

Correlación de SPT y ensayos de refracción sísmica para obtener parámetros dinámicos del suelo. Palestina, Guayas-Ecuador

Glenda Guadalupe-Méndez¹, Julio Vargas-Jiménez², Fernando Morante-Carballo^{3,4,5}, Joselyne Solórzano^{1,3}, Josué Briones-Bitar^{1,3}, Paúl Carrión-Mero^{1,3}

¹ ESPOL Polytechnic University, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

² SIGMACONS S.A., Guayaquil, Ecuador

³ ESPOL Polytechnic University, Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT), Campus Gustavo Galindo Km 30.5 vía Perimetral, 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

⁴ ESPOL Polytechnic University, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas (FCNM), Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

⁵ ESPOL Polytechnic University, Geo-recursos y Aplicaciones (GIGA), Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

Corresponding Author Email: briones@espol.edu.ec

<https://doi.org/10.18280/ijstdp.xxxxxx>

ABSTRACT

Received:

Accepted:

Palabras clave:

Caracterización geotécnica, Geofísica aplicada, Parámetros dinámicos, Dinámica de suelos, Análisis de suelos y Ecuación de regresión.

La obtención de parámetros resistentes del terreno es clave para la evaluación de peligros en las obras civiles. La caracterización de terrenos contempla medidas de campo e interpretaciones que requieren un análisis integral para la elaboración de diseños que ofrezcan garantías. El cantón Palestina-Ecuador, se ve afectado por las intensas lluvias en invierno, comunicando a más de 16.000 habitantes (en invierno la vía se vuelve inaccesible y los cruces de ríos se desbordan), para mejorar la calidad de vida y el progreso del sector es menester el desarrollo vial mediante la construcción de la vía y puentes del sector en Estudio. El estudio integral mediante técnicas eficaces para la construcción de puentes es prioritario para el desarrollo económico del sector. El objetivo de este trabajo es obtener parámetros resistentes mediante la correlación de ensayos SPT (Standard Penetration Test) y Sísmica de refracción para la caracterización del suelo en Palestina. La metodología de investigación consta de tres fases: 1) Planteamiento de trabajos de campo mediante levantamiento de información base; 2) Medidas de campo (SPT y líneas sísmicas) y de laboratorio; 3) Correlación y análisis V_p y N_{60} para la determinación de parámetros resistentes. Se ejecutaron ocho (8) perforaciones, 140 ensayos de SPT y seis (6) líneas sísmicas de refracción en cuatro zonas de interés para la construcción de puentes (El Carmen, La Corona, Las Peñas, y Estero Lagarto). El subsuelo presenta sedimentos aluviales del cuaternario, donde predominan las arcillas blandas y limos poco compactos. El análisis de datos dio como resultado una ecuación de regresión lineal que correlaciona N_{60} - V_p . Esta ecuación corresponde a un método validado para el cantón de Palestina (sedimentos aluviales del cuaternario), con base en el análisis de datos; brindando una herramienta que permite una caracterización a detalle y económica para el sector rural. Sin embargo, es necesario establecer otros lugares de análisis para fortalecer la ecuación planteada.

1. INTRODUCCIÓN

Dadas las complejas condiciones geológicas y geotécnicas, las áreas de construcción y los edificios requieren diversas técnicas de diseño para garantizar su fiabilidad y cumplir con los requisitos y las expectativas de tiempo de construcción [1,2]. La ingeniería geotécnica se ocupa de la aplicación de la ciencia y la tecnología dentro de la ingeniería civil en relación con múltiples aspectos del terreno, como la naturaleza de los materiales en la superficie de la tierra (suelo o rocas) [3,4]. La geotecnia tiene un papel esencial en el control de varios problemas geotécnicos en el campo, como asentamientos diferenciales [5,6], deslizamientos de tierra o desprendimiento de rocas [7,8] e infiltraciones [9]. Por lo tanto, es necesario tener

un estudio exhaustivo de información detallada sobre el subsuelo y evaluar sus características geológicas y geotécnicas.

La estratigrafía y características del subsuelo varían de un lugar a otro. Existen dos tipos de exploración para llevar a cabo los estudios geotécnicos de un proyecto: métodos directos e indirectos [10]. Dentro de los métodos directos se destacan los ensayos como calicatas [11,12]; cono estático (CPT) [13] o dinámico (DCP) [14]; dilatómetro [15,16]; perforación con prueba de penetración estándar (SPT) [17,18]. Los métodos indirectos son pruebas geofísicas ampliamente utilizadas en los campos de la ingeniería para estudiar el subsuelo [19]. Estos utilizan diferentes técnicas y propiedades de los materiales con

respecto a la velocidad de onda [20], resistividad eléctrica [21], radioactividad [22], y gravedad.

La implementación de técnicas geofísicas y la prueba directa es un enfoque estándar global en la investigación de campo [24]. Entre los métodos geofísicos, varios investigadores han demostrado que la prueba de refracción sísmica (RS) es una alternativa eficiente; ya que consume menos tiempo y es rentable [25–27]. Asimismo, entre las pruebas directas más utilizadas en conjunto con la RS se encuentra el SPT [19,20,28]. Desde las últimas décadas, el interés en combinar estos dos ensayos ha aumentado, ya que proporciona una mejor precisión en litología y estructuras subterráneas.

Ecuador es un país constantemente amenazado por fenómenos geológicos y geomorfológicos, como terremotos [29]; liquefacción [30]; deslizamientos [31]; subsidencias [32]; entre otros. Debido a estas amenazas, se han producido importantes pérdidas humanas, económicas, daños a estructuras civiles (puentes, edificios, carreteras) y obras civiles de emergencia (como hospitales y escuelas). Por esta razón, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) en 2014 [33] menciona que para una correcta y completa caracterización del subsuelo dentro de cualquier proyecto de obra civil, es necesario incluir métodos de exploración de campo tales como: a) directo ; b) indirecto.

En el cantón Palestina, en la comunidad de Macul, el Ministerio de Obras Públicas (debido a las necesidades de la comunidad) proyectó la construcción de cuatro puentes en la zona: El Carmen, La Corona, Las Peñas y Estero Lagarto. . El área en estudio según la clasificación SUCS determina, arenas limosas, limos de baja plasticidad, limos de alta plasticidad y arcillas de alta plasticidad, según la ASTM el suelo tiene permeabilidades de baja, muy baja permeabilidad, e impermeable. Estos suelos son propensos a la acumulación de agua en la superficie, lo que causa inundación en estas zonas bajas. Por lo tanto, la caracterización de los suelos para la construcción de los cuatro puentes es de tal importancia que contempla mediciones e interpretaciones de campo que requieren un análisis exhaustivo para que el diseño ofrezca garantías por la normativa vigente (Norma Ecuatoriana de Construcción-NEC [33]).

