



Caracterización geofísica del subsuelo por el método de Refracción Sísmica y MASW del predio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria-UNH

Geophysical characterization of the subsoil by the Seismic Refraction and MASW method of the Environmental and Sanitary Engineering-UNH property

Caracterização geofísica do subsolo pelo método de Refração Sísmica e MASW da propriedade de Engenharia Ambiental e Sanitária da UNH

ARTÍCULO ORIGINAL

Victor Manuel Paitan Mendez

2016151046@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-3711-5712>

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú

Jose Luis Zuñiga Espinoza

2013151110@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-4575-1655>

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú

Abdon Dante Olivera Quintanilla

abdon.olivera@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0247-7737>

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú

Francis Dante Olivera Mayorca

francis.olivera@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0005-8418-7785>

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú

Cesar Jurado Mancha

cesar.jurado@unh.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-2528-8317>

Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica - Perú

Recibido 15 de Noviembre 2025 | Arbitrado y aceptado 28 de Noviembre 2025 | Publicado el 17 de Diciembre 2025

RESUMEN

El objetivo fue determinar la caracterización geofísica del subsuelo del predio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria-UNH mediante refracción sísmica y MASW (2025). La metodología correspondió a investigación aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental; la muestra fue no probabilística, constituida por tres líneas RS (75–50–75 m) y tres puntos MASW distribuidos en sectores específicos del predio. Los instrumentos fueron la Ficha de Observación Estructurada y registros geofísicos. Los resultados de refracción sísmica (RS) indicaron que en 100 % de las líneas se identificaron tres estratos: cobertura somera Vp 450–800 m/s (1–6 m), transición rígida Vp 800–1200 m/s (1–10 m) y basamento muy rígido Vp 1200–2000 m/s (>10 m). Los resultados del MASW, arrojaron que en 100 % de los perfiles Vs aumentó con la profundidad: ~200–270 m/s (0–5 m), ~300–380 m/s (5–10 m) y ≥392–672 m/s (10–30 m). El VS30 fue 362, 534 y 377 m/s; según E-030, S2 en 2/3 de puntos (66,7 %) y S1 en 1/3 (33,3 %); bajo ASCE 7, Clase C en 100 %. Entonces, se determinó que el subsuelo presentó un modelo tri estratificado corroborado por refracción sísmica y MASW.

Palabras clave: Características geofísicas del subsuelo; Refracción sísmica (Vp, potencias); MASW (Vs, VS30); Procedimientos de trabajo; Clasificación sísmica S1/S2.

ABSTRACT

The objective was to determine the geophysical characterization of the subsoil at the Environmental and Sanitary Engineering site of UNH using seismic refraction and MASW (2025). The methodology corresponded to applied research, descriptive level, and a non-experimental design; the sample was non-probabilistic, consisting of three seismic-refraction (RS) lines (75–50–75 m) and three MASW stations distributed across specific sectors of the site. The instruments were a Structured Observation Form and geophysical data records. Seismic refraction (RS) results indicated that three strata were identified in 100% of the lines: a shallow cover with Vp 450–800 m/s (1–6 m), a stiffer transition with Vp 800–1200 m/s (1–10 m), and a very stiff basement with Vp 1200–2000 m/s (>10 m). MASW results showed that in 100% of the profiles Vs increased with depth: ~200–270 m/s (0–5 m), ~300–380 m/s (5–10 m), and ≥392–672 m/s (10–30 m). VS30 values were 362, 534, and 377 m/s; according to E-030, S2 occurred in 2/3 of the points (66.7%) and S1 in 1/3 (33.3%); under ASCE 7, all sites were Site Class C (100%). Therefore, it was determined that the subsoil exhibits a three-layer model corroborated by seismic refraction and MASW.

Keywords: Geophysical characteristics of the subsoil; Seismic refraction (Vp, layer thickness); MASW (Vs, VS30); Field procedures; Seismic site classification S1/S2.

RESUMO

O objetivo foi determinar a caracterização geofísica do subsolo no sítio de Engenharia Ambiental e Sanitária da UNH utilizando refração sísmica e MASW (2025). A metodologia correspondeu à pesquisa aplicada, de nível descritivo e com delineamento não experimental; a amostra foi não probabilística, consistindo em três linhas de refração sísmica (RS) (75–50–75 m) e três estações MASW distribuídas em setores específicos do sítio. Os instrumentos utilizados foram um Formulário de Observação Estruturada e registros de dados geofísicos. Os resultados da refração sísmica (RS) indicaram que três estratos foram identificados em 100% das linhas: uma cobertura rasa com Vp 450–800 m/s (1–6 m), uma transição mais rígida com Vp 800–1200 m/s (1–10 m) e um embasamento muito rígido com Vp 1200–2000 m/s (>10 m). Os resultados do MASW mostraram que em 100% dos perfis a Vs aumentou com a profundidade: ~200–270 m/s (0–5 m), ~300–380 m/s (5–10 m) e ≥392–672 m/s (10–30 m). Os valores de VS30 foram 362, 534 e 377 m/s; de acordo com E-030, S2 ocorreu em 2/3 dos pontos (66,7%) e S1 em 1/3 (33,3%); segundo a ASCE 7, todos os locais foram classificados como Classe de Sítio C (100%). Portanto, determinou-se que o subsolo apresenta um modelo de três camadas, corroborado pela refração sísmica e pelo MASW.

Palavras-chave: Características geofísicas do subsolo; Refração sísmica (Vp, espessura da camada); MASW (Vs, VS30); Procedimentos de campo; Classificação sísmica do local: S1/S2.

Introducción

A través de varios estudios especializados de Paitan y Zúñiga (2024) mencionaron que la caracterización geofísica del subsuelo es un factor clave para lograr mejoras en los diseños estructurales y en la toma de decisiones de ingeniería, sobre todo en las áreas urbanas en expansión y en comunidades vulnerables. A nivel mundial, se emplean con éxito técnicas geofísicas como la refracción sísmica y el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) para obtener parámetros del subsuelo como la velocidad de onda P (V_p), velocidad de onda S (V_s) y la clasificación sísmica del suelo, lo que permite un diseño más seguro y adecuado.

A nivel nacional, el organismo peruano MVCS (2023) ha promovido el mejoramiento de las condiciones geotécnicas en el país, sin embargo, son muchos los estudios y obras que se limitan a las zonas rurales o a las zonas con infraestructura más vulnerable. En el país, se ha constatado que todavía son pocas las empresas de estudios geofísicos que cuentan con la capacidad técnica para preparar los estudios correctos de las características del terreno, que a su vez sirvan para que las construcciones y las obras de infraestructura sean de la calidad y seguridad que corresponda.

Ante esta problemática, el objetivo principal de esta investigación es caracterizar el subsuelo del área o predio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la UNH. con los métodos de refracción sísmica y MASW, a fin de determinar cómo estas técnicas pueden ayudar a determinar el tipo de suelo y a partir de ahí, mejorar el diseño de cimentaciones para futuros proyectos de la infraestructura en esta área. La presente investigación plantea un diseño de tipo no experimental, transversal y descriptivo, al no intervenir o manipular las condiciones del terreno y centrarse en recoger datos descriptivos sobre sus características geofísicas.

