

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL
MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA
CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ
VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY – CUSCO 2024)**

PRESENTADO POR:

Bach. Cristhian Giulbert Baca Zans

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Mgt. Jose Dionicio Cardenas Roque

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación / tesis titulado: *'Estimación de la potencia de sedimento con el método HVSR como herramienta para la caracterización sísmica del suelo: (Cava barrera Cruz Verde, Quehuespay, Distrito de Poroy - Cusco 2024)*

presentado por: *Cristhian Givibert Baca Zms* con DNI Nro: *70669992*

Para optar el título profesional / grado académico de *Ingeniería Geológica*

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por *02* veces mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de *2%*

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis.

Porcentaje	Evaluación y acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las acciones	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a la Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, formo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, *16* de *Mayo* de 20*24*


Firma

Post Firma *JOIE DIONICIO CARPENAI ROQUE*
Nro. de DNI *23873595*
ORCID del Asesor *0000-0002-5261-419X*

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: *27259:355329208'*

NOMBRE DEL TRABAJO

**ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDI
MENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO
HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZA
CIÓN**

AUTOR

CRISTHIAN GIULBERT BACA ZANS

RECUENTO DE PALABRAS

22909 Words

RECUENTO DE CARACTERES

130421 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

154 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

15.5MB

FECHA DE ENTREGA

May 16, 2024 9:45 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 16, 2024 9:48 PM GMT-5**● 9% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)

DEDICATORIA

A mi padre Wilbert, cuya pasión y dedicación han sido una fuente constante de inspiración; a mi hermana Yeny, quien me brindó todo el apoyo posible para la culminación de esta tesis; a mi hermana Ingrith, quien me enseñó que nunca hay que rendirse; y especialmente a mi madre Tula, que está en el cielo, quien siempre deseó que yo fuera un profesional. A todos ustedes, y a todas las personas que me apoyaron en este camino, les dedico este trabajo con profundo amor y gratitud.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento al Dr. Andy Combey, quien no solo fue mi asesor externo, sino también un gran amigo a lo largo de todo el proceso de realización de esta tesis. Su orientación, conocimiento y apoyo incondicional fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Desde las primeras etapas hasta los días previos a la sustentación, su dedicación y generosidad al compartir su experiencia marcaron una diferencia crucial. Sin su guía, esta tesis no habría sido posible. Le estaré eternamente agradecido por su confianza y por haberme acompañado en cada paso de este camino. A bientôt Andy! et merci beaucoup pour tout votre soutien.

Resumen

El presente trabajo de tesis se centra en la caracterización sísmica del suelo y la evaluación de la potencia de sedimentos mediante el método HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy, Cusco. Este estudio tiene como objetivo principal comprender y caracterizar la respuesta dinámica del suelo, con énfasis en su capacidad para amplificar las ondas sísmicas y su comportamiento en base al estudio de microtremores.

Dado el significativo incremento poblacional en el Distrito de Poroy y la proximidad del Barrio Cruz Verde Quehuepay a fallas geológicas activas, se resalta la necesidad de una caracterización sísmica detallada para la planificación urbana y la mitigación del riesgo sísmico. El método HVSR, reconocido por su carácter no invasivo y su efectividad en entornos urbanos, se empleó para analizar la relación entre los espectros de amplitud de los componentes horizontales y vertical del suelo. Este análisis permitió determinar la frecuencia fundamental y la amplificación de los movimientos sísmicos, factores importantes para evaluar la respuesta del suelo ante eventos sísmicos.

Los resultados de este estudio proporcionan información para futuras iniciativas de microzonificación, planificación urbana y gestión del riesgo sísmico. Además, contribuye al conocimiento sobre la interacción entre la actividad sísmica y la geología del suelo en áreas urbanas, demostrando la importancia de la potencia de sedimentos en la amplificación de las ondas sísmicas y validando la utilidad del método HVSR para la caracterización sísmica del suelo.

Palabras clave: HVSR, potencia de sedimentos, caracterización sísmica, respuesta sísmica, microtremor, Barrio Cruz Verde Quehuepay, Poroy.

Abstract

The present thesis focuses on the seismic characterization of the soil and the evaluation of sediment thickness using the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method in the Cruz Verde Quehuepay Neighborhood, Poroy District, Cusco. The main objective of this study is to understand and characterize the dynamic response of the soil, with emphasis on its ability to amplify seismic waves and its behavior based on the study of microtremors.

Given the significant population increase in the Poroy District and the proximity of the Cruz Verde Quehuepay Neighborhood to active geological faults, the need for a detailed seismic characterization for urban planning and seismic risk mitigation is highlighted. The HVSR method, recognized for its non-invasive nature and its effectiveness in urban environments, was used to analyze the relationship between the amplitude spectra of the horizontal and vertical components of the soil. This analysis allowed us to determine the fundamental frequency and amplification of seismic movements, important factors to evaluate the response of the soil to seismic events.

The results of this study provide information for future microzoning, urban planning and seismic risk management initiatives. Furthermore, it contributes to knowledge about the interaction between seismic activity and soil geology in urban areas, demonstrating the importance of sediment thickness in the amplification of seismic waves and validating the usefulness of the HVSR method for seismic soil characterization.

Keywords: HVSR, sediment thickness, seismic characterization, seismic response, microtremor, Cruz Verde Quehuepay Neighborhood, Poroy.

Glosario

Acelerograma: Registro de aceleraciones del suelo durante un terremoto, utilizado para analizar la intensidad y características del movimiento sísmico.

Análisis Espectral: Técnica utilizada para descomponer una señal en sus componentes frecuenciales, permitiendo estudiar la respuesta del suelo a diferentes frecuencias.

Atenuación Sísmica: Reducción de la amplitud de las ondas sísmicas a medida que se propagan a través del suelo y las rocas.

Bedrock: La roca madre o bedrock es la capa sólida de roca que se encuentra debajo de los depósitos de suelo y sedimentos sueltos. Es la base geológica subyacente y puede estar compuesta de diferentes tipos de rocas.

Capacidad Portante del Suelo: Capacidad de un suelo para soportar cargas aplicadas sin experimentar fallos de resistencia o deformaciones excesivas.

Coefficiente de Amplificación: Factor que cuantifica el aumento de la amplitud de las ondas sísmicas debido a las características del suelo local.

Cohesión del Suelo: Fuerza que mantiene unidas las partículas del suelo, influenciada por factores como la humedad y la compactación.

Componente Horizontal: Las componentes horizontales se refieren a las mediciones de las ondas sísmicas en direcciones perpendiculares a la vertical. Generalmente, se registran en dos direcciones ortogonales, comúnmente designadas como componentes Norte-Sur (N-S) y Este-Oeste (E-O).

Componente Vertical: La componente vertical se refiere a la medición de las ondas sísmicas en la dirección perpendicular al plano del suelo. Esta componente es fundamental para determinar la magnitud y la dirección de las fuerzas sísmicas que actúan en un punto específico.

Efecto de Sitio: Influencia de las características locales del suelo y la topografía en la amplificación de las ondas sísmicas durante un terremoto.

Ensayo de Penetración Estándar (SPT): Prueba geotécnica para determinar la resistencia del suelo al medir el número de golpes necesarios para hincar un barreno estándar en el suelo.

Frecuencia Fundamental (f_0): Frecuencia a la cual el suelo vibra con mayor amplitud. Es un indicador importante de las características resonantes del sitio.

Frecuencia Natural: Frecuencia a la cual un sistema (como el suelo) oscila libremente después de ser perturbado.

Geofísica: Ciencia que estudia la Tierra utilizando métodos físicos, como la sismología, la gravimetría y la magnetometría.

Geotecnia: Rama de la ingeniería civil que se ocupa del comportamiento de los materiales de la corteza terrestre y su interacción con las estructuras construidas sobre ellos.

HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio): Método que utiliza la relación espectral entre componentes horizontales y verticales de las vibraciones sísmicas para caracterizar las propiedades dinámicas del suelo.

Inversión de Curvas: Técnica utilizada en geofísica para obtener la estructura del subsuelo a partir de datos medidos en la superficie. La inversión de curvas implica ajustar un modelo de subsuelo para que sus respuestas teóricas coincidan con las observaciones reales.

Microzonificación Sísmica: Proceso de subdivisión de una región en zonas más pequeñas que tienen diferentes niveles de riesgo sísmico, basados en la geología local y otras características sísmicas.

Modelo de Capas del Suelo: Representación estratigráfica de las distintas capas del suelo y sus propiedades, utilizada para análisis sísmicos y geotécnicos.

Ondas Sísmicas: Vibraciones que se propagan a través de la Tierra, generadas por terremotos, explosiones, o cualquier otra fuente de energía. Se clasifican principalmente en ondas P (primarias) y ondas S (secundarias).

Perfiles de Velocidad de Onda: Gráficos que muestran la variación de la velocidad de las ondas sísmicas con la profundidad, esenciales para la caracterización del subsuelo.

Potencia de Sedimentos: Grosor o espesor de los depósitos de sedimentos en una región específica, que influye en la respuesta sísmica del suelo.

Refuerzo Sísmico: Técnicas y medidas adoptadas para aumentar la resistencia y la estabilidad de estructuras frente a la acción de terremotos.

Resonancia del Suelo: Fenómeno en el cual las ondas sísmicas tienen una frecuencia que coincide con la frecuencia natural del suelo, amplificando las vibraciones.

Riesgo Sísmico: Probabilidad de que ocurran daños debido a la acción de un terremoto, considerando factores como la peligrosidad sísmica, la exposición y la vulnerabilidad.

Sedimentos: Materiales depositados por procesos naturales, como la erosión y el transporte por agua o viento, que forman capas sobre la superficie terrestre.

Sismología: Ciencia que estudia los terremotos y la propagación de las ondas sísmicas a través de la Tierra.

Velocidades de Onda: Velocidades a las que las ondas sísmicas (ondas P y S) se propagan a través de diferentes materiales del subsuelo.

Zonificación de Riesgos: Proceso de identificación y clasificación de áreas según su nivel de riesgo, utilizado para la planificación y mitigación de desastres.

Zonificación Sísmica: Asignación de zonas de una región según el nivel de riesgo sísmico, basada en estudios geológicos y sismológicos.

CONTENIDO

1. CAPÍTULO I – GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Ubicación y Accesibilidad.....	2
1.2.1. Ubicación Política.....	2
1.2.2. Ubicación Geográfica y UTM.....	2
1.2.3. Área de Estudio	3
1.2.4. Accesibilidad	3
1.3. Problema.....	4
1.3.1. Planteamiento del Problema.....	4
1.3.2. Problema General.....	5
1.3.3. Problemas Específicos	6
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Justificación e Importancia	7
1.5.1. Conveniencia.....	7
1.5.2. Relevancia Social.....	7
1.5.3. Implicaciones Prácticas	8
1.5.4. Valor Teórico	8
1.5.5. Utilidad Metodológica	8
1.5.6. Hipótesis General.....	8
1.5.7. Hipótesis Específicas.....	9
2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Ondas Sísmicas.....	10
2.1.1. Clasificación de Ondas Sísmicas.....	11
2.2. Microtremores	14

2.3.	HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	15
2.3.1.	<i>Función de Transferencia</i>	16
2.4.	Contraste de Impedancia	19
2.5.	Efectos de las Ondas Sísmicas en el Suelo	20
2.5.1.	<i>Vibración del Suelo</i>	21
2.5.2.	<i>Amplificación del Movimiento</i>	21
2.5.3.	<i>Resonancia del Suelo</i>	22
2.5.4.	<i>Licuefacción del Suelo</i>	23
2.6.	Sismómetro CMG – 40T	25
2.7.	Grabadora Minishark	25
2.8.	Geología Regional	26
2.8.1.	<i>Formación Maras (Albiano Medio)</i>	27
2.8.2.	<i>Formación Puquín (Coniaciano- Maestrichtiano)</i>	28
2.8.3.	<i>Formación Quilque (Paleoceno Inferior)</i>	29
2.8.4.	<i>Formación Kayra (Eoceno Inferior)</i>	29
2.8.5.	<i>Formación Chincheros (Plioceno)</i>	30
2.8.6.	<i>Formación San Sebastián (Cuaternario)</i>	31
2.9.	Geomorfología	32
2.10.	Neotectónica	33
2.10.1.	<i>Sistemas de Fallas Cuaternarias y Activas en la Región de Cusco</i>	33
2.11.	Estudio de Suelos	38
2.11.1.	<i>Contenido de Humedad</i>	39
2.11.2.	<i>Análisis granulométrico</i>	39
2.11.3.	<i>Prueba de Penetración Estándar (SPT)</i>	39
2.11.4.	<i>Propiedades Mecánicas del Suelo</i>	39
2.11.5.	<i>Clasificación del Suelo</i>	40

2.12.	Antecedentes.....	40
2.12.1.	<i>Antecedentes Internacionales</i>	40
2.12.2.	<i>Antecedentes Nacionales</i>	47
3.	CAPÍTULO III – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1.	Nivel de la Investigación	50
3.2.	Diseño de la Investigación.....	50
3.3.	Matriz de Consistencia	52
3.4.	Variables	53
3.4.1.	<i>Variable Dependiente</i>	53
3.4.2.	<i>Variable Independiente</i>	53
3.4.3.	<i>Operativización de Variables</i>	55
3.5.	Procesos de Trabajo.....	56
3.5.1.	<i>Etapa de Pre Campo</i>	56
3.5.2.	<i>Etapa de Campo</i>	59
3.5.3.	<i>Etapa de Post Campo</i>	64
4.	CAPÍTULO IV – RESULTADOS.....	73
4.1.	Geología y Estratigrafía.....	73
4.1.1.	<i>Formación Puquín (Coniaciano- Maestrichtiano)</i>	73
4.1.2.	<i>Formación Kayra (Eoceno Inferior)</i>	74
4.1.3.	<i>Formación San Sebastián</i>	74
4.1.4.	<i>Depósito Coluvio – Aluvial</i>	77
4.2.	Frecuencia Fundamental y Amplitud H/V.....	78
4.2.1.	<i>Frecuencia Fundamental (f0)</i>	79
4.2.2.	<i>Amplitud H/V</i>	81
4.3.	Potencia de Sedimentos y Velocidades de Onda.....	83
4.3.1.	<i>Potencia de Sedimentos</i>	86

4.3.2.	<i>Análisis de Velocidades de Onda Vp</i>	89
4.3.3.	<i>Análisis de Velocidades de Onda Vs</i>	91
5.	CAPÍTULO V – DISCUSIÓN DE RESULTADOS	94
5.1.	Confirmación de Hipótesis	94
5.2.	Interpretación de Resultados	95
5.2.1.	<i>Correlación Entre la Frecuencia Fundamental y la Amplitud H/V</i>	95
5.2.2.	<i>Correlación Entre la Capa de Sedimentos y Velocidades de Onda</i>	96
5.3.	Implicaciones de los Hallazgos	97
5.4.	Comparación con la Literatura Existente	98
5.4.1.	<i>Tipo de Depósito</i>	99
5.4.2.	<i>Frecuencia Fundamental del Suelo</i>	99
5.4.3.	<i>Amplitud H/V</i>	100
5.4.4.	<i>Potencia de Sedimentos</i>	100
5.4.5.	<i>Velocidad Vp y Vs</i>	100
5.5.	Consideraciones Metodológicas	101
5.5.1.	<i>Influencia de la Geología Subyacente</i>	101
5.5.2.	<i>Datos arrojados por el Software</i>	101
	CONCLUSIONES	103
6.	RECOMENDACIONES	105
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
8.	ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Ubicación política de la zona de estudio</i>	2
Tabla 2	<i>Coordenadas Geográficas</i>	2
Tabla 3	<i>Coordenadas UTM</i>	3
Tabla 4	<i>Velocidades y Espesores de Poroy</i>	48