En todo el mundo, hay varios estudios sobre una relación teórica o correlación entre métodos directos (por ejemplo, SPT) y métodos indirectos (por ejemplo, RS). En Palestina (Ecuador), en la parte rural, sería de gran importancia un estudio que relacione empíricamente estos métodos y permita obtener parámetros resistentes del subsuelo. Por lo tanto, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo establecer una relación de SPT y RS para obtener parámetros resistentes en suelos del cantón Palestina? El presente estudio tiene como objetivo correlacionar el número de golpes (SPT) con los resultados de la RS (V_p) y obtener una ecuación para determinar las características de rigidez del suelo que permitan la caracterización y el diseño de obras civiles.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y CONTEXTO GEOLÓGICO

Palestina, un cantón de la provincia del Guayas (Ecuador), se encuentra a 80 km de Guayaquil y aproximadamente a 17 km de la cabecera cantonal en la carretera a Vinces (Figura 1). Los meses de agosto y diciembre son los más fríos y calurosos del año. Hay aproximadamente 16.100 habitantes en el sector de estudio. Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y la artesanía [36].

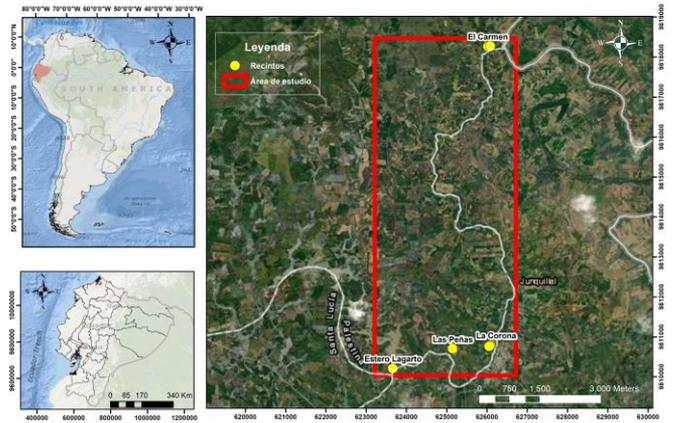


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

En el área del proyecto, el subsuelo comprende sedimentos aluviales cuaternarios provenientes de la constante crecida de los ríos y sus estuarios, donde predominan las arcillas blandas y los limos poco compactados. Actualmente, los suelos de los puentes El Carmen, La Corona, Las Peñas y Estero Lagarto presentan arenas limosas poco compactadas o arcillas rígidas sobreconsolidada. Debido a la lluvia, estos sectores rurales pierden comunicación, producción de productos y falta de comunicación entre las comunidades.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de la investigación consistió en visitas de reconocimiento y pruebas de campo; además, el análisis de muestras de suelo en condiciones de laboratorio en cuatro (4) puntos del cantón Palestina (El Carmen, La Corona, Las Peñas y Estero Lagarto). Con esto, fue posible proponer una correlación empírica entre datos geofísicos (V_p) y datos de medición directa (SPT). La implementación de estos pasos metodológicos permitirá encontrar una ecuación, que con los datos de refracción sísmica, puede dar una idea de las características geotécnicas del suelo a partir de la relación generada con los datos en cuatro sectores de Palestina.

Las actividades de campo, laboratorio y oficina se planificaron para obtener resultados y responder al objetivo declarado. La Figura 2 esquematiza el marco metodológico ejecutado.

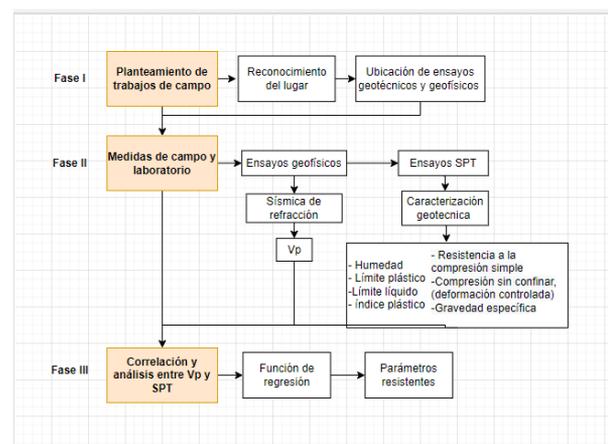


Figura 2 Esquema metodológico y actividades realizadas en este trabajo.

3.1 Fase I: Propuesta de trabajo de campo.

Esta fase se centró en la recopilación y el procesamiento de información geográfica y geológica sobre el sitio y sus alrededores. La información base provino de búsquedas en línea (por ejemplo, Scopus), repositorios institucionales (por ejemplo, Universidad Técnica de Babahoyo-UTB) e instituciones públicas (por ejemplo, INEC). La información general del sitio de estudio dio paso a la planificación del trabajo de campo. El reconocimiento previo del lugar (in situ) fue necesario para determinar los puntos estratégicos (sitios) de las pruebas.

En la **Figura 3** y **Tabla 1**, se puede observar la ubicación de los ensayos geotécnicos y geofísicos realizados en esta investigación.

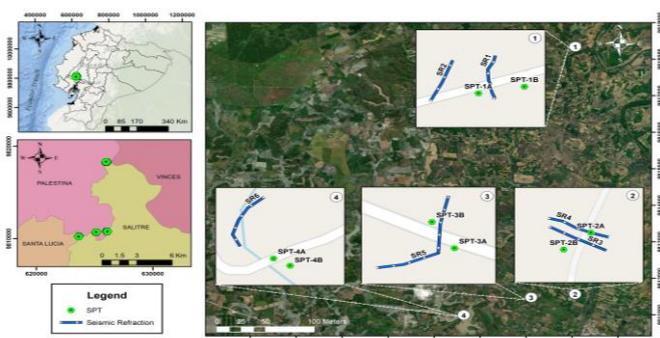


Figura 3. Mapa de ubicación de los trabajos de campo (SPT y RS).

Tabla 1. Ubicación geográfica (X, Y) de los trabajos de campo.

Refracción Sísmica (RS)			SPT		
# Ensayo	Coordenadas punto medio		# Ensayo	Coordenadas	
	X	Y		X	Y
RS1	626039	9818287	SPT-1A	626027	9818263
RS2	625984	9818281	SPT-1B	626012	9818273
RS3	626068	9810779	SPT-2A	626082	9810787
RS4	626069	9810792	SPT-2B	626054	9810765
RS5	625148	9810689	SPT-3A	625156	9810690
RS6	623637	9810242	SPT-3B	625145	9810706
			SPT-4A	623659	9810209
			SPT-4B	623670	9810203

3.2 Fase II: Mediciones de campo y de laboratorio

3.2.1 Ensayos geofísicos

Para la determinación y correlación de los datos litológicos en el área de estudio, las pruebas geofísicas consistieron en seis (6) líneas sísmicas para determinar los datos de velocidad sísmica de onda P (V_p) (ASTM-D-5777-18) (ver Figura 4).



Figura 4. Toma de datos en campo de la línea sísmica 1 (RS 1).

Se ejecutaron seis (6) líneas de sísmica de refracción (RS) con una longitud de 72 metros; teniendo una separación entre los 24 geófonos (de 10Hz) de 3 metros. La última línea RS fue de una longitud de 24 metros (esto debido a las condiciones del terreno); con una separación entre los 24 geófonos de un metro.

La fuente de energía utilizada, para producir las ondas sísmicas, fue un martillo de ocho (8) kg. Este martillo fue usado en cinco (5) puntos, a lo largo de cada línea RS (ver Figura 5). Además, en cada uno de los cinco puntos, fue necesario hacer tres (3) golpes (disparos) con el martillo.