Las estadísticas confirman que la falta de conocimiento del subsuelo tiene una influencia directa en la seguridad y la economía en varios países. La CEPAL (2023) calcula que América Latina pierde al año unos 58.000 millones de dólares en infraestructura debido a desastres naturales, de los cuales más del 60% están relacionados con cimientos inadecuados y suelos mal caracterizados. Por su parte, el organismo nacional IGP (2020) en Perú alerta que un 42% de la población (más de 25 millones de personas) se encuentra expuesta a inundaciones y movimientos en masa, lo

que denota la vulnerabilidad estructural del país. Ante esta situación, el uso de técnicas modernas como la Refracción Sísmica, que permite conocer la profundidad y velocidad de las capas del terreno, y el MASW, que ayuda a determinar la velocidad o tiempos de llegada a través de las ondas (V_{s30}) para clasificar el suelo, se transforma en una de la herramienta principal casi indispensable para aliviar las consecuencias de la tragedia, evitar el colapso de las nuestras infraestructuras.

De acuerdo con Martínez (2014) conocer el subsuelo sin excavar a través de métodos geofísicos es una opción muy eficaz para reducir los riesgos en ingeniería civil. Con el la técnica de Refracción Sísmica se aprovecha que las ondas elásticas (P y S) viajan a distinta velocidad por distintos materiales para, midiendo la profundidad, espesor y rigidez de los estratos que se encuentran, obtener un modelo de velocidades del terreno. Su procedimiento es impactar con una base de energía (martillo o explosivo) registrar la llegada de las ondas con geófonos y, por último, con un sísmógrafo, analizar estas ondas. También mencionó Martínez y Zúñiga (2007) que, aunque tiene limitaciones a muy poca profundidad y es sensible a ruidos, su fuerte está en detectar capas profundas o capas que pueden condicionar parámetros dinámicos muy importantes para diseñar cimentaciones seguras. Además, el método MASW según Cutipa (2024) sirve para la dispersión de ondas de Rayleigh para conocer perfiles contra las velocidades a través de ondas (V_s) y, especialmente, el parámetro V_{s30} , reconocido internacionalmente como un indicador clave en la clasificación sísmica del suelo. Este método es rápido, no injurioso, económico, de alta resolución para los primeros 30 metros, y por esto, una de las principales herramientas para la microzonificación sísmica y la evaluación de sitios de obra civil.

Para Díaz y Farfán (2025) la implicación conjunta de la Refracción Sísmica y el MASW brinda un modelo integral del subsuelo, combinando profundidad y alta resolución superficial. En Huancavelica, donde los suelos son heterogéneos y altamente vulnerables a la sismicidad, estos métodos resultan clave para el diseño seguro de edificaciones. En el predio de la UNH, su uso permitirá clasificar el terreno, garantizar cimentaciones más seguras y reducir el riesgo de fallas estructurales en futuras construcciones.

En este sentido, la región de Huancavelica presenta problemas geodinámicos a nivel local como suelos heterogéneos, fallas geológicas y una alta vulnerabilidad

sísmica que aumentan el riesgo de deslizamientos o fallo de las infraestructuras según IGP (2020). El terreno de la EAPS - UNH donde se piensa edificar en un futuro no tiene un estudio de geofísica con detalle de cuáles son las propiedades del subsuelo ante cargas dinámicas. Esta falta de información provoca dudas sobre que estén bien seguras sus cimentaciones y que el terreno no de problemas cuando haya un terremoto. Por eso es necesario recurrir a métodos modernos y no invasivos como refracción sísmica y MASW que ayuden a caracterizar cuáles son las propiedades geofísicas y la clasificación sísmica del suelo en este sector y así aportar una solución al objetivo general de la investigación.

Entonces, sobre el tema tratado, existen investigaciones previas, En el plano internacional, los antecedentes que resultan más decisivos para una caracterización del subsuelo con Refracción Sísmica y MASW son aquellos que muestran, con datos comparables, cómo estas técnicas pasan de “describir capas” a explicar comportamiento dinámico útil para decisiones de ingeniería. En esa línea, Díaz y Farfán (2025) destacan porque no se limitan a estimar velocidades, sino que vinculan la respuesta del suelo con la posible resonancia suelo–estructura, al reportar periodos medios del orden de 0,60 s y una proporción relevante de estratos arenosos susceptibles a vibración, además de señalar coincidencias entre el periodo fundamental del terreno y el de estructuras en un conjunto importante de casos; esto refuerza la idea de que el MASW y la refracción sísmica no solo “mapean”, sino que ayudan a anticipar escenarios de riesgo en el diseño de cimentaciones. De manera similar, Sierra (2023) aporta porque integra enfoques (tomografía eléctrica, refracción sísmica y MASW 2D) para separar capas con V_s y V_p diferenciadas e incluso ubicar el nivel freático, lo cual es especialmente valioso cuando el objetivo final es sustentar una cimentación con argumentos físicos y no únicamente litológicos.

A partir de esos referentes, se vuelve central el antecedente que evidencia cómo los parámetros sísmicos se traducen en clasificación del suelo y lectura geotécnica indirecta. En ese punto, la tesis de Villalobos (2025) es particularmente pertinente, porque emplea TRS y MASW para estimar V_p , V_s y V_{s30} , y a la vez interpreta el aumento de rigidez y módulos dinámicos con la profundidad como un indicador práctico de estabilidad del medio; además, al concluir que las estaciones se ubican sobre suelos tipo C, muestra el puente lógico entre el registro geofísico y la decisión técnica

sobre la idoneidad del terreno. En contraste con estudios más orientados a amenaza (por ejemplo, el enfoque de susceptibilidad a deslizamientos en Nurkhalidah et al. (2023), donde la refracción sísmica se articula con teledetección y validación AUC), Villalobos se mantiene en una escala “de obra” y, por ello, dialoga mejor con un predio universitario donde se requiere caracterizar estratigrafía, rigidez relativa y condiciones mecánicas esperables para uso ingenieril.

En el contexto nacional, los antecedentes más influyentes son los que replican exactamente el binomio metodológico Refracción Sísmica + MASW y lo conectan con normativa o ensayos de campo, porque ahí se obtiene una ruta clara para justificar el perfil del subsuelo con lenguaje de ingeniería. Así, Urquiza (2020) es clave por integrar MASW 1D/2D, MAM y refracción sísmica en un caso de puente en Junín, mostrando estratos diferenciados por rangos de velocidades y correlación con márgenes fluviales, lo que es útil cuando se espera heterogeneidad lateral. Asimismo, Zegarra (2021) destaca por la correlación MASW–CPT, ya que refuerza la confiabilidad del método al compararlo con un ensayo geotécnico directo, lo cual suele ser un argumento fuerte al redactar la discusión metodológica. A ello se suman trabajos aplicados con lectura normativa y de clasificación, como Cutipa (2024) y Colque (2023), donde la refracción sísmica y MASW se usan para distinguir suelos más blandos frente a más rígidos y relacionarlos con categorías de terreno requeridas en obra; y, con un matiz importante, Aquima (2023) aporta el enfoque de “alerta” al detectar fracturas y condiciones que podrían comprometer estabilidad, recordando que una buena caracterización no solo identifica capas, sino también condiciones críticas.

