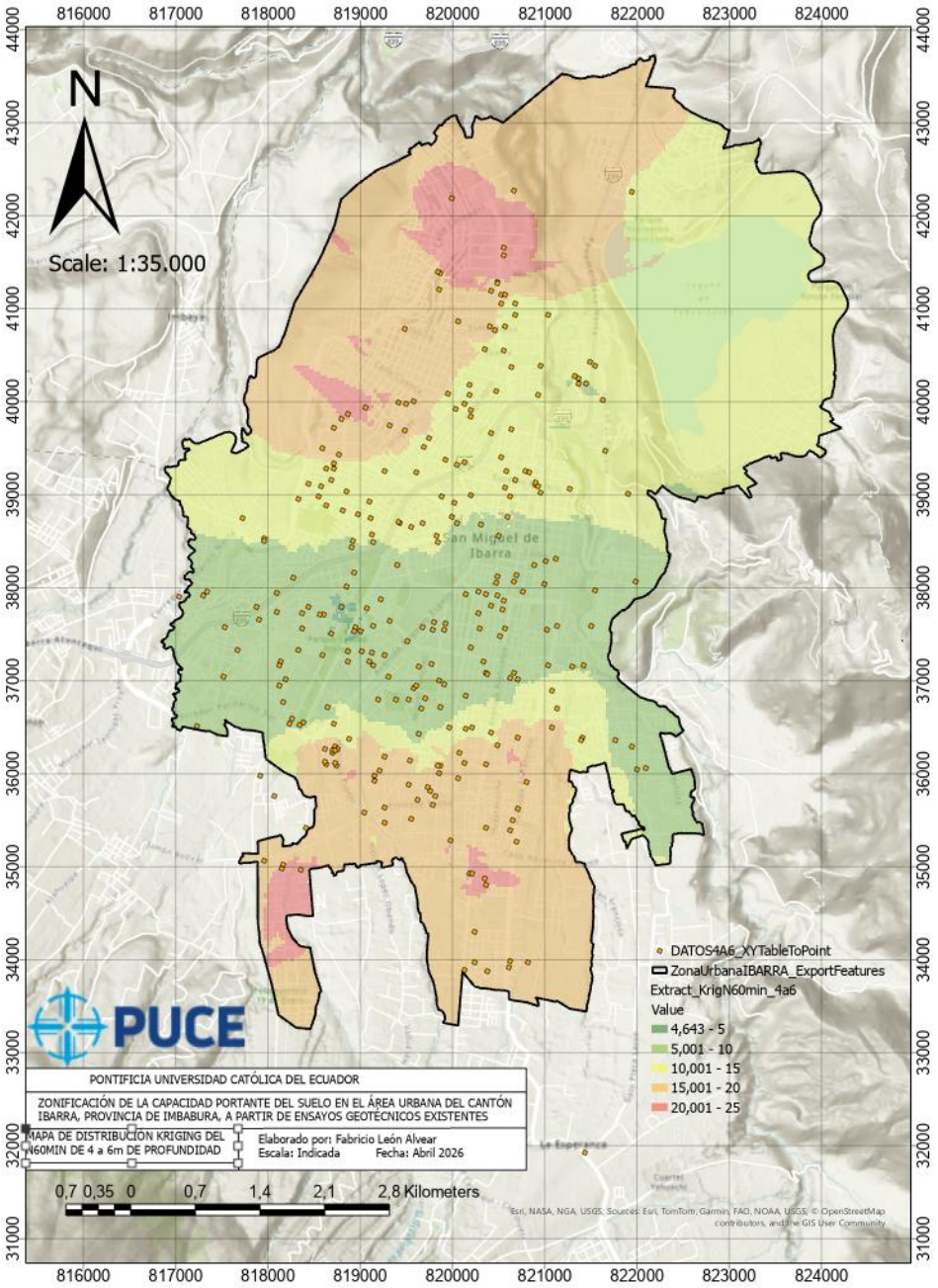


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 11

Mapa de zonificación en valores de N60min de 4 a 6m de profundidad con el método de Kriging.



Fuente: Propia

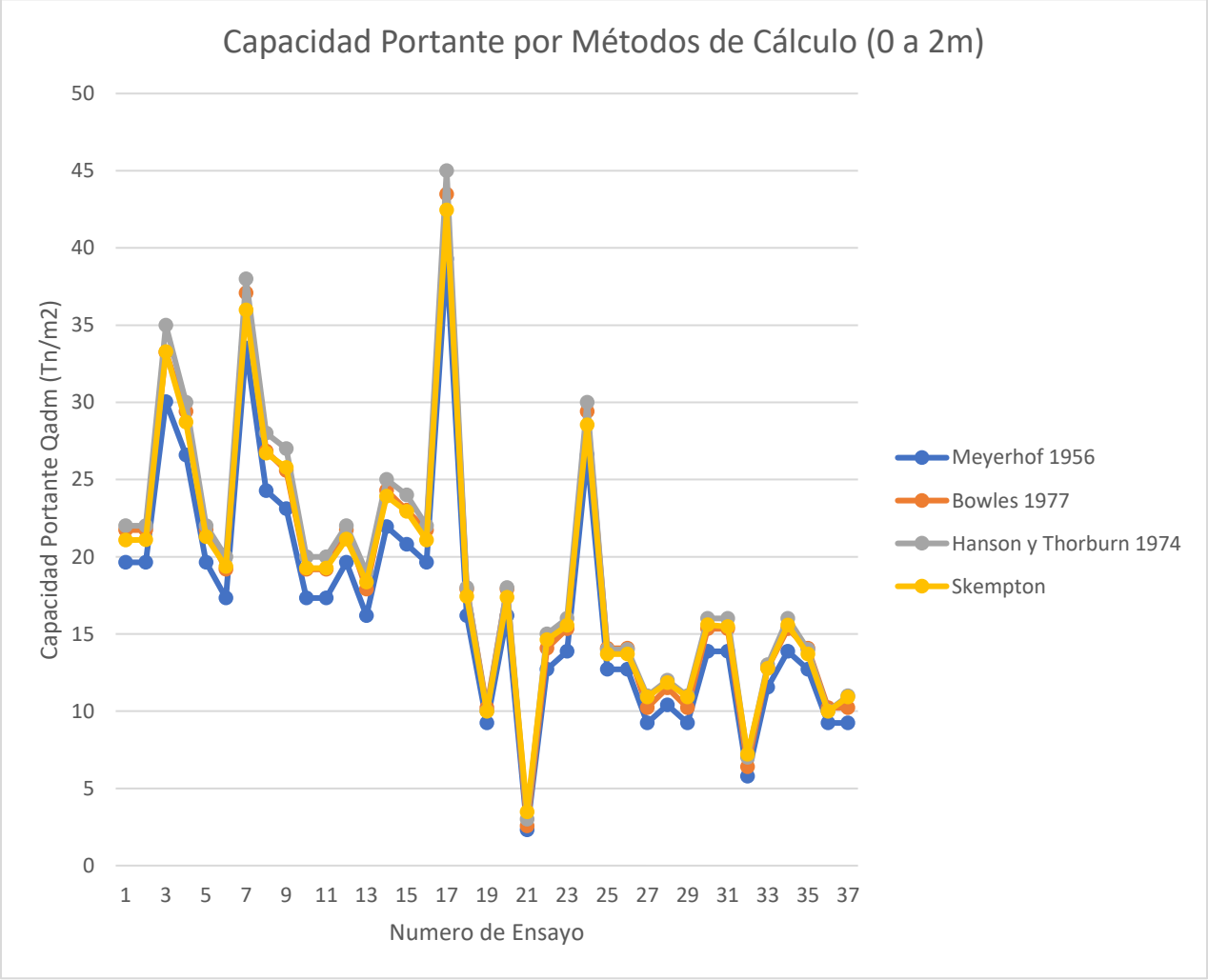
Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

5.4.Zonificación de la capacidad portante

A partir de los resultados obtenidos mediante los valores de N60 se interpreta que se puede establecer rangos preliminares de la capacidad portante del estrato analizado. Por lo que se presenta un resumen comparativo de los valores obtenidos de acuerdo con cada método de Cálculo:

Ilustración 12

Gráfico comparativo de Los métodos de cálculo para el Qadm de 0 a 2m de profundidad