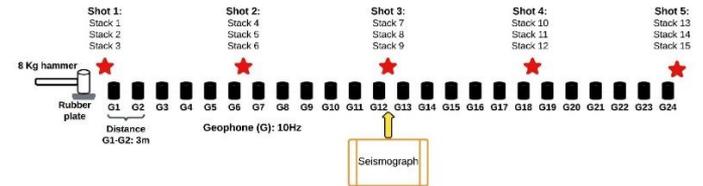


Figura 5. Esquema de la toma de datos de la línea sísmica.

El almacenamiento de datos fue automático en el sismógrafo ABEM Terraloc Pro-2; mientras que el procesamiento e interpretación de los datos de campo se lo realizó en el software IXREFRAX.

3.2.2 Caracterización geotécnica

Para la caracterización geotécnica, se realizaron ocho SPT (ASTM-1586-11), obteniendo muestras representativas de suelo en cada metro (1.00) de perforación (hasta los 5 metros de profundidad), y luego cada 1.50 metros (las perforaciones llegaron hasta estrato de rechazo, considérese rechazo aquellos que $N > 50$ golpes. Las profundidades de las perforaciones fueron variables de 20.00, a 26.00 metros respectivamente). Estas muestras fueron ensayadas en laboratorio para obtener parámetros geotécnicos; como: contenido de humedad, pasante del tamiz No. 200, límite líquido, límite plástico (ver Tabla 2).

Tabla 2. Normativas consideradas para la ejecución de los ensayos de laboratorio.

Ensayo	Norma (American Society for Testing and Materials-ASTM)
Contenido de humedad	ASTM-D-2216-19 [37] ASTM-D-2974-14 [38]
Material menor al tamiz No. 200	ASTM-D-1140-00 [39]
Límite líquido	ASTM-D-4318-17 [40]
Límite y límite plástico	ASTM-D-4318-17 [40]
Clasificación de suelos	ASTM-D-2487-17 [41]

3.3 Fase III: Correlación entre V_p y SPT

Con los datos obtenidos en campo, laboratorio, e interpretados en el software, se realizó la correlación de los datos SPT y V_p . Para esto, se emplearon (como punto de partida) ecuaciones de regresión dados por software Excel (lineal, polinomial y exponencial).

Estas se evaluaron según el coeficiente de correlación (R^2). Según Yusof & Zabidi (2018) [42] y Taylor (1990) [43], el coeficiente de correlación (R^2) representa el grado de asociación lineal entre dos variables. Una relación entre $0.7 < R^2 < 1.0$ se

considera como una fuerte. Con las ecuaciones de regresión obtenidas, se realizaron ajustes a estas hasta obtener una mejor aproximación. Según las diferentes ecuaciones de regresión aplicadas, el R² mayor muestra la mejor correlación.

Con la ecuación de regresión de mejor correlación entre N60 y Vp, se realizó una revisión de la literatura La ecuación de regresión entre N60 y Vp, se determinó en función de la revisión de la literatura sobre el número de golpes (SPT) con las pruebas de velocidad sísmica de onda P (Vp), de varios autores. Esta revisión se la realizó en las bases de datos disponibles (e.g. Scopus) y en motores de búsqueda (e.g. Google scholar).

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de laboratorio

En la Tabla 3, se presentan los resultados de las perforaciones con las propiedades geotécnicas de los SPT realizados (ver Figura 3 y Tabla 1). Según la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), se observa variaciones de suelos en las perforaciones superficiales 1 y 2 (0.0 a 6.5 metros de profundidad) hay un suelo ML (limo). Otros resultados de estos suelos limosos son: i) Índice de plasticidad (IP) (%): 5-8; y ii) Pasante tamiz #200 (%): 66-97. Mientras que, según el SUCS, las capas más profundas (6.5 a 12.5 metros de profundidad) de las perforaciones 1 y 2 son suelos SM (arenas limosas). Los resultados de las pruebas de laboratorio de estos suelos son: i) IP (%): NP; y ii) Pasante tamiz #200 (%): 9-34. En la Tabla 3 se observa el resumen del resultado de las 8 perforaciones.

Tabla 3. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio, de las muestras obtenidas en los distintos SPT.

SPT	Prof. (m)	SUCS	IP (%)	#200 (%)
1A	0.0-6.5	ML	6-8	66-88
	6.5-11.0	SM	NP	9-25
1B	0.0-6.5	ML	5-8	89-97
	6.5-12.5	SM	NP	30-34
2A	0.0-4.0	SM-ML	NP	32-51
	4.0-12.5	CH	51-89	96-99
2B	0.0-4.0	SM-ML	NP	59-89
	4.0-12.5	MH-CH	29-51	76-97
3A	0.0-3.0	CH	33-37	84-92
	3.0-12.5	MH	8-32	55-94
3B	0.0-3.0	CH	35-36	78-89
	3.0-12.5	MH	12-27	85-99
4A	0.0-2.85	ML	11-14	68-76
	2.85-11.0	MH-CH	28-73	90-100
4B	0.0-2.0	SM-MH	NP	35-80
	2.0-11.0	MH-CH	32-53	77-100

* NP = No Plástico

4.2 Correlación entre Sísmica de refracción (Vp) y SPTs

La Figura 6 presenta las correlaciones entre las líneas sísmicas y los SPT, de la siguiente manera:

La Figura 6a muestra la línea sísmica RS1 (con longitud de 69 m y con profundidad de 12 m) y el SPT-1A (de 23m de profundidad). Debido a la correlación se han diferenciado dos capas principales: una superficial de arena limosa (256 m/s) y una más profunda de arcilla limosa (1409 m/s) La correlación entre la línea sísmica RS4 (69 m de extensión y 18.50 m de

profundidad) y SPT-2A (26 m de profundidad) se muestra en la Figura 6B; donde se observan las dos mismas capas (arena y arcilla limosas). En esta correlación varía el espesor de la capa superficial (arena limosa) entre 4 a 6 m.

La Figura 6c correlaciona la línea sísmica RS5 (69 m de extensión y 6-10 m de profundidad) y los SPT-3A y SPT-3B (ambas de 23 m de profundidad). La correlación muestra una capa superficial de arena limosa (color café oscuro con capas de arena, pintas de oxidación y de consistencia blanda con 163 m/s) y una más profunda de arcilla limosa (grano fino, coloración gris verdosa compacta y con velocidades de 2093 m/s).

En las correlaciones entre los ensayos SPT y RS (ver **Tabla 4**) ambos materiales (limo y arcilla) corresponden a sedimentos aluviales cuaternario.