Por el lado, del contexto teórico que fundamente el estudio, se menciona que, en geofísica aplicada, el punto de partida suele ser la idea de que un sismo no solo es “un evento”, sino una liberación de energía que se transmite por el subsuelo y cuya expresión depende del medio por el que viaja. En esa dirección, Valverde y Valverde (2020) sitúan al sismo dentro de un marco energético amplio, donde intervienen dinámicas internas de la Tierra y condiciones externas como el clima, mientras que Aki y Richards (2002) precisan el sustento físico que interesa al trabajo de campo: las ondas sísmicas son perturbaciones elásticas que se propagan según la densidad y la elasticidad del material, distinguiéndose ondas de cuerpo (P y S) y ondas superficiales. Por similitud, ambos enfoques convergen en una consecuencia práctica: si cambian los

materiales, cambian las velocidades y las formas de propagación; por ello, observar tiempos de llegada y velocidades permite inferir la estructura del subsuelo y su rigidez, lo cual da sentido a métodos como la refracción sísmica y el MASW cuando se busca caracterizar un predio desde la respuesta dinámica del terreno.

A partir de ese fundamento, la refracción y la reflexión explican el “cómo” del registro, es decir, por qué una onda cambia su ruta al atravesar capas distintas y por qué parte de su energía retorna a la superficie en forma medible. Sheriff y Geldart (2006) señalan que, bajo la lógica de Snell, al existir un contraste de propiedades entre capas, una porción de la energía se refleja y otra se refracta con ángulos definidos por la relación entre velocidades; por contraste, en refracción el interés no está en la energía reflejada como tal, sino en la energía que viaja a lo largo de la interfaz y vuelve a superficie para ser captada por geófonos. En términos sencillos, el método se apoya en curvas tiempo–distancia: se marcan primeras llegadas, se grafican contra la distancia y la pendiente aproxima la velocidad aparente; luego, con procedimientos gráficos o analíticos se estiman velocidades reales y profundidades de refractores (Martinez P. , 2014). Así, aunque el principio se parezca al de un rayo que cambia de dirección, su utilidad concreta radica en reconstruir la estratigrafía y ubicar contrastes relevantes para cimentación.

La lectura mecánica de esos registros se entiende mejor con la teoría de la elasticidad, porque convierte una medición de velocidades en parámetros que describen “qué tan rígido” es el terreno. Love (2016) resume el núcleo, indicando que los materiales se deforman proporcionalmente a la carga hasta un límite y, al retirarla, tienden a recuperar su forma; en geofísica, esa elasticidad se expresa en módulos como el de corte (G), el de Young (E) y el coeficiente de Poisson (ν), además de la densidad (ρ). Por eso, cuando se miden V_p y V_s , no solo se obtiene una “velocidad”, sino una puerta de entrada a propiedades dinámicas indirectas: por ejemplo, una relación ampliamente usada es $G = \rho V_s^2$, que liga la velocidad de onda de corte con la rigidez al corte del material, y de manera complementaria la combinación de V_p y V_s permite aproximar ν y E bajo supuestos elásticos. En la misma línea, Raddatz et al. (2021) enfatizan que estas propiedades, junto con la profundidad y espesor de capas, son claves para anticipar comportamiento ante cargas estáticas y dinámicas, incluyendo riesgos como asientos diferenciales o amplificación sísmica; de hecho, el indicador V_{s30} ,

entendido como el promedio armónico de V_s en los primeros 30 m, se vuelve un resumen robusto del comportamiento de las capas superficiales, que suelen controlar gran parte de la respuesta sísmica del sitio (Raddatz, Aguirre, & Taiba, 2021; Oliveras, y otros, 2023; Schmidt, 2012).

En consecuencia, los métodos de prospección se entienden como un conjunto coherente: la refracción sísmica aporta penetración y lectura de interfaces, mientras que el MASW aporta detalle de la rigidez superficial al explotar la dispersión de ondas de Rayleigh, con la ventaja de ejecutarse desde superficie sin perforaciones (Martinez P. , 2014). En MASW, se registra el tren de ondas con un arreglo multicanal, se transforma el registro para obtener un espectro de dispersión y se extrae una curva velocidad de fase-frecuencia; después, mediante inversión se obtiene un perfil V_s con profundidad y, si se cuenta con V_s hasta 30 m, se calcula V_{s30} para clasificar el terreno según criterios normativos (Oliveras et al., 2023; Schmidt, 2012). Por el lado de los criterios y la confiabilidad, estándares como ASTM D5777 orientan la adquisición e interpretación en refracción, y marcos como la norma peruana E.030 y ASCE 7-16 resaltan que el tipo y rigidez del suelo condicionan las demandas sísmicas de diseño, lo que refuerza la necesidad de caracterizar el subsuelo antes de proyectar o evaluar infraestructura (Mojica, y otros, 2022; ASCE, 2016; SENCICO, 2020). Finalmente, aunque teorías como la tectónica de placas explican el origen regional de la sismicidad y por qué ciertos territorios son más activos, el aporte directo al predio se concreta cuando esa visión global aterriza en parámetros locales medibles, como V_s , V_p , estratigrafía y V_{s30} , que son precisamente los productos esperables al integrar refracción sísmica y MASW en una caracterización geofísica del subsuelo (Dias, y otros, 2020; Vine, Kearey, & Kleypais, 2009).

Por tanto, la presente investigación se justifica porque, en el plano teórico, el estudio del subsuelo mediante refracción sísmica y MASW permite comprender con mayor solidez cómo responde el terreno ante solicitaciones sísmicas, al estimar parámetros como V_s , V_{s30} y módulos elásticos que reflejan la rigidez y el comportamiento dinámico del medio; a la vez, en el plano práctico, dicha información resulta directamente útil para la planificación y futura construcción de la EAP de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la UNH, ya que reduce la incertidumbre sobre la calidad del suelo y respalda decisiones de diseño de cimentaciones más seguras,

coherente con el sentido de la investigación aplicada orientada a resolver un problema concreto y, por último, en el plano metodológico, la elección de técnicas no invasivas se sustenta en su rapidez y fiabilidad para obtener datos sin perturbar el entorno, alineándose con el propósito descriptivo del estudio y con el criterio de seleccionar métodos acordes con la naturaleza del problema para asegurar eficacia y confianza en los resultados.

Metodología

Respecto a la estrategia metodológica, esta fue de naturaleza aplicada; ya que busca conceptualizar y determinar las características geofísicas del subsuelo utilizando métodos geofísicos establecidos (Refracción Sísmica y MASW). Según Vázquez et al. (2023) está orientada a abordar y solucionar desafíos concretos, de manera que se mejore la calidad de vida en el entorno, los investigadores utilizan este método para aplicar los conocimientos en cierto campo industrial de forma que se puedan resolver problemas. Asimismo, fue descriptiva; ya que, tiene la intención de indagar, identificar y documentar las características geofísicas del suelo, sin alterar el terreno de estudio. De acuerdo con lo que mencionó Hernández et al. (2014) este nivel describe un fenómeno o una situación tal, se presentan, sin llevar a cabo ninguna variación influenciada de variables.

