



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. CASO DE ESTUDIO PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

ELABORADO POR:

CASTRO MACÍAS DIANA NAYELY
MENDOZA ROLDÁN WENDY RASHEL

TUTOR:

ING. MARCELO OLEAS ESCALANTE, MSc.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Septiembre 2025

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Mendoza Roldán Wendy Rashel, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2018(1)-2025(1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. CASO DE ESTUDIO PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 02 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Ing. Marcelo Oleas Escalante
Docente Tutor(a)
Área: Geotecnia

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

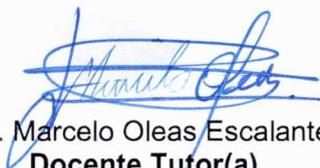
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante Castro Macías Diana Nayely, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2019(2)-2025(1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. CASO DE ESTUDIO PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 02 de agosto de 2025.

Lo certifico,



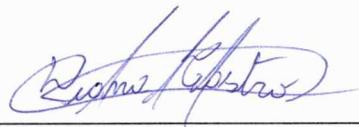
Ing. Marcelo Oleas Escalante
Docente Tutor(a)
Área: Geotecnia

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Castro Macías Diana Nayely, declaro que soy el autor intelectual del presente trabajo de investigación titulado “Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Sísmica de refracción para la determinación de parámetros geotécnicos. Caso de estudio predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” Confirmando que he contribuido de manera significativa al origen del contenido de mi trabajo,

Quiero enfatizar que la información presentada es original y no se ha plagiado de ninguna otra fuente, salvo las referencias utilizadas que están debidamente citadas en el documento. Por esto, asumo plena responsabilidad por las ideas, resultados y conclusiones exteriorizadas en este trabajo, las cuales presentan un análisis propio y criterio en relación del marco de los objetivos planteados.

Manta, 2 de agosto del 2025



Castro Macías Diana

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Mendoza Roldán Wendy Rashel, declaro que soy el autor intelectual del presente trabajo de investigación titulado “Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Sísmica de refracción para la determinación de parámetros geotécnicos. Caso de estudio predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” Confirmando que he contribuido de manera significativa al origen del contenido de mi trabajo,

Quiero enfatizar que la información presentada es original y no se ha plagiado de ninguna otra fuente, salvo las referencias utilizadas que están debidamente citadas en el documento. Por esto, asumo plena responsabilidad por las ideas, resultados y conclusiones exteriorizadas en este trabajo, las cuales presentan un análisis propio y criterio en relación del marco de los objetivos planteados.

Manta, 2 de agosto del 2025

Wendy Mendoza

Mendoza Roldán Wendy

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certificamos:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es **"CORRELACIÓN ENTRE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) Y SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS. CASO DE ESTUDIO PREDIOS DE LA UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ"** internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo **APROBAMOS**, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certificamos lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 05 días del mes de septiembre de dos mil veinte y cinco.



Ing. Cedeño Burgos Carlos, Mg
C.C. 131092600-9
Tribunal 1



Ing. García Argandoña Jorge, Mg
C.C. 130756406-0
Tribunal 2

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres y hermano, cuyo apoyo ha sido base fundamental para impulsar este logro.

Diana Castro.

Dedicatoria

A mi padre, que desde el cielo ha sido mi fuerza invisible y mi inspiración constante. Este logro lleva tu nombre, porque cada paso que di lo hice pensando en hacerte sentir orgulloso, sabiendo que, aunque no estés físicamente, festejas conmigo desde lo alto. A mi madre, por su amor incondicional, su lucha diaria y por enseñarme con el ejemplo a no rendirme jamás. A mis hermanas y mis sobrinos, mi motor de vida, mi refugio y alegría en los días difíciles. Cada sacrificio, cada desvelo y cada esfuerzo fue también por ustedes. Esta meta no es solo mía, es nuestra.

Wendy Mendoza.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme el aliento, fortaleza, sabiduría y ser guía en cada aspecto de mi vida, su inmenso amor me ha sostenido en cada etapa, y esta, sin duda es una muestra de ello.

A mi papá, cuyos consejos y palabras firmes han formado mi carácter y persistencia hacia mis objetivos.

A mi mamá, por su inquebrantable compañía, dedicación y su constante impulso hacia mi superación personal e intelectual.

A mi hermano, por ser ese faro constante que nunca deja de creer en mí, por celebrar cada uno de mis logros como si fueran suyos.

A mis amigos, cuya presencia ha hecho de este proceso universitario más ameno y llevadero, que con cada charla y cada risa incluso los días más difíciles se sienten ligeros. Gracias por estar.

A Wendy y a Cristhian, por encargarse de levantarme con cada palabra de aliento, y hacerme ver de mil maneras mi valor y mi capacidad, incluso cuando yo no lo veía.

A la música, esa aliada invisible y fuente segura que me ha sostenido, recordándome que la vida tiene muchas cosas hermosas, como ella.

A mi tutor Marcelo Oleas, por su dedicación, compromiso, conocimientos, y por su valiosa guía durante la elaboración de esta tesis.

A cada persona que, a lo largo de este camino, se ha manifestado con su confianza, palabras de aliento y deseos sinceros, muchas gracias, no saben lo importante e impulsador que ha sido.

Diana Castro.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por ser mi guía constante, por brindarme sabiduría, fortaleza y fe en cada paso de este camino. Sin él, nada de esto habría sido posible.

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida; a mi padre, cuya ausencia física no ha impedido que lo sienta conmigo en cada logro, y a mi madre, por su incansable apoyo, su cariño y su presencia firme en cada momento difícil.

A mis hermanas y sobrinos, por ser ese soporte incondicional, por su ayuda constante, y por estar a mi lado incluso cuando no lo decía con palabras, su presencia y alegría se convirtieron en mi motivación diaria.

Agradezco profundamente a Diana, quien ha sido mi confidente, mi amiga, la que ha estado a mi lado escuchando cada meta, cada duda y cada emoción. A los amigos que la universidad me regaló y a todos aquellos que estuvieron presentes de alguna forma durante este camino: gracias por su tiempo, sus palabras, su compañía y su cariño.

Agradezco al Ing. Marcelo Oleas, tutor de esta tesis, por su valiosa guía, por acompañarnos con paciencia, compromiso y dedicación a lo largo de este proceso.

Quiero expresar un profundo agradecimiento a una familia muy especial que estuvo a mi lado durante una gran parte de este proceso, brindándome apoyo cuando más lo necesitaba. Gracias al Sr. Andrés Rivera, la Sra. Edilma Navarro, la Ing. Juliana Rivera y la Dra. Karen Vines, por extenderme su mano con tanta generosidad y afecto. Estaré eternamente agradecida con Dios y con la vida por haberme permitido coincidir con personas que sumaron tanto a mi camino universitario.

Wendy Mendoza.

TABLA DE CONTENIDO

<i>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</i>	<i>I</i>
<i>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</i>	<i>IV</i>
<i>Dedicatoria</i>	<i>VI</i>
<i>Agradecimiento</i>	<i>VIII</i>
<i>Resumen</i>	<i>I</i>
<i>Abstract</i>	<i>2</i>
<i>1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</i>	<i>3</i>
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Variables	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Justificación	4
<i>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</i>	<i>5</i>
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Contexto Geológico.....	9

2.3.	Propiedades de los suelos	10
2.3.1.	Propiedades físicas del suelo	11
2.3.2.	Propiedades mecánicas del suelo.....	12
2.4.	Ensayo de penetración Estándar (SPT)	13
2.4.1.	Parámetros y normativa del ensayo SPT	14
2.4.2.	Corrección al SPT.....	14
2.5.	Métodos geofísicos.....	15
2.5.1.	Ensayo de refracción sísmica	16
2.5.2.	Propagación de ondas sísmicas en el suelo	17
2.6.	Velocidad de ondas de corte Vs	18
2.7.	Velocidad de propagación de ondas sísmicas Vp	18
3.	<i>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA</i>	19
3.1.	Área de Estudio	19
3.2.	Tipo de Estudio.....	21
3.3.	Procedimiento metodológico	21
4.	<i>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS</i>	23
4.1.	Obtención del Ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión no drenada (C_u) a partir del NSPT	23
4.1.1.	Muestra Facultad de Administración.....	23
4.1.2.	Muestra Facultad de Turismo	24

4.1.3.	Muestra Coliseo	26
4.1.4.	Parámetros Postgrado	27
4.2.	Obtención del Ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión no drenada (C_u) a partir de las ondas de Corte (V_s).....	29
4.2.1.	Muestra facultad de Administración	29
4.2.2.	Muestra facultad de Turismo.....	30
4.2.3.	Muestra Coliseo.....	31
4.2.4.	Muestra Postgrado	32
4.3.	Gráficas de dispersión	34
4.3.1.	Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Administración-NSPT (Figura 3)	34
4.3.2.	Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Administración- NSPT (Figura 4)	35
4.3.3.	Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Administración- V_s/V_p (Figura 5)	36
4.3.4.	Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Administración- V_s/V_p (Figura 6)	37
4.3.5.	Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Turismo- NSPT (Figura 7) (Figura 8)	38
4.3.6.	Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Turismo- NSPT (Figura 9) (Figura 10)	40
4.3.7.	Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Turismo- V_s/V_p (Figura 11)	42
4.3.8.	Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Turismo – V_s/V_p (Figura 12).....	43

4.3.9.	Gráfica de Ángulo de Fricción muestra Coliseo – NSPT (Figura 13) (Figura 14)	44
4.3.10.	Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Coliseo – NSPT (Figura 15) (Figura 16)	46
4.3.11.	Gráfica de Ángulo de Fricción Coliseo – Vs/Vp (Figura 17)	48
4.3.12.	Gráfica de Cohesión no drenada Coliseo – Vs/Vp (Figura 18)	49
4.3.13.	Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Postgrado – NSPT (Figura 19) (Figura 20)	50
4.3.14.	Gráfica de Cohesión No Drenada Muestra Postgrado – NSPT (Figura 21) (Figura 22)	52
4.3.15.	Gráfica de Ángulo de fricción muestra Postgrado – Vs/Vp (Figura 23)	54
4.3.16.	Gráfica de Cohesión No Drenada muestra Postgrado –Vs/Vp (Figura 24)	55
4.4.	Análisis	56
4.4.1.	Muestra Administración	56
4.4.2.	Muestra Turismo	58
4.4.3.	Muestra Coliseo	59
4.4.4.	Muestra Postgrado	61
5.	<i>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	64
5.1.	Conclusiones	64
5.2.	Recomendaciones	66
6.	<i>REFERENCIAS</i>	68

7. ANEXOS.....	72
Anexo A. Datos Geotécnicos	72
Anexo B. Ensayo de compresión.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Fórmulas de Ángulo de Fricción a partir de los datos del SPT</i>	7
Tabla 2 <i>Fórmulas de Cohesión a partir de los datos del SPT</i>	7
Tabla 3 <i>Fórmulas de Ángulo de Fricción a partir del ensayo de Símica de Refracción</i>	8
Tabla 4 <i>Fórmulas de Cohesión a partir del ensayo de Símica de Refracción</i>	9
Tabla 5 <i>Coordenadas de las zonas de estudio</i>	20
Tabla 6 <i>NSPT Facultad de Administración</i>	23
Tabla 7 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en la Facultad de Administración</i> ..	24
Tabla 8 <i>Resultados de Cohesión con NSPT en la Facultad de Administración</i>	24
Tabla 9 <i>NSPT Facultad de Turismo</i>	25
Tabla 10 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en la Facultad de Turismo</i>	25
Tabla 11 <i>Resultados de Cohesión con NSPT en la Facultad de Turismo</i>	26
Tabla 12 <i>NSPT Coliseo</i>	26
Tabla 13 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en el Coliseo</i>	27
Tabla 14 <i>Resultados de Cohesión con NSPT en el Coliseo</i>	27
Tabla 15 <i>NSPT Postgrado</i>	28
Tabla 16 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en Postgrado</i>	28
Tabla 17 <i>Resultados de Cohesión con NSPT en Postgrado</i>	29

Tabla 18 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con V_p y V_s en la Facultad de Administración</i>	29
Tabla 19 <i>Resultados de Cohesión con V_p y V_s en la Facultad de Administración</i>	30
Tabla 20 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con V_p y V_s en la Facultad de Turismo</i>	30
Tabla 21 <i>Resultados de Cohesión con V_p y V_s en la Facultad de Turismo</i>	31
Tabla 22 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con V_p y V_s en el Coliseo</i>	31
Tabla 23 <i>Resultados de Cohesión con V_p y V_s en el Coliseo</i>	32
Tabla 24 <i>Resultados de Ángulo de Fricción con V_p y V_s en Postgrado</i>	32
Tabla 25 <i>Resultados de Cohesión con V_p y V_s en Postgrado</i>	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Carta geológica de Manta</i>	10
Figura 2 <i>Mapa de Ubicación de Zonas de estudio</i>	20
Figura 3 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m</i>	34
Figura 4 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m</i>	35
Figura 5 <i>Gráfica de Ángulo de Fricción con V_p/V_s</i>	36
Figura 6 <i>Gráfica de Cohesión no drenada con V_p/V_s</i>	37
Figura 7 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m</i>	38
Figura 8 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m</i>	39
Figura 9 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m</i>	40
Figura 10 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m</i>	41
Figura 11 <i>Gráfica de Ángulo de Fricción con V_p/V_s</i>	42
Figura 12 <i>Gráfica de Cohesión no drenada con V_p/V_s</i>	43

Figura 13 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m.....</i>	44
Figura 14 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m</i>	45
Figura 15 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m.....</i>	46
Figura 16 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m.....</i>	47
Figura 17 <i>Gráfica de Ángulo de Fricción con V_p/V_s.....</i>	48
Figura 18 <i>Gráfica de Cohesión no drenada con V_p/V_s.....</i>	49
Figura 19 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m.....</i>	50
Figura 20 <i>Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m</i>	51
Figura 21 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m,3m y 4.5m.....</i>	52
Figura 22 <i>Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m.....</i>	53
Figura 23 <i>Gráfica de Ángulo de Fricción con V_p/V_s.....</i>	54
Figura 24 <i>Gráfica de Cohesión no drenada con V_p/V_s.....</i>	55

Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en analizar la correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la sísmica de refracción para la obtención de parámetros geotécnicos clave como la cohesión no drenada (C_u) y el ángulo de fricción interna (ϕ). El estudio se llevó a cabo en los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), en donde se aplicaron fórmulas empíricas propuestas por distintos autores con el objetivo de evaluar su confiabilidad y adaptabilidad a las condiciones geológicas locales. A través del análisis comparativo entre los resultados obtenidos por ambos métodos, se determinó que el ángulo de fricción presentó una buena correspondencia, lo cual refuerza la validez de las correlaciones empleadas. En cambio, los valores de cohesión mostraron una mayor variabilidad, evidenciando la necesidad de considerar múltiples fuentes de información para obtener resultados más representativos del comportamiento del suelo. La investigación permite concluir que la combinación de métodos geotécnicos tradicionales y técnicas geofísicas no invasivas contribuye significativamente a una caracterización más precisa del subsuelo. Esta integración resulta especialmente útil para el diseño de cimentaciones y otras obras de ingeniería en zonas donde el acceso a muestras físicas puede ser limitado o donde se requiere mayor cobertura espacial.

Palabras clave: Ensayo SPT, sísmica de refracción, correlación, cohesión, ángulo de fricción, suelos arcillosos, geotecnia.

Abstract

This research focuses on analyzing the correlation between the Standard Penetration Test (SPT) and refraction seismic methods to obtain key geotechnical parameters such as undrained cohesion (C_u) and the angle of internal friction (ϕ). The study was carried out on the grounds of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), where empirical formulas proposed by various authors were applied to evaluate their reliability and adaptability to local geological conditions. Through a comparative analysis of the results obtained by both methods, it was determined that the friction angle presented a good correspondence, which reinforces the validity of the correlations used. In contrast, the cohesion values showed greater variability, highlighting the need to consider multiple sources of information to obtain more representative results of soil behavior. The research concludes that the combination of traditional geotechnical methods and non-invasive geophysical techniques contributes significantly to a more accurate characterization of the subsurface. This integration is especially useful for the design of foundations and other engineering works in areas where access to physical samples may be limited or where greater spatial coverage is required.

Keywords: SPT testing, refraction seismic, correlation, cohesion, friction angle, clayey soils, geotechnics.

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Aunque existen correlaciones empíricas entre el SPT y los ensayos de sísmica de refracción, no se ha desarrollado un marco metodológico claro y generalizado para estimar de manera indirecta las propiedades mecánicas del suelo a partir de dichas correlaciones, esto provoca incertidumbre en los estudios geotécnicos y conlleva a decisiones de diseño subóptimas. Por lo tanto, surge la necesidad de investigar cómo se pueden obtener de forma fiable las propiedades mecánicas del suelo, en este caso, cohesión (C_u) y ángulo de fricción (ϕ), utilizando estas técnicas indirectas, optimizando los procesos de caracterización geotécnica, especialmente en proyectos de gran escala o en terrenos donde el acceso de muestras directas es limitado.

1.2. Formulación del problema

¿Se pueden obtener los parámetros mecánicos de los suelos de forma directa utilizando ecuaciones empíricas a partir de los ensayos de sísmica de refracción y SPT?

1.3. Hipótesis

Los parámetros geotécnicos cohesión (C_u) y ángulo de fricción (ϕ), obtenidos mediante ecuaciones empíricas de diferentes autores a partir de los ensayos de Penetración Estándar (SPT) y sísmica de refracción presentan un grado de confianza para ser implementados en el diseño de cimentaciones y obras geotécnicas.