Tabla 5 <i>Matriz de Consistencia</i>	52
Tabla 6 <i>Operativización de Variables</i>	55
Tabla 7 <i>Tabla con características de los diferentes puntos tomados en el Barrio Cruz Verde Quehuepay</i>	65
Tabla 8 <i>Parámetros utilizados en el software Geopsy</i>	66
Tabla 9 <i>Parámetros utilizados</i>	70
Tabla 10 <i>Valores de Frecuencia fundamental (f_0), Periodo y Amplitud H/V</i>	78
Tabla 11 <i>Valores de profundidad y magnitudes de las velocidades de onda en la capa de sedimentos</i>	85
Tabla 12 <i>Promedio y desviación estándar de la potencia y velocidades de onda en la capa de sedimentos</i>	86
Tabla 13 <i>Resultados de estudios realizados</i>	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 <i>Mapa de Ubicación</i>	4
Ilustración 2 <i>Clasificación de ondas sísmicas</i>	11
Ilustración 3 <i>Representación de la amplificación sísmica</i>	22
Ilustración 4 <i>Licuefacción del suelo</i>	24
Ilustración 5 <i>Mapa geológico regional</i>	32
Ilustración 6 <i>Mapa Neotectónico</i>	37
Ilustración 7 <i>Ubicación de la Calicata</i>	38
Ilustración 8 <i>Malla de estaciones en el Barrio Cruz Verde Quehuepay</i>	57
Ilustración 9 <i>Ficha de registro</i>	58
Ilustración 10 <i>Sismómetro CMG – 40T</i>	61
Ilustración 11 <i>Grabadora de ruido ambiental MiniShark – KEAS</i>	62

Ilustración 12 <i>Curva HVSR del punto Q1</i>	67
Ilustración 13 <i>Inversión realizada en el punto Q1</i>	69
Ilustración 14 <i>Gráfica de dispersión de datos entre la frecuencia fundamental y la profundidad de los sedimentos</i>	71
Ilustración 15 <i>Formación Puquín</i>	74
Ilustración 16 <i>Ubicación de la Formación San Sebastián</i>	76
Ilustración 17 <i>Columna Estratigráfica</i>	76
Ilustración 18 <i>Depósito Coluvio – Aluvial</i>	77
Ilustración 19 <i>Representación espacial de los valores de f_0</i>	80
Ilustración 20 <i>Distribución espacial de Amplitudes H/V</i>	82
Ilustración 21 <i>Distribución espacial de la potencia de sedimentos</i>	86
Ilustración 22 <i>Mapa de isópacos</i>	87
Ilustración 23 <i>Sección A-A'</i>	87
Ilustración 24 <i>Mapa de velocidades de Onda V_p</i>	90
Ilustración 25 <i>Distribución espacial de las velocidades V_s</i>	92
Ilustración 26 <i>Ubicación del área crítica en al Barrio Cruz Verde Quehuepay</i>	98

CAPÍTULO I – GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente trabajo de tesis se enmarca en una investigación orientada a la evaluación de la potencia de sedimentos mediante la técnica sísmica pasiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, situado en el Distrito de Poroy, en la región de Cusco. El objetivo principal de este proyecto es caracterizar sísmicamente el suelo en base a la estimación de la potencia de sedimentos, proporcionando información crítica sobre la respuesta dinámica del suelo y su capacidad para influir en la propagación de ondas sísmicas.

La región de Cusco es conocida por la presencia de fallas geológicas activas, como la Falla Tambomachay y la Falla Cusco, que representan un riesgo significativo debido a su potencial de generar sismos de magnitudes considerables. La Falla Tambomachay, por ejemplo, tiene una longitud de 20 kilómetros y puede provocar sismos de hasta 7.0 Mw. Esta situación demanda un monitoreo constante y detallado de las características geotécnicas y dinámicas del suelo para una adecuada gestión del riesgo sísmico.

El Barrio Cruz Verde Quehuepay, ubicado en este contexto geográfico, se presenta como un escenario propicio para explorar las respuestas del suelo ante eventos sísmicos, lo cual es importante para el diseño sísmico y la planificación urbana en la zona. Estudios previos han señalado la presencia de depósitos cuaternarios en la región, los cuales pueden influir significativamente en la amplificación de las ondas sísmicas y en la estabilidad del terreno.

El método HVSR emergió como una herramienta fundamental en este estudio debido a su naturaleza no invasiva y su facilidad de implementación en entornos urbanos. Al analizar la relación entre los espectros de amplitud de los componentes horizontales y verticales de las

vibraciones del suelo, este enfoque proporciona información crucial sobre la frecuencia fundamental y la amplificación del movimiento del suelo. Estos elementos son esenciales para comprender la respuesta dinámica del suelo y para la caracterización sísmica de la zona.

1.2. Ubicación y Accesibilidad

1.2.1. Ubicación Política

La zona de estudio se ubica en el distrito de Poroy, provincia de Cusco y departamento de Cusco (Tabla 1).

Tabla 1 *Ubicación política de la zona de estudio*

Departamento: Cusco
Provincia: Cusco
Distrito: Poroy

Nota: Esta tabla muestra la ubicación política de la zona de estudio.

1.2.2. Ubicación Geográfica y UTM

Geográfica: La zona de estudio se encuentra en el distrito de Poroy. La ubicación geográfica se encuentra delimitada por los puntos descritos en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2 *Coordenadas Geográficas*

Coordenadas Geográficas	
Punto 1	Longitud: 72° 0'52.75"O
	Latitud: 13°30'4.98"S
Punto 2	Longitud: 72° 0'58.23"O
	Latitud: 13°30'16.36"S
Punto 3	Longitud: 72° 0'27.46"O
	Latitud: 13°30'16.58"S
Punto 4	Longitud: 72° 0'32.90"O
	Latitud: 13°30'27.99"S

Nota: Esta tabla muestra las coordenadas geográficas que encierran el área de estudio.

UTM: Para este estudio, las coordenadas UTM que enmarcan la zona de estudio están representadas en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3 *Coordenadas UTM*

Coordenadas UTM		
Zona 18L	Punto 1	Coordenada Este: 823204.00 m E
		Coordenada Norte: 8505450.00 m S
	Punto 2	Coordenada Este: 823035.00 m E
		Coordenada Norte: 8505102.00 m S
	Punto 3	Coordenada Este: 823961.00 m E
		Coordenada Norte: 8505084.00 m S
	Punto 4	Coordenada Este: 823793.00 m E
		Coordenada Norte: 8504735.00 m S

Nota: En esta tabla se muestran los puntos con coordenadas UTM que encierran el área de estudio.

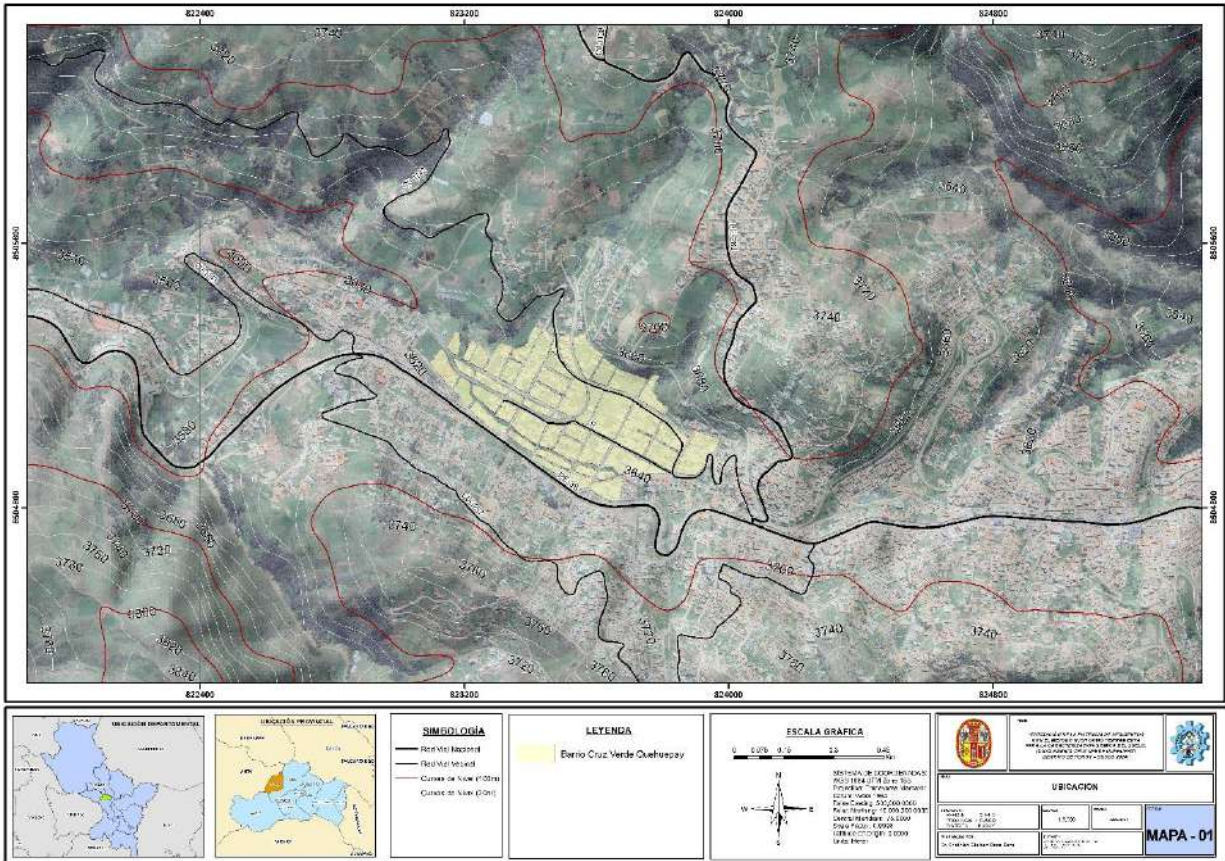
1.2.3. Área de Estudio

El Barrio Cruz Verde Quehuepay, delimitado a un área específica que abarca aproximadamente 0.3 kilómetros cuadrados, se propone explorar las características sísmicas del suelo en esta zona particular de la localidad.

1.2.4. Accesibilidad

Según el MTC el acceso al área de estudio se da por tres rutas: por la red vial departamental PE-3S, (Cusco-Poroy), por la redes viales vecinales CU-1142 y R.

Ilustración 1 Mapa de Ubicación



Nota: El mapa muestra la ubicación y la accesibilidad a la zona de estudio en el distrito de Poroy, provincia de Cusco, Departamento de Cusco.

1.3. Problema

1.3.1. Planteamiento del Problema

Según el INEI mediante el oficio N° 532-2019-INEI/DTDIS, el aumento poblacional del distrito de Poroy ha experimentado un notable incremento de 2,8 veces entre los años 2007 y 2020, con una tasa de crecimiento promedio anual del 13,6% después de décadas de crecimiento urbano en el valle de Cusco resaltando el aumento poblacional que se desplaza hacia zonas periféricas como el distrito de Poroy. Esta expansión demográfica, aunque indicativa de desarrollo, plantea desafíos significativos en términos de planificación urbana y gestión del riesgo de desastres.

Al estar cerca al complejo de la falla Qoricocha – Tambomachay (Benavente et al.,2013), el Barrio Cruz Verde Quehuepay se encuentra ubicado en una zona catalogada como de riesgo sísmico muy alto en el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Distrito de Poroy al 2023. Esta designación indica la necesidad de comprender y abordar la interacción entre el crecimiento demográfico acelerado y el riesgo sísmico en este barrio específico.

El Barrio Cruz Verde Quehuepay es de sumo interés debido a que la zona de estudio parece estar ubicada sobre restos de una laguna antigua puesto que, la ubicación actual del barrio concuerda con la ubicación de la laguna de Quibipay mencionada por el cronista Pachacuti Yamqui (Combey et al., 2020). Si esto se comprueba, sugiere la presencia de sedimentos lacustres, sedimentos poco consolidados que podrían tener alto contenido de agua y podrían influir en la estabilidad del suelo, es importante evaluar la capacidad de estos sedimentos para amplificar las ondas sísmicas y evaluar el impacto de un posible movimiento sísmico en la zona. Conociendo la potencia de los sedimentos presentes, las velocidades de ondas sísmicas, la frecuencia fundamental y la amplitud H/V dentro de estas capas, se podrá realizar la evaluación de la respuesta del suelo ante eventos sísmicos y planificación de medidas de construcción más seguras.

Es de interés realizar el presente trabajo de investigación “Estimación de la Potencia de Sedimentos con el Método HVSR en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco 2024”, para la caracterización de la respuesta sísmica del suelo y la conformación morfológica de la capa de sedimentos como línea base para estudios de riesgos sísmico y planificación urbana.

1.3.2. Problema General

¿Cómo estimar la potencia de sedimentos con el método HVSR para la caracterización sísmica del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco?

1.3.3. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la frecuencia fundamental del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco?
- ¿Cómo es la amplitud H/V en los sedimentos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco?
- ¿Qué valores presentan las velocidades de onda en los de sedimentos del Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estimar la potencia de sedimentos con el método HVSR para caracterizar sísmicamente el suelo en el el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la frecuencia fundamental del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco.
- Cuantificar las diferentes amplitudes H/V en los sedimentos del Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco.
- Estimar los valores de las velocidades de onda en los sedimentos del Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco.

1.5. Justificación e Importancia

El proyecto de tesis se enmarca en las líneas de investigación de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, específicamente en las áreas de Planificación Urbana y del Territorio (CTM-05) y Prevención y Riesgo de Desastres Naturales (CSB-09).

1.5.1. Conveniencia

La realización de este proyecto de tesis se justifica en gran medida por la creciente preocupación por la seguridad sísmica en zonas urbanas de alto riesgo, como lo demuestran estudios previos (Benavente et al., 2013). La identificación y evaluación de la potencia de sedimentos utilizando el método HVSR se ha destacado como una herramienta para comprender la respuesta sísmica del suelo (Molnar et al., 2018). Esto es particularmente relevante en el Barrio Cruz Verde Quehuepay en el Distrito de Poroy, Cusco, dada su ubicación cercana a fallas activas y su designación como zona de riesgo sísmico muy alto en el Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres del Distrito de Poroy al 2023

1.5.2. Relevancia Social

La relevancia social de este proyecto es evidente, ya que aborda directamente la seguridad y el bienestar de los residentes del Barrio Cruz Verde Quehuepay y áreas circundantes. El estudio contribuirá a la toma de decisiones informadas en términos de planificación urbana, diseño de infraestructura y medidas de seguridad pública al proporcionar datos detallados sobre la amenaza sísmica y la potencial amplificación de las ondas sísmicas debido a la presencia de sedimentos, este proyecto tendrá un impacto positivo en la seguridad y calidad de vida de la comunidad.