La metodología se organizó en dos fases articuladas: en campo se ejecutaron tres líneas de Refracción Sísmica (RS) y tres puntos/tendidos MASW, definiendo un número y orientación de trazas que cubrieran efectivamente el área, con longitudes representativas y ubicación compatible con zonas previstas para ensayos directos y muestreos, de modo que los resultados pudieran contrastarse; luego, en gabinete, se georreferenciaron los geófonos con GPS, se realizó el preprocesado y el picado de primeras llegadas en PICKWIN para construir dromocrónicas, y se aplicó inversión en Plotrefa con corrección topográfica, mientras que para MASW se analizó la dispersión de ondas de Rayleigh en Surface Wave, obteniendo la curva de dispersión e invirtiendo el modo fundamental para derivar perfiles unidimensionales de Vs, lo que permitió además estimar parámetros dinámicos y valorar la compacidad del terreno. En paralelo, se estableció que la selección de espaciamientos y orientaciones buscó maximizar resolución y relación señal–ruido, que la corrección topográfica evitó sesgos en tiempos

de arriba, y que la integración RS+MASW combinó V_p y V_s para reducir ambigüedades y robustecer la interpretación estratigráfica y dinámica. Respecto al procedimiento operativo en campo, se siguió una secuencia controlada que incluyó reconocimiento del área (accesos, topografía, riesgos y fuentes de ruido), instalación y verificación de equipos (acople de geófonos, continuidad, ganancia), generación de energía con golpes controlados sobre placa metálica con repetición de tiros para apilado y mejora de señal, control de calidad en tiempo real con repeticiones cuando fue necesario, y cierre con retiro, conteo, mitigación de huellas e integridad de archivos y bitácoras; finalmente, se precisó que la reducción e interpretación de datos se efectuó íntegramente en gabinete para construir los perfiles correspondientes a las tres líneas RS y los tres ensayos MASW, consignando sus longitudes y productos asociados.

Los datos encontrados fueron procesados a través la técnica de análisis estadístico descriptivo, la cual hizo posible organizar y resumir los valores recolectados mediante la técnica de medición, consignando en fichas de observación estructurada parámetros como las velocidades de onda P y S, espesores y profundidades de estratos. Al procesamiento se sumaron la depuración y sistematización de datos en Excel, el trabajo con programas especializados en geofísica (SeisImager y Geopsy) para la obtención de perfiles de refracción sísmica y MASW, el cálculo de V_{s30} y, con ello, la clasificación del subsuelo de acuerdo a las categorías de la Norma E.030 de diseño interpretado como sismorresistente de nuestro país, con una metodología certera y coherente con los objetivos de investigación.

Resultados

Se determinó que los trabajos se desarrollaron en el predio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica, situado en la Av. Agricultura 319–321, sector Paturpampa, distrito, provincia y departamento de Huancavelica. Se consignó que los puntos y líneas de ensayo quedaron georreferenciados en UTM-WGS84 (Zona 18L) y que su disposición se ilustró en plano y anexo cartográfico correspondientes. Como información adicional, se registró que las adquisiciones de campo se realizaron el 16 de noviembre de 2024 y que se trazaron tres líneas de RS (75 m, 50 m y 75 m) y tres tendidos MASW (75 m, 50 m y 75 m), localizados según las tablas de coordenadas del informe.

Figura 1

Ubicación del lugar de estudio



A continuación, se presentan los Resultados de la refracción sísmica:

En la línea sísmica 1, se observó que la sección en colores de la línea RS-01 representó la distribución lateral y en profundidad de las velocidades de onda P (V_p). Los tonos fríos (azules y verdes) en la franja superficial reflejaron el horizonte más blando, mientras que los tonos cálidos (amarillos, naranjas y rojos) hacia mayor profundidad indicaron materiales cada vez más rígidos. Las curvas de contorno mostraron la tendencia ascendente de V_p con la profundidad y sugirieron un primer manto somero de baja velocidad, una zona intermedia de transición más rígida, y un nivel basal de muy alta rigidez. En conjunto, la imagen respaldó un arreglo estratificado típico de cobertura blanda sobre roca muy fracturada y, a mayor profundidad, roca fracturada de mayor competencia.

Figura 2

Refracción de la línea sísmica RS-01

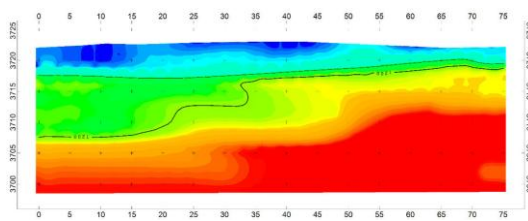


Tabla 1

Velocidad y potencia del ensayo RS-01

Ensayo	Tipo de onda	Velocidad Vp (m/s)	Potencia Aprox. (m)
RS-01	P	450 – 800	1.8 – 5.7
Descripción del tipo de suelo estimado: Material de densidades bajas a intermedias, refieren materiales medianamente densos, asociados a suelos limosos los cuales podrían mostrarse como susceptibles al incremento de pérdida de sus condiciones y propiedades geotécnicas por agentes o factores externos.			
RS-01	P	800 – 1200	1.0 – 9.9
Descripción del tipo de suelo estimado: Material rígido a muy rígido, asociada a la presencia de roca muy fracturada.			
RS-01	P	1200 – 2000	> 10.0
Descripción del tipo de suelo estimado: Material muy rígido asociados a roca fracturada, densidades altas, indicando un material más consolidado y rígido en comparación con las capas superiores.			

Se concluyó que la línea RS-01 evidenció un perfil de tres capas: una cobertura blanda somera (1.8–5.7 m) con Vp baja, una transición rígida variable en espesor (1.0–9.9 m) asociada a roca muy fracturada, y un nivel basal competente de roca fracturada con potencias mayores a 10 m. En términos geotécnicos, ello implicó que apoyos directos sobre la cobertura requerían control de humedad y posible mejoramiento, mientras que los apoyos que transfieren carga hacia los horizontes rígidos presentaron mejor desempeño; no obstante, el fracturamiento sugirió variabilidad local de rigidez y potenciales vías de infiltración, por lo que resultó recomendable correlacionar esta lectura con Vs de MASW, ensayos in situ y la clasificación de sitio para diseño sísmico conforme ASCE 2010/E-030.

En el caso de la línea sísmica 2, se observó que la sección en colores de la línea RS-02 representó la distribución lateral y en profundidad de Vp. Los tonos fríos de la franja superior señalaron el horizonte blando somero; este manto se engrosó del inicio de la línea hacia el tramo entre 5 y 25 m de avance, y luego se afinó hacia el sector final. Por debajo, los tonos intermedios definieron una zona de transición más rígida y, en mayor profundidad, los tonos cálidos continuos reflejaron un nivel basal muy rígido prácticamente continuo a lo largo del perfil. La geometría indicó, por tanto, una

cobertura de baja velocidad con espesor variable, apoyada sobre materiales cada vez más competentes.