Fuente: Propia

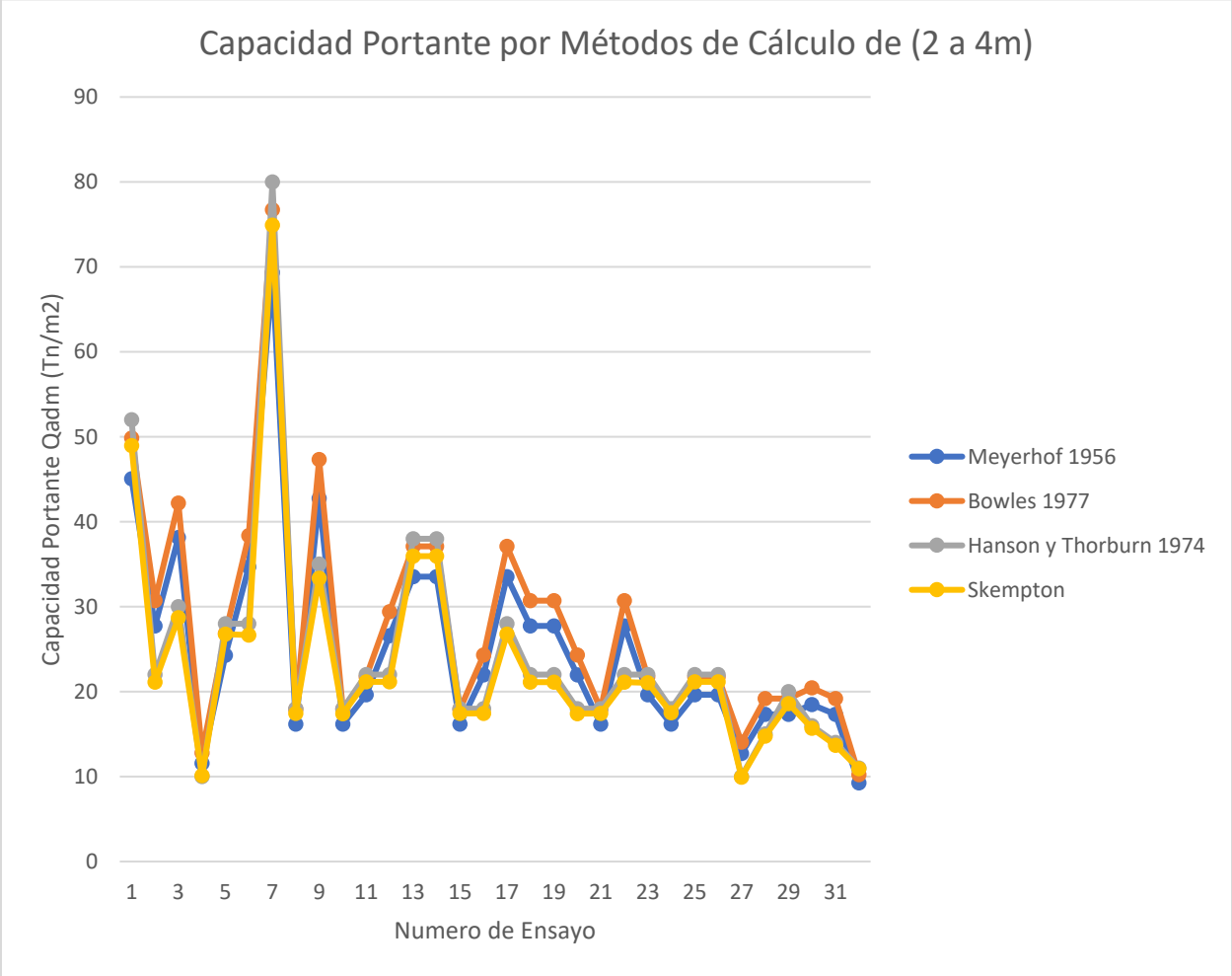
Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Los resultados del análisis gráfico muestran que hay una tendencia general consistente entre los diferentes enfoques, como se puede ver en la forma de las curvas a lo largo del número de ensayos. Muestra que, por muy diferentes que sean los enfoques teóricos de cada formulación, todos los métodos responden de manera consistente a las variaciones en el parámetro N60, que también se demostró que representa el comportamiento del subsuelo en el intervalo estudiado. Sin embargo, también son evidentes las diferencias en la magnitud de los valores estimados, ya que el modelo de Hansen y Thorburn (1974) tiende a producir los valores de capacidad de carga más altos, mientras que Meyerhof (1956) es más conservador. Los resultados de los métodos de Bowles (1977) y Skempton son intermedios con una similitud relativamente cercana entre sí. Las capacidades de carga entre los ensayos fluctúan bien y varían de aproximadamente 3 a 45 Tn/m², lo que indica la heterogeneidad del subsuelo en el rango superficial. Se detectan picos de capacidad de carga más altos, correspondientes a estratos más competentes y más pequeños, posiblemente indicativos de material más compresible o menor resistencia.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 13

Gráfico comparativo de Los métodos de cálculo para el Qadm de 2 a 4m de profundidad



Fuente: Propia

Los datos del gráfico indican que los diferentes métodos tienen una tendencia general similar de variaciones de valores, lo que indica que todos tienen la misma respuesta a las condiciones del subsuelo representadas como el parámetro N60. La consistencia de la curvatura permite que estos métodos sean validados como herramientas comparativas para estimar la

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

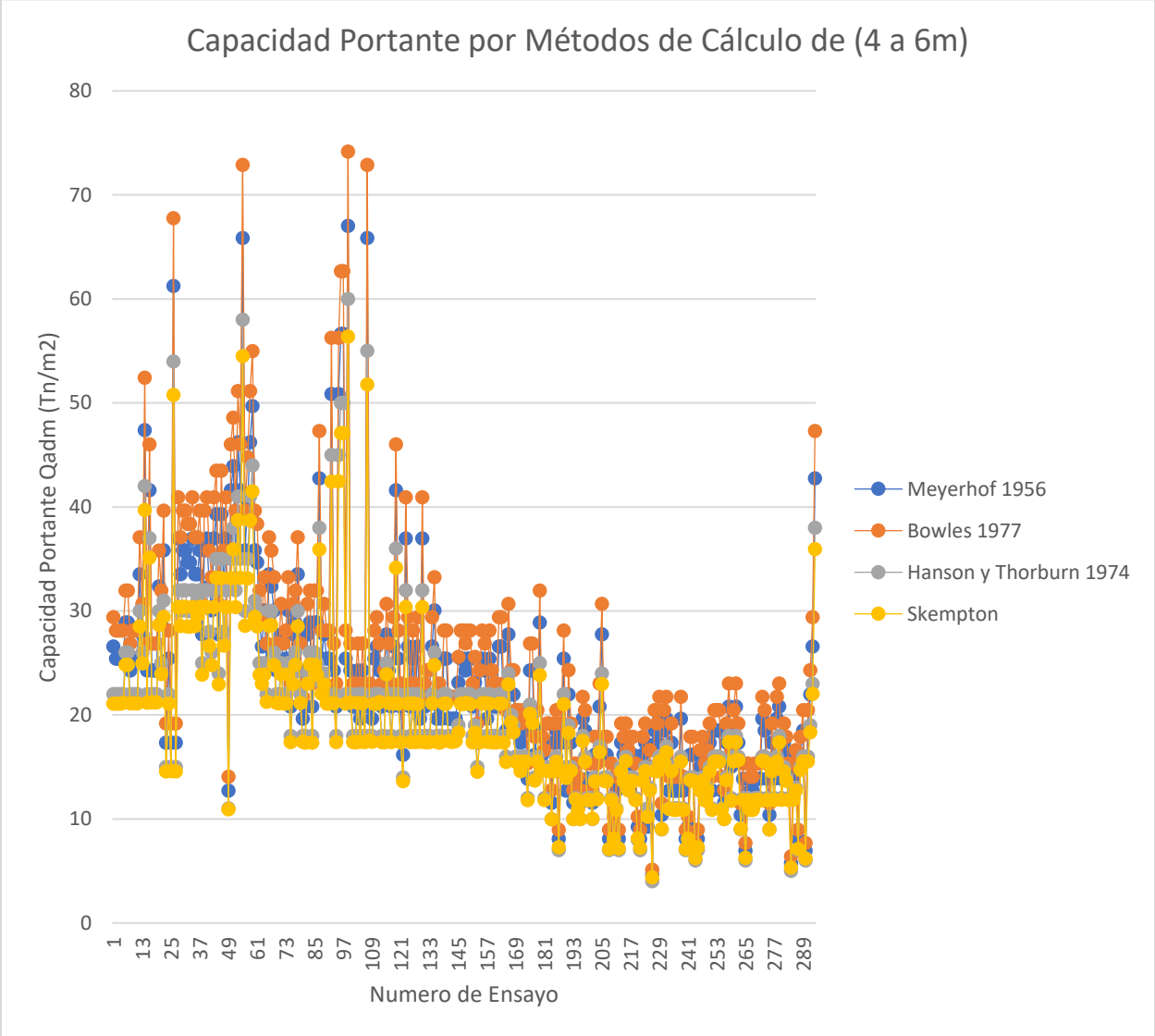
capacidad de carga. Sin embargo, en este intervalo de profundidad, los resultados de nivel están más dispersos y la comparación con el rango de superficie (0–2 m) muestra que tanto los valores altos como bajos están presentes en la misma prueba.

Específicamente, los valores máximos casi se alcanzan alrededor de 80 Tn/m², correspondientes a capas de mayor resistencia o compacidad, mientras que los valores mínimos han caído a alrededor de 10 Tn/m², lo que implica la presencia de materiales con baja capacidad de carga. Con respecto a la comparación entre métodos, los resultados siguen siendo similares como se vio en el punto de partida: el método de Hansen y Thorburn (1974) arroja los valores más altos, mientras que el de Meyerhof (1956) tiene estimaciones más bajas. El método de Bowles (1977) y el de Skempton proporcionan resultados intermedios y son aproximadamente iguales entre sí. La alta variabilidad identificada en este intervalo sugiere la existencia de heterogeneidad geotécnica en el subsuelo, ya sea por estratigrafía, variaciones granulométricas o diferencias en el contenido de finos en los diferentes puntos. Esto indica que el comportamiento del suelo no es uniforme con la profundidad, sino que depende de las capas intercaladas y la variación en las propiedades mecánicas. Como resultado, nuestros resultados para el intervalo de 2 a 4 m apoyan la necesidad de abordar la variabilidad del terreno al determinar estimaciones razonables de capacidad de carga, especialmente en una etapa temprana de diseño cuando los rangos adecuados son importantes para garantizar que las cimentaciones sean seguras y eficientes.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 14

Gráfico comparativo de Los métodos de cálculo para el Qadm de 4 a 6m de profundidad



Fuente: Propia

Este rango de profundidad muestra una densidad de información mucho más alta en comparación con los intervalos anteriores, lo que lleva a una representación más densa y efectiva del comportamiento del subsuelo en el área de investigación. En general, los resultados indican

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

una tendencia relativamente predecible entre los diversos métodos de cálculo, como se observa en las distribuciones y propiedades muy similares en las curvas, lo que refleja que la estimación de la capacidad de carga se mantiene a partir de los valores de N60.