1.4. Variables

Independiente:

- Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

- Ensayo Sísmica de Refracción

Dependiente:

- Cohesión
- Ángulo de fricción

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Obtener parámetros geotécnicos como Cohesión (C_u) y Ángulo de fricción (ϕ), mediante la correlación de los datos obtenidos en los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y Sísmica de refracción para ser implementados en el diseño de cimentaciones y obras geotécnicas.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Revisar y compilar fórmulas empíricas desarrolladas por diversos autores que permiten estimar la cohesión (C_u) y el ángulo de fricción interna (ϕ) a partir de los valores del Ensayo De Penetración Estándar (NSPT) y del Ensayo de Sísmica de Refracción (V_p y V_s).
2. Evaluar el grado de confiabilidad y aplicabilidad local de las correlaciones existentes para suelos similares a los del área de estudio.
3. Definir la influencia geológica sobre la variabilidad espacial de los suelos. Caso de estudio Predios ULEAM.

1.6. Justificación

La determinación de los parámetros geomecánicos del suelo, es de vital importancia para la construcción saludable de las estructuras, debido a que ayuda a predecir el

comportamiento del terreno en relación con las solicitaciones del proyecto. Sin embargo, la obtención de parámetros como la cohesión (C_u) y el ángulo de fricción (ϕ) mediante métodos directos suele implicar costos elevados, tiempos prolongados y limitaciones logísticas, especialmente en obras de gran envergadura o en terrenos de difícil acceso.

Ante esta realidad, las correlaciones empíricas entre ensayos como el SPT y los métodos de sísmicas de refracción representan una alternativa técnica valiosa para estimar indirectamente parámetros del suelo. No obstante, la falta de un marco metodológico claro, validado y contextualizado a nivel local genera incertidumbre y posibles imprecisiones que pueden derivar en decisiones de diseño conservadoras o ineficientes, afectando la seguridad estructural y los costos constructivos.

En este sentido, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar y validar la correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar y Sísmica de Refracción, como base para estimar de forma confiable propiedades mecánicas clave del suelo. Así los resultados de este trabajo contribuirán a la generación de conocimiento técnico aplicado, fomentando prácticas más eficientes y adaptadas a las condiciones geológicas locales.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Existen antecedentes de las correlaciones para la determinación de parámetros geotécnicos usando la Sísmica de Refracción mediante la técnica ReMi y parámetros geotécnicos de los suelos de Madrid, España realizada por “La Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica” (Santisteban I. P., 2012)

En Guayaquil, Ecuador llevaron a cabo una campaña de medición de las ondas de superficie generadas por una fuente activa (Martillo, bulldozers) de vibraciones aleatorias de alta y baja frecuencia, La dispersión de onda de superficie en catorce sitios previamente seleccionados fue registrada con la técnica SASW. Adicionalmente, en los mismos pudieron caracterizar dinámicamente el subsuelo de Guayaquil por medio de ecuaciones semi-empíricas estimadas logrando estimar la variabilidad espacial de las propiedades dinámicas (tales como el módulo de rigidez máxima $G_{máx} = \rho V_s$ del suelo de Guayaquil por medio de ecuaciones calibradas del medio. (Vera , Calderón, & Tandazo, 2006)

La empresa INGESUELOS DE COLOMBIA LTDA, mediante el uso del método de Refracción Sísmica y Análisis de Penetración Estándar en la ciudad de Bogotá, realizó un estudio para Arcillas donde se obtuvo una correlación empírica por parte de (Alfaro, 2007), a nivel Internacional se conoce la correlación para suelos de Madrid por parte de (Pérez, Muñoz, Carbó, & Ruiz, 2012), entre otras correlaciones empíricas formuladas entre la velocidad de Onda S resultante de métodos de Refracción Sísmica y el N número de golpes por parte del Ensayo de Penetración Estándar para el conocimiento de las características del suelo.

Algunos autores han desarrollado fórmulas que permiten encontrar los parámetros geotécnicos de cohesión y ángulo de fricción a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de SPT (Standar Penetration Test) y Sísmica Refracción.

(Carmona-Álvarez & Ruge-Cárdenas, 2015) en su informe titulado “Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ” mencionan algunas de las fórmulas empíricas que proponen diversos autores para calcular el ángulo de fricción a partir de los resultados de número de golpes en el ensayo SPT como se presenta en la tabla 1:

Tabla 1*Fórmulas de Ángulo de Fricción a partir de los datos del SPT*

Autor	Año	Ecuación
Terzaghi & Peck	1948	$\phi = 28.5 + 0.25N$
Peck et al	1953	$\phi = 26.25(2 - \left(\frac{-N}{e^{62}}\right))$
Kishida	1969	$\phi = 15 + \sqrt{20N}$
Schmertmann	1970	$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{N^{0.34}}{32.5}\right)$
JNR (Japan National Raylway)	1999	$\phi = 27 + 0.30N$
JRB (Japan Road Bureau)	1986	$\phi = 15 + \sqrt{9.735N}$

Nota. Elaboración propia con base en Carmona-Álvarez & Ruge-Cárdenas, 2015.

(Osman, 2023) realizó un artículo que analiza los parámetros geotécnicos a partir de ensayos de SPT, con fórmulas empíricas obtenidas de diversos autores, entre ellos la cohesión en arcillas, como los presentados en la Tabla 2:

Tabla 2*Fórmulas de Cohesión a partir de los datos del SPT*

Autor	Año	Ecuación
Terzaghi & Peck	1967	$Cu = 5N$
Stroud	1974	$Cu = 4.4N$
Serajuddin y Chowdhury	1996	$Cu = 8.4N$
Sivrikaya y Togrol	2006	$Cu = 6.9N$
Bashar	2012	$Cu = 8.66N$

Shaha	2013	$C_u = 8.25N$
Sing et al.	2017	$C_u = 4.94N$

Nota. Elaboración propia con base en Osman, 2023.

En cuanto a parámetros geotécnicos obtenidos a partir de los ensayos de Sísmica Refracción (Bonilla & Marrugo, 2021) describieron un cuadro de autores que determinan los parámetros mencionados, presentados en la Tabla 3(Ángulo de fricción) y la Tabla 4(Cohesión):

Tabla 3

Fórmulas de Ángulo de Fricción a partir del ensayo de Sísmica de Refracción

Ángulo de Fricción		
Autor	Año	Ecuación
Aristizábal J.et al.	2017	$\phi = 50.866 \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^{-1.35}$
Santamarina et al.	2001	$\phi = 10.6 * \ln(V_s) - 33.3$
Héctor X. Naranjo	2010	$\phi = 46.4 - 9.65 \left(\frac{V_p}{V_s}\right)$
Pazmiño	2017	$\phi = 0.7792 * \left(\frac{V_p}{V_s}\right) + 26.529$

Nota. Elaboración propia con base en Bonilla & Marrugo, 2021.

Tabla 4*Fórmulas de Cohesión a partir del ensayo de Sísmica de Refracción*

Cohesión		
Autor	Año	Ecuación
Aristizábal J.et al.	2017	$C_u = 1.1395 \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^{-2.383}$
Héctor X. Naranjo	2010	$C_u = 0.908 - 0.168 \left(\frac{V_p}{V_s}\right)$
Gómez y Tobón	2017	$C_u = \frac{(V_s) - 181.59}{3.9265}$

Nota. Elaboración propia con base en Bonilla & Marrugo, 2021.

Para la obtención de los parámetros de investigación, se han utilizados los datos obtenidos en los ensayos previos de SPT y Refracción Sísmica, realizados por parte de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, para la construcción y rehabilitación de edificios afectados por el terremoto del 16 de abril de 2016, en las facultades de Administración, Turismo, El Coliseo y Postgrado.

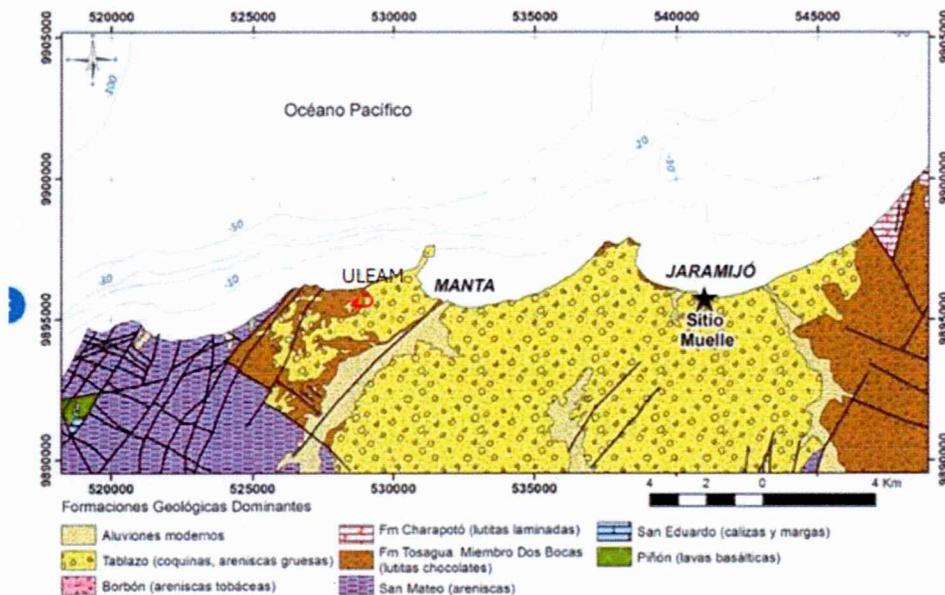
2.2. Contexto Geológico

La geología de la zona en la que se encuentra ubicada la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, se caracteriza por afloramientos de relictos de litología de terrazas marinas, como son rocas calcáreas (lumaquelas), además arenas conchíferas, estas son evidencias de la actividad tectónica relacionada a la subducción de la corteza oceánica (placa de Nasca) en la corteza continental. La orogénesis es el producto de subducción y es la que produjo el levantamiento de la terraza denominadas como la formación Tablazos en la que

yacen parte de los predios de la Universidad Laica de Manabí, dentro de los predios también afloran lutitas color chocolate bien compacta, pertenecientes a la formación Tosagua, los procesos erosivos producidos durante cientos de miles de años provocaron la geomorfología actual de la zona. (Ver figura 1)

Figura 1

Carta geológica de Manta



Carta geológica de Manta a escala 1: 100.000 (información obtenida desde Baldock, 1982).

Nota. Tomado de la Adaptación realizada por Chunga K, 2017.

2.3. Propiedades de los suelos

Según (Das, 2010) las propiedades del suelo son el conjunto de características inherentes que determinan su comportamiento frente a diversas condiciones ambientales y estructurales. Estas propiedades permiten comprender cómo reacciona un suelo cuando se

somete a esfuerzos, cargas, presencia de agua, cambios de humedad, variaciones de temperatura, entre otros factores. Su análisis es indispensable para el diseño, cálculo y ejecución de obras que se apoyan directamente sobre el terreno, como cimentaciones, carreteras, presas, muros de contención y estructuras en general.

El conocimiento de las propiedades del suelo no solo permite estimar su capacidad para soportar cargas, sino también anticipar posibles fallas, deformaciones, asentamientos o problemas de estabilidad que pudieran afectar la seguridad y funcionalidad de una obra. A través de su estudio, se obtiene una visión más precisa y confiable del comportamiento del subsuelo, lo cual es fundamental para la toma de decisiones en la planificación y ejecución de proyectos de construcción.

2.3.1. Propiedades físicas del suelo

“Las propiedades físicas de los suelos determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta” (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004), esto debido a que su apariencia, otorga una vista general de las condiciones en las que se encuentra.

Según (Corbella, 2023) las propiedades físicas del suelo se dividen en dos grupos:

Propiedades físicas fundamentales: Textura, estructura, color, consistencia, densidad y temperatura.

Propiedades físicas derivadas: Porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, compactación, y profundidad efectiva de raíces.

2.3.2. *Propiedades mecánicas del suelo*

“Las propiedades mecánicas más importantes de un suelo son aquellas que nos permiten establecer leyes de resistencia y de comportamientos, como la cohesión, ángulo de fricción interna y su capacidad expansiva” (Gonzalez, 2024)

Así mismo, (Terzagui, Peck, & Mesri, 1967) destacan a la resistencia al corte como propiedad esencial, que describe su capacidad para oponerse a esfuerzos cortantes, y se expresa mediante el criterio de Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma' \tan (\phi)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante

c : Cohesión

σ' : Esfuerzo normal efectivo

ϕ : Ángulo de fricción interna

2.3.2.1. *Cohesión.* Unión entre las partículas del suelo debido a la fuerza de atracción de las moléculas. Comprender este parámetro del suelo es de vital importancia para realizar cualquier proyecto de construcción, esto debido a que, afecta directamente a la estabilidad y seguridad de las estructuras (Freitas, 2024).

“La cohesión es una propiedad mecánica del suelo que representa la fuerza interna que mantiene unidas las partículas, proporcionando resistencia al corte incluso en ausencia de una presión normal aplicada” (Terzagui, Peck, & Mesri, 1967)

Cohesión drenada (C'): Se refiere a la resistencia al corte del suelo cuando la presión de poros ha tenido tiempo suficiente para disiparse, es decir, bajo condiciones de drenaje

efectivo. En esta situación, el esfuerzo efectivo es el que domina el comportamiento del suelo, y la cohesión drenada se considera el parámetro real para análisis de estabilidad y diseño a largo plazo, este tipo de cohesión se determina mediante ensayos de corte directo o triaxiales consolidados drenados. (Das, 2010)

Cohesión no drenada (Cu): Se refiere a la resistencia al corte del suelo cuando no hay tiempo para que el agua de los poros se drene, y la presión de poros permanece constante o aumenta, como sucede en cargas rápidas o cargas dinámicas. En este caso, el suelo se comporta de forma casi impermeable, y la cohesión no drenada representa una resistencia aparente que incluye tanto la verdadera cohesión como la presión de poros. Es comúnmente evaluada mediante ensayos triaxiales no drenados o ensayos de corte directo rápidos, y es fundamental para el análisis a corto plazo o condiciones de carga rápida. (Das, 2010)

2.3.2.2. *Ángulo de fricción interna.* Parámetro necesario para obtener la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo. El ángulo de rozamiento interno indica la propiedad de fricción entre las capas internas del suelo. Cualquier punto del interior del polvo sufre la interacción causada por las partículas cercanas, lo que da lugar a la fricción interna de partículas que se deslizan. (ST, 2023)

Es decir, es una propiedad de los materiales granulares que representa el ángulo máximo de la pendiente estable de la acumulación de material, relacionado con la resistencia al corte y al deslizamiento.

2.4. Ensayo de penetración Estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test) SPT, determina las propiedades ingenieriles de los suelos y su aplicación a los problemas geotécnicos. Su metodología incluye la penetración dinámica de un elemento captor (cuchara partida), el cual,

normalizado y debidamente calibrado, permite cuantificar algunas propiedades mecánicas del suelo debido a la sencillez de su ejecución, este ensayo es el más económico y usado en la exploración de suelos, pero con la desventaja de alterar la muestra in situ del mismo.

Su metodología consiste en medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador de tubo partido, donde se registra el número de golpes (N) necesarios para introducir el tubo, toma muestras cuyas dimensiones son de diámetro interior de 35 mm y exterior de 50 mm. Esta prueba fue desarrollada entre los años 1927 y 1947, donde Terzagui denomina “Standard Penetration Test”. Desde entonces, el método es considerado uno de los más confiables y populares para realizar exploraciones geotécnicas, ya que proporciona una muestra del perfil del subsuelo que permitirá definir ciertas características previo a realizar un proyecto sobre el área estudiada (Alata Rodriguez & Zevillanos Ninancuro, 2021).

2.4.1. Parámetros y normativa del ensayo SPT

Dentro de la normativa usada para el ensayo SPT en Ecuador, se encuentran la norma ASTM D1586 y la NEC-SE-GT.

El ensayo SPT permite obtener el número de golpes N o N-SPT, que corresponde a los golpes necesarios para hincar 30cm del muestreador estándar, luego de una hincada inicial del 15 cm. EL ensayo se realiza típicamente cada 1.5 metros de profundidad con perforaciones de 60 a 150 ml de diámetro, extrayéndose una muestra alterada.

A partir del valor N, es posible correlacionar parámetros geotécnicos como el ángulo de fricción (ϕ) en suelos granulares y la cohesión (C_u) no drenada en arcillas.

2.4.2. Corrección al SPT

(Ventayol Lázaro & Fernandez Tadeo, 2020) mencionan que, “El ensayo SPT es uno de los más utilizados en el mundo de la Geotecnia, aunque la variabilidad de sus resultados

para un mismo material depende en parte del equipo utilizado y de la corrección en la metodología.”

Así mismo, indica que se ha demostrado que los SPT realizados desarrollan una energía del orden del 60% de la teórica, por lo que resulta evidente que, si los SPT modernos dan mayor energía, el número de golpes debe corregirse por un factor de energía denominado N_{60} .

De este modo $N_{60} = N * Er/60$

Donde:

Er = porcentaje de energía de golpeo

2.5. Métodos geofísicos

(Naranjo, 2010) afirma lo siguiente:

Los métodos geofísicos de prospección han resultado de gran utilidad en el estudio y desarrollo de las geociencias. La integración de los diferentes métodos geofísicos permite realizar interpretaciones globales relacionadas con cualquier fenómeno geológico que sea de carácter prospectivo para la geotecnia y en el campo de investigación para determinar las características geológico-geotécnicas de un terreno, como aparte de las técnicas del reconocimiento geotécnico.