1.5.3. Implicaciones Prácticas

Las implicaciones prácticas de este proyecto son sustanciales y diversas. Por un lado, los resultados obtenidos permitirán a las autoridades locales y regionales implementar medidas de prevención y mitigación del riesgo sísmico en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, incluida la actualización de normativas de construcción y la elaboración de planes de emergencia. Además, la información generada podría ser utilizada por ingenieros y urbanistas para diseñar y construir infraestructuras más resilientes a los eventos sísmicos.

1.5.4. Valor Teórico

Este proyecto contribuirá al conocimiento existente sobre la interacción entre la actividad sísmica y la geología del suelo en áreas urbanas al enfocarse en la estimación de la potencia de sedimentos mediante el método HVSR, se ampliará la comprensión de cómo las características del subsuelo pueden influir en la propagación de las ondas sísmicas y en la respuesta del suelo.

1.5.5. Utilidad Metodológica

Este proyecto demostrará la utilidad y aplicabilidad del método HVSR como una herramienta eficaz para la caracterización sísmica del suelo en áreas urbanas (Molnar et al., 2018). Al emplear esta técnica, se proporcionará un enfoque práctico y rentable para evaluar la amenaza sísmica y diseñar estrategias de mitigación del riesgo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay y otras zonas similares.

1.5.6. Hipótesis General

La potencia sedimentaria en la caracterización sísmica con el método HVSR revela un espesor considerable, no inferior a 10 metros en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco.

1.5.7. Hipótesis Específicas

- Existen picos claros en la gama de frecuencias 1 – 10 Hz, indicadores de una frecuencia fundamental (f_0) compatible con una pequeña cuenca sedimentaria.
- Se encuentran valores de amplitudes H/V significativas ($> 2/3$) relacionadas a un contraste de velocidad importante entre la capa de sedimentos y el basamento.
- Hay valores de velocidades de ondas de corte bajas ($V_s < 500 \text{ m/s}$) en los primeros metros, asociados a sedimentos blandos.

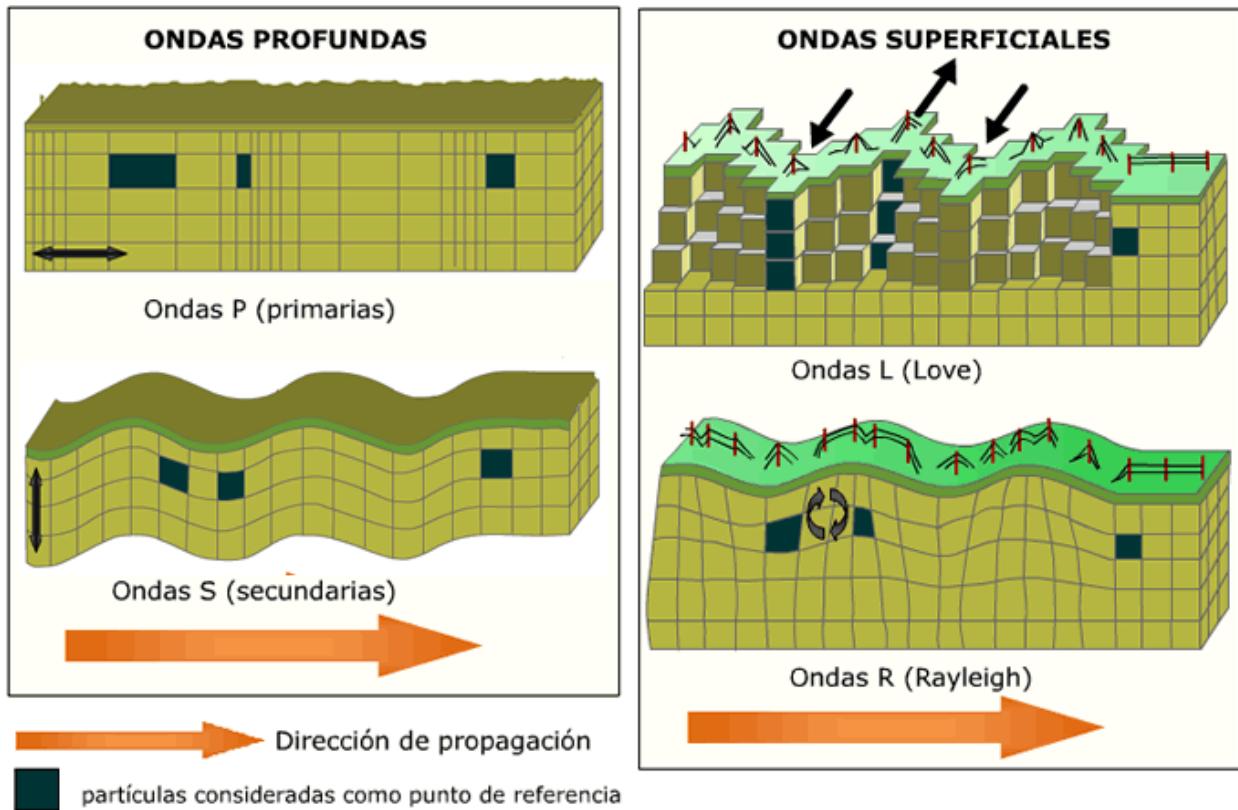
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1. Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas son vibraciones que se propagan a través de la Tierra como resultado de la liberación de energía durante eventos sísmicos, como terremotos, erupciones volcánicas o explosiones. Estas ondas transmiten información sobre la estructura interna de la Tierra y son esenciales para comprender la geofísica y la sismología (Kramer, 1996). Las ondas sísmicas se explican como la energía liberada por un terremoto que atraviesa la Tierra (Hustand et al., 2013).

Las ondas sísmicas son un tipo de onda elástica, fuerte en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensiones, cuál, se generan pequeños movimientos en las placas tectónicas. Esta característica hace que las ondas sísmicas sean herramientas fundamentales para comprender sobre la estructura y la composición del subsuelo. En el contexto de estudios HVSR, se encuentra en debate el uso del tipo de ondas sísmicas (Ilustración 2) a utilizar para el cálculo del pico de frecuencias de resonancia del suelo. Tanto si el pico se explica por la frecuencia de resonancia de la onda S (p. ej., Nakamura, 1989), la elipticidad de la onda Rayleigh (p. ej., Lachet y Bard, 1994), la fase Airy de las ondas Love (p. ej., Konno y Ohmachi, 1998) o una mezcla de las tres (Bonnetfoy-Claudet et al., 2008).

Ilustración 2 Clasificación de ondas sísmicas



Nota. La clasificación de ondas sísmicas es importante porque se comportan de manera diferente según las características del suelo a través del cual viajan. Tomado de *Ondas sísmicas* [Imagen] Cienciasfera, 2012, https://www.cienciasfera.com/materiales/biologiageologia/cienciatierra/tema11/21_ondas_ssmicas.html

2.1.1. Clasificación de Ondas Sísmicas

2.1.1.1. Ondas P (Primarias).

Las ondas sísmicas de compresión son un tipo de onda sísmica primaria, también conocida como onda P (de "primaria"). Estas ondas son longitudinales y se propagan a través de la Tierra comprimiendo y expandiendo el material en la dirección de su avance (Stein, S., & Wysession, M., 2003).

Las ondas P son ondas sísmicas primarias que se caracterizan por provocar un movimiento de compresión y expansión en la dirección de propagación. Son ondas longitudinales que pueden atravesar tanto sólidos, líquidos como gases. Las ondas P son las primeras en registrarse en un sismograma durante un evento sísmico y son cruciales para la determinación de la ubicación y la magnitud de un terremoto.

2.1.1.2. **Ondas S (Secundarias).**

Las ondas de corte, también conocidas como ondas S (shear), son un tipo de onda sísmica que produce movimientos de corte o desplazamiento lateral en el suelo. Estas ondas son una de las dos categorías principales de ondas sísmicas, junto con las ondas de compresión u ondas P (primary).

Las ondas cortantes sísmicas son las ondas corporales más energéticas que se irradian en un terremoto y son responsables de la destrucción de las estructuras diseñadas (Kotha et al., 2019).

Las ondas de corte sísmico son un tipo de onda que se encuentra comúnmente junto con las ondas P de compresión. En la tecnología sísmica proporcionan información adicional sobre las formaciones del subsuelo y pueden ayudar en la detección de hidrocarburos y en la caracterización de los yacimientos (Farfour y Gaci, 2020)

Las ondas de corte son cruciales en el estudio de terremotos y fenómenos sísmicos, ya que son responsables de transmitir energía sísmica a través del subsuelo y afectar estructuras y terrenos. La velocidad de las ondas de corte (denotada comúnmente como V_s es un parámetro importante para caracterizar la rigidez y la respuesta del suelo a las ondas sísmicas.

2.1.1.3. **Ondas de Superficie.**

2.1.1.3.1. Ondas Rayleigh.

La onda de Rayleigh es una onda secundaria caracterizada por una baja frecuencia y una fuerte energía, propagándose principalmente a lo largo de la interfaz de atenuación media y rápida de la energía con aumento de distancia de la interfaz. Al igual que la onda reflejada y la onda refractada, la onda de Rayleigh también contiene información geológica del subsuelo (Zhu X. y Yan B., 2014).

Durante un terremoto, las ondas Rayleigh son generadas por la interacción entre las ondas P y S con la superficie terrestre. Contribuyen significativamente a la energía sísmica que se siente en la superficie. La amplitud de las ondas Rayleigh disminuye con la profundidad, y la energía se concentra más cerca de la superficie; sin embargo, las ondas Rayleigh se desplazan, generan movimientos circulares en la dirección de propagación. Estos movimientos circulares son responsables de gran parte de la destrucción causada por terremotos.

Las ondas Rayleigh generan movimientos elípticos en el plano horizontal y vertical. La componente vertical de una onda Rayleigh implica movimientos hacia arriba y hacia abajo de las partículas del suelo. Estos movimientos son elípticos y se producen en la dirección perpendicular al plano horizontal de propagación de la onda. La componente horizontal de una onda Rayleigh implica movimientos laterales de las partículas del suelo en el plano horizontal. Estos movimientos también son elípticos y ocurren en la dirección de propagación de la onda.

2.1.1.3.2. Ondas Love.

Las ondas Love son un tipo de onda sísmica que se propaga a través de la superficie terrestre. A diferencia de las ondas Rayleigh, las ondas Love generan un movimiento horizontal

perpendicular a la dirección de propagación. Este movimiento es similar al de una cuerda que se balancea de lado a lado. Las ondas Love no causan movimiento vertical del suelo. Su movimiento es puramente horizontal.

Son generadas por la interacción entre las ondas P y S con la superficie terrestre durante un terremoto. Contribuyen a la energía sísmica que se propaga en la superficie.

2.2. Microtremores

Los microtremores son ondas o vibraciones que afectan la capas superficiales de la Tierra con origen natural o antropico. A diferencia de los terremotos convencionales, los microtremores son ondas de baja energía que pueden ser registrados por sismómetros altamente sensibles. Los microtremores proporcionan información valiosa sobre las propiedades del suelo y la respuesta sísmica local.

Los microtremores o el ruido sísmico ambiental son oscilaciones de baja amplitud y pueden estar hechas de cualquier tipo de onda sísmica (Seekins et al., 1996). Este ruido puede ser inducido por el viento, árboles en movimiento, tormentas oceánicas, alborotos de tráfico e industria o por actividad sísmica natural; sin embargo, la mayoría del ruido generado por actividades humanas corresponde a frecuencias > 1 Hz (Mcnamara & Buland, 2004). Nakamura fue el primero en elaborar la teoría del HVSR, asumió que los microtremores están formados por ondas de Rayleigh de período corto y demostró que los las respuestas teóricas resultantes del sitio de algunas regiones coinciden con las observadas. (Nakamura, 1989).

Durante las últimas dos décadas, se vieron avances sustanciales en el desarrollo del enfoque de análisis MHVSR (Relación Espectral Horizontal a Vertical de Microtremor) de estación única, anteriormente conocido como "el método Nakamura" (1989) o método de "relación H/V". Su uso

prevalece en el mapeo de microzonificación sísmica, el reconocimiento posterior a terremotos y la caracterización de sitios sísmicos en particular, incluyendo la frecuencia máxima producida por microtremor en estudios MHVSR para el espesor del suelo e inversión de curvas MHVSR para la representación en profundidad en función de la frecuencia (Molnar et al., 2018).

2.3. HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

El método HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) es una técnica utilizada para evaluar las características del subsuelo mediante el análisis de las amplitudes de las ondas sísmicas horizontales y verticales en función de la frecuencia.

Es altamente valorado en estudios sísmicos debido a sus ventajas, como su simplicidad, costo-efectividad y capacidad para proporcionar información detallada sobre la resonancia del suelo sin necesidad de perforaciones extensivas. Este método se basa en la medición de las relaciones espectrales entre componentes horizontales y verticales del ruido sísmico ambiental, lo que permite identificar características del perfil de sedimentos y su espesor de manera no invasiva. Referencias bibliográficas, como las de Nakamura (1989) y Sesimic Safety of Structures (2007), destacan la eficacia del HVSr para evaluar la vulnerabilidad sísmica y su aplicabilidad en diferentes contextos geológicos.

El "Método Nakamura" consiste en una estrategia para calcular la frecuencia de resonancia y la amplificación de los movimientos del suelo que son afectados por una capa superficial. Estas influencias se determinan de la relación entre la media cuadrática de los dos componentes horizontales y la componente vertical del espectro de Fourier, es decir, la relación espectral horizontal a vertical (H/V) o (HVSr), a partir de microtremores o movimientos sísmicos.

La técnica HVSR es un método sísmico pasivo introducido por Nakamura (1989) que mide el ruido sísmico ambiental. El ruido sísmico ambiental, o los microtemores, son producidos principalmente por el viento y las olas del océano que culminan en lo que se propone como ondas de corte cerca de la superficie (Yamanaka et al., 1994).

HVSR significa relación espectral horizontal-vertical. Es un método que utiliza un sismómetro único de tres componentes de banda ancha para registrar el ruido sísmico ambiental y proporcionar información sobre la rigidez de los materiales del subsuelo (Alidoust et al., 2023).

HVSR significa relación espectral horizontal a vertical. Es un método geofísico que utiliza el ruido ambiental como fuente y solo requiere un sensor de tres componentes para determinar la frecuencia del sitio y estimar la profundidad del lecho rocoso (Changqing y Rosenblad, 2023)

HVSR son las siglas de Horizontal a Vertical Spectral Ratios. Es una técnica que se utiliza para identificar los fenómenos de resonancia sísmica y restringir el perfil de velocidad de la onda cortante en procedimientos de inversión numérica (Albarelo, 2023).

El método HVSR define empíricamente que la interferencia constructiva de las ondas dentro de una capa, amplifican las oscilaciones horizontales con respecto a las verticales y que la relación de los componentes horizontales y verticales producen una frecuencia máxima relacionada con la frecuencia de resonancia de la capa (Ali, 2013; Moro, 2015).

2.3.1. Función de Transferencia

La función de transferencia Nakamura es una herramienta utilizada en geofísica y sismología para analizar las características del suelo y evaluar su respuesta sísmica. Este enfoque,

conocido como el Método Nakamura, se basa en la relación espectral horizontal a vertical (H/V) de los microtemores o movimientos sísmicos registrados en un sitio.

La función de transferencia Nakamura se define mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{H}{V}(f) = \frac{S_{horizontal}(f)}{S_{vertical}(f)}$$

Donde:

- $\frac{H}{V}(f)$ es la función de transferencia de Nakamura a una frecuencia f .
- $S_{vertical}(f)$ es el espectro de amplitud de la componente vertical de los movimientos sísmicos.