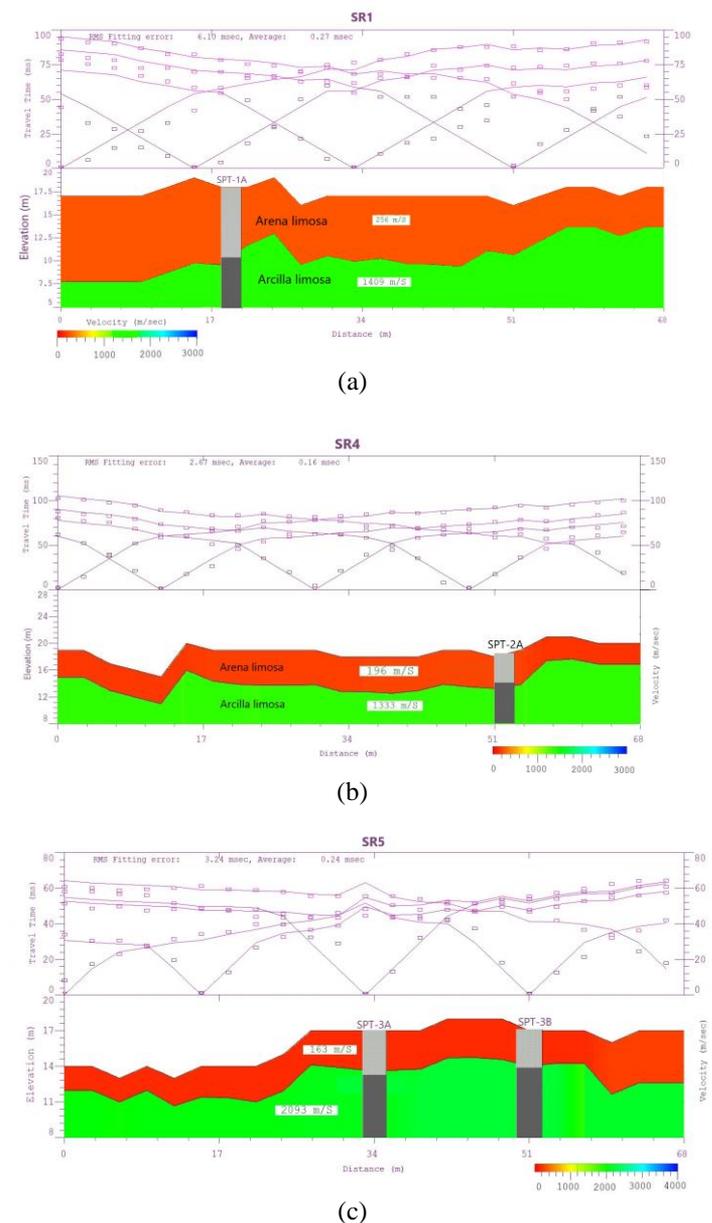


Figura 6. Correlación entre RS y SPT: a) RS1 y SPT-1A; b) RS4 y SPT-2A; y c) RS5 y SPT-3A/SPT-3B.

Tabla 4. Resumen de Correlación entre los RS 5, SPT-3 A y SPT-3B

# RS	# SPT	Prof. (m)	Material	Vp (m/s)	N ₆₀
RS1- RS2	SPT-1A	0.0-6.5 6.5-11.0	ML SM	256 1409	3-6 38-48
RS3	SPT-2B	0.0-4.0 4.0-12.5	SM-ML MH-CH	187 1208	4-7 18-22
RS4	SPT-2A	0.0-4.0 4.0-12.5	SM-ML CH	196 1333	6-9 28-42
RS5	SPT3A- SPT3B	0.0-3.0 3.0-12.5	CH MH	163 2093	6-7 26-50
RS6	SPT-4A	0.0-2.85 2.0-11.0	ML MH-CH	90 1136	6-8 16-24

4.3 Ecuación de regresión N₆₀-Vp

La **Figura 7** presenta las ecuaciones de regresión con una mejor correlación entre los datos de N₆₀-Vp. La regresión lineal ($N_{60} = 0.0233Vp + 1.7481$; $R^2=0.894$) tuvo una mejor correlación, seguido de la regresión exponencial ($N_{60} = 4.6494e^{0.0012Vp}$; $R^2=0.874$); y finalmente la regresión potencial ($N_{60} = 0.1753Vp^{0.6839}$; $R^2=0.734$).

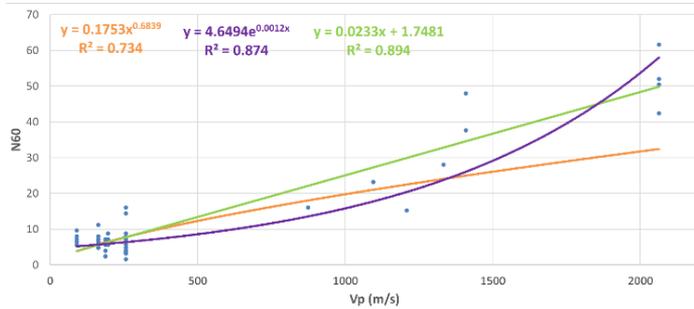


Figura 7. Ecuaciones de regresión de la correlación entre N₆₀-Vp. Según los colores: 1) Naranja: Regresión potencial; 2) Morado: Regresión exponencial; y 3) Verde: Regresión lineal.

Estas ecuaciones de regresión serán como un punto de partida para ajustar estas ecuaciones a un mejor R². En la **Figura 8** y **Tabla 5** los ajustes se realizaron con la modificación del coeficiente (exponente) y la base. En las ecuaciones exponencial y potencial, se variaron o ajustaron los coeficientes y las bases, mientras que en la ecuación lineal solo se realizó el ajuste en la base. De las ecuaciones originales, se fueron variando los coeficientes o los exponentes, para verificar que la ecuación sea la de mayor correlación con los datos de campo

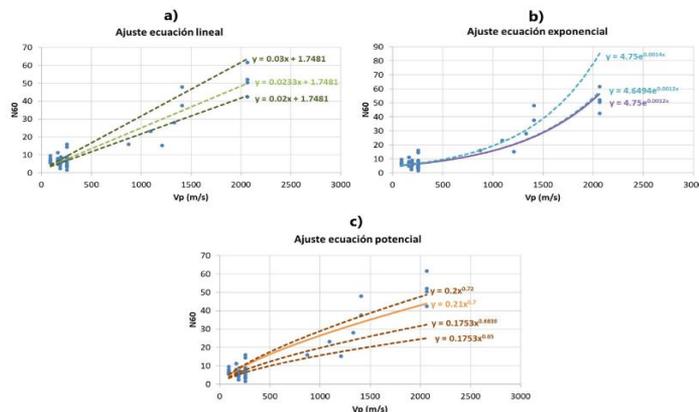


Figura 8. Ajustes a las ecuaciones de regresión: a) Lineal; b) Exponencial; y c) Potencial.

Tabla 5. Ajuste de las ecuaciones de regresión potencial, exponencial y lineal (las que están sombreadas fueron seleccionadas).