Los métodos geofísicos pueden ser:

- Métodos sísmicos por refracción
- Métodos eléctricos
- Métodos gravimétricos

Cada uno de estos métodos se emplea dependiendo del objetivo y la profundidad que se desee alcanzar en el subsuelo. Se debe a que mediante estos estudios se obtiene una mayor cantidad de información en relación con estructuras presentes en el subsuelo. Sirve para evaluar las características del terreno basándose en la medida de ciertas magnitudes físicas tomadas generalmente en la superficie del terreno y, si son diferentes entre sí, es posible localizar los contactos entre las distintas capas de terreno. (p. 5)

Estos métodos miden el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y su llegada a diferentes puntos de observación. Para esto se dispone una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción o reflexión sísmica.

Según (Aponte, 2011) los registros de cada sensor tienen información de los movimientos del terreno en función del tiempo y son conocidos como sismogramas. Estos son analizados en la refracción sísmica para obtener el tiempo de llegada de las primeras ondas de cada sensor desde el punto de disparo, y en la reflexión para obtener información de las ondas que son reflejadas en las diferentes interfaces de suelo, para lo cual se estudia el sismograma completo, permitiendo así, obtener profundidad de la roca y estimar los estratos del suelo.

2.5.1. Ensayo de refracción sísmica

La refracción sísmica es particularmente usada en el reconocimiento de áreas donde prácticamente no existe información geológica de la superficie, particularmente en estudio de ingeniería y geotecnia para determinar la profundidad de la roca dura, el grado de

meteorización y competencia de la roca dura, así como también para obtener la velocidad a lo largo de la superficie refractora que resulta de la interfase entre los dos medios con distintas propiedades físicas (Naranjo, 2010).

2.5.1.1. *Parámetros y normativa del ensayo de refracción sísmica*

Dentro de la normativa usada para el ensayo de Refracción Sísmica en Ecuador, se encuentran la norma NEC-SE-DS y la NEC-SE-GT.

El ensayo de sísmica refracción permite obtener las velocidades de ondas P(Compresionales), así como estimar el espesor y la profundidad de las capas del subsuelo. También proporcionan información sobre la resistencia dinámica del terreno, útil para evaluar su rigidez y compactación. En suelos granulares permite estimar la densidad relativa, mediante correlaciones empíricas, y facilita la identificación de materiales como grava, arcilla o roca a través de la interpretación de capas litológicas. (ASTM Internacional , 2013)

2.5.2. *Propagación de ondas sísmicas en el suelo*

Las ondas sísmicas consisten en un pequeño paquete de energía elástica de deformación que viaja desde la fuente sísmica hasta el subsuelo a velocidades que dependen del módulo de elasticidad y densidades en el medio en el cual viajan. El material se mantiene o no dentro del rango elástico dependiendo de factores como la magnitud y orientación del esfuerzo y el tiempo al cual es sometido el material (Villamar, 2011)

Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales, las ondas internas se subdividen en ondas P y ondas S y se propagan desde su origen hasta la superficie, por otro lado, las ondas superficiales son aquellas que se propagan sobre la superficie de la Tierra, luego de la llegada de las ondas P y S, y se subdividen en ondas Love y Rayleigh. (Zafra, 2017)

2.6. Velocidad de ondas de corte V_s

La velocidad de onda de corte (V_s) es la velocidad a la cual las ondas de corte (S) se propagan a través del suelo o la roca (de forma transversal), este parámetro está directamente relacionado con la rigidez a pequeñas deformaciones del material, y a mayor velocidad V_s , mayor es la rigidez del suelo, lo que indica mayor resistencia del material a los desplazamientos bajo carga. (Zuloaga, s.f.)

Así mismo (Zuloaga, s.f.) menciona que la velocidad de onda de corte se mide utilizando métodos geofísicos in situ, que pueden ser no invasivos y permitir una evaluación detallada de la rigidez y las variaciones en el subsuelo sin necesidad de muestro directo. Entre los métodos más comunes se tiene:

Ondas superficiales: se utilizan técnicas como MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) y SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) que son adecuados para mediciones rápidas y de gran cobertura en superficie.

Métodos en perforaciones: Incluyen técnicas down-hole, cross-hole o up-hole, en las que se perfora el terreno y se mide V_s a distintas profundidades.

Métodos de sondeo: Utilizan herramientas como el CPT sísmico o el dilatómetro sísmico, permitiendo obtener V_s durante la penetración.

2.7. Velocidad de propagación de ondas sísmicas V_p

La velocidad de propagación de las ondas está condicionada por la elasticidad y la densidad del terreno que atraviesa, así que va a depender de las propiedades físicas del terreno que determinen su elasticidad, como grado de saturación, tensión efectiva, composición litológica, diagénesis y cementación, anisotropía, etc. Las Ondas P u ondas compresivas se propagan mediante deformación compresiva, sin deformación lateral.

La técnica más habitual para medir la V_p es la sísmica de refracción (ver capítulo 2.4.1), así como también se puede determinar mediante otras técnicas en el interior de sondeos, e incluso se puede determinar mediante ensayos de laboratorio, midiendo el tiempo que tarda una onda P en atravesar una probeta de terreno. (Santisteban P. , 2012)

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

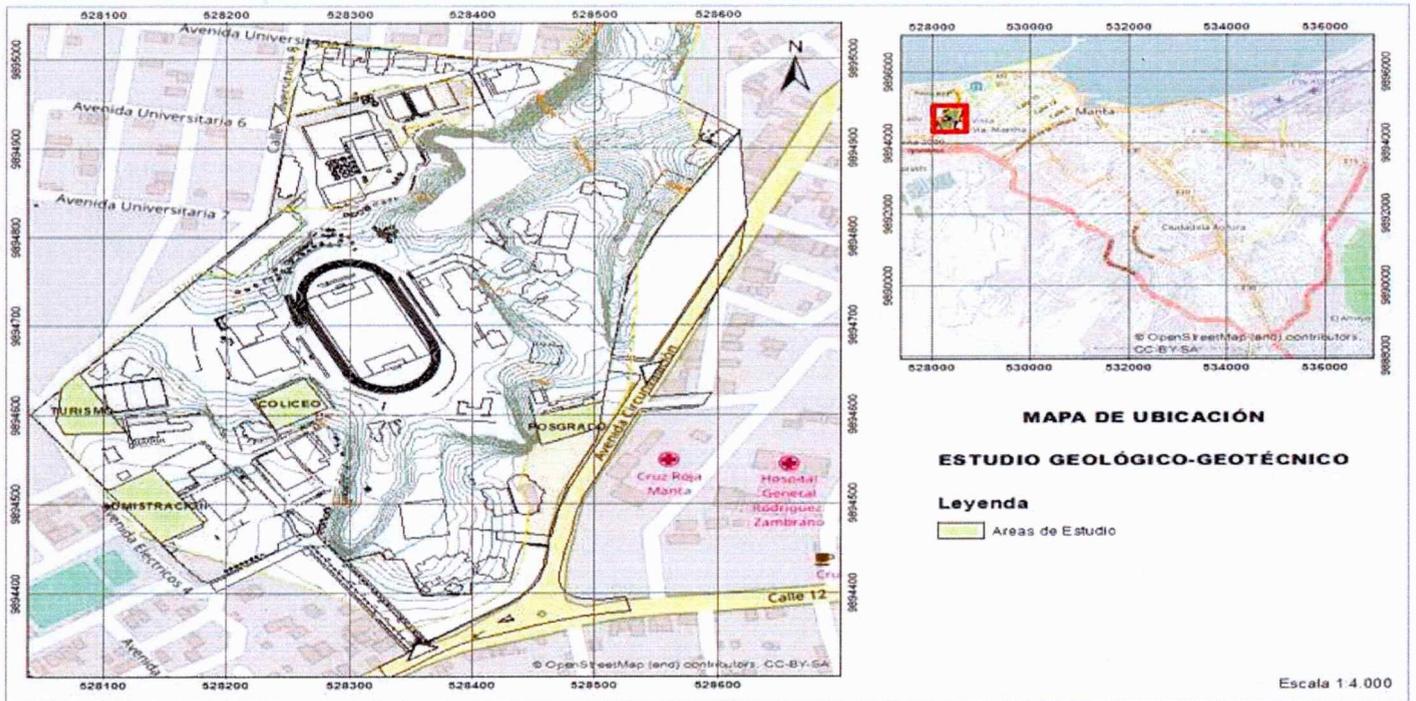
En el presente trabajo de titulación “Correlación entre el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Sísmica de refracción para la determinación de parámetros geotécnicos. Caso de estudio predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” se realizó el análisis comparativo entre la obtención de parámetros geomecánicos (Cohesión y Ángulo de fricción) a partir de los ensayos de SPT (Standar Penetration Test) y Sísmica de Refracción.

3.1. Área de Estudio

El análisis de los datos obtenidos se realizará utilizando datos proporcionados por estudios realizados en las facultades de Administración, Turismo, Postgrado y el Coliseo, de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, cuyo mapa de presenta en la figura 2. Y las coordenadas en la tabla 5.

Figura 2

Mapa de Ubicación de Zonas de estudio



Nota. Adaptado de CONSULTORA MPC, por M.Peñaherrera C., 2017

Tabla 5

Coordenadas de las zonas de estudio

Ubicación - Líneas Sísmicas	Latitud (N)	Longitud (E)	Altitud
Administración - Líneas Sísmicas 1 (Vp) y 2 (Vs)	9.894.460	528.187	54
Turismo - Líneas Sísmicas 3 (Vp), 4 (Vs) y 5(Vp)	9.894.589	528.070	50
Coliseo - Líneas Sísmicas 6 (Vp), 7 (Vs) y 8(Vp)	9.894.620	528.239	48
Postgrado - Líneas Sísmicas 9 (Vp) y 10 (Vs)	9.894.560	528.437	57

Nota. Fuente: CONSULTORA MPC (pag.4), por M.Peñaherrera C., 2017

3.2. Tipo de Estudio

La presente investigación se enmarca en un enfoque mixto, al integrar características de los enfoques cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se evidencia en el tratamiento de datos numéricos obtenidos de ensayos geotécnicos previamente ejecutados, tales como el ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la Sísmica de Refracción. A partir de estos datos, se aplican diversas correlaciones empíricas y fórmulas propuestas en la literatura técnica para estimar parámetros fundamentales del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción interna. Este enfoque permite realizar una comparación objetiva y medible de los resultados obtenidos a través de ambos métodos, utilizando herramientas estadísticas, tablas, y gráficos como apoyo al análisis.

Paralelamente la investigación incorpora un enfoque cualitativo, el cual se manifiesta en la interpretación técnica y conceptual de los resultados, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio de estudio, así como ventajas, limitaciones y aplicabilidad de cada uno de los métodos indirectos utilizados. Se analiza también el comportamiento del suelo frente a las distintas metodologías de evaluación, lo que permite reflexionar críticamente sobre la confiabilidad y la precisión de los parámetros obtenidos, en función del tipo de suelo, la profundidad de investigación y la naturaleza del ensayo.

De esta manera, la combinación de ambos enfoques metodológicos permite no solo comparar numéricamente los valores estimados, sino también comprender su significado técnico y su relevancia dentro del contexto de la ingeniería geotécnica, aportando un análisis integral que enriquece la toma de decisiones en proyectos de diseño y construcción.

3.3. Procedimiento metodológico

Dentro de los pasos para el análisis investigativo del proyecto se tiene:

1. Se utilizaron los datos de campo en cuatro diferentes sectores dentro de los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), correspondientes a Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y Sísmica de Refracción. La información fue organizada y clasificada según la profundidad y el tipo de ensayo, asegurando la correspondencia entre los puntos evaluados por ambos métodos. Los cuadros detallados con los resultados de campo se incluyen en el Anexo A, donde se presenta la información completa entregada por la consultora responsable del estudio.
2. Para la estimación de los parámetros geomecánicos a partir de los datos recolectados, se seleccionaron diversas correlaciones empíricas propuestas por autores reconocidos en la literatura geotécnica. Para el SPT, se utilizaron fórmulas que relacionan el número de golpes (NSPT) con la cohesión no drenada (C_u) y el Ángulo de fricción interna (ϕ), según autores como Terzaghi & Peck, Shmertmann, entre otros. Para la Sísmica de refracción, se trabajó con las ondas sísmicas, aplicando ecuaciones que permiten estimar (C_u) y (ϕ) en función de (V_p) y (V_s).
3. Toda la información fue ingresada en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Se aplicaron las fórmulas correspondientes para cada punto de estudio, generando dos conjuntos de resultados: uno derivado a los datos de SPT y otro derivado a los valores obtenidos a partir de la Sísmica de Refracción.
4. Una vez obtenidos los parámetros, se construyeron gráficas comparativas en Excel para analizar visualmente las diferencias y similitudes entre los valores estimados de cohesión y ángulo de fricción por ambos métodos en cada punto.

Estas gráficas permitieron identificar tendencias, evaluar la confiabilidad de cada método y discutir posibles causas de discrepancia.

4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Obtención del Ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión no drenada (Cu) a partir del NSPT

4.1.1. Muestra Facultad de Administración

Se presentan en la tabla 6 los resultados del SPT por profundidad otorgados por la consultora, a continuación del cálculo a partir de las fórmulas empíricas señaladas anteriormente, de ángulo de fricción (Tabla 7) y cohesión (Tabla 8).

Tabla 6

NSPT Facultad de Administración

PROFUNDIDAD	MUESTRA	N GOLPES	N60
1.0			
	1.5	40	24.00
2.0			
	3.0	78	46.80
4.0			
	4.5	89	53.40
5.0			

Nota. Fuente: CONSULTORA MPC (pag.4), por M.Peñaherrera C., 2017.

Tabla 7*Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en la Facultad de Administración*

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ							
PROFUNDIDAD	N60 GOLPES	Terzaghi & Peck	Peck <i>et al</i>	Kishida	Schmertmann	JNR (Japan National Railway)	JRB (Japan Road Bureau)
1.5	24.00	34.50	34.6756	36.91	38.79	34.20	30.00
3.0	46.80	40.2	40.1602	45.59	48.03	41.04	35.95
4.5	53.40	41.85	41.4063	47.68	49.29	43.02	37.37

Nota. Fuente: El autor**Tabla 8***Resultados de Cohesión con NSPT en la Facultad de Administración*

Cu COHESION (kPa)								
PROFUNDIDAD	N60 GOLPES	Terzaghi & Peck (1967)	Stroud (1974)	Serajuddin y Chowdhury (1996)	Sivrikaya y Togrol	Bashar	Shaha	Sing <i>et al.</i>
1.5	24.00	120.0	105.60	201.60	165.60	207.84	198	118.56
3.0	46.80	234.0	205.92	393.12	322.92	405.288	386.1	231.192
4.5	53.40	267.0	234.96	448.56	368.46	462.444	440.55	263.796

Nota. Fuente: El autor.

4.1.2. Muestra Facultad de Turismo

Se presentan en la tabla 9 los resultados del SPT por profundidad otorgados por la consultora, a continuación del cálculo a partir de las fórmulas empíricas señaladas anteriormente, de ángulo de fricción (Tabla 10) y cohesión (Tabla 11).

Tabla 9*NSPT Facultad de Turismo*

PROFUNDIDAD	MUESTRA	N GOLPES	N60
1.0			
	1.5	21	12.6
2.0			
	3.0	24	14.4
3.0			
	4.5	33	19.8
4.0			
	6.0	36	21.6
5.0			
	7.5	36	21.6
6.0			
	8.0		

Nota. Fuente: CONSULTORA MPC (pag.4), por M.Peñaherrera C., 2017.

Tabla 10*Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en la Facultad de Turismo*

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ							
PROFUNDIDAD	N GOLPES	Terzaghi & Peck	Peck et al	Kishida	Schmertmann	JNR (Japan National Railway)	JRB (Japan Road Bureau)
1.5	12.6	31.65	31.08	30.87	26.51	30.78	25.87
3.0	14.4	32.1	31.69	31.97	29.11	31.32	26.62
4.5	19.8	33.45	33.43	34.90	35.30	32.94	28.62
6.0	21.6	33.9	33.97	35.78	36.91	33.48	29.23
7.5	21.6	33.9	33.97	35.78	36.91	33.48	29.23

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 11*Resultados de Cohesión con NSPT en la Facultad de Turismo*

PROFUNDIDAD	Cu COHESION (kPa)							
	N GOLPES	Terzaghi & Peck(1967)	Stroud (1974)	Serajuddin y Chowdhury (1996)	Sivrikaya y Togrol	Bashar	Shaha	Sing et al.
1.5	12.6	63.0	55.44	105.84	86.94	109.116	103.95	62.244
3.0	14.4	72.0	63.36	120.96	99.36	124.704	118.8	71.136
4.5	19.8	99.0	87.12	166.32	136.62	171.468	163.35	97.812
6.0	21.6	108.0	95.04	181.44	149.04	187.056	178.2	106.704
7.5	21.6	108.0	95.04	181.44	149.04	187.056	178.2	106.704

Nota. Fuente: El autor.**4.1.3. Muestra Coliseo**

Se presentan en la tabla 12 los resultados del SPT por profundidad otorgados por la consultora, a continuación del cálculo a partir de las fórmulas empíricas señaladas anteriormente, de ángulo de fricción (Tabla 13) y cohesión (Tabla 14).

Tabla 12*NSPT Coliseo*

PROFUNDIDAD	MUESTRA	N GOLPES	N60
1.0			
	1.5	25	15
2.0			
	3.0	27	16.2
4.0			
	4.5	23	13.8
5.0			
	6.0	27	16.2
7.0			
	7.5	27	16.2

8.0

Nota. Fuente: CONSULTORA MPC (pag.4), por M.Peñaherrera C., 2017.