Figura 3

Refracción de línea sísmica RS-02

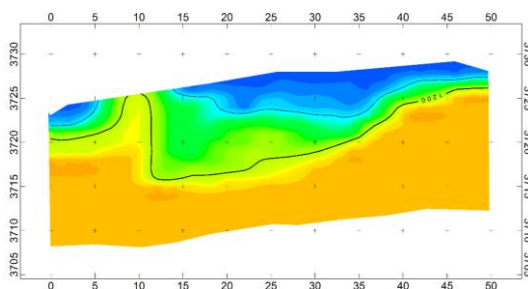


Tabla 2

Velocidad y potencial del ensayo RS-02

Ensayo	Tipo de onda	Velocidad Vp (m/s)	Potencia Aprox. (m)
RS-02	P	450 – 800	0.8 – 5.3
Material de densidades bajas a intermedias, refieren materiales medianamente densos, asociados a suelos limosos, los cuales podrían mostrarse como susceptibles al incremento de pérdida de sus condiciones y propiedades geotécnicas por agentes o factores externos.			
RS-02	P	800 – 1200	1.1 – 10.2
Material rígido a muy rígido, asociada a la presencia de roca muy fracturada.			
RS-02	P	1200 – 2000	> 10.0
Material muy rígido asociados a roca muy fracturada a fracturada, densidades altas, indicando un material más consolidado y rígido en comparación con las capas superiores.			

Se concluyó que RS-02 confirmó un modelo de tres capas con cobertura blanda de espesor variable (máxima entre 5 y 25 m de la traza), una transición rígida asociada a roca muy fracturada y un nivel basal competente de roca fracturada. Para fines geotécnicos, los apoyos directos sobre la cobertura demandaron control de humedad y, de ser necesario, mejoramiento local; en cambio, las soluciones que transfieren carga, a los horizontes rígidos ofrecieron mejor desempeño, considerando que el fracturamiento

puede introducir variabilidad de rigidez e infiltración. Se recomendó integrar esta lectura con los perfiles Vs de MASW y con ensayos in situ para afinar parámetros dinámicos y la categoría de sitio de acuerdo con los criterios de diseño sísmico.

Respecto a la línea sísmica 3, se observó que la sección en colores de la línea RS-03 representó la variación lateral y en profundidad de la velocidad de onda P (V_p). En superficie dominaron tonos fríos (azules-verdes) que señalaron un manto blando somero; este horizonte mostró espesor moderado al inicio de la traza y tendió a adelgazarse hacia el tramo medio-final. Por debajo, tonos intermedios evidenciaron una zona de transición más rígida continua, y a mayor profundidad los tonos cálidos (naranja-rojo) configuraron un nivel basal muy rígido que se mantuvo prácticamente a todo lo largo del perfil, con ligeras ondulaciones. La geometría global respaldó el arreglo estratificado de cobertura blanda sobre roca muy fracturada y, en el fondo, roca fracturada de mayor competencia.

Figura 4

Refracción de línea sísmica RS-03

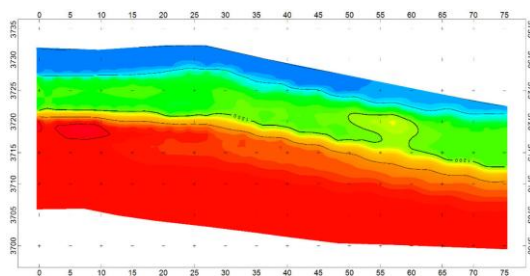


Tabla 3

Velocidad y potencial del ensayo RS-03

Ensayo	Tipo de onda	Velocidad V_p (m/s)	Potencia Aprox. (m)
RS-03	P	450 – 800	1.3 – 4.4
Material de densidades bajas a intermedias, refieren materiales medianamente densos, asociados a suelos limosos, los cuales podrían mostrarse como susceptibles al incremento de pérdida de sus condiciones y propiedades geotécnicas por agentes o factores externos.			
RS-03	P	800 – 1200	5.5 – 7.6

Material rígido a muy rígido, asociada a la presencia de roca muy fracturada.

RS-03	P	1200 – 2000	> 10.0
-------	---	-------------	--------

Material muy rígido asociados a roca muy fracturada a fracturada, densidades altas, indicando un material más consolidado y rígido en comparación con las capas superiores.

Se concluyó que el conjunto de líneas RS describió un perfil tri-estratificado: cobertura blanda (450–800 m/s) con riesgo de pérdida de desempeño geotécnico; transición rígida asociada a roca muy fracturada (800–1200 m/s) adecuada para apoyar cargas con verificación local; y un basamento competente de roca fracturada (>1200 m/s) que controló la estabilidad global. Para diseño, se estimó pertinente vincular V_p con V_s (MASW) a fin de derivar VS30 y categoría de sitio y de calibrar módulos dinámicos, minimizando la variabilidad debida al fracturamiento y a cambios de espesor de la cobertura.

A continuación se presentan los resultados de ensayo MASW:

- Resultados del ensayo MASW 1:

Figura 5

Gráfico de velocidad de corte y profundidad

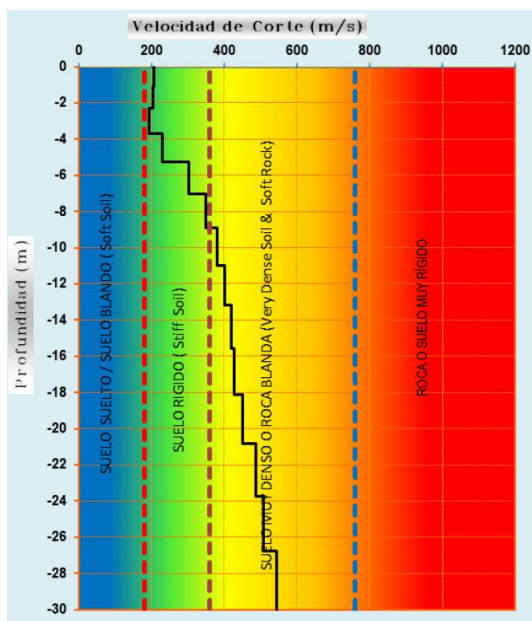


Tabla 4

de corte y profundidad del ensayo MASW (1)

D (m)	Vs (m/s)
1.07	207.50
Descripción: Suelo de rigidez baja a intermedia asociado a limos, susceptible a variaciones de humedad y a pérdida de propiedades mecánicas.	
2.31	203.50
Descripción: Material blando a intermedio, con baja consolidación, posiblemente suelos finos con contenido limoso.	
3.71	194.50
Suelo blando, comportamiento dependiente de la humedad, corresponde a depósitos poco densificados.	
5.28	230.50
7.01	303.00
8.90	351.00
10.95	390.50
13.49	400.50
15.58	428.50
18.13	451.00
20.74	457.00
23.85	484.00
26.79	508.25
30.00	545.25

Se registró que la velocidad de la onda de corte aumentó con la profundidad. Desde la superficie hasta unos 5,2 m, el terreno mostró rigidez baja a intermedia con valores entre 194 y 230 m/s. Entre 5 y 10 m, el material pasó a rígido–muy rígido con velocidades de 303 a 380 m/s. A partir de 10 m y hasta 30 m, se identificó un suelo muy denso o roca fracturada, con 400 a 545 m/s. En conjunto, el perfil indicó un comportamiento progresivamente más firme conforme se descendió en el terreno. Se concluyó que el punto MASW-01 describió un suelo que mejora significativamente su rigidez con la profundidad: blando–medio en los primeros metros, rígido a partir de 5 m y muy rígido desde 10 m. Para diseño, resultó prudente evitar apoyos estructurales exigentes en la primera capa o, en su defecto, prever mejoramiento; y aprovechar los niveles intermedios o profundos para transferir cargas cuando las solicitaciones lo demanden.