Donde:

$$S_{horizontal}(f) = \sqrt{[E^2(f) + N^2(f)]/2}$$

- $S_{horizontal}(f)$ es el espectro de amplitud de los componentes horizontales Este (E) y Norte (N) de los movimientos sísmicos.

El Método Nakamura utiliza el cociente de estos espectros para caracterizar la respuesta del suelo a las ondas sísmicas en diferentes frecuencias. La frecuencia en la que la relación H/V es máxima se asocia con la frecuencia de resonancia del suelo en ese sitio.

La interpretación de la función de transferencia Nakamura permite obtener información sobre la amplificación de la respuesta sísmica del suelo en diversas frecuencias.

2.3.1.1. **Interpretación.**

La interpretación de la gráfica de la función de transferencia de Nakamura es crucial para entender cómo el suelo responde a las ondas sísmicas en diferentes frecuencias. Es esencial para una toma de decisiones informada en ingeniería geotécnica y diseño sísmico.

2.3.1.1.1. Frecuencia de Resonancia.

La frecuencia de resonancia de Nakamura se refiere a la frecuencia a la cual la relación espectral horizontal a vertical (H/V) alcanza un máximo en el análisis de microtremores utilizando el Método Nakamura. Este método se utiliza en geofísica y sismología para evaluar las características del suelo y su respuesta sísmica a diferentes frecuencias.

La identificación de la frecuencia de resonancia es importante porque esta frecuencia puede influir en la respuesta sísmica de las estructuras construidas sobre ese suelo. Por ejemplo, si la frecuencia de resonancia del suelo coincide con la frecuencia de excitación de un terremoto, puede haber una amplificación significativa de los movimientos sísmicos en esa frecuencia, lo que podría afectar negativamente a las estructuras (Nakamura, 1989), especialmente si la frecuencia del suelo concuerda con la frecuencia de resonancia de las estructuras.

Cuando la amplificación corresponde a la producida por la geología local, esta se denomina amplificación por efecto de sitio y las frecuencias a las cuales esta amplificación existe se denominan frecuencias naturales. La menor frecuencia a la cual se presenta un pico de amplificación es conocida como frecuencia fundamental (Rosales, 2001).

La determinación de la frecuencia de resonancia generalmente se realiza mediante el análisis del espectro de amplitud en función de la frecuencia, y se identifica el pico de amplificación máximo (Cara et al., 2007)

La frecuencia en la que el pico es más alto representa la frecuencia dominante a la cual el suelo responde de manera más significativa.

2.3.1.1.2. Amplitud del Pico.

Es un parámetro importante que indica la magnitud de la respuesta del suelo a una frecuencia específica. Al observar la gráfica de la función de transferencia, el pico más alto representa la frecuencia de resonancia predominante del suelo en ese sitio.

La amplitud del pico en un estudio HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) se refiere al valor máximo alcanzado en la relación entre las componentes horizontales y verticales de las ondas sísmicas registradas en el suelo en función de la frecuencia (Takemura et al., 2005).

La altura o amplitud de este pico proporciona información sobre la amplificación relativa de las ondas sísmicas en esa frecuencia particular. Una amplitud más alta indica una mayor amplificación en la respuesta sísmica del suelo a esa frecuencia; sin embargo, muchos estudios concuerdan que la amplitud del pico es generalmente inferior a la amplificación del suelo ante un sismo (Bard, 1999; Bonnefoy-Claudet et al., 2008, 2006).

2.4. Contraste de Impedancia

El contraste de impedancia se refiere a la diferencia en las características mecánicas (como la velocidad sísmica, compactación, saturación/contenido en agua) entre las diferentes capas del subsuelo.

El contraste de impedancia se interpreta al analizar cómo las ondas sísmicas interactúan con diferentes capas del subsuelo, lo que se refleja en la función de transferencia Nakamura. La interpretación detallada implica examinar la forma de la curva y los picos en la función de transferencia para entender la respuesta del suelo a diferentes frecuencias y, por ende, el contraste de impedancia a esas frecuencias específicas.

Cuando una onda pasa a través de una interfase con un contraste de impedancia alto (IC) desde una capa a otra de menor rigidez y compactación, la componente de la onda sísmica asociada a la frecuencia fundamental de la capa más superficial es amplificada en gran manera, produciéndose el efecto de resonancia. Esto ocurre ya que cuando una onda elástica se propaga a través de un material, el flujo de energía transmitido se mantiene constante y al decrecer la velocidad de propagación de la onda producto de la menor rigidez y compactación de la nueva capa de suelo, la velocidad de partícula de dicha onda debe aumentar (Bommer, Salazar y Samayoa, 1998).

La función de transferencia Nakamura (H/V) en términos de amplitud, la diferencia en las amplitudes de las ondas sísmicas registradas en las direcciones horizontal y vertical proporciona información sobre cómo estas ondas interactúan con las capas del subsuelo. Un cambio en la amplitud indica variaciones en la impedancia acústica a lo largo de las capas del suelo.

2.5. Efectos de las Ondas Sísmicas en el Suelo

Las ondas sísmicas pueden tener varios efectos en el suelo, dependiendo de factores como la intensidad del terremoto, la profundidad del foco sísmico, la distancia al epicentro y las características geológicas del suelo.

2.5.1. Vibración del Suelo

Las ondas sísmicas generan vibraciones en el suelo, produciendo movimientos oscilatorios que pueden sentirse como sacudidas o vibraciones. La intensidad de esta vibración depende de la magnitud del terremoto y la distancia al epicentro (Kramer, 1996). Además, si existe un fenómeno de resonancia como en una cuenca sedimentaria, puede aumentar la amplitud y la duración de las vibraciones.

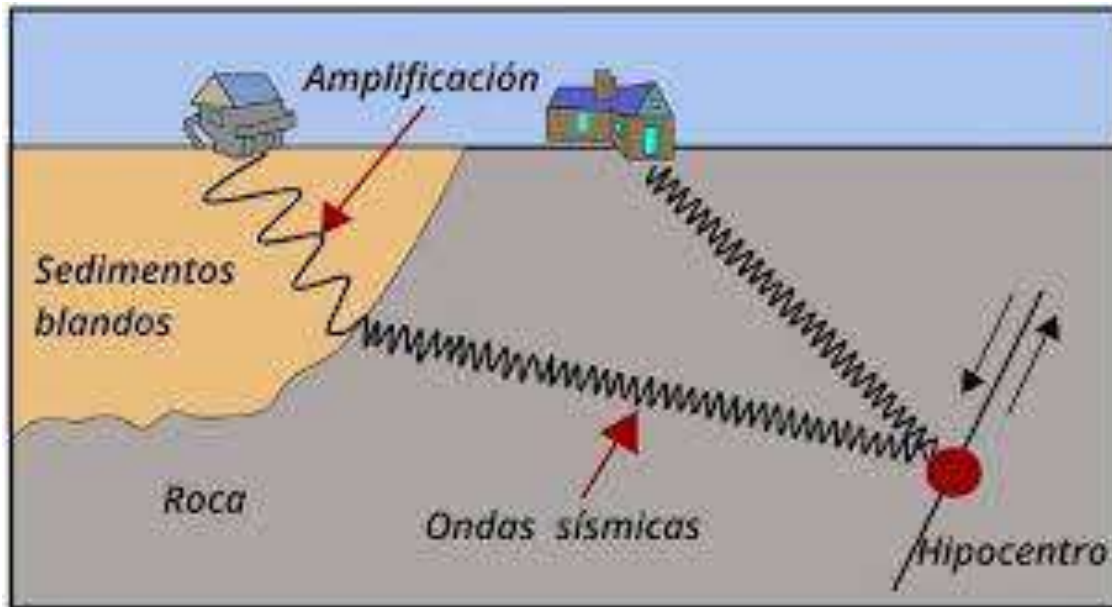
2.5.2. Amplificación del Movimiento

La amplificación del suelo se refiere al aumento del movimiento o sacudida del suelo que experimenta el suelo en comparación con el lecho rocoso durante un terremoto (Adhikary, 2022)

En ciertos tipos de suelo, las ondas sísmicas pueden experimentar amplificación, lo que significa que la amplitud del movimiento sísmico se incrementa. Esto puede aumentar el riesgo de daño en edificaciones construidas sobre estos suelos

El movimiento del suelo como resultado de la propagación de las ondas sísmicas, es amplificado por la vibración de la edificación de modo que las aceleraciones en la estructura son mayores a las del movimiento de la base. Esta amplificación precisa del amortiguamiento de la estructura y de la relación entre los periodos fundamentales de la estructura y del suelo (Morillo, 2021)

Ilustración 3 Representación de la amplificación sísmica



Nota. El hipocentro es el punto en el interior de la Tierra donde se origina un terremoto, y la amplificación sísmica se refiere al aumento en la amplitud de las ondas sísmicas a medida que se propagan desde el hipocentro hacia la superficie terrestre. Tomado de *Efectos de sitio* [Imagen] Universidad de Costa Rica, 2012,

https://www.lis.ucr.ac.cr/mapas/2012-09-05-10:20:21/ef_sitio/index.php

2.5.3. Resonancia del Suelo

La resonancia es la tendencia de un sistema a oscilar con mayor amplitud en unas frecuencias que en otras. El daño por resonancia en un edificio durante un sismo ocurre cuando las frecuencias naturales de vibración de la estructura coinciden con las frecuencias del sismo, lo que resulta en una amplificación de las vibraciones y puede provocar daño en la estructura (Nakamura, 1989). La resonancia del suelo es un fenómeno que ocurre cuando el suelo y los edificios apoyados tienen frecuencias similares, lo que resulta en una interacción que puede amplificar los efectos de un terremoto (Ponodolis y Souici, 2022)

2.5.4. *Licuefacción del Suelo*

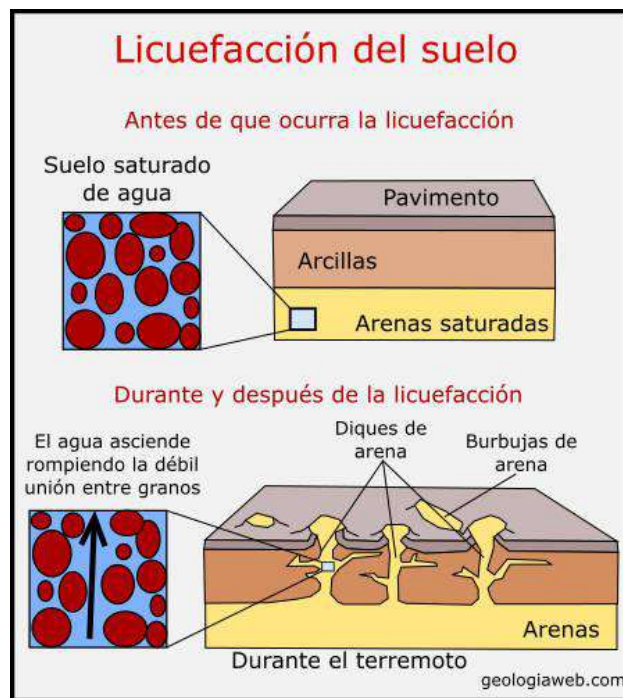
Cuando un terremoto genera ondas sísmicas, la presión del agua en los poros del suelo aumenta debido a la agitación del suelo. Si la presión del agua supera la presión efectiva del suelo (la presión total menos la presión de poros), puede reducir la resistencia efectiva del suelo y hacer que las partículas del suelo pierdan contacto, lo que lleva a un comportamiento similar al de un líquido. Este proceso puede ocurrir en suelos saturados con agua y granulometría fina, como arenas y limos, causando deformaciones significativas y daños a las estructuras que se asientan sobre el suelo licuado (Youd e Idriss, 2001).

El tipo de material más susceptible a la licuefacción son arenas de grano fino a medio, bien seleccionadas. Basándose en las observaciones realizadas en los materiales afectados por el terremoto de Charleston, en 1886, Amick et al. (1990) señalan que los sedimentos más favorables para la génesis de estructuras de deformación generadas por licuefacción son las formadas en ambientes de playa, barreras arenosas y sistemas fluviales. También los ambientes lacustres y fluviolacustres tienen sedimentos susceptibles de licuefacción.

El estudio “Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco” (Benavente et, al. 2013), muestra escenarios de peligrosidad por licuefacción de suelos a partir de sismos generados por las fallas Tambomachay, Qoricocha, Pachatusan y Paruro. Los mapas de escenario muestran que el fondo de valle del Cusco, constituido principalmente por depósitos de la Formación San Sebastián, se encuentra en zona de alto y muy alto grado de peligrosidad ante procesos de licuefacción de suelos y/o asentamientos producidos por sismos. El sismo de 1950 ocasionó licuefacción del suelo generando el levantamiento del nivel freático al sur de la cuenca del Cusco (Silgado, 1950).

Las arcillas saturadas en agua son generalmente más peligrosas que las arenas saturadas en agua en términos de estabilidad sísmica. Las arcillas saturadas tienen una mayor susceptibilidad a la licuefacción y deslizamientos debido a su baja permeabilidad y alta plasticidad, lo que las hace más propensas a perder resistencia durante un evento sísmico (Moseley & Kirsch, 2004). En cambio, las areniscas saturadas, aunque también pueden ser susceptibles a la licuefacción, suelen tener una mayor cohesión y resistencia estructural en comparación con las arcillas (Kramer, 1996).

Ilustración 4 Licuefacción del suelo



Nota. La licuefacción se da cuando ocurre un terremoto o temblor muy fuerte, y el agua que se encuentra en esos suelos saturados y poco compactos tiende a salir hacia la superficie (sectores de menor presión) cortando al suelo en varias direcciones, y puede causar grandes daños a las estructuras de ingeniería civil como carreteras, puentes, edificios y las cimentaciones de aquellas estructuras. Tomado de *Licuefacción de suelos, causas y consecuencias*

[Imagen] Geologiaweb, 2020, <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/licuefaccion-suelo/>

2.6. Sismómetro CMG – 40T

El CMG-40T creado por Guralp Systems, es un sismómetro de banda media con una frecuencia de corte de 1 Hz. Al ser triaxial, el CMG-40T tiene tres sensores sísmicos, uno para cada dirección espacial. Esto permite una captura más completa y precisa de los movimientos sísmicos en todas las direcciones. Está equipado con salidas estándar para la conexión a sistemas de adquisición de datos y grabación de registros sísmicos.

La carcasa de acero inoxidable proporciona un alto grado de protección en ambientes altamente corrosivos, además de brindar mayor estabilidad en los terrenos difíciles debido a su peso. Un instrumento para postes con conector impermeable es disponible para implementaciones más profundas. En estudios HVSR, los sismómetros como el CMG-40T se instalan estratégicamente en puntos específicos para medir las vibraciones del suelo y capturar datos que luego se utilizarán para analizar la respuesta sísmica del área.

2.7. Grabadora Minishark

La MiniShark creada por KEAS GROUP, es una unidad de adquisición de datos versátil, dedicada a aplicaciones geofísicas (registro de vibraciones ambientales y terremotos). Grabación multicanal síncrona (hasta 3) para cualquier señal de bajo voltaje.

Los parámetros de grabación se configuran mediante botones y no es necesario conectarse a una computadora externa. Es un dispositivo independiente y portátil con una potente batería interna y una tarjeta SD extraíble para un almacenamiento de datos eficiente.