Tabla 13

Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en el Coliseo

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ							
PROFUNDIDAD	N GOLPES	Terzaghi & Peck	Peck et al	Kishida	Schmertmann	JNR (Japan National Railway)	JRB (Japan Road Bureau)
1.5	15	32.25	31.89	32.32	29.91	31.50	26.86
3.0	16.2	32.55	32.29	33.00	31.42	31.86	27.32
4.5	13.8	31.95	31.49	31.61	28.28	31.14	26.37
6.0	16.2	32.55	32.29	33.00	31.42	31.86	27.32
7.5	16.2	32.55	32.29	33.00	31.42	31.86	27.32

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 14

Resultados de Cohesión con NSPT en el Coliseo

Cu COHESION (kPa)								
PROFUNDIDAD	N GOLPES	Terzaghi & Peck (1967)	Stroud (1974)	Serajuddin y Chowdhury (1996)	Sivrikaya y Togrol	Bashar	Shaha	Sing et al.
1.5	15	75.0	66.00	126.00	103.50	129.90	123.75	74.10
3.0	16.2	81.0	71.28	136.08	111.78	140.29	133.65	80.03
4.5	13.8	69.0	60.72	115.92	95.22	119.51	113.85	68.17
6.0	16.2	81.0	71.28	136.08	111.78	140.29	133.65	80.03
7.5	16.2	81.0	71.28	136.08	111.78	140.29	133.65	80.03

Nota. Fuente: El autor.

4.1.4. Parámetros Postgrado

Se presentan en la tabla 15 los resultados del NSPT por profundidad otorgados por la consultora, a continuación del cálculo a partir de las fórmulas empíricas señaladas anteriormente, de ángulo de fricción (Tabla 16) y cohesión (Tabla 17).

Tabla 15*NSPT Postgrado*

PROFUNDIDAD	MUESTRA	N GOLPES	N60
1.0			
	1.5	19	11.4
2.0			
	3.0	31	18.6
4.0			
	4.5	43	25.8
5.0			
	6	32	19.2
7.0			
	7.5	42	25.2
8.0			

Nota. Fuente: CONSULTORA MPC (pag.4), por M Peñaherrera C., 2017.

Tabla 16*Resultados de Ángulo de Fricción con NSPT en Postgrado*

PROFUNDIDAD	ANGULO DE FRICCIÓN ϕ						
	N GOLPES	Terzaghi & Peck	Peck <i>et al</i>	Kishida	Schmertmann	JNR (Japan National Railway)	JRB (Japan Road Bureau)
1.5	11.4	31.35	30.66	30.10	24.60	30.42	25.34
3.0	18.6	33.15	33.05	34.29	34.11	32.58	28.21
4.5	25.8	34.95	35.19	37.72	40.03	34.74	30.55
6.0	19.2	33.3	33.24	34.60	34.71	32.76	28.42
7.5	25.2	34.8	35.02	37.45	39.63	34.56	30.37

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 17*Resultados de Cohesión con NSPT en Postgrado*

PROFUNDIDAD	Cu COHESION (kPa)							
	N GOLPES	Terzaghi & Peck (1967)	Stroud (1974)	Serajuddin y Chowdhury (1996)	Sivrikaya y Togrol	Bashar	Shaha	Sing et al.
1.5	11.4	57.0	50.16	95.76	78.66	98.72	94.05	56.32
3.0	18.6	93.0	81.84	156.24	128.34	161.08	153.45	91.88
4.5	25.8	129.0	113.52	216.72	178.02	223.43	212.85	127.45
6.0	19.2	96.0	84.48	161.28	132.48	166.27	158.40	94.85
7.5	25.2	126.0	110.88	211.68	173.88	218.23	207.90	124.49

Nota. Fuente: El autor.

4.2. Obtención del Ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión no drenada (Cu) a partir de las ondas de Corte (Vs)

4.2.1. Muestra facultad de Administración

A partir de los resultados de los ensayos de sísmica de refracción, se procede a calcular con las fórmulas empíricas halladas, los valores de ángulo de fricción (Tabla 18) y cohesión (Tabla 19).

Tabla 18*Resultados de Ángulo de Fricción con Vp y Vs en la Facultad de Administración*

VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	ANGULO DE FRICCIÓN ϕ			
		Aristizábal J. et al. (2017)	Santamarina et al. (2001)	(Naranjo H. 2010)	Pasmíño 2017
Vp=58-800	429.00	37.68	28.60	34.35	27.50
Vs=287-400	343.50				

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 19*Resultados de Cohesión con Vp y Vs en la Facultad de Administración*

Cu COHESION (kPa)				
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	(Naranjo H. 2010)	Gómez y Tobón (2017)
Vp=58-800	429.00	189.79	68.47	41.24
Vs=287-400	343.50			

Nota. Fuente: El autor.**4.2.2. Muestra facultad de Turismo**

A partir de los resultados de los ensayos de sísmica de refracción, se procede a calcular con las fórmulas empíricas halladas, los valores de ángulo de fricción (Tabla 20) y cohesión (Tabla 21)

Tabla 20*Resultados de Ángulo de Fricción con Vp y Vs en la Facultad de Turismo*

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ					
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	Santamarina et al. (2001)	(Naranjo H. 2010)	Pasmíño 2017
Vp=130-400	265.00	64.23	27.68	38.28	27.18
Vs=230-400	315.00				

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 21*Resultados de Cohesión con Vp y Vs en la Facultad de Turismo*

Cu COHESION (kPa)				
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	(Naranjo H. 2010)	Gómez y Tobón (2017)
Vp=130-400	265.00	74.02	75.18	33.98
Vs=230-400	315.00			

Nota. Fuente: El autor.**4.2.3. Muestra Coliseo**

A partir de los resultados de los ensayos de sísmica de refracción, se procede a calcular con las fórmulas empíricas halladas, los valores de ángulo de fricción (Tabla 22) y cohesión (Tabla 23).

Tabla 22*Resultados de Ángulo de Fricción con Vp y Vs en el Coliseo*

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ					
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	Santamarina et al. (2001)	(Ref. Naranjo H. 2010)	Pasmíño 2017
Vp= 183 - 800	491.50	20.31	25.19	27.35	28.07
Vs=98 - 400	249.00				

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 23*Resultados de Cohesión con Vp y Vs en el Coliseo*

Cu COHESION (kPa)				
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	(Ref. Naranjo H. 2010)	Gómez y Tobón (2017)
Vp= 183 - 800	491.50	564.93	56.52	17.17
Vs=98 - 400	249.00			

Nota. Fuente: El autor.**4.2.4. Muestra Postgrado**

A partir de los resultados de los ensayos de sísmica de refracción, se procede a calcular con las fórmulas empíricas halladas, los valores de ángulo de fricción (Tabla 24) y cohesión (Tabla 25)

Tabla 24*Resultados de Ángulo de Fricción con Vp y Vs en Postgrado*

ANGULO DE FRICCIÓN ϕ					
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	Santamarina et al. (2001)	Naranjo H. 2010)	Pasmíño 2017
Vp= 161 - 800	480.50	32.33	28.60	32.90	27.62
Vs= 287 - 400	343.50				

Nota. Fuente: El autor.

Tabla 25

Resultados de Cohesión con Vp y Vs en Postgrado

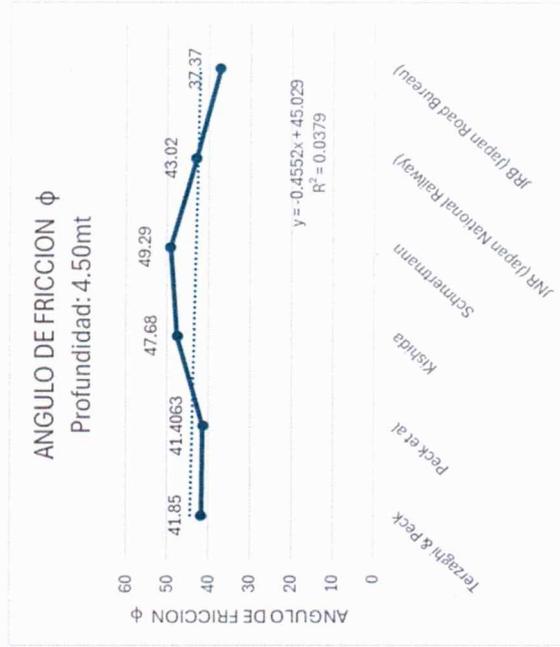
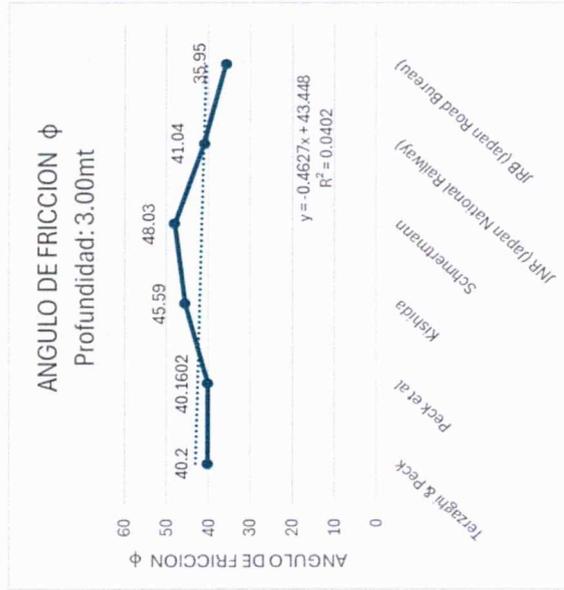
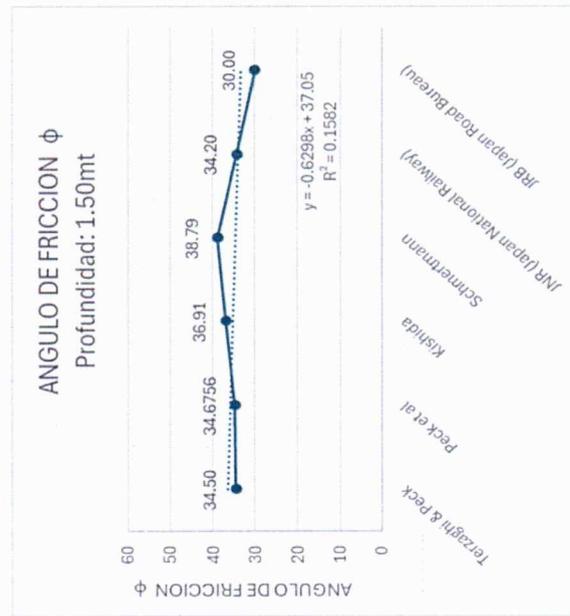
Cu COHESION (kPa)				
VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE	VALOR PROMEDIO (m/s)	Aristizábal J. et al. (2017)	Naranjo H. 2010)	Gómez y Tobón (2017)
Vp= 161 - 800	480.50	248.65	66.00	41.24
Vs= 287 - 400	343.50			

Nota. Fuente: El autor.

4.3. Gráficas de dispersión

4.3.1. Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Administración-NSPT (Figura 3)

Figura 3
Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m.

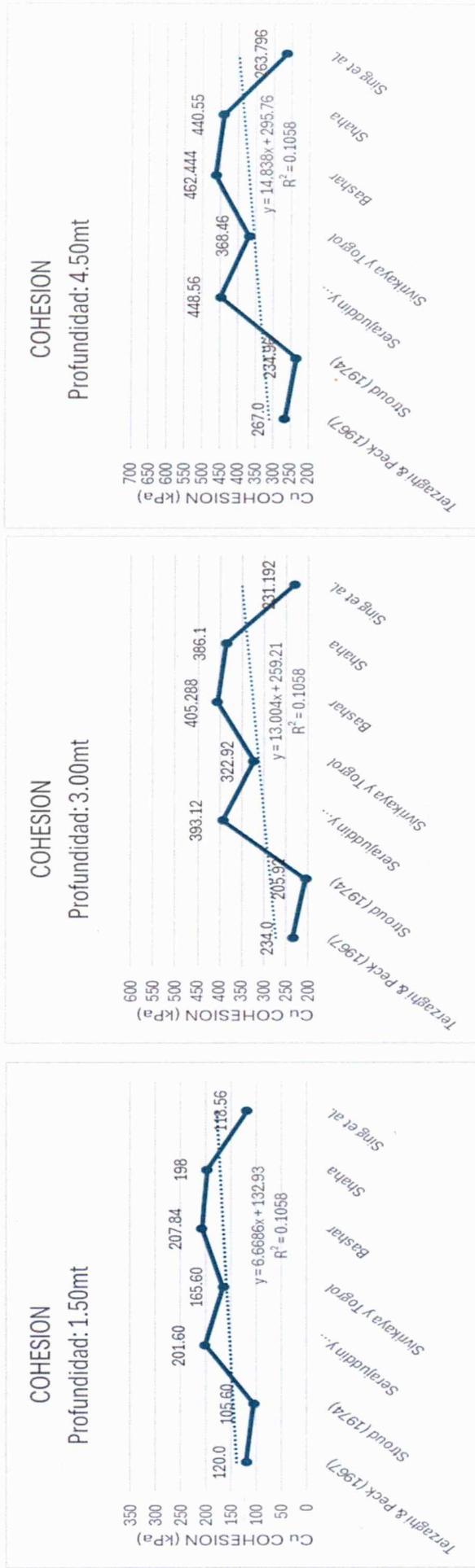


Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Administración- NSPT (Figura 4)

Figura 4

Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m

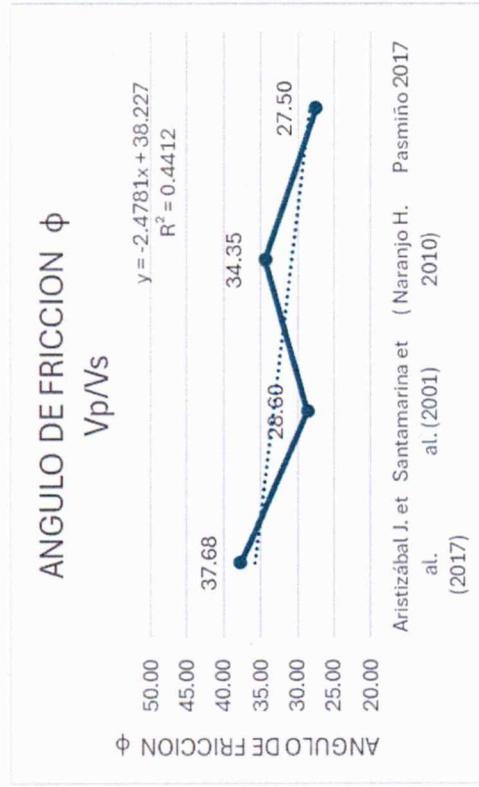


Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Administración- Vs/Vp (Figura 5)

Figura 5

Gráfica de Ángulo de Fricción con Vp/Vs

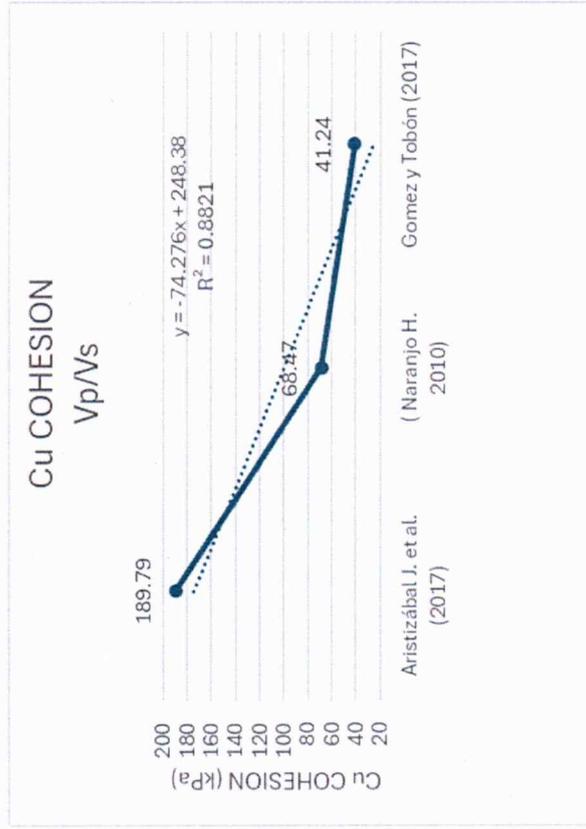


Nota. Elaboración propia.

4.3.4. Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Administración- Vs/Vp (Figura 6)

Figura 6

Gráfica de Cohesión no drenada con Vp/Vs

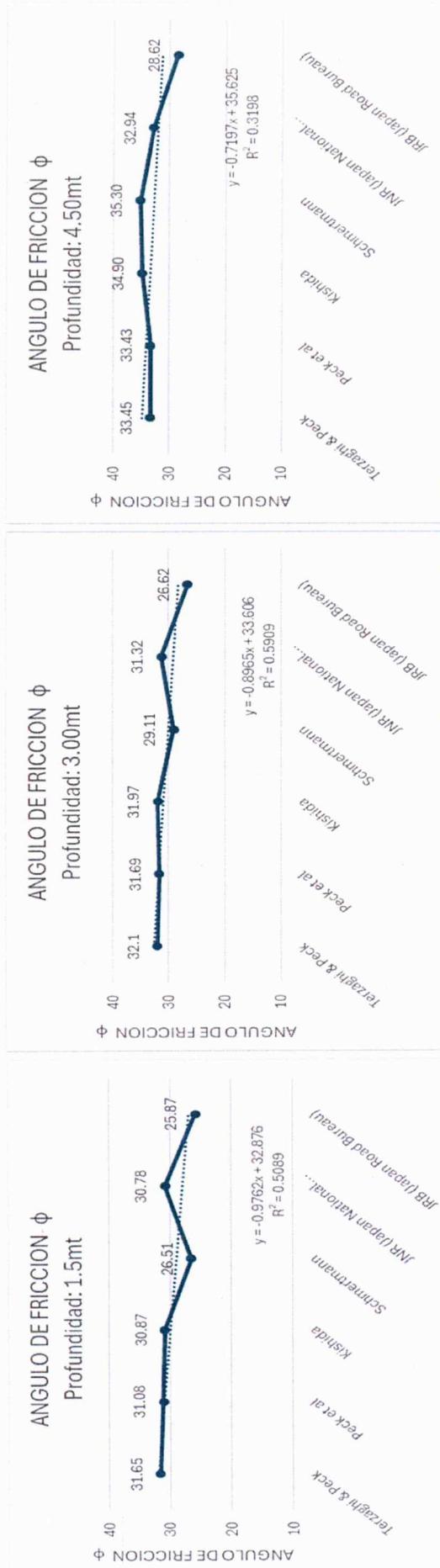


Nota. Elaboración propia.