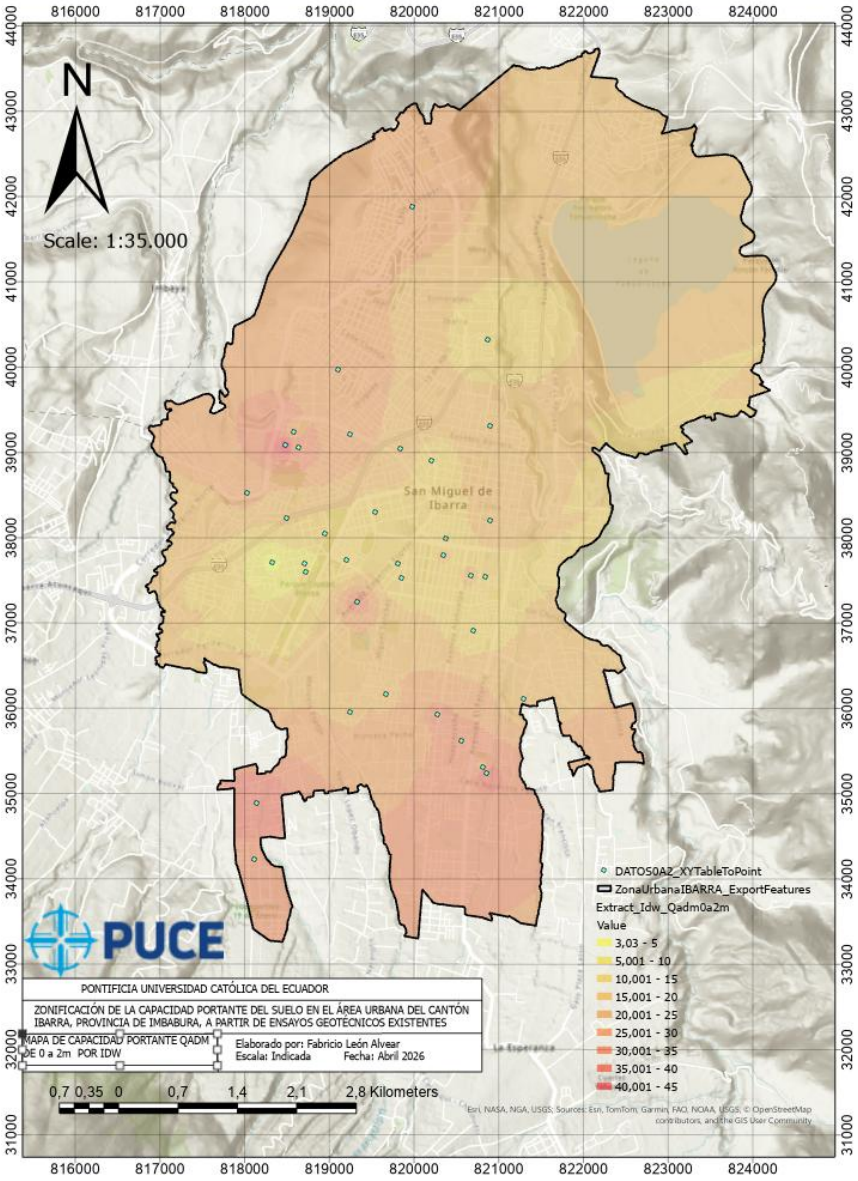
Los valores de Qadm están bastante dispersos desde el punto de vista cuantitativo; pertenecen aproximadamente entre 5 y 75 Tn/m². Sin embargo, a diferencia de las distancias de 2 a 4 m, hay una concentración predominante de valores en los rangos medios, cerca de 15 a 35 Tn/m², lo que sugiere que bajo estas condiciones el subsuelo se comporta de manera más homogénea. Notablemente, la mayor capacidad de carga se observa en los registros iniciales del conjunto, pero hacia el final del gráfico la capacidad de carga tiende a estabilizarse en rangos más bajos. Esta distribución podría estar relacionada con la variación espacial en las condiciones del suelo o la variabilidad intrínseca de los perfiles estratigráficos estudiados en este análisis. En términos de comparaciones entre métodos, las tendencias establecidas por esos intervalos anteriores se mantuvieron como se esperaba: Bowles (1977) generalmente tiene los valores más frecuentes en diferentes puntos, luego Hansen y Thorburn (1974), luego Meyerhof (1956) y Skempton tienen una estimación conservadora/intermedia. A pesar de las diferencias entre métodos, la tendencia general del rendimiento del suelo no cambia. Desde un punto de vista geotécnico, este intervalo ha dado una impresión estadística más representativa del comportamiento del subsuelo, considerando que hay un número significativo de pruebas que resultan en una caracterización más confiable de los rangos de capacidad de carga. En consecuencia, este análisis del rango de 4 a 6 m es la base principal para la zonificación geotécnica recomendada en la investigación. Como resultado, los resultados en este intervalo son más

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

apropiados para definir rangos preliminares de capacidad de carga con un mayor grado de certeza, particularmente para el diseño geotécnico preliminar de cimentaciones en el área urbana de Ibarra.

Ilustración 15

Mapa de zonificación en valores de Capacidad Portante de 0 a 2m con el método de IDW.

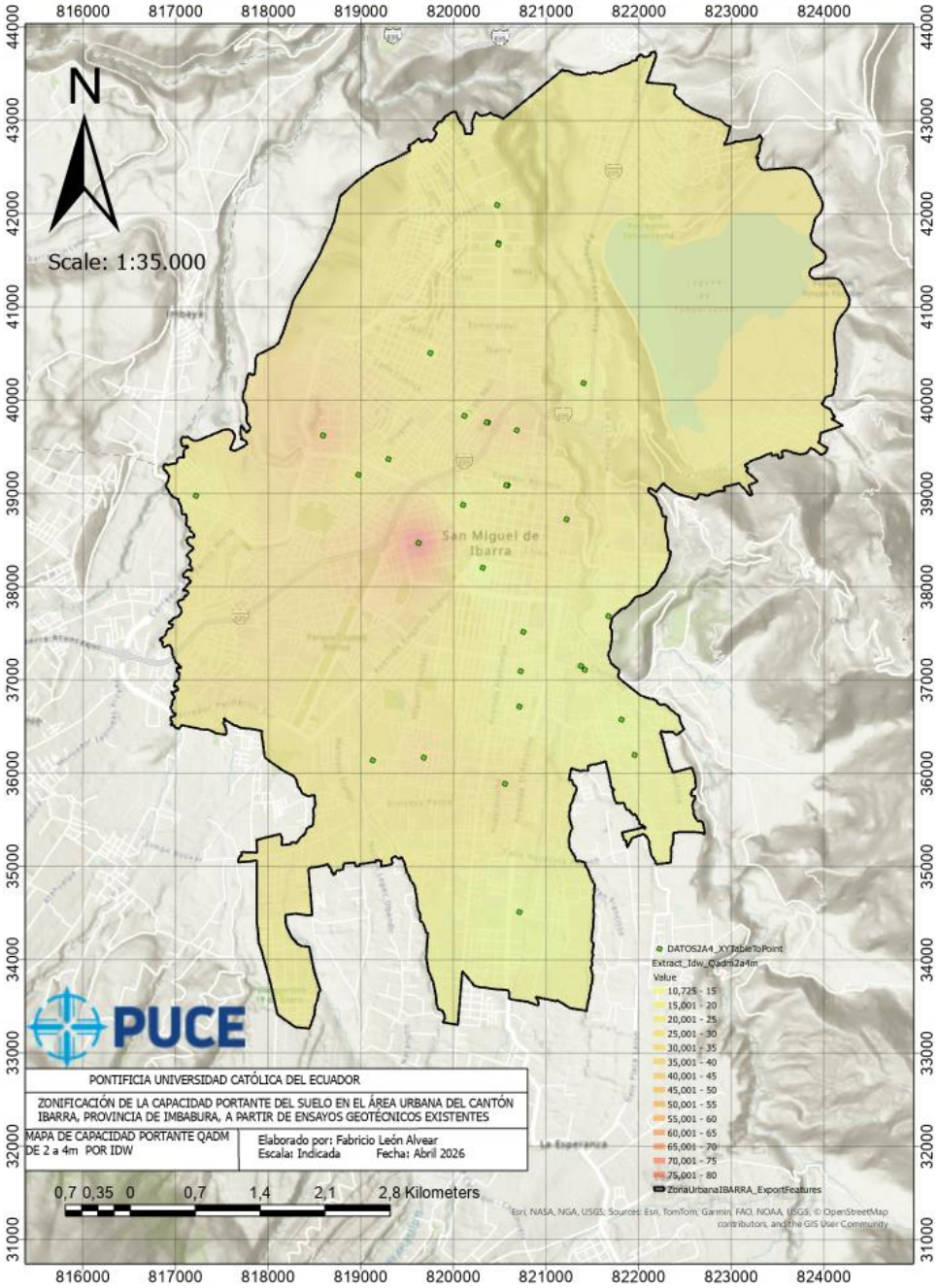


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 16

Mapa de zonificación en valores de Capacidad Portante de 2 a 4m con el método de IDW.