Ecuación potencial	Ecuación exponencial	Ecuación lineal
$N_{60} = 0.1753Vp^{0.6839}$; $R^2=0.734$	$N_{60} = 4.6494e^{0.0012Vp}$; $R^2=0.874$	$N_{60} = 0.0233Vp + 1.7481$; $R^2=0.894$
$N_{60} = 0.1753Vp^{0.70}$; $R^2=0.798$	$N_{60} = 4.75e^{0.0012Vp}$; $R^2=0.875$	$N_{60} = 0.03Vp + 1.7481$; $R^2=0.778$
$N_{60} = 0.1753Vp^{0.65}$; $R^2=0.562$	$N_{60} = 4.75e^{0.0014Vp}$; $R^2=0.502$	$N_{60} = 0.020Vp + 1.7481$; $R^2=0.865$
$N_{60} = 0.20Vp^{0.70}$; $R^2=0.837$	$N_{60} = 4.60e^{0.0014Vp}$; $R^2=0.564$	$N_{60} = 0.0233Vp + 3.00$; $R^2=0.885$
$N_{60} = 0.18Vp^{0.70}$; $R^2=0.809$		$N_{60} = 0.0233Vp$; $R^2=0.876$
$N_{60} = 0.21Vp^{0.70}$; $R^2=0.841$		
$N_{60} = 0.20Vp^{0.72}$; $R^2=0.837$		

De los resultados obtenidos en la **Tabla 5**, el R² mayor muestra que la ecuación lineal tuvo la mejor correlación entre N₆₀-Vp. Con esta correlación, se obtiene una ecuación para inferir valores de N₆₀, de valores obtenidos en campo de Vp. Esta ecuación es posible usarla en suelos con características similares a las de Palestina (suelos limosos superficiales y suelos arcillosos más profundos).

4.4 Revisión de Literatura

Los estudios realizados por varios autores (e.g., (Anbazhagan et al., 2012; Dalai & Patra, 2021; Ghoreishi et al., 2021; Kasim & Raheem, 2021; Kumar et al., 2016; Mostafa, 2013; Ohsaki & Iwasaki, 1973; Yusof & Zabidi, 2018)) han demostrado que ciertas propiedades geotécnicas pueden estimarse de manera empírica a partir de ensayos de medición directa (SPT), como el N o N₆₀. La Tabla 6 muestra las ecuaciones empíricas dadas por los autores que correlacionaron valores de N₆₀ para la determinación indirecta de cohesión (C) y phi (Φ).

Tabla 6. Correlaciones existentes entre SPT (N-N₆₀), C y Φ.

Autores	Cohesión (C)	Ángulo (Φ)	Observación
(Ghoreishi et al., 2021) [44]	$C=0.01N_{60}-0.004$ $R^2=0.7228$	$\Phi=0.83N_{60}+1.24$ $R^2=0.6224$	Arcillas de baja plasticidad (CL)
(Kumar et al., 2016) [45]	$C=-2.2049+6.484N_{60}$ N (2-30) $R^2=0.998$	$\Phi=7N$; $N \leq 4$ $\Phi=27.12+0.2857N$ N (4-50) $R^2=0.998$	Para suelos cohesivos
(Karol, 1960) [51]	N<2; C=12kPa N (2-4); C=12-24kPa N (4-8); C=24-48kPa N (8-15); C=48-96kPa N (15-30); C= 96-192 kPa N>30; C=192kPa	-	Para suelos en general
(Terzaghi & Peck, 1967) [52]	-	N (0-4); $\Phi < 28^\circ$ N (4-10); $\Phi = 28-30^\circ$ N (10-30); $\Phi = 30-36^\circ$ N (30-50); $\Phi = 36-41^\circ$ N>50; $\Phi > 41^\circ$	Para suelos en general
(Mostafa, 2013) [48]	$C=0.249N_{60} + 19.68$ $R^2=0.871$	$\Phi=0.014N_{60} - 0.18$ $R^2=0.851$	Para arcilla limosa con arena
(Kasim & Raheem, 2021) [49]	$C=6.5808N - 9.079$ $R^2=0.9942$	$\Phi=0.8531N + 0.1581$ $R^2=0.9963$	Todo tipo de suelos
(Dalai & Patra, 2021) [50]	$C= 0.00054(Ip) + 0.005(N) + 0.09$ $R^2=0.9047$	-	Arcilla limosa (media a muy dura) con trazas de ceniza
(Mujtaba et al., 2018) [53]	-	$\Phi=0.706N_{60} + 17.58$ $R^2=0.90$	Arena limosa mal graduada (SP-SM)

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos en la **sección 4.2** entre los datos V_p y N_{60} , el ajuste de la correlación se la obtuvo con una regresión lineal ($N_{60} = 0.0233V_p + 1.7481$; $R^2=0.894$). Desde las últimas décadas, se ha incrementado el interés por realizar varios estudios para adquirir una relación empírica que pueda usarse para correlacionar los métodos directos (e.g., SPT- N_{60}) y los métodos indirectos (e.g., métodos de refracción sísmica- V_p). Algunas de estas investigaciones fueron realizadas por:

- (1) Ulugergerli & Uyanik [54] obtained a correlation $V_p=14.088*\ln(N)+2.193$ from 327 samples of different soil types (clay, silt and sand).
- (2) Bery & Saad [55] found an empirical correlation for the soil studies in a tropical environment ($V_p= 23.605*(N)-160.43$; $R^2 = 0.8147$).
- (3) Awang & Mohamad [28] found an empirical correlation between seismic velocity and SPT-N value for tropical granitic rocks, which is $V_p = 23.605(N)-160.43$ ($R^2 = 0.9315$).
- (4) Sarkar et al., [56] obtained a correlation $V_p= 69.98(N)^{0.784}$ with a relation $R^2=0.957$ in all types of soils.

Según las relaciones de Bery & Saad (2012) y Awang & Mohamad (2016), la mejor correlación es una ecuación lineal, como se observa en la **sección 4.3**, dando un R^2 similar a los obtenidos por los otros autores, pero en diferentes ambientes de experimentación.

Así como los parámetros resistentes del suelo (SPT) son importantes, el parámetro velocidad de onda de corte (V_s) es otro de gran importancia para el diseño de obras civiles. Este parámetro permite analizar la respuesta del sitio de estudio, evaluación de la rigidez de los cimientos, o el potencial de licuefacción. También es un parámetro fundamental requerido para definir o estimar propiedades dinámicas de los suelos. Por lo que varios autores han correlacionado, de manera empírica, el parámetro V_s y N_{60} . En la **Tabla 7** se resumen algunas de las correlaciones existentes.

Table 7. Correlaciones existentes entre SPT (N/N_{60}) y velocidad de corte (V_s).

Autores	Ecuación Empírica	Observación
(Seed & Idriss, 1981) [57]	$V_s=61.4N^{0.5}$	Para todo suelo
(Seed et al., 1983) [60]	$V_s=56.4N^{0.5}$	Para suelo tipo arena
(Lee, 1990) [61]	$V_s=114N^{0.31}$	Para suelo tipo arcilla
(Athanasopoulos, 1995) [58]	$V_s=107.6N^{0.36}$	Para todo suelo
(Pitilakis et al., 1999) [62]	$V_s=132(N_{60})^{0.271}$	Para suelo tipo arcilla
(Hanumantharao & Ramana, 2008) [59]	$V_s=82.6N^{0.43}$	Para todo suelo
(Dikmen, 2009) [63]	$V_s=44N^{0.48}$	Para suelo tipo arcilla
(Kasim & Raheem, 2021) [49]	$V_s= 2.8538(N) + 55.769$	Para suelo tipo arcilla dura

Ya que los suelos del cantón Palestina se clasifican como limosos y arcillosos, en la **Tabla 7** se presenta, de manera empírica, rangos de valores de V_s según las ecuaciones de autores como Seed & Idriss (1981) [57], Athanasopoulos (1995) [58], y Hanumantharao & Ramana (2008) [59].