4.3.5. Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Turismo- NSPT (Figura 7) (Figura 8)

Figura 7

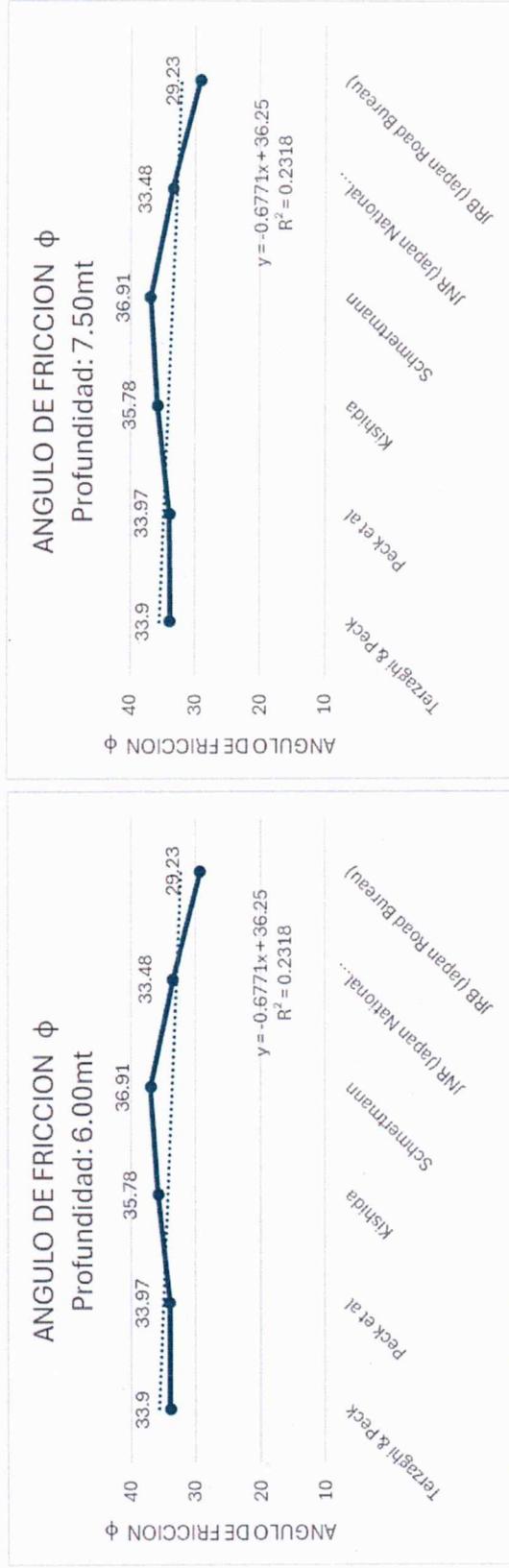
Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m

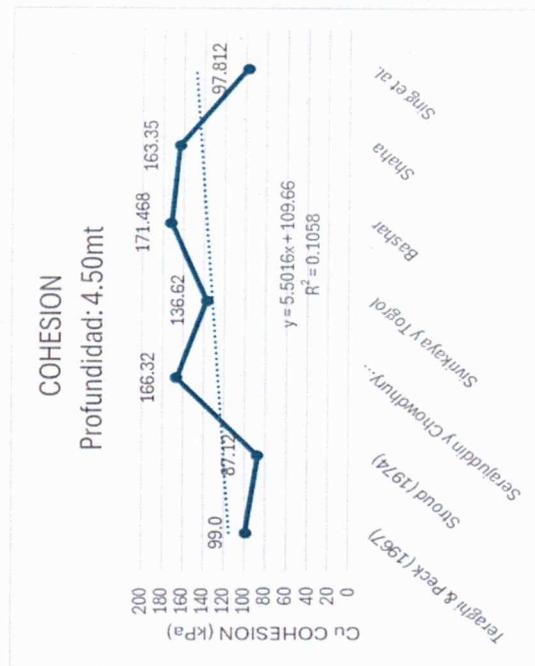
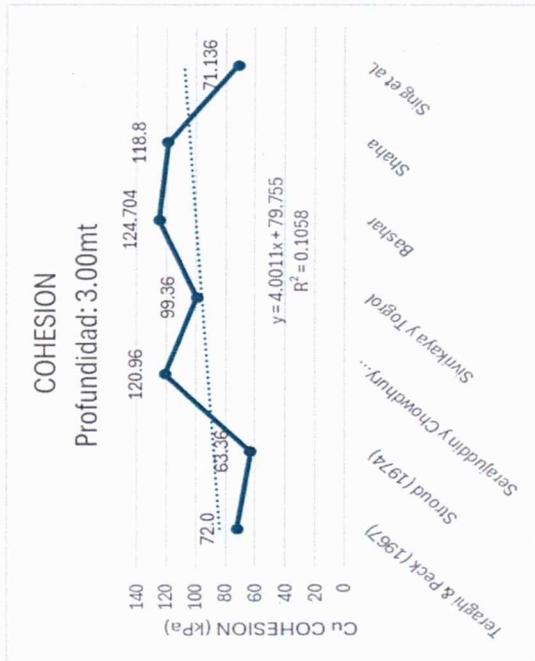
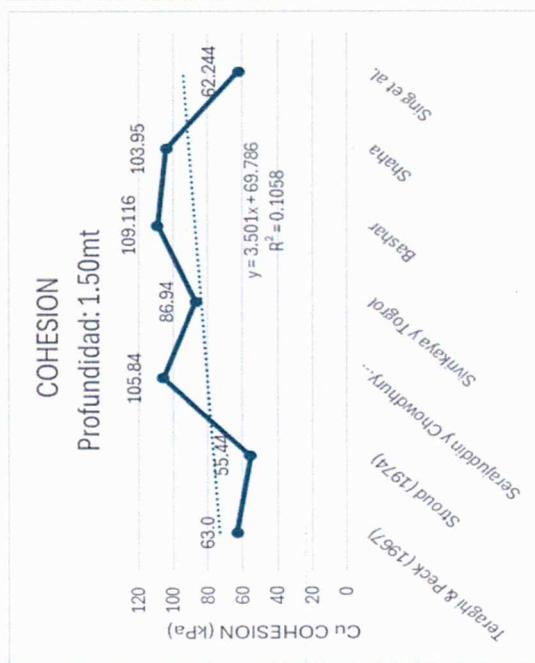


Nota. Elaboración propia.

4.3.6. Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Turismo- NSPT (Figura 9) (Figura 10)

Figura 9

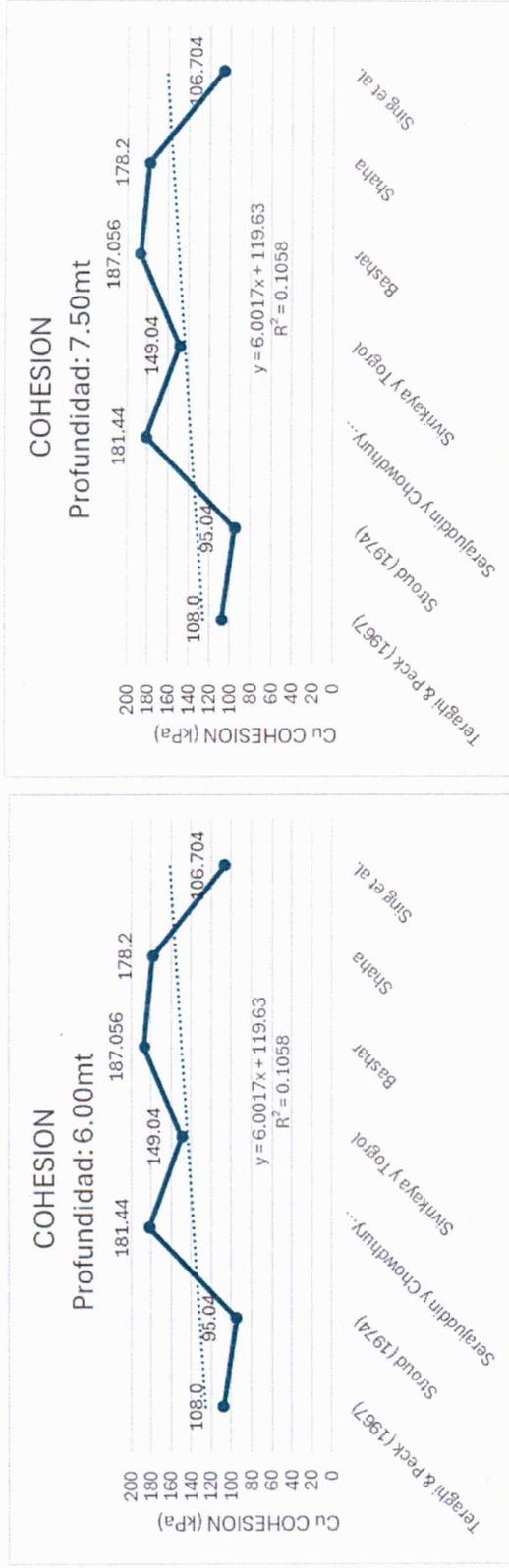
Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m



Nota. Elaboración propia.

Figura 10

Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m

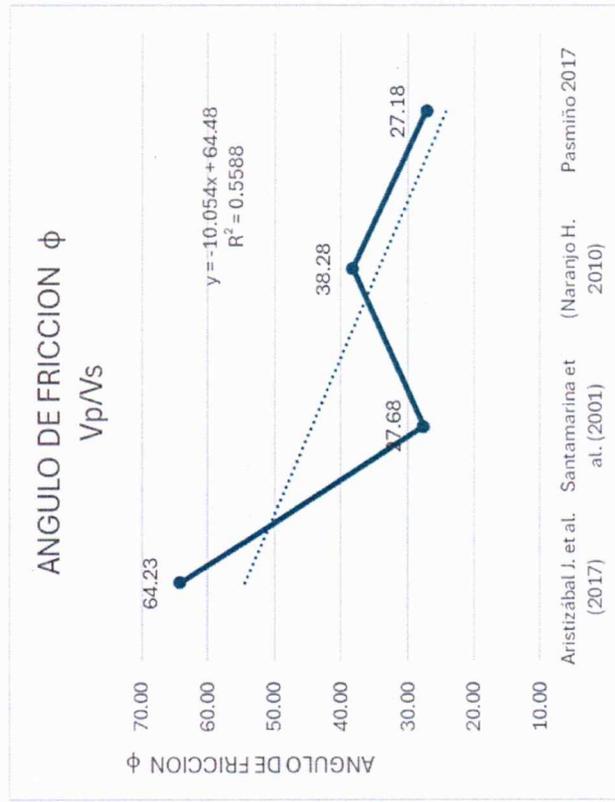


Nota. Elaboración Propia

4.3.7. Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Turismo- Vs/Vp (Figura 11)

Figura 11

Gráfica de Ángulo de Fricción con Vp/Vs

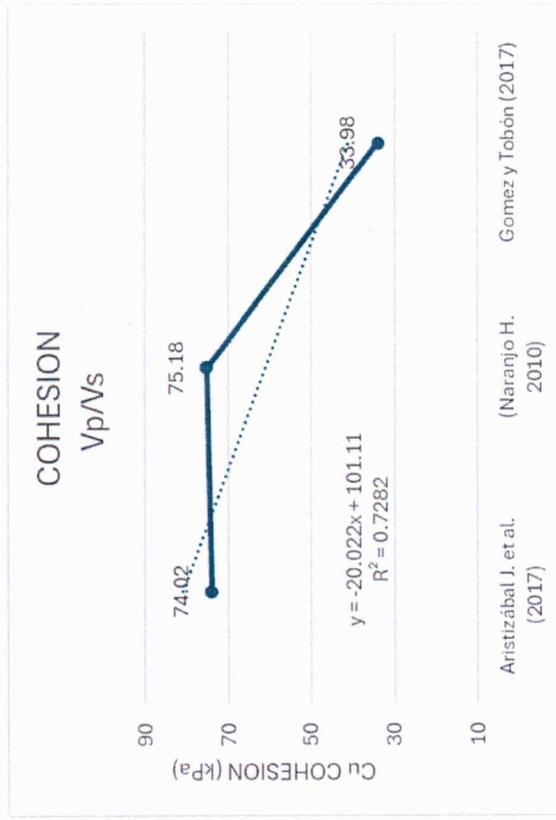


Nota. Elaboración propia.

4.3.8. Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Turismo – Vs/Vp (Figura 12)

Figura 12

Gráfica de Cohesión no drenada con Vp/Vs

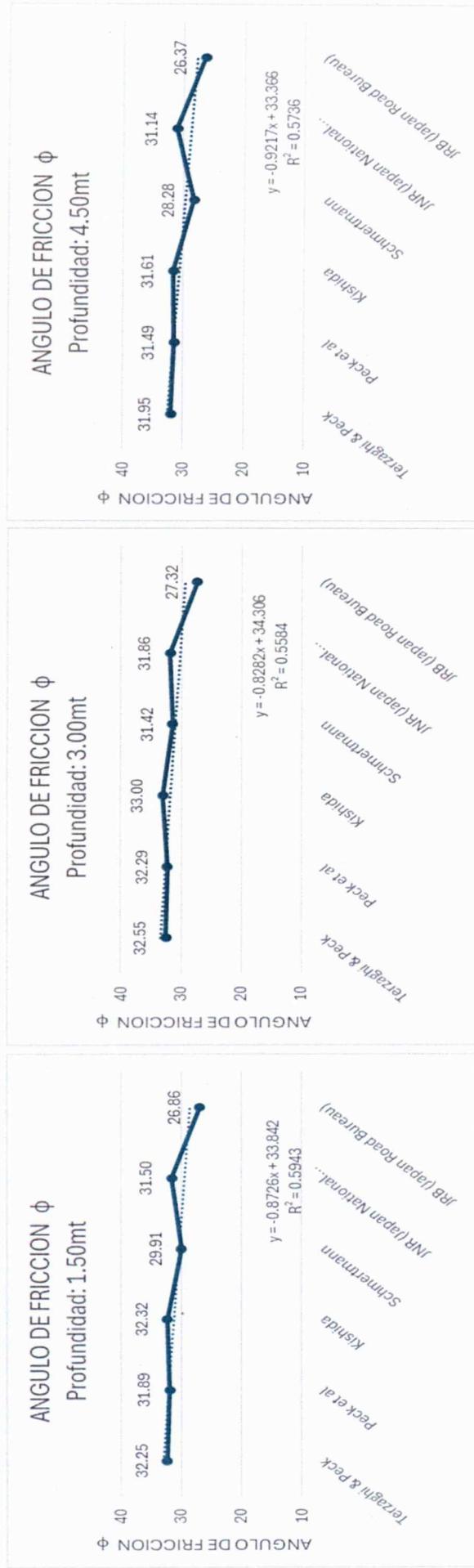


Nota. Elaboración propia.