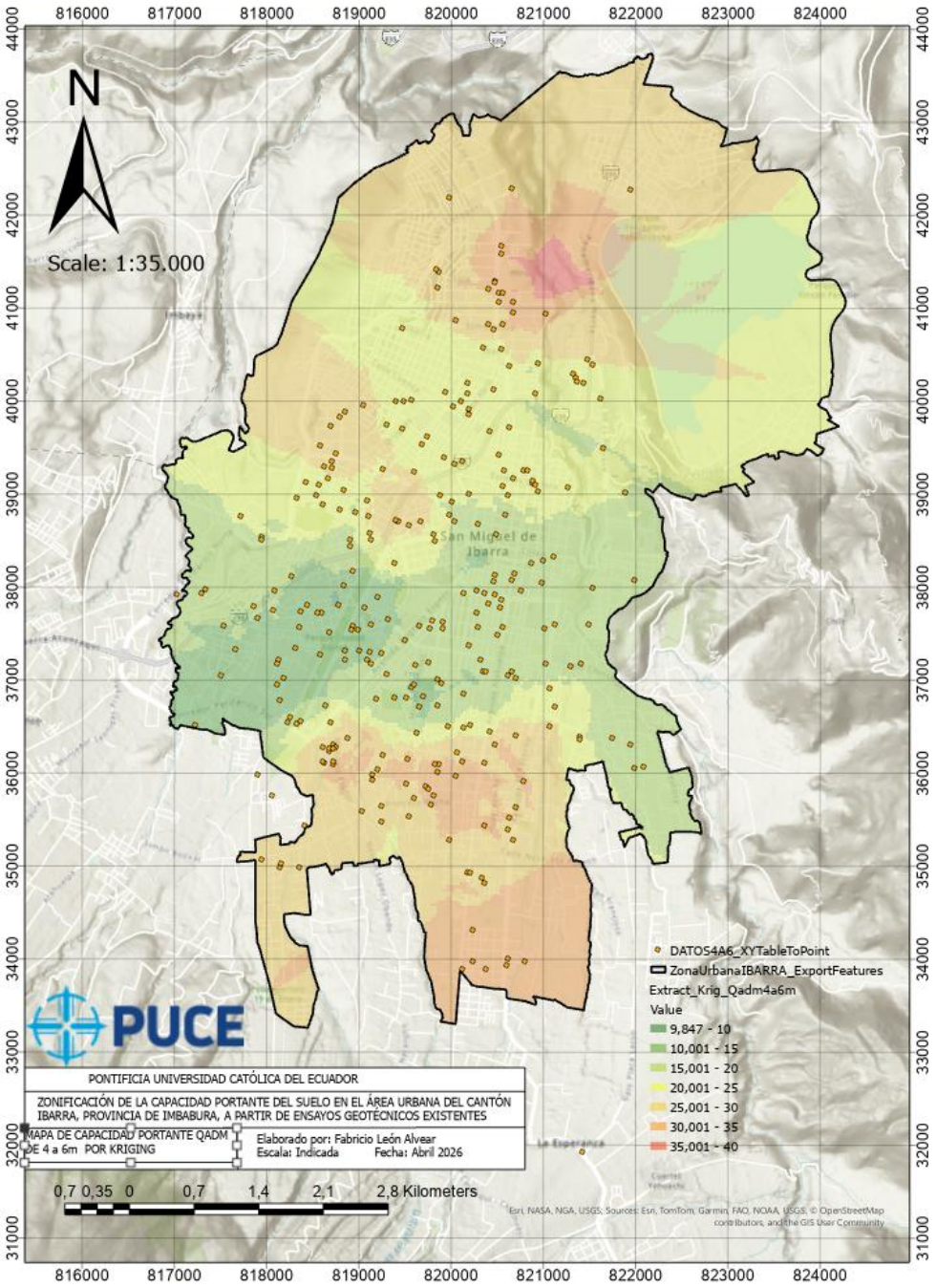


Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Ilustración 17

Mapa de zonificación en valores de Capacidad Portante de 4 a 6m con el método de kriging.



Fuente: Propia

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

- Consolidación de la base de datos: Se recopiló, depuró y estructuró una base de datos geotécnica a partir de 534 informes técnicos presentados en el CICI. De este total, 436 estudios fueron validados mediante georreferenciación, conformando una muestra representativa para el análisis del comportamiento y la distribución del subsuelo en la zona urbana del cantón Ibarra.
- Análisis por estratos y representatividad de N60: El análisis de la capacidad portante en los intervalos de 0–2 m, 2–4 m y 4–6 m reveló una tendencia consistente en todos los métodos evaluados, lo que justifica la selección del N60 como parámetro representativo del suelo. Se identificó una alta variabilidad y heterogeneidad geotécnica, especialmente en el rango de 2–4 m. Por el contrario, el intervalo de 4–6 m (que concentra la mayor densidad de datos) mostró un comportamiento más estable, estableciéndose como la referencia principal para la zonificación y el diseño geotécnico preliminar.
- Influencia de la litología en la capacidad portante: Se determinó que la variabilidad de la capacidad portante en el área urbana de Ibarra está estrechamente ligada a la presencia de suelos tipo SM (arena limosa), GM (grava limosa) y ML (limo de baja plasticidad). Los suelos granulares (SM y GM) presentaron mejores propiedades mecánicas y una mayor resistencia a la penetración, mientras que los suelos finos (ML) exhibieron una menor resistencia y una fluctuación más marcada, lo que incide directamente en el comportamiento de las cimentaciones.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

- Caracterización estadística del N60: Los valores de N60 permitieron identificar un promedio estadístico situado entre los 18 y 25 golpes, lo que indica un predominio de suelos de compacidad media. La dispersión observada responde a la heterogeneidad natural de los depósitos volcánicos y aluviales característicos de la zona de estudio.
- Modelado geoespacial: La integración de información geográfica permitió transformar datos puntuales en modelos espaciales que evidencian la variabilidad del subsuelo. Para ello, se emplearon dos metodologías ajustadas a la naturaleza de los datos: Kriging para el análisis de variables continuas (N60) y Polígonos de Thiessen para variables categóricas (clasificación SUCS).
- Zonificación y aporte técnico: La zonificación de la capacidad portante se fundamentó en la correlación entre el N60 y la resistencia del suelo, categorizando el área urbana en zonas de capacidad alta, media y baja. Estos mapas constituyen un aporte técnico clave para la identificación de sectores críticos y sienta las bases para futuras actualizaciones conforme se incorpore nueva información a la base de datos.

CAPÍTULO VII

7. RECOMENDACIONES

- Alcance y Limitaciones: Se recomienda emplear los resultados de esta investigación como una referencia preliminar para el diseño geotécnico de cimentaciones en la zona urbana del cantón. No obstante, es imperativo subrayar que esta información no sustituye

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

la obligatoriedad de realizar estudios de mecánica de suelos específicos y detallados para cada proyecto individual.

- Protocolo en Suelos Críticos: En los sectores identificados con baja capacidad portante o valores de N60 reducidos, se sugiere la ejecución de exploraciones geotécnicas exhaustivas. Estas deberán evaluar la factibilidad de implementar técnicas de mejoramiento del terreno o, en su defecto, el diseño de sistemas de cimentación profunda.
- Gestión de la Información Interinstitucional: Se recomienda que organismos como el GAD Municipal de Ibarra y el Colegio de Ingenieros Civiles de Imbabura (CICI) fomenten la expansión y actualización continua de esta base de datos. El incremento de la densidad del muestreo permitirá obtener una caracterización más precisa del subsuelo y de los estratos profundos no cubiertos en el presente análisis.
- Prospectiva y Complementariedad: Es fundamental ampliar el alcance de la investigación mediante la incorporación de ensayos adicionales, tales como pruebas de penetración de cono (CPT) y perforaciones a mayor profundidad. Esto permitirá determinar parámetros críticos de deformabilidad y asentamientos, además de sentar las bases para el desarrollo de una microzonificación sísmica integral para la ciudad.

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

8. BIBLIOGRAFÍA

(CICI), C. d. (5 de Mayo de 2025). Archivo historico de informes geotécnicos del cantón Ibarra [Base de datos no publicada]. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

(FHWA), F. H. (2024). *Geotechnical engineering circular.*

(MIDUVI), M. d. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GC: Geotecnia y Cimentaciones.* Quito.

Al-Mamoori, Al-Hameedawi, & Al-Marsoumi. (2021). Spatial modeling of geotechnical properties using GIS techniques. Environmental Earth Sciences. 1-15.

ASTM. (2017). *ASTM D2487 - Standard Practice for Classification of Soils (Unified Soil Classification System.*

ASTM D2487. (2017). *ASTM D2487 – Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System).*

Bowles, J. (1997). *Foundation analysis and design.*

Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design (5th ed.). McGraw-Hill.*

Das, B. M. (1983). *Principles of Geotechnical Engineering.*

Hansen, J. (1970). *A revised and extended formula for bearing capacity. Danish Geotechnical Institute Bulletin, No. 28.*

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Hanson, J. B., & Thorburn, S. (1974). *Foundation engineering for difficult subsoil conditions. Van Nostrand Reinhold.*

Ishibashi, I., & Hazarika, H. (2015). *Soil dynamics and earthquake engineering. CRC Press.*

Meyerhof, G. (1951). he ultimate bearing capacity of foundations. Géotechnique.