Tabla 5

Clasificación sísmica MASW según ASCE 2010

Ensayo	Profundidad (m)	VS30 (m/s)	Según ASCE 2010 - Tipo de suelo
MASW-01	30	362	C
MASW-02	30	534	C
MASW-03	30	377	C

Tabla 6

Clasificación sísmica MASW según ASCE 2010 y Norma E-030

Según ASCE 2010 - Denominación	Según Norma E-030 - Tipo de suelo	Según Norma E-030 - Denominación
Suelo muy denso o roca blanda	S2	Suelo intermedio
Suelo muy denso o roca blanda	S1	Suelo muy rígido
Suelo muy denso o roca blanda	S2	Suelo intermedio

Se encontró que el VS30 (promedio de la velocidad de onda de corte en los primeros 30 m) fue de 362 m/s en MASW-01, 534 m/s en MASW-02 y 377 m/s en MASW-03. Con esos valores, los tres puntos quedaron en Clase C según ASCE 2010 (suelo muy denso o roca blanda). Con la Norma Peruana E-030, MASW-01 y MASW-03 se clasificaron como S2 (suelo intermedio), mientras que MASW-02 se clasificó como S1 (suelo muy rígido). El informe precisó, además, que a escala del sector evaluado se consideró S2 como referencia general. Se concluyó que el predio presentó condiciones mayoritariamente intermedias (S2, VS30 alrededor de 360–380 m/s) con sectores más rígidos (S1, VS30 mayor a 500 m/s). Esta combinación respaldó un diseño sísmico de base en S2 y la posibilidad de optimizar localmente donde la evidencia confirme S1 continuo y representativo.

Conclusión integradora, como primera parte, se encontró que los tres puntos MASW describieron un patrón consistente de aumento de rigidez con la profundidad: una capa superficial de baja a media rigidez en los primeros 5 m aproximadamente (V_s entre 200 y 270 m/s), una zona intermedia más rígida entre 5 y 10 m (V_s alrededor de 300–380 m/s) y un nivel profundo competente desde 10 m hasta 30 m (V_s entre 390 y 670 m/s), compatible con suelo muy denso o roca fracturada. Esta tendencia fue coincidente con lo observado en refracción sísmica, reforzando el modelo tri-estratificado del predio.

Como segundo resultado, en términos de clasificación de sitio basada en VS30, se determinó que: MASW-01 arrojó 362 m/s y MASW-03 377 m/s, ambos encuadrados como Clase C según ASCE 2010 y S2 (suelo intermedio) según la Norma E-030; MASW-02 registró 534 m/s, también Clase C en ASCE 2010 pero S1 (suelo muy rígido) en E-030. A escala de predio, se adoptó S2 como referencia conservadora, reconociendo la existencia de sectores más rígidos donde podría justificarse S1 si su extensión se comprobara con mayor detalle.

Discusión

Como resultado general, se encontró que la configuración tri-estratificada identificada en el predio, cobertura somera de baja a media densidad, transición más rígida vinculada a roca muy fracturada y basamento rígido con V_p superiores a 1200 m/s, junto con el incremento sostenido de V_s hacia 30 m, se pareció al estudio de Sierra (2023), quien, para la cimentación de un puente, integró refracción y MASW y también distinguió tres dominios mecánicos con aumento de rigidez en profundidad y recomendación de apoyar las cimentaciones en los niveles más competentes. De forma análoga, la conclusión fue similar al hallazgo de Luque (2023), donde refracción y MASW mostraron tres estratos, con V_p y V_s crecientes y espesores comparables a los aquí reportados, reforzando que el gradiente de rigidez con la profundidad es una condición recurrente en emplazamientos andinos de interés para obras civiles.

Asimismo, el resultado fue consistente con el trabajo de Villalobos (2025), en el que diversas estaciones arrojaron clase C (V_{s30} entre 360 y 460 m/s) y un patrón de incremento de módulos dinámicos con la profundidad; este comportamiento se alineó con el VS30 de 362–377 m/s en la mayor parte del campus y el sector más rígido de 534

m/s, lo que sugiere un desempeño dinámico compatible con suelos densos o roca blanda. En la misma línea, otro estudio similar es el de Aquima (2023), donde MASW-1D clasificó suelos como tipo C (IBC-2012) / S2 (E-030), un encuadre prácticamente idéntico al adoptado en el predio de la UNH, y que respalda el uso de espectros de diseño coherentes con respuesta intermedia.

Por otro lado, la coexistencia de S2 con un sector S1 en el entorno de uno de los puntos MASW guardó paralelismo con lo indicado por Cutipa (2024) y por Castro y Checya (2024), quienes subrayaron la heterogeneidad lateral de sitios realistas y la presencia contigua de dominios más blandos y más rígidos. Este matiz es relevante para la sectorización de diseño y para reducir la dispersión en parámetros de entrada de modelos estructurales. A su vez, el hallazgo de fracturamiento en niveles competentes, que condiciona rigidez local y posibles vías de infiltración, se pareció al reporte de Cuno (2021), quien señaló la importancia de considerar fisuras en tobas y su efecto hidro-mecánico en el desempeño de cimentaciones.

Finalmente, el hallazgo combinado entre MASW + RS como base para clasificar sitio y anticipar interacción suelo-estructura coincidió con las conclusiones de Díaz y Farfán (2025), ya que la combinación de métodos de ondas permitió caracterizar la rigidez y advertir situaciones de resonancia potencial; aunque el presente estudio no estimó periodos característicos del suelo, la predominancia de clase C/S2 sugiere periodos naturales moderados y la necesidad de cotejarlos con los periodos de las estructuras proyectadas, como aquellos autores recomiendan. En contraste, el trabajo de Nurkhalidah et al. (2023), enfatizó la relevancia de suelos finos sobre roca meteorizada en pendientes; si bien el campus evaluado no corresponde a un talud, la identificación de roca muy fracturada como transición intermedia invita a atender drenaje y control de humedad para evitar degradación de la cobertura somera, en línea con sus recomendaciones de gestión del riesgo.