Tabla 8. Valores V_s y clasificación de suelo según (MIDUVI, 2014) [33].

SPT	Prof. (m)	N	V_s (m/s)
1A-1B	0.0-6.5	3-6	106-205
	6.5-11.0	38-48	378-436
2A	0.0-4.0	6-9	205-237
	4.0-12.5	28-42	325-413
2B	0.0-4.0	4-7	123-217
	4.0-12.5	18-22	260-312
3A-3B	0.0-3.0	6-7	205-217
	3.0-12.5	26-50	313-444
4A-4B	0.0-3.0	6-8	205-227
	3.0-11.0	16-24	246-338

6. CONCLUSIONES

Se realizó una investigación geotécnica-geofísica en cuatro poblaciones del cantón Palestina (El Carmen, La Corona, Las Peñas, y Estero Lagarto); donde se construirán puentes tanto para su desarrollo socioeconómico y evitar las inundaciones en la zona de estudio. Se exploró el subsuelo mediante (RS) y pruebas de medición directa (SPT), para la adquisición de datos de campo (líneas de refracción sísmica y SPT), que unidas a una revisión literaria ayudan a interpretar las condiciones del suelo y considerar en el diseño de la construcción de los puentes.

Se recolectaron datos de ocho (8) perforaciones y de seis (6) líneas sísmicas; además de realizar y analizar 140 muestras de SPT en laboratorio. Respecto a la clasificación del suelo del área de estudio (mediante SUCS), en los primeros metros de profundidad (0.0 a 6.5) se obtuvieron suelos areno-limosos; mientras que en los siguientes metros (6.5-12.0) se tienen suelos arcillosos de alta plasticidad.

En esta investigación realizada en el cantón de Palestina se obtuvo una correlación empírica entre los datos de N_{60} - V_p . La ecuación de regresión lineal presentó una mejor correlación ($N_{60}=0.0233V_p+1.7481$; $R^2=0.894$). Esta ecuación de regresión lineal se recomienda usarla en ambientes similares a los del cantón de Palestina.

Esto permitirá adoptar datos de parámetros geotécnicos para la caracterización del subsuelo, y posterior diseño de obras civiles en el cantón Palestina.

Esta ecuación lineal, permitirá a los ingenieros adoptar u obtener empíricamente parámetros resistentes con valores de ensayos indirectos, como la refracción sísmica. Los datos de SPT y V_p se correlacionan al 89%; por lo tanto, la correlación de SPT con líneas sísmicas permite acelerar el análisis de los suelos con un factor de seguridad elevado que influye en disminución de costos, optimización de los ensayos directos (e.g., pozos exploratorios) siempre y cuando estén relacionados con la ecuación de regresión lineal.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral-ESPOL: "Registro del patrimonio geológico y minero y su impacto en la defensa y preservación de la geodiversidad en Ecuador" con código institucional CIPAT-01-2018. A la maestría en geotecnia de la ESPOL. Por el apoyo en terreno al Ing. Julio Vargas Guadalupe, SIGMACONS S.A. Representante legal.

REFERENCIAS

- [1] Cui, K.; Jing, X. Research on prediction model of geotechnical parameters based on BP Neural Network. *Neural Comput. Appl.* 2019, 31, 8205–8215, doi:10.1007/s00521-018-3902-6.
- [2] Zuo, H.; Luo, Z.; Guan, J.; Wang, Y. Identification on rock and soil parameters for vibration drilling rock in metal mine based on fuzzy least square support vector machine. *J. Cent. South Univ.* 2014, 21, 1085–1090, doi:10.1007/s11771-014-2040-2.
- [3] Mulyawati, I.B.; Ramadhan, D.F. Bibliometric and visualized analysis of scientific publications on geotechnics Fields. *ASEAN J. Sci. Eng. Educ.* 2021, 1, 37–46, doi:10.17509/ajsee.v1i1.32405.
- [4] Carrión Mero, P.; Blanco Torrens, R.; Borja Bernal, C.; Aguilar Aguilar, M.; Morante Carballo, F.; Briones Bitar, J. Geomechanical characterization and analysis of the effects of rock massif in Zaruma city, Ecuador. In *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology; Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, January 1 2019; Vol. 2019-July.
- [5] Di, H.; Zhou, S.; Yao, X.; Tian, Z. In Situ grouting tests for differential settlement treatment of a cut-and-cover metro tunnel in soft soils. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2021, 80, 6415–6427, doi:10.1007/s10064-021-02276-5.
- [6] Wang, H.; Markine, V. Dynamic behaviour of the track in transitions zones considering the differential settlement. *J. Sound Vib.* 2019, 459, 114863, doi:10.1016/j.jsv.2019.114863.
- [7] Carrión-Mero, P.; Solórzano, J.; Chávez, M.Á.; Blanco, R.; Morante-Carballo, F.; Aguilar, M.; Briones-Bitar, J. Evaluation of geomechanical features and stability for the recommendations and rehabilitation of the Humberto Molina Hospital, Zaruma, El Oro, Ecuador. In *Proceedings of the Sustainable Development and Planning XI; WIT Press*, November 18 2020; Vol. I, pp. 455–466.
- [8] Morante, F.; Aguilar, M.; Ramírez, G.; Blanco, R.; Carrión, P.; Briones, J.; Berrezueta, E. Evaluation of slope stability considering the preservation of the general patrimonial cemetery of Guayaquil, Ecuador. *Geosciences* 2019, 9, 103, doi:10.3390/geosciences9030103.
- [9] Wang, L.; Wu, C.; Gu, X.; Liu, H.; Mei, G.; Zhang, W. Probabilistic stability analysis of earth dam slope under transient seepage using multivariate adaptive regression splines. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2020, 79, 2763–2775, doi:10.1007/s10064-020-01730-0.
- [10] Solórzano, J.; Morante-Carballo, F.; Montalván-Burbano, N.; Briones-Bitar, J.; Carrión-Mero, P. A Systematic review of the relationship between geotechnics and disasters. *Sustainability* 2022, 14, 12835, doi:10.3390/su141912835.
- [11] Aripov, N.F.; Kiselev, N.P.; Lyudva, S.A.; Piotrovskii, A.S. Quality control of the stacking of coarse fragmental soil in test pits of reduced size in the construction of dams. *Power Technol. Eng.* 2018, 52, 298–302, doi:10.1007/s10749-018-0948-7.
- [12] Fei, Y.; She, D.; Gao, L.; Xin, P. Micro-CT Assessment on the soil structure and hydraulic characteristics of saline/sodic soils subjected to short-term amendment. *Soil Tillage Res.* 2019, 193, 59–70, doi:10.1016/j.still.2019.05.024.
- [13] Khosravi, A.; Martinez, A.; DeJong, J.T. Discrete Element Model (DEM) Simulations of cone penetration test (CPT) measurements and soil classification. *Can. Geotech. J.* 2020, 57, 1369–1387, doi:10.1139/cgj-2019-0512.
- [14] Ampadu, S.I.K.; Ayeh, F.F.J.; Boadu, F. Deriving SPT N-values from DCP test results: The case of foundation design in a tropical environment. *Geotech. Geol. Eng.* 2018, 36, 2517–2531, doi:10.1007/s10706-018-0480-4.
- [15] Rocha, B.P.; Rodrigues, R.A.; Giacheti, H.L. The flat dilatometer test in an unsaturated tropical soil site. *Geotech. Geol. Eng.* 2021, 39, 5957–5969, doi:10.1007/s10706-021-01849-1.
- [16] Amoroso, S.; Comina, C.; Marchetti, D. Combined P-and S-Wave measurements by Seismic Dilatometer Test (SPDMT): A case history in Bondeno (Emilia Romagna, Italy). *Geotech. Test. J.* 2020, 43, 20180233, doi:10.1520/GTJ20180233.
- [17] Bilgin, Ö.; Arens, K.; Dettloff, A. Assessment of variability in soil properties from various field and laboratory tests. *Georisk Assess. Manag. Risk Eng. Syst. Geohazards* 2019, 13, 247–254, doi:10.1080/17499518.2019.1645338.
- [18] Zhou, J.; Li, E.; Wang, M.; Chen, X.; Shi, X.; Jiang, L. Feasibility of stochastic gradient boosting approach for evaluating seismic liquefaction potential based on SPT and CPT case histories. *J. Perform. Constr. Facil.* 2019, 33, doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001292.
- [19] Nadia, R.; Saad, R.; Muztaza, N.; Ismail, N.A.; Saidin, M.M. Geotechnical parameters study using seismic refraction tomography. *J. Teknol.* 2016, 78, doi:10.11113/jt.v78.9645.
- [20] Daniel Opemipo, O.; Moroof, O.; Sunday, O.; Victor, O.; Christopher, B. Subgrade soil evaluation using integrated seismic refraction tomography and geotechnical studies: A case of Ajaokuta-Anyigba federal highway, North-Central Nigeria. *NRIAG J. Astron. Geophys.* 2022, 11, 293–305, doi:10.1080/20909977.2022.2094530.
- [21] Whiteley, J.S.; Chambers, J.E.; Uhlemann, S.; Boyd, J.; Cimpoiasu, M.O.; Holmes, J.L.; Inauen, C.M.; Watlet, A.; Hawley-Sibbett, L.R.; Sujitapan, C.; et al. Landslide monitoring using seismic refraction tomography – The importance of incorporating topographic variations. *Eng. Geol.* 2020, 268, 105525, doi:10.1016/j.enggeo.2020.105525.
- [22] Saad, A.M.; Sakr, M.A.H.; Omar, A.E.; Temsah, Y.A. Assessment of radioactivity and geotechnical characteristics of soil foundation for suitability of safe urban extension using geospatial technology New Sahl Hasheesh Marin Port, Eastern Desert, Egypt. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 2020, 1–23, doi:10.1080/03067319.2020.1802444.
- [23] Bychkov, S.; Dolgal, A.; Simanov, A. Interpretation of gravity monitoring data on geotechnical impact on the geological environment. *Pure Appl. Geophys.* 2021, 178, 107–121, doi:10.1007/s00024-020-02640-8.
- [24] Reynolds, J.M. *An Introduction to applied and environmental geophysics*; John Wiley & Sons, 2011;
- [25] Adegbola, R.B.; Ayolabi, E.A.; Allo, W. Subsurface characterization using seismic refraction and surface wave methods: A case of Lagos State University, Ojo, Lagos State. *Arab. J. Geosci.* 2013, 6, 4925–4930, doi:10.1007/s12517-012-0784-2.
- [26] Khalil, M.H.; Hanafy, S.M. Geotechnical parameters from seismic measurements: Two field examples from Egypt