Presenta un sistema de alta precisión y calidad para registros de vibraciones ambientales, para grabar de forma sincronizada. Se puede utilizar con sensores pasivos o activos. Los sensores activos son alimentados por MiniShark a través del mismo cable utilizado para registrar la señal.

Posee entradas de alimentación externa (a través de una batería o del cargador) para experimentos a largo plazo. Las pruebas estadísticas, utilizadas para evaluar variaciones de ganancia, compensaciones, ausencia de código faltante, nivel de ruido interno, activación remota y sincronismo entre canales demostraron que MiniShark es un sistema de adquisición de datos muy confiable.

El paquete de software de datos: el software de código abierto Geopsy (Wathelet et al., 2020), disponible de forma gratuita en geopsy.org, permite formatear la tarjeta flash y recuperar datos en formato de hoja de cálculo ASCII, de una manera fácil y rápida, produciendo resultados muy fáciles de manejar archivos de datos, o directamente en formato MSEED o SAC. El software se ejecuta en los sistemas más comunes (MS-Windows, Linux, Mac OSX).

Finalmente, aunque se utiliza principalmente en el marco de estudios de vibración ambiental, MiniShark puede manejar cualquier tipo de señal de bajo voltaje.

2.8. Geología Regional

La distribución espacial de las formaciones geológicas es importante para analizar el contraste de impedancia entre los depósitos recientes y el basamento rocoso en estudios sísmicos. Este contraste, que se refiere a la diferencia en las propiedades acústicas (como la velocidad de las ondas sísmicas) entre distintas capas del subsuelo, afecta significativamente la propagación de las ondas sísmicas. Una correcta identificación en la distribución de las formaciones geológicas permite analizar cómo varían estas propiedades a lo largo del terreno, facilitando la detección de interfaces entre sedimentos y basamento rocoso. Estos datos son esenciales para interpretar el perfil del HVSR, ya que el contraste de impedancia entre las formaciones geológicas influye en la amplificación y reflexión de las ondas sísmicas.

La geología regional de la zona de estudio está enmarcada por el afloramiento de las siguientes formaciones geológicas (Ilustración 5):

2.8.1. Formación Maras (Albiano Medio)

La Formación Maras se encuentra expuesta en la Meseta de Saqsaywaman al norte de Cusco y también en Paccaritambo, extendiéndose hacia Huanoquite en el cuadrángulo de Tambobamba 28-r. En esta área, la formación atraviesa la Formación Anta del Eoceno. Sin embargo, los afloramientos más destacados se ubican en el cuadrante II, donde la Formación Maras corta las formaciones Soncco y Punacancha; aquí se pueden observar olistolitos de las Calizas Ayabacas.

La composición principal de la Formación Maras consiste en mezclas de yesos y lutitas rojas, con presencia menos abundante de lutitas verdes y algunos estratos delgados de calizas (entre 3 y 7 metros), así como calizas más gruesas que en realidad son calizas deslizadas de la Formación Ayabacas. Se sugiere que las lutitas tienen un origen lacustre, los yesos se formaron en ambientes de sabkha, y las calizas marinas se depositaron en aguas de muy poca profundidad.

En muchos casos, las relaciones de contacto indican el emplazamiento de la Formación Maras debido a efectos de diapirismo o tectónicos, evidenciados en las fallas en el límite Altiplano-Cordillera Oriental y en Occopata, donde corta el anticlinal del mismo nombre. No obstante, gran parte de estos afloramientos se originan como olistolitos de la Formación Ayabacas, deslizándose durante la sedimentación e involucrando sustratos de lutitas y yesos. Este fenómeno es claramente visible en el cuadrante II, en los alrededores de la laguna Huacocha.

2.8.2. Formación Puquín (Coniaciano- Maestrichtiano)

La Formación Puquín (Carlotto et al. 1991; Carlotto, 1992, Mendivil & Dávila, 1994) sobreyace a la Formación Ayavacas, pero en general el contacto corresponde a un nivel de despegue. La Formación Puquín aflora ampliamente en el núcleo del anticlinal de Puquín, en el anticlinal de Saylla, al norte de Saylla, entre Rondocan y San Juan de Quihuare y al norte de Accha.

El Miembro M1 (30m) del sector de Puquín (Carlotto, 1992) está constituido por lutitas rojas, yesos laminados, nodulosos o en mallas y por brechas con elementos pelíticos, que indican un medio de sabkha continental. Hacia la parte superior se observan dolomitas laminadas, intercaladas con yesos de medio intertidal. El Miembro M2 (180 m) aflora ampliamente en el anticlinal de Puquín. Está compuesto por dos secuencias de orden inferior: AM2 (100 a 150 m) y BM2 (30 a 60 m), que son transgresivas a la base (marinas poco profundas y confinadas) y regresivas al techo (lacustre). Las secuencias basales están compuestas por calizas, margas, lutitas negras ricas en materia orgánica y piritita, mientras que la parte media y superior por lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares, nodulosas y en mallas. El Miembro M3 (>170 m) aflora en el anticlinal de Puquín, donde sobreyace al Miembro M2, sin embargo, en este mismo sector el techo se halla parcialmente erosionado. Este miembro es esencialmente arenoso y globalmente más detrítico que los precedentes; comienza con bancos arenosos fluviales, seguidos por intercalaciones de lutitas, margas y calizas lacustres e intertidales, en tanto que la parte media y superior grano-estrato creciente está representado por areniscas feldespáticas de color rojo y de origen fluvial, de procedencia sur. Está compuesto por dos secuencias de orden inferior: AM2 (100 a 150 m) y BM2 (30 a 60 m), que son transgresivas a la base (marinas poco profundas y confinadas) y regresivas al techo (lacustre). Las secuencias basales están compuestas por calizas, margas, lutitas negras ricas

en materia orgánica y pirita, mientras que la parte media y superior por lutitas verdes y rojas asociadas a yesos laminares, nodulosas y en mallas.

2.8.3. Formación Quilque (Paleoceno Inferior)

Definida por Gregory (1916) y Carlotto (1992), se trata de capas rojas que reposan en discordancia erosional sobre la Formación Vilquechico. Occopata y Sondor.

Esta unidad aflora al oeste de la ciudad de Cusco en los flancos del anticlinal de Puquín, y en los flancos de los anticlinales de Saylla, igualmente lo hace ampliamente al norte de Accha, entre San Juan de Quihuares y Rondocan, en Acomayo y en la zona de la laguna de Pomacanchis.

Es un conjunto de más de 150 metros granoestrato creciente de lutitas, areniscas de color rojo y conglomerados, estos últimos formados por la erosión de costras calcáreas y calizas. Los bancos areno-conglomerádicos son canalizados y presentan laminaciones oblicuas curvas. La evolución vertical indica que las facies pelíticas lacustres y de llanura de inundación, pasan gradualmente a las facies arenoconglomerádicas de un sistema fluvial débilmente entrelazado de procedencia SO. En efecto, hacia Accha y particularmente en Ccochirihuay se puede apreciar conglomerados gruesos que indican la proximidad a las zonas de aporte.

2.8.4. Formación Kayra (Eoceno Inferior)

Descrita por Córdova (1986), aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Igualmente lo hace en el sinclinal de Ancaschaca, en Yaurisque-Paruro, en el sinclinal de San Lorenzo y en el sector de Cusibamba-Sanka.

Está esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. Hacia el sur las facies se hacen más gruesas y aparecen los conglomerados. La formación acaba con facies areno-pelíticas de llanura de inundación y canales divagantes. Las paleocorrientes indican que los aportes proceden del sur y suroeste. El espesor de esta unidad varía entre 2000 y 3000 m

2.8.5. Formación Chincheros (Plioceno)

Formación Chincheros (Cabrera, 1988) o Pumamarca (Córdova et al., 1994), aflora en la ladera norte del valle de Cusco, donde sobreyace a las formaciones Maras y Ayavacas. Está conformada por secuencias fluvio torrenciales.

La Formación Chincheros, por su composición litológica y color, es a veces confundida con un conjunto caótico bastante deformado de la Formación Maras. Está constituida de brechas que tienen una matriz arcillo-arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen la Formación Chincheros provienen de la erosión de las formaciones Maras, Ayavacas y Vilquechico, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores.

La Formación Chincheros presenta un espesor variable con un máximo de 200 metros y está compuesta por secuencias grano decrecientes y estrato-decrecientes de segundo orden (Cabrera, 1988).

Esta unidad evoluciona de secuencias torrenciales interestratificadas con brechas en la parte intermedia, a medios fluvio-torrenciales con elementos ligeramente redondeados en la parte superior.

2.8.6. Formación San Sebastián (Cuaternario)

La Formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916), en la Depresión de Cusco, donde sobreyace al basamento Cretácico y Terciario, así como a la Formación Chincheros. Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988): la primera grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatomíticos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda de tipo grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca. Este cierre está mostrado por la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias (Cabrera, 1988).

En la depresión de Ccatca también se ha identificado a la Formación San Sebastián y denominada Formación Ccatca por Cabrera (1998). Se trata de sedimentos esencialmente fluvio-lacustres que tienen un espesor de 70 m. Las facies proximales están ubicadas en la parte noroccidental de la cuenca y se trata de secuencias torrenciales y ríos que evolucionan a secuencias fluvio-lacustres en la parte superior y también lateralmente hacia el oriente donde aparecen las facies lacustres y palustres.

Esta unidad geomorfológica típicamente presenta una mezcla de fragmentos de roca y suelo, lo que resulta en una estructura heterogénea y una variabilidad en la compactación y la resistencia del terreno. En el contexto de estudios sísmicos, estas características pueden influir en la amplificación de las ondas sísmicas, ya que la composición y la disposición de los sedimentos afectan la manera en que las ondas sísmicas se propagan y se amplifican.

2.10. Neotectónica

La neotectónica es una rama de la geología que estudia las deformaciones de la corteza terrestre que han ocurrido en tiempos geológicos recientes, generalmente durante los últimos millones de años hasta la actualidad. En una región tectónicamente activa como Cusco, es de gran importancia para la evaluación de riesgos sísmicos proporcionando información crucial para evaluar y comprender los eventos sísmicos.

2.10.1. Sistemas de Fallas Cuaternarias y Activas en la Región de Cusco

Según la división morfoestructural tradicional, la región Cusco forma parte de oeste a este de la cordillera Occidental, el Altiplano, la cordillera Oriental y el frente orogénico o zona subandina, cada una de estas zonas limitadas por grandes sistemas de fallas con orientaciones paralelas a la cadena andina y con características estructurales propias. Trabajos recientes sobre dominios geotectónicos del territorio peruano (Carlotto et al., 2010) sugieren que el Cusco se localiza en la terminación noroeste del Altiplano peruano-boliviano y estaría ubicado entre la cordillera Occidental, Altiplano occidental, Altiplano oriental, cordillera Oriental y zona subandina; siendo el Altiplano, en este lugar, la zona más estrecha que se encuentra limitada por las cordilleras Occidental y Oriental.

2.10.1.1. Sistema de Fallas Zurite-Cusco-Urcos-Sicuani

A lo largo de este sistema de fallas, aparentemente de geometría subvertical, se observan escarpes de fallas que cortan depósitos cuaternarios, indicando su actividad o reactivación por segmentos (Benavente et al., 2013).

2.10.1.1.1. Falla de Tambomachay.

La Falla Tambomachay se extiende con dirección N 120° E a lo largo de 20 kilómetros, limitando una cuenca rellena por depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Es una falla geológica activa con cinemática normal y capaz de generar sismos de magnitud máxima de 7.0 Mw; así lo señala el boletín geológico N° 88 de la serie C “Expresión geomorfológica de tectónica activa y paleosismología en el Cusco: Caso Falla Tambomachay”, realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

El segmento oeste se caracteriza por estar compuesto de un escarpe principal rectilíneo degradado o erosionado con desplazamientos verticales de hasta 100 metros y escarpes secundarios mejor conservados afectando depósitos aluviales y morrenas de geometría sinuosa, lo que sugiere un ángulo de buzamiento bajo de estas fallas secundarias

Trabajos sobre el peligro sísmico por la falla Tambomachay indican que se trata de una estructura activa desde el último millón de años (Cabrera, 1988; Benavente et al., 2010; y Rosell et al., 2023), afirmación que se sustenta en la sismicidad superficial en el área de influencia de la falla y que es registrada con mayor frecuencia durante los años 2010, 2011 y 2012 por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Futuras rupturas en la Falla de Tambomachay tienen el potencial de generar sacudidas sísmicas a intensidades de al menos VII en la escala de Mercalli modificada en toda la cuenca de Cusco. Dada la reciente expansión de la ciudad hacia las laderas empinadas que rodean los márgenes de la cuenca, particularmente alrededor de las colinas Sencca (Rosell et al., 2023). Las colinas Sencca están ubicadas encima del Barrio Cruz Verde Quehuepay.

2.10.1.1.2. Falla Cusco.

Es una falla cuaternaria activa que se debe tener en cuenta en las evaluaciones de Ordenamiento Territorial, por emplazarse en el medio de la cuenca del Cusco. Tiene una orientación NO-SE, se emplaza longitudinalmente a lo largo del valle del Cusco. Esta falla presenta una orientación noroeste-sureste y afecta a depósitos cuaternarios, por lo que se le asigna una edad vinculada al Pleistoceno Superior. (Benavente et al., 2013).

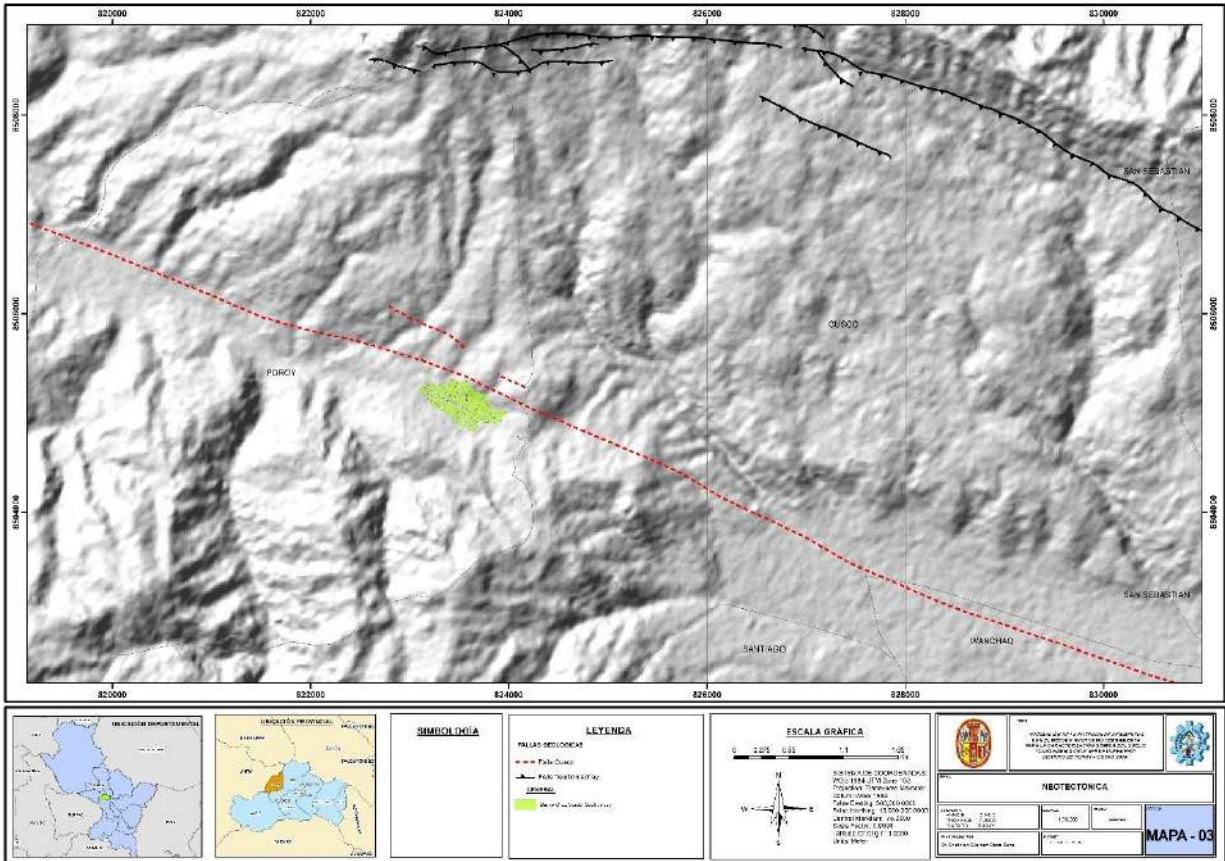
Esta falla separa en parte el Altiplano de la zona intermedia con la Cordillera Oriental. Actualmente esta estructura no muestra signos de reactivaciones recientes, sin embargo, durante el sismo del 21 de mayo de 1950 se observaron desplazamientos en terrenos recientes que afectaron la Formación San Sebastián. De acuerdo a lo que muestra la foto de Ericksen et al. (1954), una hipótesis plantea que las estructuras serían una consecuencia de la reactivación de la falla Cusco (Carlotto et al., 1996). Sin embargo, la relación existente entre estas grietas y la falla es algo que carece de base científica (Combey et al., 2024).