Meyerhof, G. G. (1956). *enetration tests and bearing capacity of cohesionless soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 82(SM1).*

Pantelidis, & Meddah. (s.f.). *mproved bearing capacity equations for shallow foundations considering load inclination and eccentricity.* Obtenido de https://doi.org/10.3390/app14031234

Skempton, A. W. (1951). *he bearing capacity of clays. Proceedings of the Building Research Congress, London.*

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical soil mechanics. John Wiley & Sons.*

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1966). *Soil Mechanics in Engineering Practice (3rd ed.).*

Vega Bastidas, E. (2025). *Zonificación geotécnica del área urbana del cantón Salinas – provincia de Santa Elena.*

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

9. ANEXOS

Resultados de Capacidad Portante

#	ID	Meyerhof 1956	Bowles 1977	Hanson y Thorburn 1974	Skempton	Promedio	ϕ (grados)	C'(Tn/m2)
		Tn/m2	Tn/m3	Tn/m4	Tn/m5	Tn/m5		
1	001-AL-170521	26,58	29,41	22,00	21,09	24,17	34,00	9,88
2	002-AL-220319	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
3	003-AL-230322	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
4	004-AL-260220	15,02	16,62	14,00	13,67	14,76	31,00	6,29
5	005-AL-040821	19,65	21,74	22,00	21,09	21,61	32,00	9,88
6	006-AL-090119	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
7	007-AL-050521	25,42	28,13	22,00	21,16	23,76	33,00	9,88
8	008-AL-130922	45,07	49,87	52,00	48,98	50,28	38,00	23,35
9	009-AL-180322	27,73	30,69	22,00	21,11	24,60	34,00	9,88
10	010-AL-190922	28,89	31,97	26,00	24,83	27,60	34,00	11,67
11	011-AL-211222	28,89	31,97	26,00	24,83	27,60	34,00	11,67
12	012-AL-200121	24,27	26,85	22,00	21,11	23,32	33,00	9,88
13	013-AL-010921	19,65	21,74	22,00	21,10	21,61	32,00	9,88
14	014-AL-201118	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74	33,00	9,88
15	015-AL-200220	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74	33,00	9,88
16	017-AL-300919	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74	33,00	9,88
17	018-AL-190422	33,51	37,08	30,00	28,53	31,87	35,00	13,47
18	019-AL-091222	27,73	30,69	26,00	24,95	27,21	34,00	11,67
19	020-AL-190522	47,38	52,43	42,00	39,70	44,71	38,00	18,86
20	021-CA-010922	24,27	26,85	22,00	21,16	23,34	33,00	9,88
21	023-CA-250521	41,60	46,03	37,00	35,13	39,39	37,00	16,61
22	024-CA-150421	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36	33,00	9,88
23	025-CA-300519	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36	33,00	9,88
24	026-CA-290419	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36	33,00	9,88
25	027-CA-131219	30,05	33,25	35,00	33,28	33,84	35,00	15,71
26	028-CA-290719	32,36	35,80	30,00	28,66	31,49	35,00	13,47
27	029-CA-310521	28,89	31,97	25,00	23,92	26,96	34,00	11,22
28	034-CA-180619	38,14	42,20	30,00	28,71	33,64	36,00	13,47
29	035-CA-190421	26,58	29,41	30,00	28,71	29,37	34,00	13,47
30	036-CA-210720	46,22	51,15	45,00	42,46	46,20	38,00	20,20
31	037-CA-240120	52,00	57,54	50,00	47,07	51,54	40,00	22,45
32	039-CA-090622	35,82	39,64	31,00	29,43	33,36	36,00	13,92
33	040-CA-100720	11,56	12,79	10,00	10,10	10,96	30,00	4,49
34	042-CA-140521	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
35	043-CA-310120	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
36	045-CA-280220	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26	31,00	6,73
37	046-CA-270718	61,25	67,77	54,00	50,78	57,52	41,00	24,24
38	049-CA-051219	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
39	054-CA-040722	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
40	055-CA-231219	24,27	26,85	22,00	21,07	23,31	33,00	9,88
41	056-CA-290120	32,36	35,80	32,00	30,39	32,73	35,00	14,37
42	057-CA-040718	33,51	37,08	30,00	28,54	31,87	35,00	13,47
43	059-CA-010719	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48	38,00	19,31
44	060-CA-210918	35,82	39,64	32,00	30,39	34,01	36,00	14,37

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

45	061-CA-100918	35,82	39,64	32,00	30,41	34,02	36,00	14,37
46	063-CA-280619	34,67	38,36	30,00	28,50	32,29	36,00	13,47
47	064-CA-180719	34,67	38,36	30,00	28,50	32,29	36,00	13,47
48	066-CA-271021	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
49	067-CA-170818	33,51	37,08	30,00	28,54	31,87	35,00	13,47
50	068-CA-191121	33,51	37,08	31,00	29,56	32,55	35,00	13,92
51	070-CA-240222	35,82	39,64	32,00	30,38	34,01	36,00	14,37
52	073-CA-141022	27,73	30,69	25,00	23,89	26,53	34,00	11,22
53	074-CA-120422	19,65	21,74	22,00	21,29	21,68	32,00	9,88
54	075-CA-160222	35,82	39,64	32,00	30,38	34,01	36,00	14,37
55	076-CA-181022	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
56	077-CA-301718	32,36	35,80	28,00	26,64	30,15	35,00	12,57
57	078-CA-020719	30,05	33,25	26,00	24,79	28,01	35,00	11,67
58	079-CA-031019	17,33	19,18	20,00	19,36	19,51	31,00	8,98
59	080-CA-180917	24,27	26,85	28,00	26,77	27,21	33,00	12,57
60	081-CA-021221	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
61	082-CA-101122	39,29	43,47	35,00	33,17	37,22	37,00	15,71
62	083-CA-210720	27,73	30,69	24,00	22,94	25,88	34,00	10,78
63	084-CA-170419	39,29	43,47	35,00	33,15	37,21	37,00	15,71
64	088-CA-300118	32,36	35,80	28,00	26,66	30,15	35,00	12,57
65	089-CA-050419	36,98	40,92	32,00	30,35	34,42	36,00	14,37
66	091-CA-090418	12,71	14,07	11,00	10,93	12,00	30,00	4,94
67	092-CA-041120	41,60	46,03	35,00	33,15	38,06	37,00	15,71
68	093-CA-290920	43,91	48,59	38,00	35,91	40,83	38,00	17,06
69	095-CA-291018	35,82	39,64	32,00	30,37	34,00	36,00	14,37
70	097-CA-130319	46,22	51,15	41,00	38,74	43,63	38,00	18,41
71	098-CA-081122	33,51	37,08	38,00	35,98	37,02	35,00	17,06
72	099-CA-210121	41,60	46,03	35,00	33,17	38,07	37,00	15,71
73	103-CA-080421	65,87	72,88	58,00	54,49	61,79	42,00	26,04
74	104-CA-130617	35,82	39,64	30,00	28,58	32,74	36,00	13,47
75	107-CA-260521	40,45	44,75	35,00	33,14	37,63	37,00	15,71
76	109-CA-110321	24,27	26,85	28,00	26,71	27,19	33,00	12,57
77	111-CA-040722	46,22	51,15	41,00	38,71	43,62	38,00	18,41
78	112-CA-150322	49,69	54,98	44,00	41,49	46,83	39,00	19,76
79	113-CA-201022	35,82	39,64	31,00	29,43	33,36	36,00	13,92
80	116-CA-181220	23,11	25,57	27,00	25,78	26,12	33,00	12,12
81	117-CA-080518	62,40	69,05	60,00	56,37	61,81	42,00	26,94
82	118-CA-050618	34,67	38,36	30,00	28,50	32,29	36,00	13,47
83	120-CA-040322	34,67	38,36	28,00	26,66	31,01	36,00	12,57
84	123-CA-190321	28,89	31,97	25,00	23,86	26,94	34,00	11,22
85	124-CA-170120	26,58	29,41	24,00	22,99	25,47	34,00	10,78
86	126-CA-280119	30,05	33,25	25,00	23,89	27,38	35,00	11,22
87	127-CA-110321	24,27	26,85	22,00	21,26	23,37	33,00	9,88
88	128-CA-180118	33,51	37,08	30,00	28,56	31,88	35,00	13,47
89	129-CA-300822	32,36	35,80	30,00	28,64	31,48	35,00	13,47
90	130-CA-211021	30,05	33,25	26,00	24,78	28,01	35,00	11,67
91	131-CA-280122	24,27	26,85	22,00	21,16	23,34	33,00	9,88
92	133-CA-230519	46,22	51,15	45,00	42,46	46,20	38,00	20,20
93	135-CA-140817	42,76	47,31	40,00	37,79	41,70	37,00	17,96
94	136-CA-240717	24,27	26,85	22,00	21,11	23,32	33,00	9,88