- and Saudi Arabia. *J. Environ. Eng. Geophys.* 2016, 21, 13–28, doi:10.2113/JEEG21.1.13.
- [27] Izumotani, S.; Takeuchi, M.; Murayama, H.; Okazaki, K. Estimating rock properties using seismic refraction survey data: A case study in an abandoned road tunnel. *Explor. Geophys.* 2021, 52, 409–418, doi:10.1080/08123985.2020.1828856.
- [28] Awang, H.; Mohamad, M.N.N. A Correlation between P-Wave Velocities and Standard Penetration Test (Spt-N) blows count for Meta-Sedimentary soils of tropical country. In *INCIEC 2015*; Springer Singapore: Singapore, 2016; pp. 343–354.
- [29] Carrión-Mero, P.; Aguilar-Aguilar, M.; Morante-Carballo, F.; Domínguez-Cuesta, M.J.; Sánchez-Padilla, C.; Sánchez-Zambrano, A.; Briones-Bitar, J.; Blanco-Torrens, R.; Córdova-Rizo, J.; Berrezueta, E. Surface and underground geomechanical characterization of an area affected by instability phenomena in Zaruma mining zone (Ecuador). *Sustainability* 2021, 13, 3272, doi:10.3390/su13063272.
- [30] Ortiz-Hernández, E.; Chunga, K.; Pastor, J.L.; Toulkeridis, T. Assessing susceptibility to soil liquefaction using the Standard Penetration Test (SPT)—A case study from the city of Portoviejo, coastal Ecuador. *Land* 2022, 11, 463, doi:10.3390/land11040463.
- [31] Carrión-Mero, P.; Briones-Bitar, J.; Morante-Carballo, F.; Stay-Coello, D.; Blanco-Torrens, R.; Berrezueta, E. Evaluation of slope stability in an urban area as a basis for territorial planning: A case study. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5013, doi:10.3390/app11115013.
- [32] Sellers, C.; Ammirati, L.; Khalili, M.A.; Buján, S.; Rodas, R.A.; Di Martire, D. The use DInSAR technique for the study of land subsidence associated with illegal mining activities in Zaruma – Ecuador, a cultural heritage cite. In: 2023; pp. 553–562.
- [33] MIDUVI Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) Available online: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/> (accessed on 29 March 2021).
- [34] Tinoco, V.; Willems, P.; Wyseure, G.; Cisneros, F. Evaluation of reservoir operation strategies for irrigation in the Macul Basin, Ecuador. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 2016, 5, 213–225, doi:10.1016/j.ejrh.2015.12.063.
- [35] INEC, Resultados del censo de población y vivienda de 2010 en Ecuador. Available online: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/> (accessed on 4 April 2022).
- [36] SNI-Ecuador Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Palestina 2014-2019; 2013;
- [37] ASTM ASTM D2216-19: Standard test methods for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass. Available online: <https://www.astm.org/d2216-19.html>.
- [38] ASTM ASTM D2974-14: Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Available online: <https://pdfcoffee.com/d-2974-14-pdf-free.html> (accessed on 17 November 2022).
- [39] ASTM ASTM D1140: Standard test methods for determining the amount of material finer than 75-Mm (No. 200) sieve in soils by washing. Available online: <https://www.astm.org/d1140-17.html> (accessed on 17 November 2022).
- [40] ASTM ASTM D4318-17: standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. Available online: <https://www.astm.org/d4318-17e01.html> (accessed on 17 November 2022).
- [41] ASTM ASTM D2487-17: Standard ractice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). Available online: <https://www.astm.org/d2487-17e01.html> (accessed on 17 November 2022).
- [42] Yusof, N.Q.A.M.; Zabidi, H. Reliability of using Standard Penetration Test (SPT) in Predicting properties of soil. *J. Phys. Conf. Ser.* 2018, 1082, 012094, doi:10.1088/1742-6596/1082/1/012094.
- [43] Taylor, R. Interpretation of the correlation coefficient: A basic review. *J. Diagnostic Med. Sonogr.* 1990, 6, 35–39, doi:10.1177/875647939000600106.
- [44] Ghoreishi, B.; Khaleghi Esfahani, M.; Alizadeh Lushabi, N.; Amini, O.; Aghamolaie, I.; Hashim, N.A.A.N.; Alizadeh, S.M.S. Assessment of geotechnical properties and determination of shear strength parameters. *Geotech. Geol. Eng.* 2021, 39, 461–478, doi:10.1007/s10706-020-01504-1.
- [45] Kumar, R.; Bhargava, K.; Choudhury, D. Estimation of engineering properties of soils from field SPT using random number generation. *Ina. Lett.* 2016, 1, 77–84, doi:10.1007/s41403-016-0012-6.
- [46] Anbazhagan, P.; Parihar, A.; Rashmi, H.N. Review of correlations between SPT N and shear modulus: A new correlation applicable to any region. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2012, 36, 52–69, doi:10.1016/j.soildyn.2012.01.005.
- [47] Ohsaki, Y.; Iwasaki, R. On dynamic shear moduli and poisson's ratios of soil deposits. *Soils Found.* 1973, 13, 61–73, doi:10.3208/sandf1972.13.4_61.
- [48] Mostafa, A. Reliability of using Standard Penetration Test (SPT) in predicting properties of silty clay with sand soil. *Int. J. Civ. Struct. Eng.* 2013, 3.
- [49] Kasim, M.N.; Raheem, A.M. Evaluation of some soil characteristics from field SPT values using random number generation technique. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021, 779, 012017, doi:10.1088/1755-1315/779/1/012017.
- [50] Dalai, S.; Patra, C. Prediction of angle of internal friction based on SPT N values. In *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference 2019, Lecture Notes in Civil Engineering*; 2021; pp. 471–477.
- [51] Karol, R. *Soils and soil engineering*; Prentice Hall, Eaglewood Cliffs, 1960;
- [52] Terzaghi, K.; Peck, R. *Soil mechanics in engineering practice*; 2nd ed.; Wiley, New York, 1967;
- [53] Mujtaba, H.; Farooq, K.; Sivakugan, N.; Das, B.M. Evaluation of relative density and friction angle based on SPT-N values. *KSCE J. Civ. Eng.* 2018, 22, 572–581, doi:10.1007/s12205-017-1899-5.
- [54] Uluggergerli, E.; Uyanik, O. Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow counts and the relative density of soils. *J. Test. Eval.* 2007, 35, 100159, doi:10.1520/JTE100159.
- [55] Bery, A.A.; Saad, R. Correlation of seismic P-Wave velocities with engineering parameters (N value and rock quality) for tropical environmental study. *Int. J. Geosci.* 2012, 03, 749–757, doi:10.4236/ijg.2012.34075.
- [56] Sarkar, S.; Saha, A.; Ashim, K.D. Soil characterization and stratification using seismic refraction test. In *Proceedings*