4.3.9. Gráfica de Ángulo de Fricción muestra Coliseo – NSPT (Figura 13) (Figura 14)

Figura 13

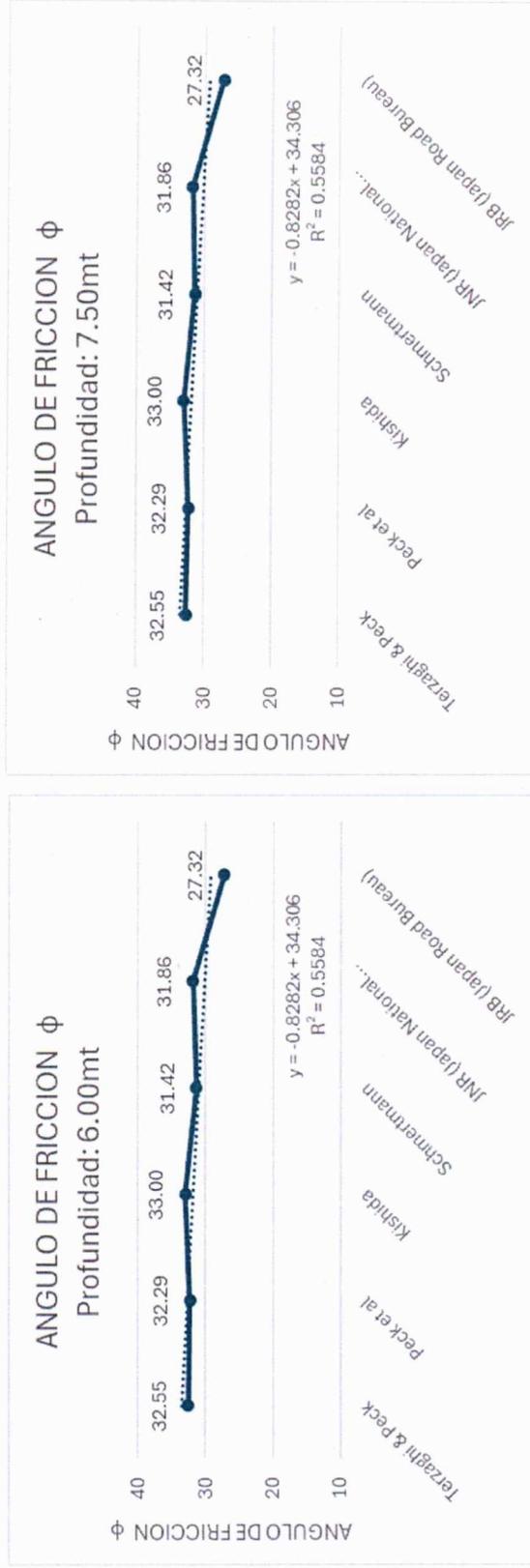
Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 14

Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m

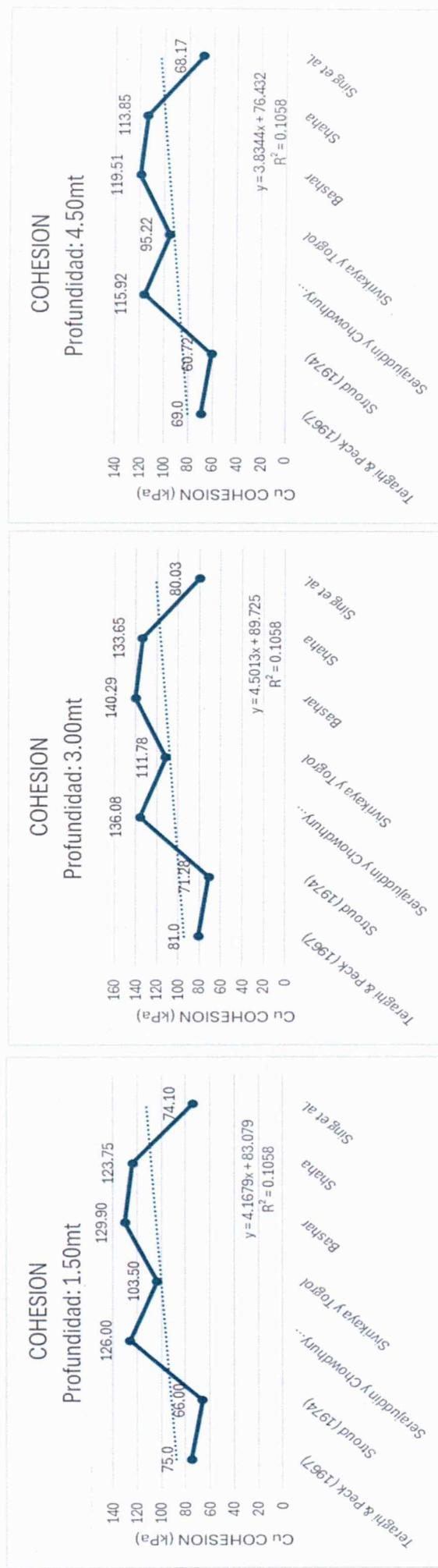


Nota. Elaboración propia

4.3.10. Gráfica de Cohesión no drenada Muestra Coliseo – NSPT (Figura 15) (Figura 16)

Figura 15

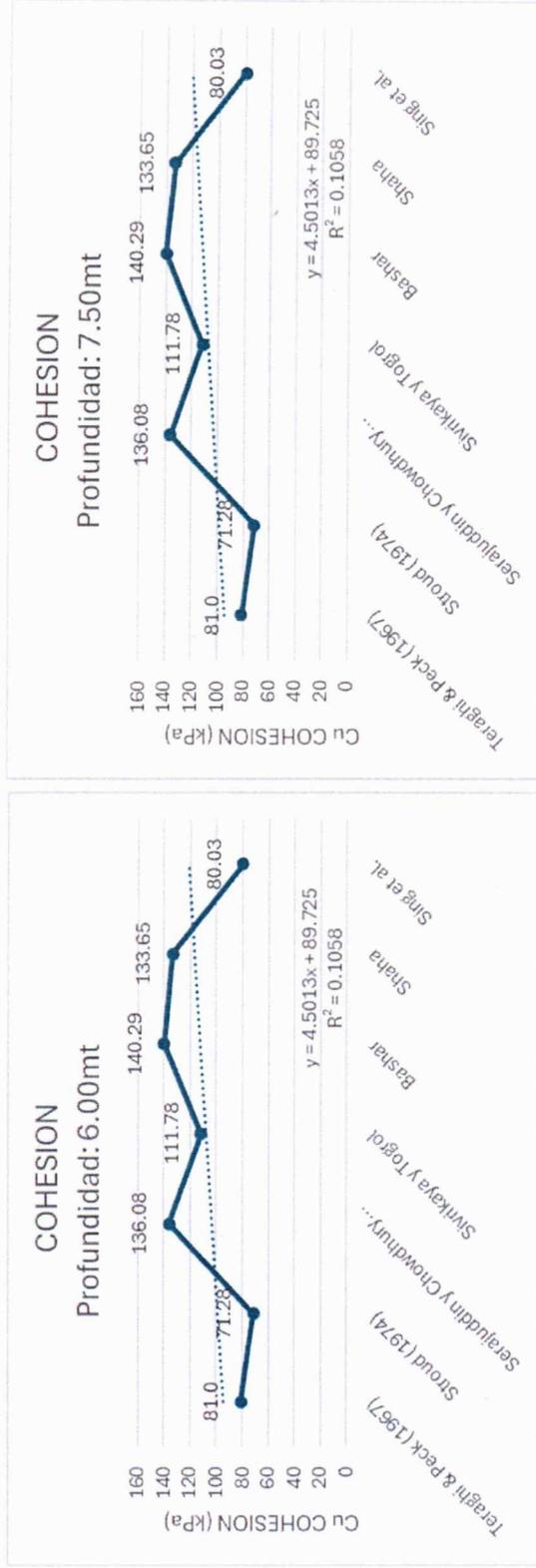
Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m



Nota. Elaboración propia.

Figura 16

Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m

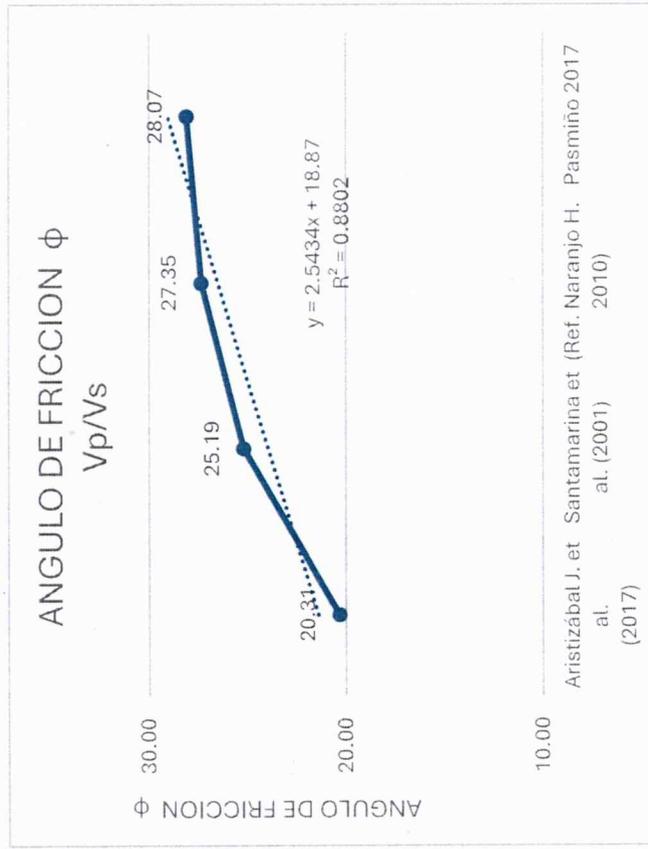


Nota. Elaboración propia.

4.3.11. Gráfica de Ángulo de Fricción Coliseo – Vs/Vp (Figura 17)

Figura 17

Gráfica de Ángulo de Fricción con Vp/Vs

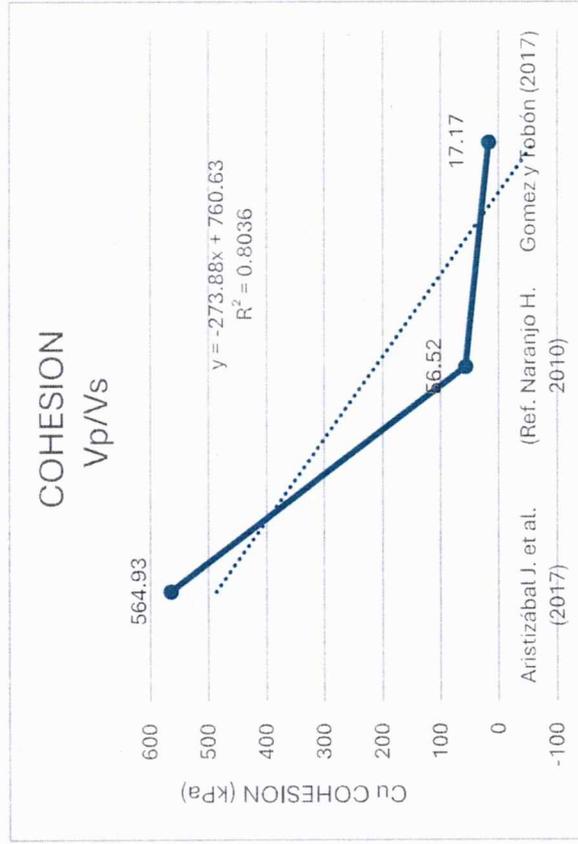


Nota. Elaboración propia.

4.3.12. Gráfica de Cohesión no drenada Coliseo – Vs/Vp (Figura 18)

Figura 18

Gráfica de Cohesión no drenada con Vp/Vs

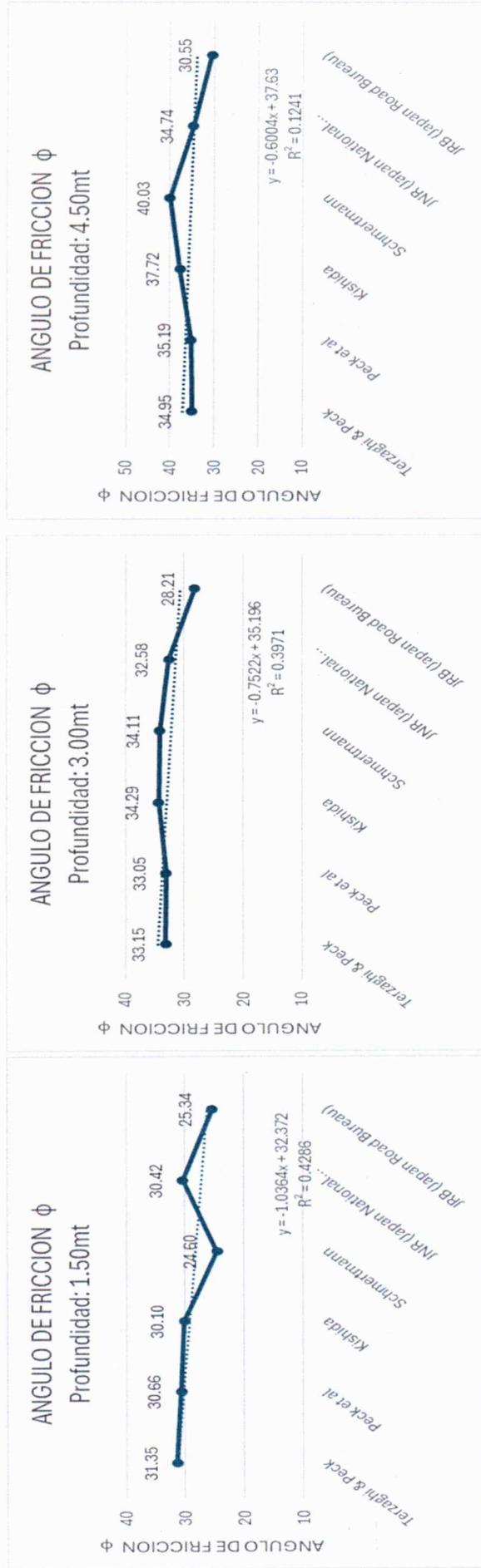


Nota. Elaboración propia.

4.3.13. Gráfica de Ángulo de Fricción Muestra Postgrado – NSPT (Figura 19) (Figura 20)

Figura 19

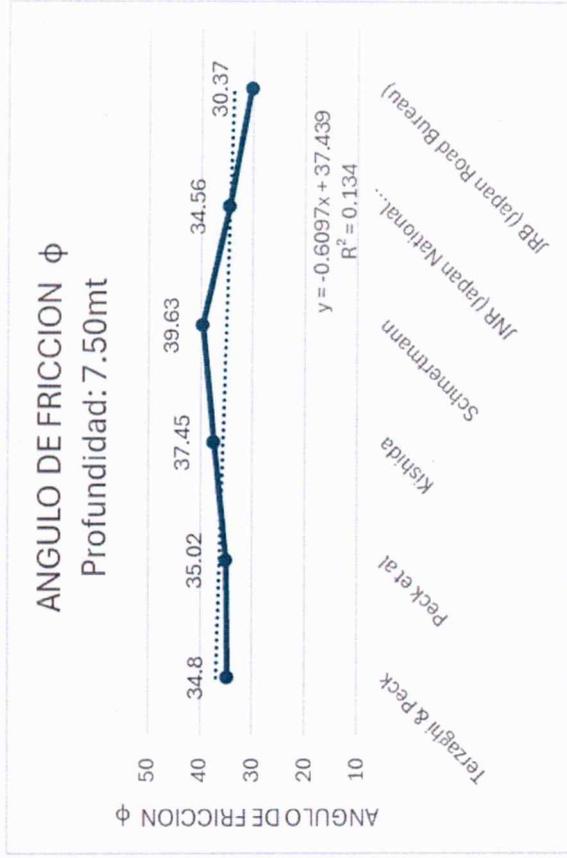
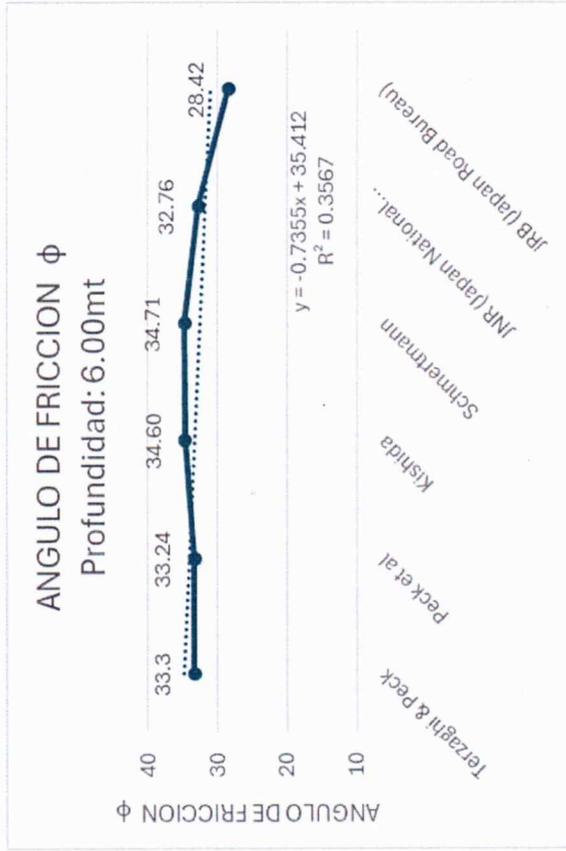
Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m.



Nota. Elaboración propia.

Figura 20

Gráficas de Ángulo de fricción con NSPT a 6m y 7.5m

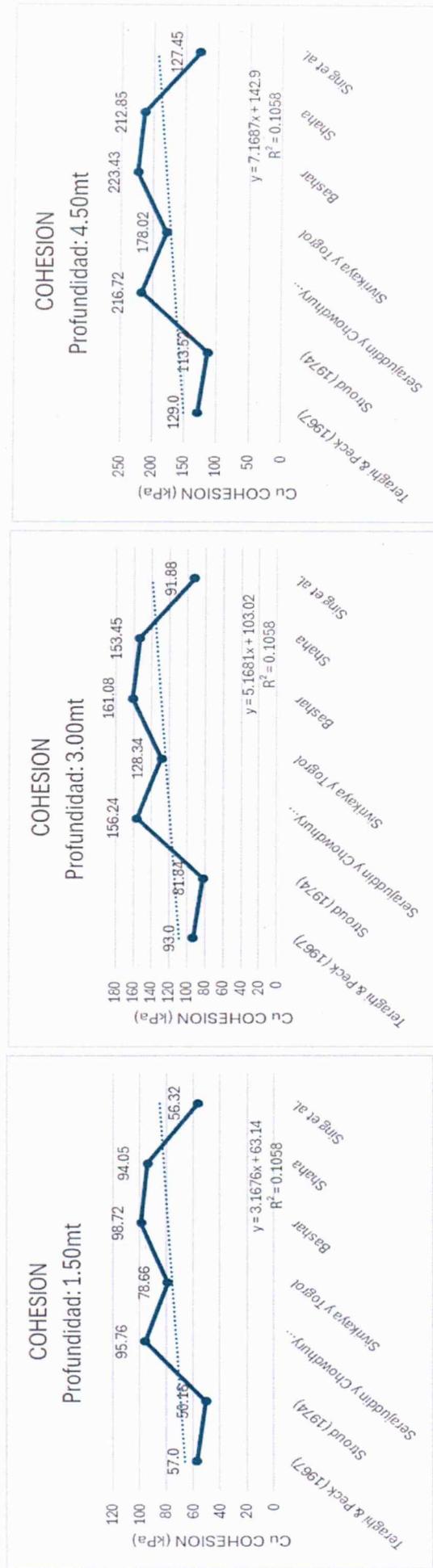


Nota. Elaboración propia.