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

95	137-CA-140319	49,69	54,98	48,00	45,21	49,40	39,00	21,55
96	140-CA-220221	27,73	30,69	25,00	23,89	26,53	34,00	11,22
97	141-CA-250722	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
98	142-CA-160819	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48	38,00	19,31
99	143-CA-230719	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48	38,00	19,31
100	144-CA-300519	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48	38,00	19,31
101	145-CA-030620	45,07	49,87	43,00	40,57	44,48	38,00	19,31
102	146-CA-100419	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
103	149-CA-291018	69,34	76,72	80,00	74,91	77,21	43,00	35,92
104	150-CA-171220	30,05	33,25	25,00	23,87	27,37	35,00	11,22
105	152-CA-010822	20,80	23,02	18,00	17,40	19,47	32,00	8,08
106	153-CA-300818	27,73	30,69	24,00	22,97	25,89	34,00	10,78
107	154-CA-070217	76,27	84,39	75,00	70,27	76,55	45,00	33,67
108	155-CA-310522	28,89	31,97	26,00	24,82	27,59	34,00	11,67
109	156-CA-050521	33,51	37,08	30,00	28,53	31,87	35,00	13,47
110	158-CA-020320	17,33	19,18	20,00	19,26	19,48	31,00	8,98
111	159-CA-310321	17,33	19,18	20,00	19,26	19,48	31,00	8,98
112	160-CA-170822	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
113	161-CA-210120	17,33	19,18	17,00	16,50	17,56	31,00	7,63
114	162-CA-030619	47,38	52,43	45,00	42,43	46,62	38,00	20,20
115	163-CA-290819	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
116	164-CA-131119	18,49	20,46	18,00	17,38	18,61	32,00	8,08
117	167-PR-310119	20,80	23,02	18,00	17,33	19,45	32,00	8,08
118	172-SA-280721	27,73	30,69	24,00	22,99	25,89	34,00	10,78
119	173-SA-180821	28,89	31,97	26,00	24,85	27,61	34,00	11,67
120	174-SA-160921	20,80	23,02	18,00	17,33	19,45	32,00	8,08
121	175-SA-051219	28,89	31,97	26,00	24,83	27,60	34,00	11,67
122	176-SA-150922	28,89	31,97	25,00	23,86	26,94	34,00	11,22
123	177-SA-011221	42,76	47,31	38,00	35,92	40,41	37,00	17,06
124	178-SA-310718	25,42	28,13	23,00	22,04	24,39	33,00	10,33
125	179-SA-050821	27,73	30,69	24,00	22,93	25,87	34,00	10,78
126	180-SA-080217	16,18	17,90	18,00	17,43	17,78	31,00	8,08
127	182-SA-160117	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
128	183-SA-290822	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
129	184-SA-190819	50,85	56,26	45,00	42,43	47,90	39,00	20,20
130	185-SA-160620	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
131	186-SA-260219	20,80	23,02	18,00	17,38	19,46	32,00	8,08
132	187-SA-220419	50,85	56,26	45,00	42,46	47,91	39,00	20,20
133	188-SA-111219	20,80	23,02	22,00	21,14	22,05	32,00	9,88
134	189-SA-171019	19,65	21,74	22,00	21,14	21,63	32,00	9,88
135	190-SA-160218	56,63	62,66	50,00	47,09	53,25	41,00	22,45
136	191-SA-030717	56,63	62,66	50,00	47,09	53,25	41,00	22,45
137	192-SA-110419	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
138	193-SA-210618	67,03	74,16	60,00	56,37	63,51	43,00	26,94
139	196-SA-240717	24,27	26,85	22,00	21,21	23,36	33,00	9,88
140	197-SA-260917	42,76	47,31	35,00	33,34	38,55	37,00	15,71
141	198-SA-040719	17,33	19,18	18,00	17,45	18,21	31,00	8,08
142	199-SA-241018	20,80	23,02	18,00	17,39	19,47	32,00	8,08
143	200-SA-110219	25,42	28,13	23,00	22,02	24,38	33,00	10,33
144	201-SA-270120	20,80	23,02	18,00	17,36	19,46	32,00	8,08

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

145	202-SA-080617	16,18	17,90	18,00	17,40	17,77	31,00	8,08
146	203-SA-180121	19,65	21,74	22,00	21,14	21,63	32,00	9,88
147	204-SA-070319	26,58	29,41	22,00	21,14	24,18	34,00	9,88
148	205-SA-290922	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
149	206-SA-070120	30,05	33,25	33,00	31,32	32,52	35,00	14,82
150	207-SA-220218	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
151	208-SA-190719	24,27	26,85	22,00	21,11	23,32	33,00	9,88
152	209-SA-130318	20,80	23,02	18,00	17,38	19,46	32,00	8,08
153	210-SA-060218	23,11	25,57	22,00	21,11	22,90	33,00	9,88
154	211-SA-100322	65,87	72,88	55,00	51,76	59,88	42,00	24,69
155	212-SA-290822	19,65	21,74	22,00	21,08	21,61	32,00	9,88
156	213-SA-020320	20,80	23,02	18,00	17,53	19,51	32,00	8,08
157	214-SA-290718	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
158	215-SA-190117	15,02	16,62	18,00	17,43	17,35	31,00	8,08
159	216-SA-190918	25,42	28,13	22,00	21,07	23,73	33,00	9,88
160	217-SA-180419	26,58	29,41	22,00	21,08	24,16	34,00	9,88
161	219-SA-070917	24,27	26,85	22,00	21,22	23,36	33,00	9,88
162	220-SA-070920	20,80	23,02	18,00	17,40	19,47	32,00	8,08
163	221-SA-121018	21,96	24,29	18,00	17,36	19,89	33,00	8,08
164	222-SA-180919	27,73	30,69	25,00	23,90	26,53	34,00	11,22
165	223-SA-120919	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
166	224-SA-230518	20,80	23,02	18,00	17,40	19,47	32,00	8,08
167	227-SA-070621	26,58	29,41	22,00	21,10	24,17	34,00	9,88
168	228-SA-200521	41,60	46,03	36,00	34,15	38,73	37,00	16,16
169	229-SA-041217	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
170	230-SA-240818	20,80	23,02	18,00	17,36	19,46	32,00	8,08
171	232-SA-300522	8,09	8,95	8,00	8,05	8,33	29,00	3,59
172	233-SA-101122	16,18	17,90	14,00	13,63	15,18	31,00	6,29
173	234-SA-280922	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
174	235-SA-260221	26,58	29,41	22,00	21,08	24,16	34,00	9,88
175	236-SA-270820	20,80	23,02	18,00	17,38	19,46	32,00	8,08
176	237-SA-040821	33,51	37,08	38,00	35,93	37,01	35,00	17,06
177	238-SA-010222	33,51	37,08	38,00	35,93	37,01	35,00	17,06
178	240-SA-290317	16,18	17,90	18,00	17,43	17,78	31,00	8,08
179	241-SA-110822	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74	33,00	9,88
180	242-SA-200921	26,58	29,41	28,00	26,65	28,02	34,00	12,57
181	243-SA-241122	20,80	23,02	18,00	17,40	19,47	32,00	8,08
182	244-SA-201219	21,96	24,29	18,00	17,43	19,91	33,00	8,08
183	245-SA-200919	26,58	29,41	22,00	21,04	24,15	34,00	9,88
184	247-SA-140720	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
185	248-SA-050922	11,56	12,79	14,00	13,69	13,49	30,00	6,29
186	249-SA-180722	36,98	40,92	32,00	30,36	34,43	36,00	14,37
187	250-SA-270418	20,80	23,02	18,00	17,38	19,46	32,00	8,08
188	251-SA-160622	23,11	25,57	22,00	21,09	22,89	33,00	9,88
189	252-SA-120521	33,51	37,08	28,00	26,78	30,62	35,00	12,57
190	253-SA-290719	21,96	24,29	18,00	17,36	19,89	33,00	8,08
191	254-SA-290622	21,96	24,29	18,00	17,38	19,89	33,00	8,08
192	256-SA-240720	26,58	29,41	22,00	21,10	24,17	34,00	9,88
193	257-SA-270521	27,73	30,69	22,00	21,11	24,60	34,00	9,88
194	258-SA-050622	30,05	33,25	26,00	24,79	28,01	35,00	11,67

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

195	259-SA-261118	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
196	260-SA-160719	20,80	23,02	18,00	17,33	19,45	32,00	8,08
197	261-SA-060417	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
198	262-SA-190422	25,42	28,13	22,00	21,08	23,74	33,00	9,88
199	263-SA-080321	25,42	28,13	22,00	21,08	23,74	33,00	9,88
200	264-SA-081122	19,65	21,74	18,00	17,50	19,08	32,00	8,08
201	265-SA-251119	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
202	266-SA-220822	27,73	30,69	22,00	21,11	24,60	34,00	9,88
203	267-SA-130820	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
204	268-SA-300720	16,18	17,90	19,00	18,35	18,42	31,00	8,53
205	269-SA-160621	19,65	21,74	18,00	17,50	19,08	32,00	8,08
206	270-SA-220822	21,96	24,29	18,00	17,40	19,90	33,00	8,08
207	271-SA-170221	23,11	25,57	19,00	18,30	20,96	33,00	8,53
208	272-SA-081019	25,42	28,13	22,00	21,09	23,74	33,00	9,88
209	274-SA-100117	16,18	17,90	18,00	17,43	17,78	31,00	8,08
210	275-SA-250719	25,42	28,13	22,00	21,04	23,72	33,00	9,88
211	276-SA-170919	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
212	277-SA-200619	27,73	30,69	22,00	21,11	24,60	34,00	9,88
213	278-SA-010722	21,96	24,29	25,00	23,92	24,41	33,00	11,22
214	280-SA-270722	25,42	28,13	22,00	21,10	23,74	33,00	9,88
215	281-SA-210421	25,42	28,13	22,00	21,04	23,72	33,00	9,88
216	282-SA-260819	20,80	23,02	19,00	18,32	20,11	32,00	8,53
217	283-SA-020819	19,65	21,74	22,00	21,04	21,59	32,00	9,88
218	284-SA-020718	20,80	23,02	18,00	17,36	19,46	32,00	8,08
219	285-SA-160721	23,11	25,57	19,00	18,29	20,96	33,00	8,53
220	286-SA-200617	17,33	19,18	15,00	14,54	16,24	31,00	6,73
221	287-SA-200821	15,02	16,62	18,00	17,40	17,34	31,00	8,08
222	288-SA-310718	23,11	25,57	22,00	21,09	22,89	33,00	9,88
223	289-SA-201218	20,80	23,02	24,00	22,94	23,32	32,00	10,78
224	290-SA-201219	21,96	24,29	18,00	17,36	19,89	33,00	8,08
225	292-SA-150419	25,42	28,13	22,00	21,11	23,75	33,00	9,88
226	293-SA-090519	24,27	26,85	22,00	21,14	23,33	33,00	9,88
227	294-SA-070319	19,65	21,74	18,00	17,43	19,05	32,00	8,08
228	295-SA-080319	19,65	21,74	22,00	21,09	21,61	32,00	9,88
229	296-SA-080921	25,42	28,13	22,00	21,08	23,74	33,00	9,88
230	297-SA-131219	21,96	24,29	18,00	17,37	19,89	33,00	8,08
231	298-SA-020419	20,80	23,02	18,00	17,36	19,46	32,00	8,08
232	299-SA-160919	25,42	28,13	29,00	26,96	28,03	33,00	13,02
233	300-SA-250817	16,18	17,90	18,00	17,50	17,80	31,00	8,08
234	301-SA-110118	19,65	21,74	18,00	17,39	19,04	32,00	8,08
235	302-SA-011221	20,80	23,02	18,00	17,37	19,46	32,00	8,08
236	303-SA-170820	26,58	29,41	22,00	21,09	24,17	34,00	9,88
237	304-SA-220218	26,58	29,41	22,00	21,09	24,17	34,00	9,88
238	305-SA-190318	20,80	23,02	18,00	17,33	19,45	32,00	8,08
239	306-SA-200122	19,65	21,74	22,00	21,16	21,63	32,00	9,88
240	307-SA-200622	19,65	21,74	22,00	21,16	21,63	32,00	9,88
241	308-SA-100419	18,49	20,46	16,00	15,47	17,31	32,00	7,18
242	309-SA-280319	39,29	43,47	45,00	42,46	43,64	37,00	20,20
243	310-SA-170821	27,73	30,69	24,00	22,93	25,87	34,00	10,78
244	311-SA-081117	21,96	24,29	20,00	19,31	21,20	33,00	8,98