En consecuencia, la actividad de la falla Cusco demostraría la existencia de una fuente sismogénica dentro del valle del mismo nombre, lo cual aumentaría el riesgo sísmico de la ciudad del Cusco y también de las poblaciones del Bajo Huatanay.

A nivel de la localidad de Poroy, se puede apreciar el escarpe de falla que se encuentra afectando depósitos coluviales y aluviales con movimiento de tipo normal, estos depósitos se encuentran en contacto fallado con la formación Maras.

A pesar de la actividad antrópica, se determinó que la falla Cusco muestra reactivaciones cuaternarias, siendo así una estructura con una historia larga e importante en el tiempo geológico; debido a su ubicación, en la ciudad del Cusco, es necesario realizar estudios detallados con la finalidad de caracterizar su potencial sismogénico (Benavente et al., 2013). Sin embargo, la actividad holocena de esta falla no está establecida y su ubicación exacta aún está por definirse, además, varias evidencias apuntan a una línea de falla que pasa por el valle de Cusco con dirección a Poroy (Combey et al., 2024).

Ilustración 6 Mapa Neotectónico



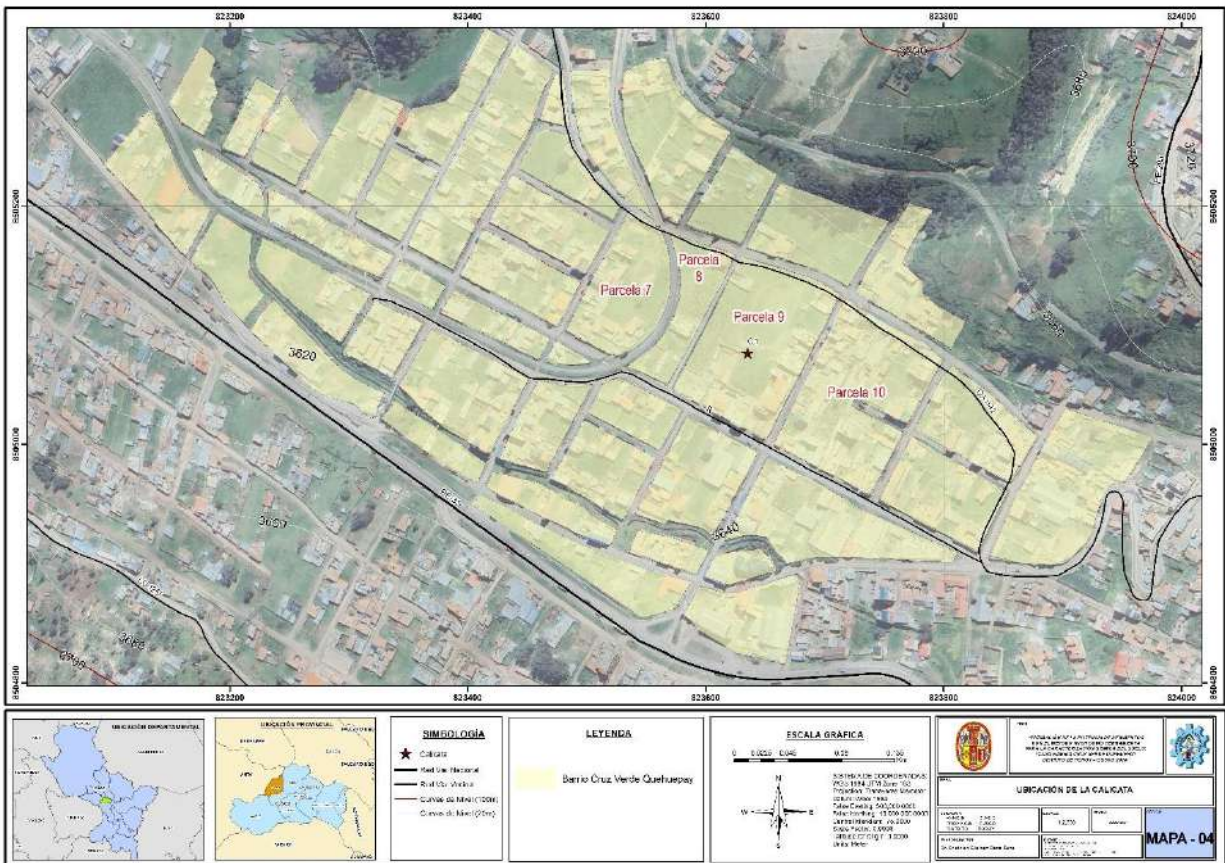
Nota. El mapa muestra la ubicación de las fallas geológicas presentes en el valle de Cusco. Se puede observar la cercanía en la proyección de la Falla Cusco al Barrio Cruz Verde Quehuepay.

La relación entre la falla Cusco y la falla Tambomachay se destaca principalmente por su potencial peligro sísmico. La falla Tambomachay, con su capacidad para generar sismos de hasta 7.0 Mw, presenta un historial de actividad significativa y es una fuente de riesgo importante en la ciudad de Cusco. Por otro lado, aunque la falla Cusco no ha mostrado signos recientes de reactivación, su historia geológica de movimientos y su ubicación en una zona densamente poblada implican un peligro potencial considerable.

2.11. Estudio de Suelos

En febrero de 2020, se llevó a cabo un estudio geotécnico mediante la ejecución de una calicata en el Barrio Cruz Verde, en la Asociación de Vivienda Cruz Verde, Parcela N° 09 (Ilustración 7), en Poroy, Cusco. Este estudio formó parte del proyecto "Construcción de Vivienda Familiar", solicitado por el Sr. Cirilo Huaman Aucaylla. La calicata, identificada como C-1, se excavó hasta una profundidad de 2 metros con el propósito de evaluar las propiedades geotécnicas del suelo. El análisis fue esencial para determinar la viabilidad y seguridad de la cimentación de la estructura propuesta. La consultora J&T INGEOTECNIA SAC, especializada en mecánica de suelos, concreto y materiales, fue la responsable de realizar el estudio, garantizando el rigor científico y técnico necesario para el desarrollo del proyecto.

Ilustración 7 Ubicación de la Calicata



Nota. El mapa muestra la ubicación espacial de la calicata, específicamente en la parcela N°9 del Barrio Cruz Verde Quehuepay.

2.11.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo en relación con su peso seco. En el proyecto "Construcción de Vivienda Familiar" en el Barrio Cruz Verde, se midió un contenido de humedad natural de 12.47%.

2.11.2. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico es un proceso que determina la distribución de tamaños de partículas en una muestra de suelo. En el caso del proyecto en la Asociación de Vivienda Cruz Verde, se encontró que el 46.2% de la muestra pasa el tamiz #200, indicando una alta proporción de partículas finas como limos y arcillas.

2.11.3. Prueba de Penetración Estándar (SPT)

La SPT identificó tres estratos de suelo arcilloso poco plástico hasta una profundidad de 2 metros, sin evidenciar la presencia de un nivel freático. Estos datos indican que la resistencia del suelo en estos estratos es relativamente baja, lo cual puede influir en la amplificación sísmica observada mediante el HVSR. La falta de nivel freático sugiere una menor influencia del agua en la variabilidad de las propiedades del suelo, lo que puede resultar en una respuesta sísmica más uniforme. Al integrar estos resultados con el HVSR, se puede inferir cómo las propiedades mecánicas del suelo identificadas por la SPT afectan la resonancia y la amplificación sísmica medida por el HVSR.

2.11.4. Propiedades Mecánicas del Suelo

Las propiedades mecánicas del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, son fundamentales para evaluar la capacidad del suelo para resistir cargas. En el caso del Barrio Cruz

Verde, la cohesión efectiva del suelo se determinó en 0.038 kg/cm^2 y el ángulo de fricción interna en 32.56° .

2.11.5. Clasificación del Suelo

La clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y la clasificación AASHTO proporciona una descripción estándar del tipo y calidad del suelo. El suelo del Barrio Cruz Verde se clasificó como (SC) arena arcillosa (USCS) y MALO (AASHTO). La clasificación USCS indicó una combinación de arena y partículas finas con comportamiento cohesivo, mientras que la clasificación AASHTO advirtió de una calidad baja para su uso en infraestructura sin tratamiento adicional.

2.12. Antecedentes

2.12.1. Antecedentes Internacionales

Fazriati et al. (Mataram, Indonesia, 2023) “Análisis de la relación espectral horizontal a vertical (HVSr) de los datos sísmicos pasivos sobre litología aluvial: un ejemplo del borde de la cuenca de Bandung”. El objetivo principal de este estudio fue analizar la relación espectral horizontal a vertical (HVSr) de datos sísmicos pasivos para caracterizar la litología aluvial en el borde de la cuenca de Bandung. Específicamente, se buscó identificar la frecuencia dominante de oscilación y su relación con el espesor de los sedimentos aluviales. El análisis de las señales de vibración de tres componentes mediante HVSr permitió identificar una frecuencia dominante de oscilación, la cual se correlacionó con el espesor de los sedimentos aluviales. Se concluyó que la frecuencia dominante medida osciló entre 2,5 y 5,0 Hz, lo que correspondió a una variación del espesor de alrededor de 32 a 64 metros con velocidades de ondas de corte entre 280 y 580 m/s. Este estudio se toma como antecedente porque proporciona información importante sobre el uso del método HVSr para caracterizar los sedimentos aluviales, lo cual es relevante para mi

investigación sobre la estimación de la potencia de sedimentos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Los resultados y conclusiones de este estudio ayudaron a contextualizar los propios hallazgos y a entender mejor la relación entre la frecuencia dominante y el espesor de los sedimentos en un contexto sísmico.

Saadi et al. (Orán, Algeria, 2023) “Modelo V_s para la ciudad de Orán, obtenido mediante inversión conjunta de las curvas de dispersión y HVSR”. Enfocaron su estudio en la caracterización del subsuelo de la ciudad de Orán, ubicada en la cuenca del Bajo Cheliff, con el fin de mejorar la evaluación del peligro sísmico en la región. Utilizando mediciones de vibración ambiental en 193 sitios y mediciones de matriz en 15 sitios, aplicaron técnicas HVSR y F-K para investigar las propiedades del suelo. Las curvas HVSR revelaron una variación del pico de frecuencia fundamental entre 0,3 y 7,4 Hz, con un aumento de este a oeste y una amplitud máxima de ~ 6 . Las curvas de dispersión de ondas de Rayleigh obtenidas mediante análisis F-K facilitaron la construcción de un modelo de velocidad de onda de corte y la estimación de la profundidad del lecho rocoso. Este modelo identificó tres capas de sedimentos superpuestas al lecho de roca, con una variación en la velocidad de onda de corte (V_s) de los sedimentos blandos entre 280 y 580 m/s y en el lecho rocoso entre 1600 y 2500 m/s, alcanzando una profundidad máxima de 1050 m al noreste de la ciudad. Estos resultados fueron fundamentales para calcular el factor de vulnerabilidad del suelo (K_g) y el V_{s30} en toda el área, y para proponer una clasificación de suelos y una ley de regresión entre la frecuencia fundamental y la profundidad para toda la ciudad. Este estudio proporciona una valiosa contribución al entendimiento del comportamiento sísmico del suelo en la región, destacando su relevancia para investigaciones relacionadas con HVSR y la potencia de sedimentos. Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona información relevante sobre la caracterización del subsuelo y la respuesta sísmica en una ciudad con presencia

de sedimentos al igual que el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Los métodos y resultados presentados en este estudio son importantes para comprender la estructura del subsuelo, la distribución de las capas de sedimentos y la variación de las velocidades de onda de corte, lo cual es esencial para la investigación sobre la estimación de la potencia de sedimentos y la caracterización de la respuesta sísmica en el área de estudio.

Zahoor (Nueva Delhi, India, 2022) “Evaluación de los efectos del sitio mediante mediciones HVSR a lo largo de la alineación del metro de Srinagar, Jammu y Cachemira”. El objetivo principal del estudio fue evaluar los efectos del sitio en la ciudad de Srinagar, Jammu y Cachemira, utilizando mediciones HVSR (H/V Spectral Ratio). Específicamente, se buscaba investigar la relación entre la frecuencia fundamental (f_0) y la amplitud máxima H/V, así como comparar estos resultados con la velocidad promedio de onda de corte a más de 30 m de profundidad (V_{s30}) obtenida en un estudio previo. Los resultados revelaron que la frecuencia fundamental (f_0) variaba entre 0,21 y 1,16 Hz, con una amplitud máxima H/V que oscilaba entre 2,01 y 5,89. Además, se observaron múltiples picos en las curvas HVSR, indicando la presencia de múltiples contrastes de impedancia dentro del subsuelo. Se encontró que f_0 y V_{s30} no mostraban una correlación directa en la mayoría de los sitios, lo que sugiere que V_{s30} podría no ser un indicador adecuado para la amplificación del sitio. Por lo tanto, el estudio concluyó que se necesitaba adoptar un nuevo procedimiento de caracterización del sitio que incorporara otros parámetros además de V_{s30} . Este estudio se utiliza como antecedente porque ofrece una comprensión profunda de los efectos del sitio en relación con la amplificación sísmica, utilizando mediciones HVSR. Los resultados y conclusiones de este estudio son importantes para mi investigación, ya que proporcionan información relevante sobre la relación entre la frecuencia fundamental (f_0), la amplitud máxima H/V y V_{s30} , así como la importancia de considerar

múltiples parámetros en la caracterización del sitio. Además, las conclusiones del estudio sugieren la necesidad de adoptar enfoques más holísticos en la evaluación del riesgo sísmico y la planificación de infraestructuras.