4.3.14. Gráfica de Cohesión No Drenada Muestra Postgrado – NSPT (Figura 21) (Figura 22)

Figura 21

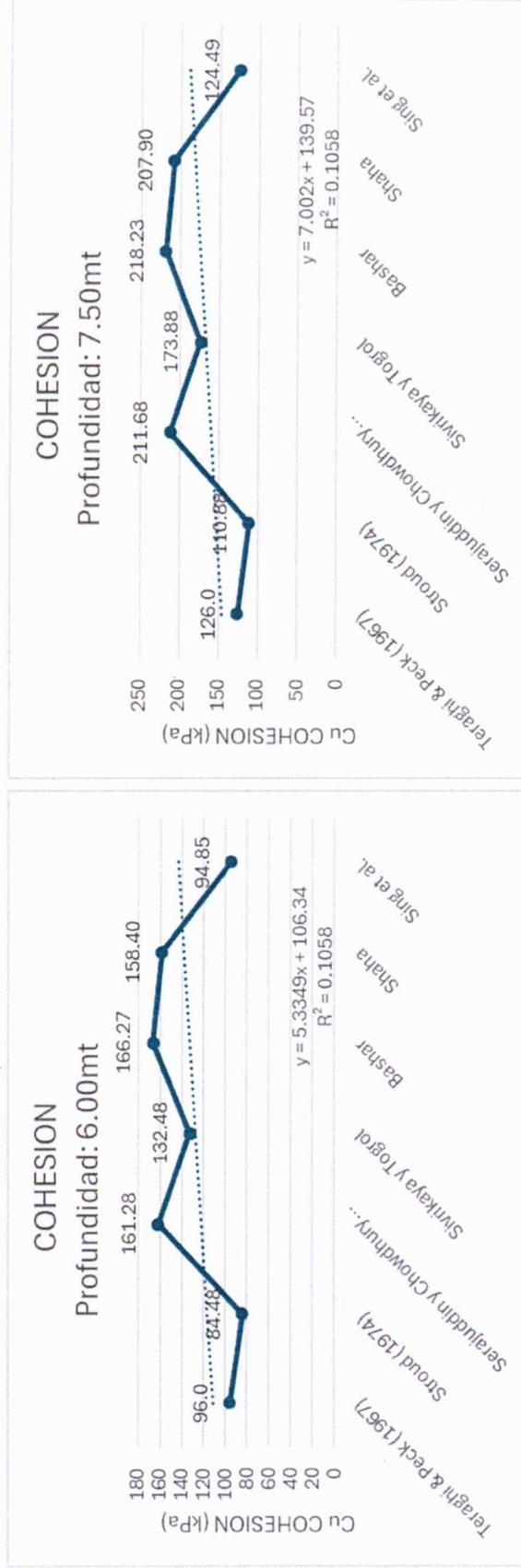
Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 1.5m, 3m y 4.5m



Nota. Elaboración propia.

Figura 22

Gráfica de Cohesión no Drenada con NSPT a 6m y 7.5m

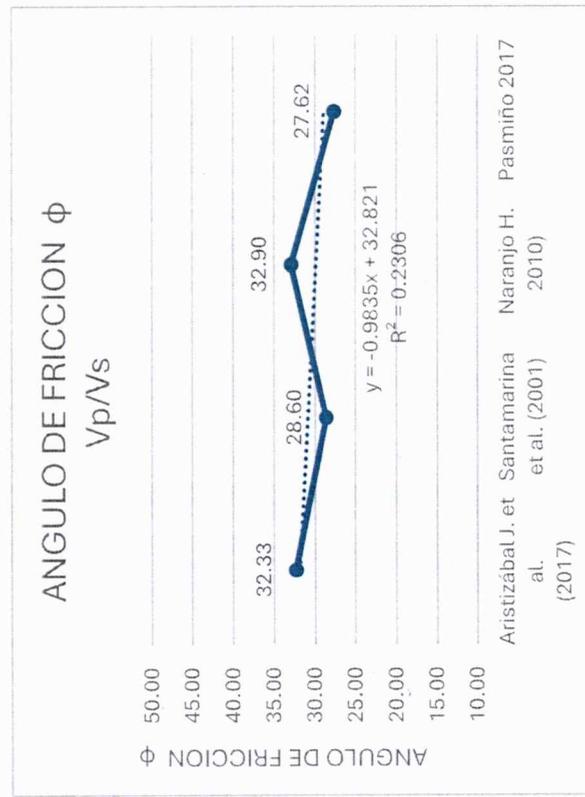


Nota. Elaboración propia.

4.3.15. Gráfica de Ángulo de fricción muestra Postgrado – Vs/Vp (Figura 23)

Figura 23

Gráfica de Ángulo de Fricción con Vp/Vs

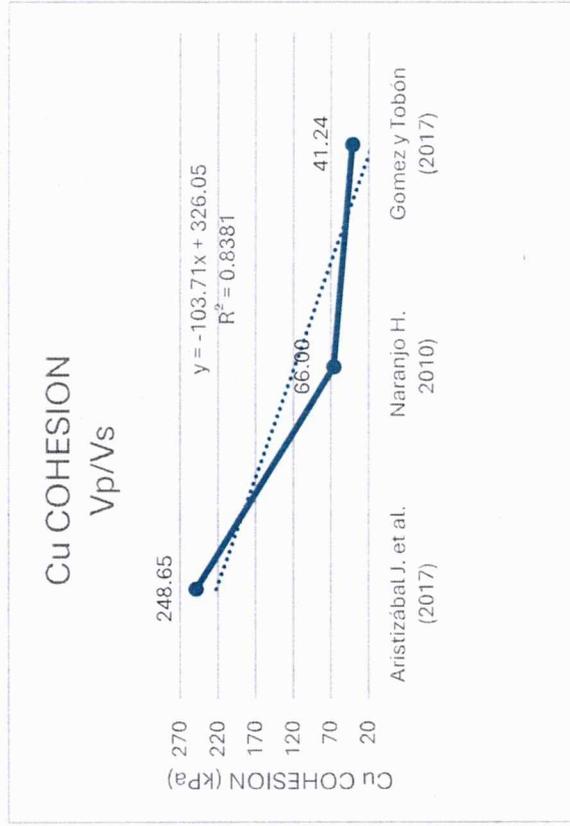


Nota. Elaboración propia.

4.3.16. Gráfica de Cohesión No Drenada muestra Postgrado –Vs/Vp (Figura 24)

Figura 24

Gráfica de Cohesión no drenada con Vp/Vs



Nota. Elaboración propia.

4.4. Análisis

4.4.1. Muestra Administración

Ensayo	Análisis
Ensayo de Penetración Estándar	A lo largo de las profundidades evaluadas, los valores del ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u) muestran una relación directa con el aumento del N60, reflejando una mejora en las condiciones del suelo. A 1,5 m de profundidad con un N60 de 24, los valores más representativos de ϕ se ubican entre $34,20^\circ$ y $34,68^\circ$, mientras que la C_u más acorde al tipo de suelo (arcilla media) oscila entre 105,60 kPa y 120,0 kPa. A 3,0 m de profundidad, con un suelo más denso, los valores de ϕ más realistas se sitúan entre $40,16^\circ$ y $41,04^\circ$, y la cohesión C_u se incrementa a valores entre 205,92 kPa y 234,0 kPa. Finalmente, a 4,5 m de profundidad, los parámetros alcanzan sus máximos: el ángulo de fricción se ubica entre $41,41^\circ$ y $43,02^\circ$, y la cohesión varía entre 234,96 kPa y 267,0 kPa, lo cual indica un suelo muy denso o una arcilla muy dura. Los autores Peck, Terzaghi y Stroud presentan los valores más consistentes con la realidad geotécnica del terreno.
Ensayo Sísmica de Refracción	El análisis conjunto de los parámetros ϕ y C_u a partir del ensayo de sísmica de refracción reveló que el perfil del suelo está compuesto por limos arcillo-arenosos sueltos en superficie, conglomerados meteorizados medianamente compactos en profundidad y un basamento de lutitas. Las velocidades sísmicas obtenidas ($V_p = 429$ m/s y $V_s = 343.5$ m/s) permitieron estimar valores de ángulo de fricción interna entre 27.5° y

37.7°, observándose que ϕ aumenta con la profundidad y el grado de compactación, siendo más alto en los estratos cementados. cuanto, a la cohesión no drenada, los valores oscilaron entre 41.24 kPa y 189.79 kPa, con las estimaciones más altas asociadas a materiales más resistentes en profundidad.

Correlación

En el sitio evaluado, los ensayos de SPT y sísmica de refracción indican la presencia de suelos limo-arcillosos y arenosos de compacidad media a alta, con velocidades sísmicas promedio de $V_p = 429$ m/s y $V_s = 343,5$ m/s, y valores de N60 entre 24 y 53,4. El ángulo de fricción interna (ϕ) obtenido del SPT varió entre 34,20° y 43,02°, siendo más representativos los valores de Peck et al (34,68°) y Naranjo (34,35°) desde la sísmica, por reflejar suelos medianamente densos. En cuanto a la cohesión no drenada (C_u), los valores del SPT oscilaron entre 105,60 kPa y 267,0 kPa, mientras que en la sísmica los rangos fueron de 41,24 kPa a 189,79 kPa, destacando como más cercanos a la realidad los de Naranjo (68,47 kPa) y Terzaghi & Peck (120,0 kPa), adecuados para suelos finos con resistencia media. Ambos ensayos coinciden en que el terreno presenta buenas condiciones geotécnicas con parámetros consistentes y utilizables en el diseño.

4.4.2. Muestra Turismo

Ensayo	Análisis
Ensayo de Penetración Estándar	<p>El análisis del ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u) a partir del NSPT indica que los métodos de Terzaghi & Peck, Peck et al. y JNR para ϕ varían de $30,78^\circ$ a $33,90^\circ$, y los de Terzaghi & Peck, Stroud y Singh et al. para C_u de 55 a 108 kPa, ofrecen valores realistas y coherentes con suelos de densidad media a alta y consistencia firme. Estos autores reflejan adecuadamente el comportamiento de suelos granulares finos y arcillosos moderadamente compactados. En cambio, métodos como Schmertmann y Kishida en ϕ, y Bashar o Shaha en C_u, tienden a sobreestimar la resistencia, lo que podría no representar fielmente condiciones reales si no se confirma con ensayos de laboratorio.</p>
Ensayo Sísmica de Refracción	<p>El análisis conjunto del ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u) a partir del ensayo de sísmica de refracción, con una velocidad de onda de compresión promedio V_p de 265 m/s, indica que los valores más realistas y coherentes con el tipo de suelo son los propuestos por Naranjo (2010), quien estima un ϕ de $38,28^\circ$ y una C_u de 75,18 kPa, reflejando adecuadamente la transición entre materiales sueltos y conglomerados con mayor resistencia. En cambio, Aristizábal et al. (2017) sobreestima el ángulo de fricción con $64,23^\circ$, y Gómez y Tobón (2017) subestiman la cohesión con 33,98 kPa, valores que</p>

no representan fielmente el comportamiento del perfil completo. Por tanto, para propósitos de diseño, se recomienda considerar un ángulo de fricción entre 27° y 38°, y una cohesión no drenada entre 70 y 75 kPa, rangos que se ajustan mejor a la realidad del subsuelo evaluado.

Correlación

El análisis de la correlación que se efectúa entre el ensayo SPT y la sísmica de refracción realizados en el mismo sitio revela una buena coherencia en los parámetros obtenidos. El ángulo de fricción interna (ϕ) estimado por el SPT varía entre 30,78° y 33,90°, valores que reflejan suelos granulares de densidad media a alta. Por otro lado, la sísmica de refracción, con una velocidad promedio de onda de compresión $V_p = 265$ m/s, sugiere un ángulo de fricción de hasta 38,28°, compatible con la presencia de limos arcillo-arenosos sueltos sobre estratos conglomeráticos. En cuanto a la cohesión no drenada (C_u), el SPT arroja valores entre 63 y 108 kPa, mientras que la sísmica la estima en alrededor de 74–75 kPa, todos adecuados para suelos parcialmente consolidados.

4.4.3. Muestra Coliseo

Ensayo

Análisis

Ensayo de Penetración Estándar El análisis entre el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u), muestra que los métodos de Terzaghi & Peck, Peck et al. y JNR entregan ángulos de fricción entre $31,14^\circ$ y $32,55^\circ$, valores coherentes con la naturaleza del suelo y adecuados para diseño preliminar. En cuanto a la cohesión, los valores más realistas y equilibrados fueron los de Terzaghi & Peck y Sing et al., con rangos entre 69 y 81 kPa, representativos de una resistencia media. Por su parte, métodos como Kishida, Bashar y Shaha dan valores más altos, de hasta 33° para ϕ y 140 kPa para C_u , que podrían sobreestimar la resistencia si no se verifican con ensayos de laboratorio. En cambio, Stroud y JRB ofrecen estimaciones más conservadoras, con ϕ entre $26,37^\circ$ y $27,32^\circ$ y C_u entre 60,72 y 71,28 kPa, útiles cuando se prioriza la seguridad estructural.

Ensayo Sísmica de Refracción El ensayo de sísmica de refracción indica que el suelo es limo arcillo-arenoso suelto a medianamente compacto, con una velocidad de ondas de corte promedio de 249 m/s; basado en esto, el ángulo de fricción interna estimado por distintos autores varía entre 20° y 28° , siendo estos los valores más adecuados para representar la resistencia real del suelo, mientras que la cohesión no drenada muestra una gran dispersión, con valores desde 17 kPa hasta 565 kPa, donde los mismos valores de 17 y 56 kPa resultan más realistas para este tipo de suelo; en conjunto, el suelo presenta una resistencia moderada al corte con mayor influencia del ángulo

de fricción que de la cohesión, y se recomienda usar estos rangos para diseño, complementando siempre con ensayos directos para mayor precisión.

Correlación

Los ensayos SPT y sísmica de refracción realizados en el mismo sitio indican que el suelo limo arcillo-arenoso tiene un ángulo de fricción interna entre aproximadamente 25° y 32°, siendo los valores de SPT ligeramente más altos (hasta 33°) y los de sísmica más conservadores (alrededor de 25°–28°); la cohesión no drenada estimada varía más, desde 17 kPa hasta 80 kPa en la sísmica, y de 60 kPa a 140 kPa en el SPT, donde los valores intermedios (60–80 kPa) son los más representativos para el tipo de suelo; en conjunto, estos parámetros sugieren una resistencia moderada, con mayor influencia del ángulo de fricción que de la cohesión, recomendándose usar estos rangos para diseño y complementar con ensayos de laboratorio para mayor precisión.

4.4.4. Muestra Postgrado

Ensayo	Análisis
Ensayo de Penetración Estándar	El análisis destinado al ángulo de fricción (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u) en base a los resultados del ensayo SPT indica que el perfil de suelo presenta características propias de materiales arenosos y limosos de densidad media a densa. Para el ángulo de

fricción, los valores más representativos fueron los obtenidos por Kishida y Peck et al., que oscilan entre $30,10^\circ$ y $37,72^\circ$, lo cual se considera adecuado para arcillas densas. En cuanto a la cohesión no drenada, los métodos más realistas y conservadores fueron los de Terzaghi & Peck y Sing et al., con valores de C_u entre 56 y 129 kPa, adecuados para suelos cohesivos firmes. Los métodos mencionados proporcionan parámetros coherentes con los valores de N registrados y son los más apropiados para representar el comportamiento real del suelo en condiciones normales de diseño.

Ensayo Sísmica de Refracción

Con base en el ensayo de sísmica de refracción, donde se obtuvo una velocidad promedio de $V_p = 480,5$ m/s y $V_s = 343,5$ m/s, se identificó un perfil de suelos limo arcillo-arenosos sueltos sobre estratos más competentes como lutitas meteorizadas y conglomerados. A partir de estas velocidades y según distintos autores, se estimaron parámetros geotécnicos relevantes. Para el ángulo de fricción interna (ϕ), los valores más coherentes con el tipo de suelo fueron los de Naranjo ($32,9^\circ$) y Aristizábal ($32,33^\circ$), que reflejan condiciones típicas de suelos granulares finos con compacidad media. En cuanto a la cohesión no drenada (C_u), los valores más realistas fueron los propuestos por Naranjo (66 kPa) y Gómez y Tobón (41,24 kPa), los cuales se ajustan mejor a la baja rigidez de los materiales superficiales. Por tanto, para diseño, se recomienda considerar un ϕ cercano a 32° y C_u entre 40 y 70 kPa,

por ser los rangos más representativos de las condiciones reales del terreno.