En el ámbito teórico, la conclusión hallada fue congruente con la teoría de propagación de ondas de Aki y Richards (2002), al indicar que el incremento de velocidad con la profundidad reflejó el aumento de rigidez y densidad efectivas, condición que las ondas P y S “leen” al atravesar medios estratificados. Del mismo modo, la diferenciación de tres dominios por refracción se ajustó a la ley de Snell y a la teoría de reflexión-refracción de Sheriff y Geldart (2006), según la cual los contrastes de

impedancia generan cambios de pendiente en las curvas tiempo-distancia que permiten estimar velocidades reales y profundidades de interfaces. Por su parte, la interpretación dinámica basada en V_s se articuló con la teoría de la elasticidad de Love (2016), quien establece que al aumentar V_s , aumentan los módulos dinámicos (G y E), disminuyendo deformabilidad bajo acciones sísmicas y gravitatorias.

La conclusión, también va en conjunto con lo propuesto por Raddatz et al. (2021), al señalar que el V_{s30} sintetiza el efecto de las capas superficiales sobre la amplificación sísmica, y su correcta estimación es clave para asignar categoría de sitio. En este sentido, la conclusión fue acorde con la ASCE 7-16 (2016) y con la Norma Peruana E-030 (SENCICO, 2020), sosteniendo que los V_{s30} medidos ubicaron el emplazamiento en Clase C y en S2 a escala de predio, con S1 local, lo que habilita el uso de coeficientes de sitio y espectros compatibles con esa clasificación y orienta el dimensionamiento sismorresistente.

En términos metodológicos, la robustez de los resultados va acorde con la ASTM D5777 para refracción y con las guías de adquisición-procesamiento de MASW (p. ej., criterios de muestreo, apilado y geometría), tal como señalan Mojica et al. (2022) y Martínez (2014). A la vez, la necesidad de validar indirectos con sondeos y ensayos in situ ya era deducible de la experiencia de Telford et al. (1990) al integrar métodos geofísicos con información geológica para reducir incertidumbre en parámetros de diseño. Finalmente, la clasificación obtenida va acorde con los esquemas NEHRP/ASCE sintetizados por Schmidt (2012), donde Clase C abarca V_{s30} entre 360 y 760 m/s: el campus se ubica precisamente en el umbral inferior-medio de esa clase, con un enclave más rígido, de manera coherente con el mapa de rigidez derivado (Mojica, y otros, 2022).

Conclusiones

Se determinó que el subsuelo presentó un modelo tri estratificado corroborado por refracción sísmica y MASW: una cobertura somera de baja a media densidad (V_p entre 450 y 800 m/s) con espesores del orden de 1–6 m; una zona intermedia más rígida (V_p entre 800 y 1200 m/s) vinculada a roca muy fracturada con potencias aproximadas de 1–10 m; y un nivel basal muy rígido (V_p entre 1200 y 2000 m/s) asociado a roca fracturada con potencias superiores a 10 m. Dinámicamente, las velocidades de onda de

corte aumentaron con la profundidad: alrededor de 200–270 m/s en los primeros metros, 300–380 m/s hacia 5–10 m y 392–626 m/s (hasta 672 m/s en un punto) entre 10 y 30 m, lo que confirmó una mejora progresiva de rigidez en profundidad.

Se identificó que, para refracción sísmica, se empleó arreglo lineal con 24 geófonos espaciados 5 m, registro de primeras llegadas de onda P, ganancia 24 dB, trigger 0,2 s, muestreo 0,125 ms, ventana de 0,250 s, comba de 20 lb como fuente y apilado según calidad de datos. Para MASW, se utilizó arreglo lineal de 24 geófonos verticales de 4,5 Hz con 3 m de espaciamiento y ~75 m de longitud, medición de onda S, tiros a 3 y 6 m desde cada extremo, comba de 20 lb, trigger 0,2 s, muestreo 0,5 ms y 1,0 s de registro, con apilado según calidad. Estos parámetros de adquisición sustentaron perfiles con rangos de V_p (450–800; 800–1200; 1200–2000 m/s) y tendencias de V_{s30} coherentes con el modelo triestratificado del sitio.

Se describió que el procedimiento integró una fase de campo y una fase de gabinete. En campo se realizó el reconocimiento del sitio (accesos, riesgos, ajustes de traza), la instalación de equipos y tendidos, la generación de la señal mediante comba sobre placa en puntos distribuidos a lo largo de cada línea, la toma y control de datos en tiempo real y el cierre con verificación ambiental. En gabinete se efectuó la reducción e inversión: construcción de dromocrónicas e inversión para RS y análisis de dispersión e inversión para MASW. La campaña comprendió tres líneas RS (75 m, 50 m y 75 m) y tres puntos MASW (75 m, 50 m y 75 m), cuyos productos alimentaron la caracterización reportada.

Se estableció que el parámetro V_{s30} fue 362 m/s (MASW-01), 534 m/s (MASW-02) y 377 m/s (MASW-03), clasificándose los tres puntos como Clase C en ASCE 2010; conforme a la Norma E-030, MASW-01 y MASW-03 correspondieron a S2 (suelo intermedio) y MASW-02 a S1 (suelo muy rígido). A escala de predio, y con criterio conservador, se adoptó S2 como referencia de diseño, reconociendo un sector más rígido en el entorno de MASW-02.

En cuanto a las recomendaciones, el estudio sugiere que, conforme al modelo tri-estratificado, el diseño geotécnico–sismorresistente evite apoyos exigentes en la cobertura (V_p 450–800 m/s) sin tratamiento; se priorice mejoramiento (compactación, reemplazo o estabilización) y control de humedad; las cargas se transfieran a estratos

con $V_p \geq 800$ m/s; y en zonas de roca fracturada se prevea drenaje y/o sellado para mitigar infiltraciones.

Referencias bibliográficas

Aki, k., & Richards, P. (2002). *Quantitative Seismology*. ISBN 978-1-891389-63-4.
Obtenido de https://geo.mff.cuni.cz/~jz/for_junqing/AKI-RICHARDS/Aki_and_Richards_Quantitative_Seismology.pdf

Aquima Cruz, P. F. (2023). *Método de tomografía eléctrica 2D, refracción sísmica y MASW 1D para la construcción del reservorio Lomas de Ilo - Moquegua*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

ASCE. (2016). *ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Others Structures*. American Society of Civil Engineers.
doi:<https://doi.org/10.106/9780784414248>

Castro Medina, J. F., & Checya Ala, F. H. (2024). *Aplicación de Ensayos Sísmicos para la Clasificación Geológica – Geotécnica y Determinación de Posible Rotura en Taludes, para la Zona de San Juan de Sigvas – Arequipa, 2024*. Universidad Tecnológica del Perú.

Colque Alvarez, R. M. (2023). *Evaluación del subsuelo mediante el método de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales para la ampliación de un sistema de fajas transportadoras en el complejo minero de San Juan de Marcona*. Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). *Desastres naturales y pérdidas económicas en América Latina y el Caribe*. Organización de Naciones Unidas.