Ryanto et al. (Batan, Indonesia, 2020) “Estimación del espesor de los sedimentos en el sitio del reactor de potencia experimental de Serpong utilizando el método HVSR”. El objetivo principal del estudio fue estimar el espesor de los sedimentos en el sitio del reactor de potencia experimental de Serpong utilizando el método HVSR (H/V Spectral Ratio). Los autores concluyeron que la ubicación propuesta para el reactor de potencia experimental de Serpong tenía un depósito de sedimentos relativamente bajo, con un espesor estimado de 8,8 metros. Además, compararon esta ubicación con una alternativa y sus alrededores, donde encontraron que el depósito de sedimentos era menor, con un espesor oscilaba de 7 a 12.9 metros. Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona información relevante sobre la aplicación del método HVSR para estimar el espesor de los sedimentos en un sitio específico. Los resultados y conclusiones de este ofrecen una estimación cuantitativa del espesor de los sedimentos, lo que llega a ser útil para la planificación de proyectos, como la ubicación de instalaciones nucleares. Además, demuestra la eficacia y la aplicabilidad del método HVSR en la caracterización del subsuelo, lo cual puede ser relevante para la investigación en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, donde también se utiliza el método HVSR para caracterizar la respuesta sísmica del suelo y evaluar la influencia de los sedimentos en la zona.

Kim et al. (Pohang, Corea del Sur, 2020) “Análisis de microtremor HVSR de estructuras heterogéneas sedimentarias poco profundas en Pohang, Corea del Sur”. El objetivo principal del estudio fue realizar un análisis de microtremor HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) para caracterizar las estructuras sedimentarias poco profundas en Pohang, Corea del Sur. Los autores

indicaron que aplicando la ecuación de frecuencia de resonancia obtenida del método HVSR, pudieron estimar el espesor de la capa sedimentaria en Pohang. Los resultados mostraron que el espesor resultante oscilaba entre 6 y 340 metros con unas frecuencias entre 0.35 y 19.86 Hz. Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona una metodología y resultados relevantes para estimar el espesor de capas sedimentarias poco profundas utilizando el método HVSR. La capacidad para estimar el espesor de estas capas sedimentarias es crucial para comprender la respuesta sísmica del suelo y evaluar el riesgo sísmico en la zona de estudio. Además, la amplia gama de espesores reportados en el estudio resalta la variabilidad en las características del subsuelo, lo cual es importante considerar en investigaciones similares, caso Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Gupta et al. (India, 2020) “Inversión de curvas HVSR utilizando la técnica de optimización global de Monte-Carlo para la caracterización sísmica de sitios”. El estudio se centró en utilizar la técnica de inversión Monte-Carlo para la caracterización sísmica de sitios mediante la inversión de curvas HVSR. El objetivo principal era estimar la velocidad de la onda de corte en el subsuelo y caracterizar las capas geológicas. Los autores indicaron que utilizaron la técnica de inversión Monte-Carlo, que es muy estable, para estimar la velocidad de la onda de corte en el subsuelo. El mejor modelo de velocidad de onda de corte 1D se interpoló en un perfil de velocidad de onda de corte 2D, lo que reveló tres capas diferentes en el subsuelo. La primera capa tenía un espesor de 3 a 12 metros con una velocidad de 400 a 700 m/s, la segunda capa tenía un espesor de aproximadamente 18 metros con una velocidad de 700 a 1150 m/s, y la tercera capa tenía una velocidad de onda de corte superior a 1150 m/s. Además, los resultados mostraron una buena concordancia entre la velocidad de onda de corte 2D y el perfil HVSR en términos de contraste de impedancia. El rango de amplitud máxima de HVSR variaba entre 2,77 y 6,25, y la frecuencia

predominante estaba en el rango de 4,61 a 10,4 Hz. Este estudio se utiliza como antecedente porque demuestra una metodología robusta para la caracterización sísmica de sitios utilizando la técnica de inversión HVSR. Los resultados obtenidos proporcionan información sobre las propiedades del subsuelo, incluyendo la velocidad de la onda de corte y la estructura de capas geológicas, lo cual es fundamental para comprender la respuesta sísmica del suelo y evaluar los riesgos sísmicos. La aplicación de la técnica de optimización global de Monte-Carlo en la inversión HVSR ofrece una herramienta eficaz y estable para investigaciones similares.

Alamri et al. (Rabigh, Arabia Saudita, 2020) “Caracterización del suelo de la ciudad de Rabigh, costa occidental de Arabia Saudita, usando técnicas de inversión HVSR y HVSR”. El objetivo principal del estudio fue caracterizar el suelo de la ciudad de Rabigh, en la costa occidental de Arabia Saudita, utilizando técnicas de inversión HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) y HVSR. Específicamente, se aplicó la técnica de inversión de la respuesta espectral horizontal a vertical para evaluar la velocidad de la onda transversal a 30 m de profundidad (V_{s30}). Los autores realizaron la inversión de la respuesta espectral horizontal a vertical para 40 registros de microtemblores en la banda de frecuencia de 0.41 – 1.68 Hz con amplitudes H/V entre 2 y 4.2. Los valores calculados de V_{s30} obtenidos oscilaron entre 208,5 m/s y 516 m/s. Según el Sistema Nacional de Reducción de Riesgos Sísmicos Caracterización del sitio del suelo del Programa (NEHRP), la ciudad de Rabigh se diferenciaba en dos clases de suelo, C y D, basadas en estos valores de V_{s30} . Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona información sobre la caracterización del suelo similar, ya que, llevando a cabo la investigación en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, en el distrito de Poroy, Cusco, Perú. Ambos estudios utilizan técnicas de inversión HVSR para evaluar las propiedades del suelo.

Anbazhagan et al. (Bengaluru, India, 2019) Estableciendo una correlación empírica entre el espesor del sedimento y la frecuencia de resonancia usando HVSR para la llanura indogangética. El estudio se propuso establecer una correlación empírica entre el espesor del sedimento y la frecuencia de resonancia utilizando el método HVSR en la llanura indogangética. El estudio encontró que la frecuencia de resonancia medida variaba de 0,12 a 3,31 Hz. Se observó una similitud general en la forma de las curvas de frecuencia resonante, con la mayoría cayendo en el rango de 0,17 a 0,44 Hz. Un análisis más detallado reveló que el HVSR a lo largo del borde de la cuenca mostraba una respuesta casi plana con un pequeño pico en la frecuencia más alta, mientras que en el interior de la cuenca se observaba una clara respuesta de pico a una frecuencia más baja. También se registró un aumento en la frecuencia de resonancia con baja amplificación hacia el norte, mientras que en la cuenca sur se observó una baja frecuencia de resonancia con mayor amplificación. Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona una correlación empírica entre el espesor del sedimento y la frecuencia de resonancia utilizando el método HVSR. Los resultados y conclusiones obtenidos por Anbazhagan y colaboradores son relevantes para el estudio, ya que también se utiliza el HVSR para estimar el espesor de sedimentos resaltando la importancia de las frecuencias.

Liang et al. (Guangxi, China, 2018) “La aplicación del método HVSR para detectar el espesor de los sedimentos en el área del colapso kárstico del delta del río Perla, China”. El estudio se propuso aplicar el método HVSR para detectar el espesor de los sedimentos en el área del colapso kárstico del delta del río Perla, China. Los resultados indicaron que el 80% de los socavones en la zona A estaban ubicados en lugares donde el espesor del sedimento era de menos de 16 metros, mostrando intervalos de frecuencia entre 1.44 y 6.88 Hz con espesores entre 7.9 y 39.6 metros. Este fenómeno sugiere que es más probable que ocurran colapsos en regiones con

sedimentos de bajo espesor. Por lo tanto, detectar el espesor del sedimento puede ayudar a delinear áreas potenciales de colapso kárstico. Este estudio se utiliza como antecedente porque proporciona evidencia de cómo el método HVSR puede utilizarse efectivamente para detectar el espesor de los sedimentos en áreas propensas a colapsos kársticos, como el delta del río Perla en China. Los resultados y conclusiones de este estudio son relevantes para la investigación porque resaltan la importancia de detectar el espesor del sedimento como un indicador clave para predecir y delinear áreas potenciales de riesgo.

2.12.2. Antecedentes Nacionales

Minaya et al. (Arequipa, Perú, 2003) “Estudio Geofísico de la Ciudad del Cusco y Zonas de Expansión Urbana para la Elaboración de Mapas de Peligro” El objetivo principal de este estudio fue llevar a cabo un análisis geofísico en la ciudad del Cusco y áreas circundantes, con un enfoque en las zonas de expansión urbana en el distrito de Poroy. El objetivo específico era determinar la estructura del subsuelo, incluyendo velocidades de onda y espesores de capas geológicas, para la elaboración de mapas de peligro sísmico. Se ejecutaron seis perfiles de refracción sísmica, lo que permitió identificar tres estructuras en las áreas de posible expansión urbana en Poroy. Los datos obtenidos fueron clasificados en una tabla (Tabla 4) que incluía valores de velocidades y espesores, proporcionando una base para la elaboración de mapas de peligro sísmico en la región. Este estudio se utiliza como antecedente debido a su relevancia para la caracterización del subsuelo en áreas de posible expansión urbana, incluyendo el distrito de Poroy, que es el área de estudio en mi investigación.

Tabla 4 *Velocidades y Espesores de Poroy*

N°	RS	CAPA 1		CAPA 2		CAPA 3		CAPA 4		TOTAL
		V ₁ (m/s)	Z ₁ (m)	V ₂ (m/s)	Z ₂ (m)	V ₃ (m/s)	Z ₃ (m)	V ₄ (m/s)	Z ₄ (m)	∑ Z (m)
1	42	333.46	3.72	1111.11	5.45	2280.00				9.17
2	43	283.33	0.70	1132.08	9.60	1800.00				10.30
3	44	538.46	2.07	1400.00	10.53	2666.67				12.60
4	45	350.88	1.75	1324.32	6.05	1896.55				7.80
5	46	277.78	1.01	648.65	4.82	1571.43				5.83
6	47	500.00	1.54	1200.00	3.90	1666.67				5.44

N°: Número de perfil de la localidad, V: Velocidad Vp de los diferentes horizontes, RS: Perfil de Refracción Sísmica
Z: Espesores de los diferentes horizontes, ∑ Z: Sumatoria de los espesores

Nota: Esta tabla muestra las diferentes velocidades y profundidades en cada capa. Cabe resaltar que los puntos mas relevantes con respecto a este estudio son los puntos RS 42, 43, 44 (Fuente: Estudio Geofísico de la Ciudad del Cusco y Zonas de Expansión Urbana para la Elaboración de Mapas de Peligro).

PERFIL SÍSMICO 42

1ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 338.46m/s
- Espesor: 3.72m
- Tipo de material: Material orgánico arcilloso

2da Estructura:

- Velocidad sísmica: 1111.11m/s
- Espesor: 5.45 m
- Tipo de material: Material aluvial inconsolidado

3ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 2280.00 m/s
- Espesor: no definido
- Tipo de material: Material aluvial compacto

PERFIL SÍSMICO 43

1ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 283.33 m/s
- Espesor: 0.70 m
- Tipo de material: Material orgánico arcilloso

2da Estructura:

- Velocidad sísmica: 1132.08 m/s
- Espesor: 9.60 m
- Tipo de material: Material aluvial semi-compacto

3ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 1800.00 m/s
- Espesor: no definido
- Tipo de material: Material aluvial compacto

PERFIL SÍSMICO 44

1ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 538.46 m/s
- Espesor: 2.07 m
- Tipo de material: Material areno-arcilloso

2da Estructura:

- Velocidad sísmica: 1400.00 m/s
- Espesor: 10.53 m
- Tipo de material: Material aluvial semi-compacto

3ra Estructura:

- Velocidad sísmica: 2666.67 m/s
- Espesor: no definido
- Tipo de material: Rocas fracturadas

CAPÍTULO III – METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Nivel de la Investigación

El nivel descriptivo es comúnmente utilizado en las primeras etapas de la investigación, especialmente cuando se investigan fenómenos o áreas que no han sido ampliamente explorados. Los estudios descriptivos pueden involucrar la observación, la medición y la presentación de datos de manera sistemática y objetiva (Kerlinger, 2002)

El presente trabajo de investigación de campo corresponde al nivel descriptivo. En este contexto, el estudio se enmarcó dentro del campo de la investigación geofísica, específicamente en la aplicación de la técnica HVSR (H/V Spectral Ratio) para el análisis de microtemores y su comportamiento en un área de interés.

Este estudio buscó caracterizar las propiedades y comportamientos de las ondas sísmicas en el área de estudio. Este enfoque permitió identificar características y el patrón de respuesta de las vibraciones sísmicas, sin intervenir activamente en el entorno.

3.2. Diseño de la Investigación

La investigación observacional de campo es un tipo de investigación científica que implica la recopilación directa de datos en el entorno natural donde se produce el fenómeno de interés. Este enfoque implica observaciones y mediciones directas en el lugar donde ocurren los eventos, en contraste con la investigación de laboratorio, que se lleva a cabo en un entorno controlado. La investigación de campo es especialmente valiosa cuando se busca comprender y analizar fenómenos complejos y contextuales en su entorno natural (Marshall y Rossman, 2014).

La naturaleza de esta investigación se caracterizó por ser de campo, lo que implicó la recopilación directa de datos en el lugar de estudio. La selección de esta metodología se fundamenta en la

necesidad de obtener información empírica y detallada sobre las características sísmicas del área en cuestión, lo cual contribuirá a una comprensión más profunda de los fenómenos geofísicos presentes.

No se realizaron manipulaciones controladas en el entorno de estudio. En lugar de ello, se enfocó en la observación y medición de variables en su contexto natural. Esta elección metodológica se alinea con la naturaleza del fenómeno sísmico, que no puede replicarse en un entorno controlado de laboratorio de manera realista.

En este estudio, se puso especial énfasis en el análisis de los datos recopilados en el campo. La información obtenida a través de mediciones directas de la respuesta espectral de las ondas sísmicas permitió construir un marco detallado de las características geofísicas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Los resultados obtenidos aportarán conocimiento sobre la actividad sísmica en la región, contribuyendo así al conocimiento de la dinámica local del suelo y a la toma de decisiones en términos de mitigación de riesgos.