Correlación

El análisis conjunto de los ensayos SPT y de sísmica de refracción realizados en el mismo sitio indica que el suelo está compuesto por materiales limo arcillo-arenosos de densidad media a densa en superficie, sobre estratos más competentes. A partir del SPT, se obtuvieron valores de ángulo de fricción entre $30,10^\circ$ y $37,72^\circ$, siendo los más representativos $35,19^\circ$ (Peck et al.) y $37,72^\circ$ (Kishida), y cohesiones no drenadas entre 56 y 129 kPa, destacando 129 kPa (Terzaghi & Peck) y 127,45 kPa (Sing et al.) como valores confiables. Por su parte, el ensayo de sísmica de refracción arrojó velocidades promedio de $V_p = 480,5$ m/s y $V_s = 343,5$ m/s, y permitió estimar un ángulo de fricción cercano a $32,9^\circ$ (Naranjo) y una cohesión no drenada de 66 kPa (Naranjo), coherentes con suelos de baja a media rigidez. En conjunto, ambos ensayos coinciden en que el suelo tiene resistencia media, por lo que se recomienda considerar para diseño un ángulo de fricción entre 32° y 35° y una cohesión no drenada entre 60 y 70 kPa como valores seguros y representativos.

Como parte del estudio geotécnico realizado en los sectores de los predios de la ULEAM, se ejecutó un ensayo de compresión simple a 1,5 metros de profundidad, obteniendo un valor de resistencia no drenada de 100 kPa, lo cual indica un suelo de consistencia media, alineado con las características generales identificadas en los otros

ensayos. Comparando los resultados del ensayo SPT a esa misma profundidad, se registraron valores de $N_{60} = 24$ en Administración, $N_{60} = 12,6$ en Turismo, $N_{60} = 15$ en el Coliseo, y $N_{60} = 11,4$ en Postgrado, evidenciando que, aunque hay ligeras variaciones, todos los sectores presentan suelos con comportamiento similar, correspondientes a arcillas o suelos finos medianamente consolidados o arenas de compactación media. Esta uniformidad en los valores iniciales respalda la confiabilidad de los parámetros obtenidos y permite una interpretación coherente del perfil geotécnico superficial en toda el área de estudio.

Los resultados del ensayo de compresión se pueden observar en el Anexo B.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La correlación entre los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y el ensayo de Sísmica de Refracción ha demostrado ser una herramienta viable y complementaria para la estimación de parámetros geotécnicos fundamentales como el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión no drenada (C_u). A lo largo del análisis de los distintos sectores de estudio dentro de los predios de la ULEAM, se comprobó que ambos métodos presentan resultados coherentes en cuanto al valor de ϕ , situándose en rangos comparables entre 27° y 38° , dependiendo del tipo de suelo y su grado de compactación. Esta similitud en los valores indica una buena correspondencia en la estimación de la resistencia al corte del suelo, permitiendo validar la aplicabilidad de las correlaciones seleccionadas para contextos locales similares al área estudiada.

En cuanto a la cohesión no drenada (C_u), se evidenciaron discrepancias entre los valores derivados del SPT y la sísmica de refracción. El SPT mostró una mayor variabilidad

y valores más altos, atribuibles a la influencia de condiciones locales puntuales y a la metodología de medición centrada en la resistencia a la penetración. Por su parte, la sísmica de refracción, al basarse en la propagación de ondas elásticas, brindó valores más conservadores y uniformes, particularmente útiles en la identificación de zonas con baja rigidez estructural. Esta diferencia resalta la necesidad de utilizar ambos métodos de manera complementaria, especialmente en contextos donde el acceso a ensayos de laboratorio está limitado o donde se requiere una caracterización continua del perfil del subsuelo.

Asimismo, se logró compilar un conjunto relevante de correlaciones empíricas de autores reconocidos a nivel internacional y se evaluó su grado de confiabilidad y aplicabilidad a los suelos arcillosos y limo-arenosos característicos del litoral ecuatoriano. Se identificó que métodos como los de Terzaghi & Peck, Peck et al. y Naranjo se ajustan adecuadamente a la realidad local, ofreciendo parámetros seguros para el diseño geotécnico. Esta validación refuerza la utilidad práctica de dichas fórmulas como herramientas de estimación indirecta para proyectos de cimentación.

Como resultado complementario del estudio, se identificó la influencia geológica sobre la variabilidad espacial de los suelos, evidenciando que la heterogeneidad del perfil, tanto en materiales como en propiedades mecánicas, obedece a condiciones sedimentarias características del sector. En este contexto, la integración de ensayos in situ y métodos geofísicos se consolida como una estrategia eficaz para lograr una caracterización más precisa, favoreciendo decisiones fundamentadas en el diseño y planificación de infraestructuras en terrenos complejos como los ubicados en los predios de la ULEAM.

5.2. Recomendaciones

Para el desarrollo de esta investigación, los ensayos realizados, principalmente el Standard Penetration Test (SPT) y la sísmica de refracción, proporcionan una base sólida para la caracterización inicial de los perfiles de suelo en los predios de la ULEAM. Sin embargo, es importante señalar que los parámetros geotécnicos obtenidos, como el ángulo de fricción y la cohesión, derivan de correlaciones indirectas que, aunque ampliamente utilizadas, presentan ciertas limitaciones en términos de precisión y confiabilidad, especialmente en suelos heterogéneos o con características cohesivas significativas.

Por tanto, para garantizar la exactitud de los parámetros resistentes del suelo y fortalecer el marco analítico, se recomienda complementar estos ensayos con pruebas de laboratorio especializadas, tales como ensayos de corte directo y triaxiales. Estos permiten obtener valores más representativos y confiables del comportamiento mecánico del suelo bajo condiciones controladas, aportando mayor rigor técnico a la interpretación de resultados.

Además, se sugiere la incorporación del ensayo de penetración continua (CPT), que ofrece un perfil continuo del subsuelo con menor variabilidad y mayor resolución, facilitando una caracterización más detallada y precisa. La combinación de métodos in situ y de laboratorio enriquecerá significativamente la calidad del análisis geotécnico, aportando robustez a las conclusiones de la investigación.

Finalmente, se recomienda que futuros estudios consideren la aplicación de ensayos complementarios, como pruebas de permeabilidad y métodos geofísicos avanzados (MASW, crosshole), para ampliar el conocimiento sobre las propiedades hidráulicas y dinámicas del suelo, factores cruciales en el diseño y evaluación de cimentaciones y estructuras. Esta

integración metodológica contribuirá a la obtención de parámetros más confiables y a la optimización del diseño geotécnico en los sitios estudiados.

6. REFERENCIAS

- Alata Rodriguez, J., & Zevillanos Ninancuro, W. (2021). Correlación entre el número de golpes N60 del Ensayo de Penetración Estándar y la Velocidad de ondas de corte (Vs) para los suelos arenosos del distrito de Juliaca – Puno. . Lima, Puno, Perú.
- Alfaro, A. (2007). *Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia*. Obtenido de Researchgate:
https://www.researchgate.net/publication/242484689_Correlacion_entre_el_valor_N_del_Ensayo_de_Penetracion_Estandar_y_Velocidad_de_Ondas_de_Corte_para_Arcillas_en_Bogota_-_Colombia
- Aponte, J. (2011). *Evaluación de Métodos No Convencionales de Caracterización Geotécnica*. Bogotá .
- ASTM Internacional . (2013). *Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation*. West Conshohocken, PA: ASTM Internacional.
- Bonilla, L., & Marrugo, J. (2021). *ANÁLISIS DE LAS CORRELACIONES UTILIZADAS EN LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS, MEDIANTE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (VS) Y/O LA VELOCIDAD DE COMPRESIÓN (VP), OBTENIDAS A PARTIR DE ENSAYOS GEOFÍSICOS*. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.
- Carmona-Álvarez, J., & Ruge-Cárdenas, J. (2015). *Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ*. Tecno Lógicas.

- Corbella, M. I. (2023). *Física del Suelo*. Tucumán : Universidad Nacional de Tucumán.
- Das, B. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering (Edition 7)*. Boston: Cengage Learning.
- Freitas, G. (2024). *Cohesión del suelo*. Obtenido de StudySmarter:
<https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/ingenieria-civil/cohesion-del-suelo/>
- Gonzalez, M. (2024). *Scielo*. Obtenido de Análisis de las propiedades mecánicas de un suelo expansivo para la autoconstrucción de una vivienda de interés social:
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352023000300005#:~:text=Las%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20m%C3%A1s%20importantes,de%20atracci%C3%B3n%20de%20las%20mol%C3%A9culas
- Imai, T., & Yoshimura, M. (1976). Elastic wave velocity and soil properties in soft soil strata. *Tsuchi-to-Kiso (Soils and Foundations)*, 1-8.
- Mayne, J. (2007). *Cone penetration testing: A synthesis of highway practice (NCHRP Synthesis 368)*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program.
- Naranjo, H. (2010). *Análisis comparativo del cálculo de capacidad portante en base a geofísica y método convencional caso práctico: Puente sobre el Río Maicito*. Quito.
- Osman, B. (2023). Correlation of Cohesion and Friction Angle Based on SPT-N Values: A Comprehensive Review. *ResearchGate*, 9.

- Otha, Y., & Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 167-187.
- Pérez, S., Muñoz, M., Carbó, G., & Ruiz, F. (2012). *Correlaciones empíricas entre la Velocidad de propagación de las ondas S(Vs) y otros parámetros Geotécnicos para los suelos de Madrid*. Obtenido de Researchgate:
https://www.researchgate.net/profile/Alfonso_Munoz-Martin/publication/233810663_Correlaciones_empiricas_entre_la_velocidad_de_propagacion_de_las_ondas_s_Vs_y_otros_parametros_geotecnicos_para_los_suelos_de_Madrid/links/00b4951ee9d22d77b8000000.pdf?__cf_ch
- Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo* .
 MOntevideo: Universidad de la República-Facultad de Agronomía.
- Santamarina , J., Klein, K., & Fam , M. (2001). *Soils and Waves: Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring*. Wiley.
- Santisteban, I. P. (2012). *CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DE MADRID MEDIANTE LA TÉCNICA REMI (Refraction Microtremor)*. Madrid.
- Santisteban, P. (2012). Caracterización Geotecnica de los suelos de Madrid mediante la técnica REMI. 166.
- ST, B. (2023). *¿Cómo medir el ángulo de rozamiento interno?* . Obtenido de Bettersize Instruments : <https://www.bettersizeinstruments.com/es/learn/bettersize-wiki/how-to-measure-the-angle-of-internal-friction/>

- Terzagui, K., Peck, R., & Mesri, G. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley & Sons .
- Ventayol Lázaro, A., & Fernandez Tadeo, C. (2020). Medida de la energía del ensayo SPT. Correcciones a aplicar. *Los ensayos SPT y la calibración de los equipos*, 52-54.
- Vera , X., Calderón, J., & Tandazo, E. (2006). *Obtención de ecuaciones de correlación para estimar las velocidades de las ondas de corte en los suelos de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil.
- Villamar. (2011). *Métodos geofísicos aplicados a la caracterización de suelos*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Yoshida, N., & Motonori , I. (2004). Empirical model for estimating undrained shear strength of soft cohesive soils from shear wave velocity. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, Canadá.
- Zafra, D. (2017). *ONDAS SÍSMICAS, su importancia para la geofísica y la humanidad*. Santander.
- Zuloaga, I. (s.f.). *Ayuda en Geotecnia y Cimentaciones*. Obtenido de GEO5:
<https://ayuda.zuloaga.online/knowledgebase.php?article=109>

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 1- Vp**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	44,34	55,83	79,54	2,5	54
Geo. 2	51,7	48,47	77,91	7,5	54
Geo. 3	59,07	45,2	77,09	12,5	54
Geo. 4	69,7	34,56	73,52	17,5	55
Geo. 5	79,51	28,02	70,55	22,5	55
Geo. 6	81,96	16,57	64,01	27,5	55
Geo. 7	86,87	17,39	57,46	32,5	56
Geo. 8	90,14	21,48	50,1	37,5	56
Geo. 9	95,87	29,66	45,2	42,5	56
Geo. 10	99,14	39,47	37,84	47,5	56
Geo. 11	101,59	48,47	31,29	52,5	56
Geo. 12	102,96	53,37	19,03	57,5	56
Distance	0	30	60		
Elevation	54	55	56		

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 3 - Vp**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	19,31	70,49	99,11	2,5	50
Geo. 2	30,97	61,81	93,9	7,5	50
Geo. 3	42,01	54,87	92,17	12,5	50
Geo. 4	51,87	44,47	92,11	17,5	50
Geo. 5	61,81	40,13	89,57	22,5	50
Geo. 6	66,15	14,79	86,96	27,5	50
Geo. 7	70,49	14,99	78,29	32,5	49
Geo. 8	73,09	37,53	72,22	37,5	49
Geo. 9	78,29	45,33	65,28	42,5	49
Geo. 10	82,63	54,01	55,74	47,5	49
Geo. 11	85,01	60,08	35,5	52,5	49
Geo. 12	88,17	71,35	14,6	57,5	49
Distance	0	30	60		
Elevation	53	52	51		

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 6 - Vp**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	16,57	73,82	82,82	2,5	48
Geo. 2	36,2	66,46	81,07	7,5	48
Geo. 3	48,47	59,1	78,73	12,5	48
Geo. 4	51,74	50,1	73,82	17,5	48
Geo. 5	58,28	41,11	67,28	22,5	48
Geo. 6	63,19	22,3	64,82	27,5	48
Geo. 7	67,28	19,84	61,12	32,5	49
Geo. 8	71,37	41,11	58,13	37,5	49
Geo. 9	73	48,47	52,14	42,5	49
Geo. 10	76,27	53,37	48,21	47,5	48
Geo. 11	78,73	60,73	37,48	52,5	48
Geo. 12	81,18	65,64	13,02	57,5	48
Distance	0	30	60		
Elevation	47	46,5	46		

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 7 - Vs**

	Shot 1	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	23,58	150,21	2,5	49
Geo. 2	37,48	140,31	7,5	49
Geo. 3	48,13	130,41	12,5	49
Geo. 4	59,12	114,4	17,5	49
Geo. 5	63,08	103,35	22,5	49
Geo. 6	67,46	98	27,5	49
Geo. 7	73,37	90,73	32,5	48
Geo. 8	80,87	71,79	37,5	48
Geo. 9	92,78	61,1	42,5	48
Geo. 10	100,7	51,2	47,5	48
Geo. 11	108,62	35,5	52,5	48
Geo. 12	118,52	25,46	57,5	48
Distance	0	60		
Elevation	47	46		

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 9 - Vp**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	21,48	94,27	118,8	5	51
Geo. 2	36,2	85,27	113,08	15	52
Geo. 3	48,47	75,46	108,17	25	53
Geo. 4	55,83	56,65	104,08	35	53
Geo. 5	66,46	40,29	99,17	45	53
Geo. 6	82	29,66	95,08	55	54
Geo. 7	91,81	32,11	91,81	65	55
Geo. 8	97,54	54,19	86,9	75	56
Geo. 9	108,17	77,09	82	85	56
Geo. 10	113,89	86,9	67,28	95	57
Geo. 11	116,35	93,45	59,92	105	57
Geo. 12	120,44	99,17	29,66	115	58
Distance	0	60	120		
Elevation	50	54,5	58		

**TIEMPOS DE LLEGADA PARA CADA GEOFONO, DISTANCIAS Y ELEVACION
DE CADA GEOFONO - LINEA SISMICA 10 - Vs**

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Distance	Elevation
Geo. 1	15,48	0,00	210,80	5	56
Geo. 2	43,20	0,00	193,08	15	56
Geo. 3	62,47	0,00	174,17	25	56
Geo. 4	74,83	0,00	161,08	35	56
Geo. 5	89,46	0,00	146,17	45	56
Geo. 6	105,60	0,00	133,08	55	55
Geo. 7	126,81	0,00	114,81	65	55
Geo. 8	137,54	0,00	99,90	75	54
Geo. 9	155,17	0,00	83,67	85	54
Geo. 10	173,89	0,00	60,28	95	53
Geo. 11	187,35	0,00	35,92	105	53
Geo. 12	207,44	0,00	13,66	115	53
Distance	0	60	120		
Elevation	50	54,5	58		

Línea Sísmica No. (Vp)	Longitud (m)	Velocidades Sísmicas (m/s)	Espesores de Capas (m)	Interpretación Geológica
Administración	60	Vp1= 58 – 800	e1= 1,20 - 12,60	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Turismo	60	Vp3= 130 – 400	e1= 1,20 - 3,10	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Coliseo	60	Vp6= 183 – 800	e1= 5,60 - 8,10	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Postgrado	120	Vp9= 161 – 800	e1= 5,10 - 6,20	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.

Línea Sísmica No. (Vs)	Longitud (m)	Velocidades Sísmicas (m/s)	Espesores de Capas (m)	Interpretación Geológica
Administración	60	Vs1= 287-400	e1=0.90-1.60	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Turismo	60	Vs1= 230-400	e1=4.20-16.60	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Coliseo	60	Vs1= 98-400	e1=2.20-4.10	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.
Postgrado	120	Vs1= 287-400	e1=0.90-1.60	Suelo limo arcillo-arenoso sueltos sobre estratos de lutita meteorizada y/o estratos conglomeráticos de mediana compacidad.

Anexo B. Ensayo de compresión



Programa Civil
Facultad de Ingeniería

LABORATORIO HORMIGÓN, SUELOS Y MATERIALES "BOLIVAR ORTIZ LOGROÑO"

Nombre de producto		Nombre de metodo de ensayo	testO-Mortero.xmux
Operador	Ing Javier Bravo	Fecha de informe	7/29/2025
Fecha de ensayo	7/29/2025	Temperatura	20°C
Modo de Ensayo	Sencilla	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2.5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Parametros y Resultados

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Altura
Unidad	mm	mm	mm
1_1	31.0000	30.0000	44.0000

Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas Unidad kN	Max. Tension Calc. at Entire Areas N/mm2	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max. Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	0.09211	0.09904	5.00213	11.3685
Media	0.09211	0.09904	5.00213	11.3685
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Graficos