- of the Indian Geotechnical Conference 2017 GeoNEs; IIT Guwahati, India, 2017.
- [57] Seed, H.B.; Idriss, I. Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes. 1981, 481–544.
- [58] Athanasopoulos, G.A. Empirical correlations vs-N SPT for soils of greece: A comparative study of reliability. In Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (SDEE 95); Computational Mechanics Publications: Crete, Greece, 1995; pp. 19–26.
- [59] Hanumantharao, C.; Ramana, G. V. Dynamic soil properties for microzonation of Delhi, India. *J. Earth Syst. Sci.* 2008, 117, 719–730, doi:10.1007/s12040-008-0066-2.
- [60] Seed, H.B.; Idriss, I.M.; Arango, I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. *J. Geotech. Eng.* 1983, 109, 458–482, doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1983)109:3(458).
- [61] Lee, S.H. Regression models of shear wave velocities in Taipei basin. *J. Chinese Inst. Eng.* 1990, 13, 519–532, doi:10.1080/02533839.1990.9677284.
- [62] Ptilakis, K.; Raptakis, D.; Lontzetidis, K.; Tika-Vassilikou, T.; Jongmans, D. Geotechnical and geophysical description of euro-seistest, using field, laboratory tests and moderate strong motion recordings. *J. Earthq. Eng.* 1999, 3, 381–409, doi:10.1080/13632469909350352.
- [63] Dikmen, Ü. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *J. Geophys. Eng.* 2009, 6, 61–72, doi:10.1088/1742-2132/6/1/007.

NOMENCLATURA

RS	Refracción Sísmica
SPT	Prueba de penetración estándar
Vp	Velocidad de Ondas P, m/s
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
AASHTO	Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte
W	Humedad, %
LL	Límite líquido, %
LP	Límite plástico, %
IP	Índice plástico, %
#200	Pasante tamiz # 200, %
m	metros
Hz	hercio
kg	kilogramo
R ²	Coefficiente de determinación

CERTIFICACIÓN DE REVISIÓN DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Por medio de la presente, Yo Davide Besenzon Venegas, Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), certifico que:

Con fecha 15 de febrero de 2022, la estudiante Glenda Lorena Guadalupe Méndez con número de identificación 0912250693, de la Cohorte 3, presentó la propuesta de su tema de titulación al Comité Académico del programa. Posteriormente, con fecha 07 de marzo de 2022, el Comité revisó y aprobó la propuesta mediante la resolución FICT-CA-GEOTEC-008-2022, cumpliendo con los requisitos establecidos para la aprobación del tema.

A partir de dicha aprobación, la estudiante mantuvo reuniones periódicas con el tutor designado, Paúl César Carrión Mero, para la elaboración y desarrollo de su proyecto de titulación, siguiendo los lineamientos establecidos por el programa. Con fecha 08 de julio de 2023, la estudiante presentó y sustentó su proyecto de titulación ante el tribunal evaluador asignado, cumpliendo con el proceso formal de evaluación académica.

Por lo tanto, en calidad de Coordinador del Programa de Maestría en Geotecnia, certifico que el trabajo de titulación denominado "**Correlación de Ensayos SPT y Sísmica de Refracción para la Obtención de Parámetros Dinámicos, en los suelos de los cruces de Puentes, El Carmen, La Corona, Las Peñas, y Estero Lagarto del Cantón Palestina, Provincia del Guayas**", realizado por la estudiante Glenda Lorena Guadalupe Méndez con número de identificación 0912250693, ha sido revisado y evaluado conforme a los lineamientos y estándares establecidos por el programa.

Debido a circunstancias externas, no ha sido posible obtener las firmas de los involucrados (estudiante, tutor(es) y/o evaluadores). No obstante, en calidad de Coordinador del Programa, certifico que el proyecto cumple con los requisitos académicos y ha sido revisado para su presentación y archivo institucional.

Atentamente,



M. Sc. Davide Besenzon Venegas
Coordinador de la Maestría en Geotecnia