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

245	312-SA-120118	19,65	21,74	19,00	18,30	19,68	32,00	8,53
246	313-SA-171120	16,18	17,90	18,00	17,43	17,78	31,00	8,08
247	314-SA-150822	21,96	24,29	19,00	18,33	20,54	33,00	8,53
248	315-SA-080222	18,49	20,46	16,00	15,52	17,33	32,00	7,18
249	316-SA-031219	18,49	20,46	16,00	15,51	17,32	32,00	7,18
250	317-SA-020622	17,33	19,18	15,00	14,59	16,26	31,00	6,73
251	318-SA-100419	18,49	20,46	16,00	15,51	17,32	32,00	7,18
252	319-SA-141019	18,49	20,46	16,00	15,51	17,32	32,00	7,18
253	320-SA-061217	9,24	10,23	10,00	9,98	10,07	29,00	4,49
254	321-SA-200622	13,87	15,34	12,00	11,81	13,05	31,00	5,39
255	322-SA-200622	24,27	26,85	21,00	20,11	22,65	33,00	9,43
256	323-SF-120320	24,27	26,85	20,00	19,21	22,02	33,00	8,98
257	324-SF-030521	16,18	17,90	14,00	13,68	15,19	31,00	6,29
258	325-SF-160519	18,49	20,46	16,00	15,51	17,32	32,00	7,18
259	326-SF-010719	28,89	31,97	25,00	23,82	26,93	34,00	11,22
260	327-SF-220921	11,56	12,79	12,00	11,83	12,21	30,00	5,39
261	328-SF-071222	16,18	17,90	15,00	14,64	15,85	31,00	6,73
262	329-SF-211222	15,02	16,62	12,00	11,81	13,48	31,00	5,39
263	330-SF-091120	17,33	19,18	15,00	14,62	16,27	31,00	6,73
264	331-SF-250321	12,71	14,07	15,00	14,59	14,55	30,00	6,73
265	332-SF-071122	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26	31,00	6,73
266	333-SF-120922	11,56	12,79	10,00	9,95	10,91	30,00	4,49
267	334-SF-050922	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26	31,00	6,73
268	335-SF-230319	13,87	15,34	16,00	15,54	15,63	31,00	7,18
269	336-SF-090921	15,02	16,62	16,00	15,51	16,04	31,00	7,18
270	337-SF-051120	16,18	17,90	18,00	17,38	17,76	31,00	8,08
271	339-SF-041918	12,71	14,07	10,00	9,94	11,33	30,00	4,49
272	340-SF-211218	2,31	2,56	3,00	3,48	3,01	28,00	1,35
273	341-SF-090922	18,49	20,46	16,00	15,52	17,33	32,00	7,18
274	342-SF-270718	8,09	8,95	7,00	7,30	7,75	29,00	3,14
275	343-SF-140622	17,33	19,18	15,00	14,62	16,27	31,00	6,73
276	344-SF-050621	24,27	26,85	30,00	28,64	28,50	33,00	13,47
277	345-SF-241017	18,49	20,46	18,00	17,33	18,60	32,00	8,08
278	346-SF-220319	25,42	28,13	22,00	21,04	23,72	33,00	9,88
279	347-SF-051219	12,71	14,07	15,00	13,94	14,34	30,00	6,73
280	349-SF-011018	21,96	24,29	19,00	18,28	20,53	33,00	8,53
281	350-SF-080321	17,33	19,18	15,00	14,62	16,27	31,00	6,73
282	352-SF-101220	11,56	12,79	10,00	9,98	10,92	30,00	4,49
283	353-SF-211118	13,87	15,34	12,00	11,88	13,08	31,00	5,39
284	354-SF-230322	12,71	14,07	11,00	10,87	11,98	30,00	4,94
285	355-SF-221019	11,56	12,79	10,00	9,98	10,92	30,00	4,49
286	356-SF-230120	19,65	21,74	18,00	17,50	19,08	32,00	8,08
287	357-SF-130819	18,49	20,46	16,00	15,50	17,32	32,00	7,18
288	358-SF-170921	13,87	15,34	15,00	14,58	14,98	31,00	6,73
289	360-SF-030418	17,33	19,18	16,00	15,52	16,90	31,00	7,18
290	361-SF-070722	13,87	15,34	12,00	11,80	13,05	31,00	5,39
291	362-SF-150722	13,87	15,34	12,00	11,81	13,05	31,00	5,39
292	363-SF-310322	11,56	12,79	10,00	10,03	10,94	30,00	4,49
293	364-SF-250717	16,18	17,90	14,00	13,62	15,17	31,00	6,29
294	366-SF-110321	13,87	15,34	12,00	11,88	13,08	31,00	5,39

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

295	368-SF-110521	20,80	23,02	17,00	16,43	18,82	32,00	7,63
296	369-SF-310122	27,73	30,69	24,00	22,97	25,89	34,00	10,78
297	370-SF-010221	16,18	17,90	14,00	13,67	15,19	31,00	6,29
298	371-SF-091122	16,18	17,90	14,00	13,62	15,17	31,00	6,29
299	372-SF-310119	8,09	8,95	7,00	7,12	7,69	29,00	3,14
300	373-SF-050521	13,87	15,34	12,00	11,82	13,06	31,00	5,39
301	374-SF-240717	13,87	15,34	16,00	15,65	15,66	31,00	7,18
302	375-SF-280218	17,33	19,18	15,00	14,77	16,32	31,00	6,73
303	376-SF-130720	9,24	10,23	8,00	8,11	8,78	29,00	3,59
304	377-SF-181017	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
305	378-SF-060622	8,09	8,95	7,00	7,17	7,71	29,00	3,14
306	379-SF-310518	12,71	14,07	15,00	14,62	14,56	30,00	6,73
307	380-SF-110221	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
308	381-SF-150722	16,18	17,90	14,00	13,62	15,17	31,00	6,29
309	382-SF-130319	17,33	19,18	16,00	15,56	16,91	31,00	7,18
310	383-SF-080617	15,02	16,62	13,00	12,74	14,12	31,00	5,84
311	384-SF-100717	13,87	15,34	16,00	15,55	15,63	31,00	7,18
312	385-SF-271121	16,18	17,90	14,00	13,66	15,19	31,00	6,29
313	386-SF-200220	16,18	17,90	14,00	13,65	15,18	31,00	6,29
314	387-SF-110521	13,87	15,34	12,00	11,82	13,06	31,00	5,39
315	388-SF-241120	9,24	10,23	8,00	8,15	8,79	29,00	3,59
316	389-SF-300822	8,09	8,95	7,00	7,22	7,72	29,00	3,14
317	390-SF-091221	16,18	17,90	14,00	13,65	15,18	31,00	6,29
318	391-SF-230822	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26	31,00	6,73
319	392-SF-141218	9,24	10,23	11,00	10,23	10,49	29,00	4,94
320	393-SF-250722	15,02	16,62	13,00	12,75	14,13	31,00	5,84
321	394-SF-061218	10,40	11,51	11,00	10,88	11,13	30,00	4,94
322	395-SF-300921	9,24	10,23	11,00	10,88	10,70	29,00	4,94
323	396-SF-160720	17,33	19,18	20,00	18,57	19,25	31,00	8,98
324	397-SF-061221	4,62	5,11	4,00	4,39	4,50	28,00	1,80
325	398-SF-050717	18,49	20,46	15,00	14,62	16,69	32,00	6,73
326	399-SF-250322	16,18	17,90	16,00	15,57	16,49	31,00	7,18
327	400-SF-120619	17,33	19,18	15,00	14,57	16,25	31,00	6,73
328	401-SF-241019	17,33	19,18	16,00	15,51	16,90	31,00	7,18
329	402-SF-141119	16,18	17,90	14,00	13,65	15,18	31,00	6,29
330	403-SF-220218	15,02	16,62	14,00	13,73	14,78	31,00	6,29
331	404-SF-170622	19,65	21,74	16,00	15,54	17,76	32,00	7,18
332	406-SF-280622	8,09	8,95	9,00	9,10	9,02	29,00	4,04
333	407-SF-241120	26,58	29,41	30,00	28,54	29,32	34,00	13,47
334	408-SF-140318	12,71	14,07	14,00	13,69	13,92	30,00	6,29
335	409-SF-190121	10,40	11,51	9,00	9,01	9,84	30,00	4,04
336	411-SF-061020	18,49	20,46	16,00	15,52	17,33	32,00	7,18
337	412-SF-220719	19,65	21,74	17,00	16,43	18,39	32,00	7,63
338	413-SF-170919	12,71	14,07	11,00	10,96	12,01	30,00	4,94
339	414-SF-220118	12,71	14,07	14,00	13,69	13,92	30,00	6,29
340	415-SF-280721	17,33	19,18	15,00	14,61	16,26	31,00	6,73
341	416-SF-070319	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
342	419-SF-111122	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
343	420-SF-040821	12,71	14,07	15,00	14,64	14,57	30,00	6,73
344	421-SF-040919	12,71	14,07	11,00	10,93	12,00	30,00	4,94