Cuno Luque, L. A. (2021). *Caracterización del subsuelo para la cimentación de estructuras usando métodos de prospección geofísica en los terrenos de la Corte Superior de Justicia de Arequipa – Perú*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Cutipa Cruz, G. D. (2024). *Método geofísico de refracción sísmica, MASW 1D y su correlación con ensayos de geotecnia para la clasificación de suelos en la zona sur del AA.HH. 26 de Julio, Paucarpata-Arequipa*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Dias, R., Nacimiento, F., Machado, I., Pereida, E., Paiva, A., Batista, A., . . . Garcia , K. (2020). Da Tectónica de Placas à Teoria da Evolução; dos supercontinentes à dispersão dos seres vivos. *Comunicações Geológicas*, 107, 175-177. Obtenido de https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/32874/1/40_Dias-et-al.pdf
- Díaz García, G., & Farfán Córdova, M. (2025). Aplicación de pruebas de MASW, microtremor y refracción sísmica en edificaciones en comunidades vulnerables. *ISSN: 2075-5309*, 15(7), 1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings15071079>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGrawHill. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Instituto Geofísico del Perú. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*. Ministerio del Perú.
- Love, A. (2016). *A treatise on the mathematical theory of elasticity*. HAL open science.
- Luque Casani, S. A. (2023). *Caracterización de suelos de la zona del puente Chucpin y accesos mediante prospección sísmica* . Universidad Nacional de San Agustín Arequipa.
- Martinez , J., & Zúñiga, R. (2007). *Sismología. Instituto de Geofísica*. ISBN: 9789703218885. doi:https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2022/XLI/RS/220422_RS_Monografias_Estatales_PAT_2021.pdf
- Martinez, P. (2014). *Prospección Geofísica - 2 - Métodos Sísmicos*. ISBN: 9788494294440. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/13800/isbn9788494294440.pdf?sequence=4>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023). *Sustentación del proyecto de presupuesto para el año fiscal 2024*. Gobierno del Perú.

Mojica, A., Cubilla, O., Silva, E., Ladrón De Guevara, J., Ruíz, A., Ho, C., & Toral, J. (2022). Combinando el método de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales para la detección de niveles freáticos someros en el noroccidente del Istmo de Panamá. *ISSN: 1680-8894*, 18(1), 108-116. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/issue/view/141>

Nurkhalidah Husainy, S., Bery, A., Abir, I., Lestari, W., & Akingboye, A. (2023). Mapeo de la susceptibilidad de deslizamientos de tierra en la Isla de Penang, Malasia, a través de teledetección y métodos multigeofísicos. *ISSN 1794-6190*, 27(2), 93-107. doi:<https://doi.org/10.15446/esrj.v27n2.107274>

Oliveras, F., Pasten, C., Leyton, F., Montalva, G., Saez, E., & Tiznado, J. (2023). Avances en la definición de indicadores de incertidumbre en el cálculo del Vs30 basado en métodos de ondas superficiales. *XIII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA 2023*, 1-12. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Pasten/publication/376784717_Avances_en_la_definicion_de_indicadores_de_incetidumbre_en_el_calculo_del_Vs30_basado_en_metodos_de_ondas_superficiales/links/65875f3c2468df72d3cecd15/Avances-en-la-definicion-de-ind

Paitan Méndez, V., & Zúñiga Espinoza, J. (2024). *Estudio Geofísico de refracción sísmica y MASW*. Geoandes.

Raddatz, D., Aguirre, G., & Taiba, O. (2021). Clasificación sísmica del suelo con una nueva propuesta de norma y comparación con la norma actual para sitios localizados en Reñaca y Concón. *ISSN: 0718 - 2813*, 30(1), 30-38. Obtenido de <https://revistas.ucsc.cl/index.php/oy/article/view/1386>

Schmidt, V. (2012). Determinación del Parámetro Vs30 usando los métodos FK y SPAC en la bahía de Cádiz (Sur de España). *ISSN: 1409-2441*, 22(1), 39-54. Obtenido de [https://www.lis.ucr.ac.cr/_vista/publicaciones/Determinacion_del_parametro_VS30_usando_los_metodocs_FK_y_SPAC_en_la_Bahia_de_Cadiz_\(Sur_de_Esp](https://www.lis.ucr.ac.cr/_vista/publicaciones/Determinacion_del_parametro_VS30_usando_los_metodocs_FK_y_SPAC_en_la_Bahia_de_Cadiz_(Sur_de_Esp)

ana)/Determinacion_del_parametro_VS30_usando_los_metodocs_FK_y_SPAC
_en_la_Bahia_de_Cadiz_(Sur_de_Espana).pdf

SENCICO. (22 de Noviembre de 2020). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*.
Obtenido de Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la
Construcción:
[https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-
/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1W14N6JldWPN8wUZSqWZnUphg6C559bi-/view?usp=sharing)

Sheriff, R., & Geldart, L. (2006). *Exploration Seismology*. ISBN-13 978-0-521-46826-
8. Obtenido de
[https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781139632386_A23868433/preview-
9781139632386_A23868433.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781139632386_A23868433/preview-9781139632386_A23868433.pdf)

Sierra Cuza, N. (2023). Caracterización geológico-geofísica del terreno para la
cimentación del puente sobre el río Bano. *ISSN 1993 8012*, 34(3), 188-206.
Obtenido de <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2287>

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. ISBN 0 521 33938
3. Obtenido de <https://compress-pdf-free.obar.info/download/compresspdf>

Urquiza Quiroz, C. O. (2020). *Estudio geofísico por el método de refracción sísmica, MASW 1D, MASW 2D y MAM para el diseño estructural del puente Cantuta - Región Junín*. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa .

Valverde, C., & Valverde, Y. (2020). Teoría de la energía sísmica. *Aporte Santiaguino*,
13(1), 103-114. Obtenido de
https://revistas.unasam.edu.pe/plugins/generic/hypothesis/pdf.js/viewer/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frevistas.unasam.edu.pe%2Findex.php%2FAporte_Santiaguino%2Farticle%2Fdownload%2F684%2F840%2F4536#cite.Garcia%3A2018

Vasquez, A., Guanuchi, L., Cahuana, R., Vera, R., & Holgado, J. (2023). *Método de la investigación científica*. Puno: Inudi. Obtenido de
[https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/download/105/148/
173?inline=1](https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/download/105/148/173?inline=1)

Villalobos Muñoz, M. (2025). *Determinación de Velocidades Sísmicas y Parámetros Geotécnicos Indirectos Mediante la Tomografía de Refracción Sísmica (TRS) y el Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) en las Estaciones Campo Hermoso, Nazareth, La Rosita y Morrónico del OSNOC*. Universidad de Santander.

Vine, F., Kearey, P., & Kleypeis, K. (2009). *Global Tectonics*. ISBN 978-1-4051-0777-8.

Zegarra Pellanne, J. (2021). *Aplicación del ensayo MASW para la determinación de la velocidades de onda de corte y correlaciones con el ensayo CPT*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2025 por **Victor Manuel Paitan Mendez, Jose Luis Zuñiga Espinoza, Abdon Dante Olivera Quintanilla, Francis Dante Olivera Mayorca, Cesar Jurado Mancha**



[Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.