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

345	422-SF-200821	13,87	15,34	12,00	11,81	13,05	31,00	5,39
346	425-SF-200218	9,24	10,23	11,00	10,91	10,71	29,00	4,94
347	426-SF-100521	19,65	21,74	16,00	15,51	17,75	32,00	7,18
348	427-SF-060619	12,71	14,07	11,00	10,86	11,98	30,00	4,94
349	428-SF-050621	8,09	8,95	7,00	7,12	7,69	29,00	3,14
350	429-SF-210417	15,02	16,62	14,00	13,68	14,77	31,00	6,29
351	430-SF-210721	9,24	10,23	8,00	8,11	8,78	29,00	3,59
352	431-SF-251121	8,09	8,95	8,00	8,09	8,35	29,00	3,59
353	432-SF-020920	9,24	10,23	11,00	10,93	10,72	29,00	4,94
354	433-SF-130922	12,71	14,07	13,00	12,74	13,27	30,00	5,84
355	434-SF-190717	16,18	17,90	14,00	13,72	15,21	31,00	6,29
356	435-SF-070621	16,18	17,90	14,00	13,66	15,19	31,00	6,29
357	436-SF-270319	6,93	7,67	6,00	6,23	6,63	29,00	2,69
358	437-SF-221221	8,09	8,95	7,00	7,30	7,75	29,00	3,14
359	438-SF-180222	15,02	16,62	13,00	12,73	14,12	31,00	5,84
360	439-SF-230921	16,18	17,90	14,00	13,68	15,19	31,00	6,29
361	441-SF-120820	13,87	15,34	12,00	11,78	13,04	31,00	5,39
362	443-SF-040419	15,02	16,62	13,00	12,72	14,11	31,00	5,84
363	444-SF-160621	6,93	7,67	8,00	8,10	7,92	29,00	3,59
364	445-SF-310122	16,18	17,90	16,00	15,57	16,49	31,00	7,18
365	446-SF-050919	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
366	449-SF-180822	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
367	454-SF-270918	18,49	20,46	16,00	15,50	17,32	32,00	7,18
368	455-SF-150120	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
369	457-SF-160919	17,33	19,18	16,00	15,51	16,90	31,00	7,18
370	459-SF-200522	18,49	20,46	16,00	15,55	17,34	32,00	7,18
371	462-SF-191222	18,49	20,46	16,00	15,47	17,31	32,00	7,18
372	463-SF-020918	10,40	11,51	12,00	11,83	11,78	30,00	5,39
373	464-SF-200919	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
374	465-SF-131120	11,56	12,79	10,00	9,98	10,92	30,00	4,49
375	466-SF-130717	17,33	19,18	14,00	13,71	15,63	31,00	6,29
376	467-SF-020620	20,80	23,02	18,00	17,38	19,46	32,00	8,08
377	468-SF-200919	9,24	10,23	11,00	10,91	10,71	29,00	4,94
378	469-SF-110822	15,02	16,62	12,00	11,76	13,46	31,00	5,39
379	470-SF-140622	18,49	20,46	16,00	15,54	17,33	32,00	7,18
380	472-SF-080321	20,80	23,02	18,00	17,40	19,47	32,00	8,08
381	473-SF-300921	17,33	19,18	16,00	15,65	16,94	31,00	7,18
382	476-SF-281021	10,40	11,51	9,00	9,04	9,85	30,00	4,04
383	478-SF-160822	13,87	15,34	12,00	11,80	13,05	31,00	5,39
384	479-SF-080618	18,49	20,46	16,00	15,50	17,32	32,00	7,18
385	480-SF-090620	6,93	7,67	6,00	6,27	6,65	29,00	2,69
386	481-SF-170622	13,87	15,34	12,00	11,81	13,05	31,00	5,39
387	482-SF-020620	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
388	483-SF-131021	12,71	14,07	11,00	10,88	11,98	30,00	4,94
389	484-SF-221121	6,93	7,67	8,00	8,10	7,92	29,00	3,59
390	485-SF-131219	18,49	20,46	16,00	15,70	17,39	32,00	7,18
391	486-SF-300517	13,87	15,34	12,00	11,82	13,05	31,00	5,39
392	487-SF-050422	12,71	14,07	12,00	11,80	12,62	30,00	5,39
393	488-SF-230419	13,87	15,34	12,00	11,83	13,06	31,00	5,39
394	489-SF-030822	13,87	15,34	12,00	11,76	13,03	31,00	5,39

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

395	490-SF-080617	19,65	21,74	16,00	15,59	17,77	32,00	7,18
396	491-SF-150920	18,49	20,46	16,00	15,50	17,32	32,00	7,18
397	492-SF-230617	13,87	15,34	16,00	15,60	15,65	31,00	7,18
398	493-SF-210922	8,09	8,95	8,00	8,15	8,37	29,00	3,59
399	494-SF-100817	13,87	15,34	12,00	11,81	13,05	31,00	5,39
400	495-SF-120918	10,40	11,51	9,00	9,01	9,84	30,00	4,04
401	496-SF-091122	17,33	19,18	16,00	15,65	16,94	31,00	7,18
402	497-SF-290721	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
403	498-SF-270722	13,87	15,34	16,00	15,47	15,61	31,00	7,18
404	499-SF-270718	5,78	6,39	7,00	7,20	6,86	29,00	3,14
405	500-SF-270821	11,56	12,79	12,00	11,81	12,20	30,00	5,39
406	501-SF-210922	13,87	15,34	12,00	11,82	13,06	31,00	5,39
407	502-SF-030918	19,65	21,74	16,00	15,50	17,75	32,00	7,18
408	503-SF-140721	20,80	23,02	18,00	17,36	19,46	32,00	8,08
409	504-SF-150822	13,87	15,34	12,00	11,83	13,06	31,00	5,39
410	505-SF-090421	17,33	19,18	14,00	13,69	15,62	31,00	6,29
411	506-SF-290121	17,33	19,18	15,00	14,58	16,25	31,00	6,73
412	507-SF-131022	16,18	17,90	14,00	13,66	15,19	31,00	6,29
413	508-SF-010722	13,87	15,34	12,00	11,82	13,06	31,00	5,39
414	509-SF-250817	11,56	12,79	13,00	12,76	12,85	30,00	5,84
415	510-SF-300621	27,73	30,69	28,00	26,66	28,45	34,00	12,57
416	511-SF-300621	21,96	24,29	26,00	24,85	25,05	33,00	11,67
417	512-SF-180122	5,78	6,39	5,00	5,31	5,57	29,00	2,24
418	513-SF-120422	11,56	12,79	13,00	12,71	12,83	30,00	5,84
419	514-SF-150319	13,87	15,34	16,00	15,57	15,64	31,00	7,18
420	515-SF-010217	12,71	14,07	14,00	13,69	13,92	30,00	6,29
421	516-SF-221018	9,24	10,23	11,00	10,93	10,72	29,00	4,94
422	517-SF-260918	9,24	10,23	10,00	9,98	10,07	29,00	4,49
423	518-SF-150620	13,87	15,34	12,00	11,86	13,07	31,00	5,39
424	519-SF-270522	15,02	16,62	13,00	12,73	14,12	31,00	5,84
425	520-SF-150618	8,09	8,95	7,00	7,12	7,69	29,00	3,14
426	521-SF-250922	16,18	17,90	15,00	14,72	15,87	31,00	6,73
427	522-SF-140219	18,49	20,46	16,00	15,54	17,33	32,00	7,18
428	523-SF-040820	6,93	7,67	6,00	6,19	6,62	29,00	2,69
429	524-SF-070319	34,67	38,36	35,00	33,15	35,50	36,00	15,71
430	525-SF-190522	18,49	20,46	16,00	15,55	17,34	32,00	7,18
431	526-SF-150518	9,24	10,23	11,00	10,91	10,71	29,00	4,94
432	527-CA-080818	25,42	28,13	25,00	23,87	25,67	33,00	11,22
433	528-SA-071118	21,96	24,29	19,00	18,33	20,54	33,00	8,53
434	530-SF-140619	26,58	29,41	23,00	22,02	24,81	34,00	10,33
435	531-CA-200720	42,76	47,31	38,00	35,93	40,42	37,00	17,06
436	534-SA-191016	25,42	28,13	24,00	22,89	25,01	33,00	10,78

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Histogramas de Variables Independientes



Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.

Clasificacion SUCS

Código numérico	Clasificación SUCS	Descripción geotécnica
1	GW	Grava bien gradada
2	GP	Grava mal gradada
3	SW	Arena bien gradada
4	SP	Arena mal gradada
5	GM	Grava limosa
6	GC	Grava arcillosa
7	SM	Arena limosa
8	SC	Arena arcillosa
9	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad
10	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad
11	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
12	CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad
13	OL	Limo orgánico o arcilla limosa orgánica de
14	OH	Arcilla orgánica o limo orgánico de alta
15	PT	Turba y suelos altamente orgánicos
16	GW-GM	Grava bien gradada con limo
17	GW-GC	Grava bien gradada con arcilla
18	GP-GM	Grava mal gradada con limo
19	GP-GC	Grava mal gradada con arcilla
20	SW-SM	Arena bien gradada con limo
21	SW-SC	Arena bien gradada con arcilla
22	SP-SM	Arena mal gradada con limo
23	SP-SC	Arena mal gradada con arcilla
24	CL-ML	Limo arcilloso o arcilla limosa de baja
0	Sin clasificación / no	Registro sin información SUCS válida

Copyright © Edison Fabricio León Alvear. PUCE. Ecuador.