3.3. Matriz de Consistencia

En el contexto del estudio de “Estimación de la Potencia de Sedimentos con el Método HVSR como Herramienta para la Caracterización Sísmica del Suelo: (Caso Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco 2024)”, la matriz de consistencia (Tabla 5) incluye

Tabla 5 *Matriz de Consistencia*

Problema de investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Población y muestra
<p>Problema general: ¿Cómo estimar la potencia de sedimentos con el método HVSR para la caracterización sísmica del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la frecuencia fundamental del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco? - ¿Cómo es la amplitud H/V en los sedimentos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco? - ¿Qué magnitudes presentan las velocidades de onda en los sedimentos del Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco? 	<p>Objetivo general Estimar la potencia de sedimentos con el método HVSR para caracterizar sísmicamente el suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar la frecuencia fundamental del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco. - Cuantificar la amplitud H/V de los sedimentos suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco. - Estimar las velocidades de onda de los sedimentos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, Distrito de Poroy – Cusco. 	<p>Hipótesis general: La potencia sedimentaria en la caracterización sísmica con el método HVSR revela un espesor considerable, no inferior a 10 metros en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existen picos claros en la gama de frecuencias 1 – 10 Hz, indicadores de una frecuencia fundamental (f_0) compatible con una pequeña cuenca sedimentaria. - Existen amplitudes H/V significativas ($> 2/3$) relacionadas a un contraste de velocidad importante entre la capa de sedimentos y el basamento. - Hay valores de velocidades de ondas de corte bajas ($V_s < 500 \text{ m/s}$) en los primeros metros, asociados a sedimentos blandos. 	<p>Variable independiente Caracterización sísmica</p> <hr/> <p>Dimensión de Medida</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia fundamental (Hz) • Amplitud H/V • Velocidades de onda (m/s) <hr/> <p>Variable dependiente Estimación de la potencia de sedimentos</p> <hr/> <p>Dimensión de Medida</p> <p>Potencia de Sedimentos (m)</p>	<p>Tipo de investigación El tipo de investigación es de campo. El nivel es descriptivo.</p> <p>Diseño de investigación: El diseño de la investigación es no experimental, se analizarán los datos obtenidos en campo.</p>	<p>Población Barrio Cruz Verde Quehuepay.</p> <p>Muestra Estaciones distribuidas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.</p> <p>Técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación de campo no experimental <p>Instrumentos de medición</p> <ul style="list-style-type: none"> - 02 grabadoras de ruido ambiental Minishark - 02 sismómetros triaxiales CMG – 40T <p>Accesorios y software:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 19 fichas de registro - GPS - Computadora portátil - 02 brújulas - Software GEOPSY - Software HV-inv - Cables de conexión

Nota: En la tabla se muestran todos los componentes del estudio correctamente alineados.

3.4. Variables

3.4.1. Variable Dependiente

3.4.1.1. Estimación de la Potencia de Sedimentos

Espesor o grosor de los depósitos de sedimentos que se han acumulado en una determinada área geológica. La potencia sedimentaria por sobre la roca fundamental (bedrock) y la influencia sísmica del tipo de suelo, están asociadas. (Castro et al., 2003).

3.4.2. Variable Independiente

3.4.2.1. Caracterización Sísmica

La caracterización sísmica esta compuesta por los indicadores de frecuencia fundamental (f_0), Amplitud H/V y Velocidad de Onda.

3.4.2.1.1. Frecuencia Fundamental (f_0)

La frecuencia fundamental del suelo es la frecuencia a la cual el suelo vibra con mayor amplitud (Lermo y Chávez-García, 1993). Conocer esta frecuencia es crucial para entender cómo el suelo responderá a las ondas sísmicas. Puede influir en la planificación estructural, especialmente para evitar la resonancia que podría aumentar el impacto de un terremoto.

3.4.2.1.2. Amplitud (H/V)

La amplitud H/V es utilizada en el HVSR para evaluar la respuesta del suelo a diferentes frecuencias. Proporciona información sobre la amplificación sísmica y puede ayudar a identificar la frecuencia de resonancia (García et al., 2010). La amplitud H/V contribuirá a la comprensión detallada de cómo el suelo interactúa con las ondas sísmicas.

3.4.2.1.3. *Velocidades de Onda*

Las velocidades de las ondas sísmicas son indicadores clave de la rigidez y la elasticidad del suelo. Son relevantes para evaluar la propagación de ondas sísmicas en la región (Martínez & López, 2013).

3.4.3. Operativización de Variables

En este estudio HVSR implica definir de manera concreta y medible cada una de las variables. La operativización de variables se representa en la tabla (Tabla 6).

Tabla 6 Operativización de Variables

Variables	Tipo de Variable	Dimensión de Medida	Definición conceptual	Indicadores	Tipo	Escala de medición	Ítem	Definición operacional
Estimación de la potencia de sedimentos	Dependiente	Potencia de sedimentos	Espesor o grosor de los depósitos de sedimentos que se han acumulado en una determinada área geológica. La potencia sedimentaria por sobre la roca fundamental (bedrock) y la influencia sísmica del tipo de suelo, están asociadas. (Castro et al., 2003).	Metros (m)	Numérico Indirecto	Razón	HV-inv	Se medirá mediante la inversión de curvas HVSR. Se determinará el espesor de los sedimentos en diferentes puntos del Barrio Cruz Verde Quehuepay y se registrará como la distancia vertical desde la superficie hasta el lecho rocoso o capa resistente.
Caracterización Sísmica	Independiente	Frecuencia fundamental	Es la frecuencia a la cual el suelo vibra con mayor amplitud (Lermo y Chávez-García, 1993). Conocer esta frecuencia es crucial para entender cómo el suelo responderá a las ondas sísmicas. Puede influir en la planificación estructural, especialmente para evitar la resonancia que podría aumentar el impacto de un terremoto.	Hertz (Hz)	Numérico	Razón	Sismómetro CMG – 40T Grabadora de ruido ambiental Minishark GEOPSY	Se determinará mediante sísmica pasiva HVSR. Se registrarán las frecuencias naturales de vibración del suelo en diferentes ubicaciones del Barrio Cruz Verde Quehuepay, identificando la frecuencia dominante a la cual el suelo responde con mayor amplitud.
		Amplitud H/V	En el contexto del método HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), la amplitud H/V se utiliza para evaluar la respuesta del suelo a diferentes frecuencias. Proporciona información sobre la amplificación sísmica y ayuda a identificar la frecuencia de resonancia del suelo (García et al., 2010).	Milímetros (mm) Micrómetros (µm)	Numérico	Razón	Sismómetro CMG – 40T Grabadora de ruido ambiental Minishark GEOPSY	Se realizarán mediciones de sísmica pasiva tanto en la componente horizontal como en la vertical, y se calculará la relación espectral de amplitud entre ambas. Esto proporcionará información sobre la amplificación sísmica del suelo a diferentes frecuencias.
		Velocidad de onda	La velocidad de onda se refiere a la velocidad a la cual las ondas sísmicas se propagan a través del suelo. Existen velocidades de onda tanto para ondas P (Vp) como para ondas S (Vs). Las velocidades de onda son indicadores clave de la rigidez y elasticidad del suelo, proporcionando información sobre la geología local y las propiedades del suelo (Martínez & López, 2013).	Metros por segundo (m/s)	Numérico indirecto	Razón	HV-inv	Se invertirán las curvas HVSR y se examinará la relación entre las velocidades de onda en las direcciones horizontal y vertical para frecuencias específicas.

Nota.: En la tabla se muestran los conceptos de las variables y su unidad de medida.

3.5. Procesos de Trabajo

La concepción del presente trabajo abordó un estudio HVSR aplicado al Barrio Cruz Verde Quehuepay, con el objetivo de analizar las características geofísicas de esta región. El proceso de investigación se dividió en tres etapas fundamentales: pre campo, campo y post campo, cada una con tareas y procesos específicos que contribuyeron a la obtención de datos valiosos y a la interpretación detallada de la respuesta espectral de las vibraciones sísmicas en el área de interés.

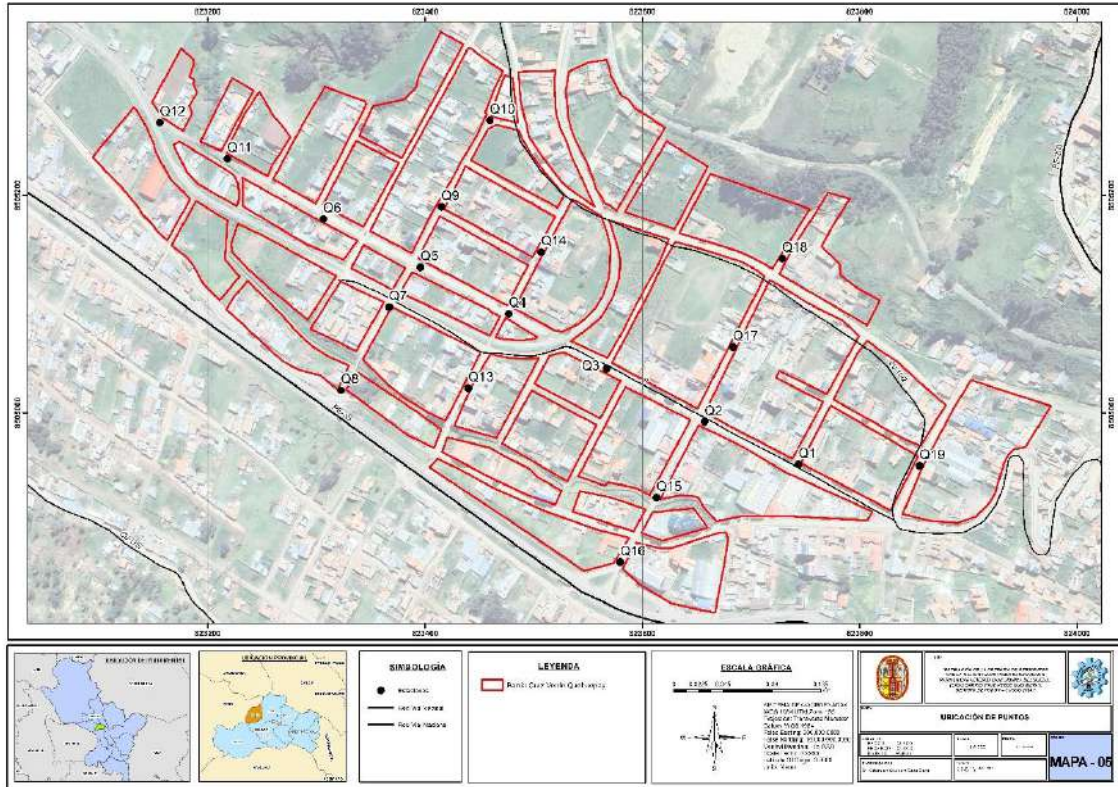
3.5.1. Etapa de Pre Campo

La etapa de pre campo de nuestro estudio HVSR desempeñó un papel fundamental en la planificación y preparación detallada para la recopilación de datos sísmicos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. A continuación, se describen las actividades clave llevadas a cabo durante esta fase:

3.5.1.1. Identificación y Generación de una Malla Regular.

Se llevó a cabo una exhaustiva identificación de puntos de medida distribuidos de manera estratégica de acuerdo a la geometría del Barrio Cruz Verde Quehuepay. La generación de una malla regular (Ilustración 8), compuesta por varios puntos de muestreo, permitió la creación de interpolaciones precisas de los valores de la frecuencia de resonancia del sitio y la amplitud del pico de frecuencia. Esta aproximación espacial proporcionó una visión detallada de las variaciones en la respuesta sísmica del suelo a lo largo del área de estudio.

Ilustración 8 Malla de estaciones en el Barrio Cruz Verde Quehuepay



Nota. Distribución de puntos, esparcidos de acuerdo a la geometría propia del Barrio Cruz Verde Quehuepay.

3.5.1.2. Obtención de Fichas de Registro.

Con el objetivo de documentar de manera sistemática cada punto de muestreo, se obtuvieron fichas de registro detalladas elaboradas por el proyecto SESAME (Ilustración 9). Estas fichas contienen información relevante sobre la ubicación exacta, la fecha y la hora de las mediciones, las condiciones climáticas, la configuración del equipo y cualquier otra información pertinente. Proporcionando una documentación detallada y organizada, mejorando la confiabilidad, la reproducibilidad y la interpretación de los resultados obtenidos a partir de las mediciones sísmicas.

Ilustración 9 Ficha de registro

DATE		HOUR		PLACE	
OPERATOR			UTM ZONE		
X		Y		ALTITUDE	
STATION TYPE		SENSOR TYPE			
STATION #		SENSOR #		DISK #	
FILE NAME				POINT #	
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC. DURATION minutes/seconds	
WEATHER	WIND	<input type="checkbox"/> none	<input type="checkbox"/> weak (5m/s)	<input type="checkbox"/> medium	<input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____
CONDITIONS	RAIN	<input type="checkbox"/> none	<input type="checkbox"/> weak	<input type="checkbox"/> medium	<input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____
Temperature (approx): _____ Remarks: _____					
GROUND TYPE	<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft)	<input type="checkbox"/> gravel	<input type="checkbox"/> mud	<input type="checkbox"/> rock	<input type="checkbox"/> granite (<input type="checkbox"/> sheet <input type="checkbox"/> ball)
	<input type="checkbox"/> asphalt	<input type="checkbox"/> cement	<input type="checkbox"/> concrete	<input type="checkbox"/> paved	<input type="checkbox"/> other _____
<input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks: _____					
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type: _____					
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type: _____					
TRANSIENTS		time	freq	intensity	distance
cars					
trucks					
pedestrians					
other					
		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, aircr...) <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type: _____			
		NEARBY STRUCTURES (trees, poles, buildings, bridges, underground structures...) (description, height, distance)			
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz (if compared to the field)	

Nota. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral ratio technique of Ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation (SESAME, 2004).

3.5.1.3. Acceso a Equipos y Sensores.

Para garantizar la calidad de la recopilación de datos en campo, se tuvo acceso a estos equipos especializados a través de un apoyo voluntario al Dr. Andy Combey durante una adquisición de data geofísica en la plaza mayor del Cusco. Esto incluyó dos sismómetros de alta precisión (CMG-40T) y dos grabadoras de ruido ambiental Minishark – KEAS (Mini 17 y Mini 36). Estos instrumentos fueron esenciales para capturar y registrar las vibraciones sísmicas de manera fidedigna, contribuyendo así a la robustez de los resultados obtenidos.

3.5.1.4. **Revisión de las Condiciones Geológicas.**

Se realizó una revisión detallada de las condiciones geológicas en la zona de muestreo, con un enfoque particular en la estratigrafía del suelo. Comprender la distribución de la geología local fue esencial para interpretar adecuadamente las mediciones sísmicas y para identificar posibles influencias en la respuesta del suelo.

3.5.1.5. **Elaboración de Presupuesto y Recursos Materiales.**

Se llevó a cabo una cuidadosa planificación financiera y logística, que incluyó la elaboración de un presupuesto detallado y la identificación de los recursos materiales necesarios para la ejecución de la investigación. Este enfoque garantizó una gestión eficiente de los recursos disponibles y aseguró que la investigación se lleve a cabo de manera efectiva y dentro de los límites establecidos.

3.5.2. *Etapa de Campo*

La etapa de campo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay fue enriquecida y fortalecida gracias al respaldo del Dr. Andy Combey y la colaboración del prestigioso Instituto francés, CEREMA: Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Centro de estudios y peritaje sobre riesgos, medio ambiente, movilidad y desarrollo). Estas alianzas estratégicas potenciaron la calidad técnica y científica de nuestro estudio HVSR, permitiendo la implementación de procedimientos avanzados y el acceso a recursos especializados.

3.5.2.1. **Reconocimiento Geológico**

Durante la etapa de reconocimiento geológico en la visita al Barrio Cruz Verde Quehuepay, se identificaron claramente sedimentos pertenecientes a la Formación San Sebastián y depósitos coluvio – aluviales que conforman la estructura geológica de la región.

3.5.2.2. **Instalación de Sismómetros.**

La instalación de los sismómetros en terreno firme representó el inicio de la recopilación de datos en campo. Siguiendo las orientaciones del Dr. Andy Combey y utilizando una brújula, los sismómetros fueron colocados en direcciones norte en las ubicaciones previamente seleccionadas en la etapa de pre campo. Esta cuidadosa orientación garantizó mediciones coherentes y comparables, estableciendo las bases para la obtención de resultados precisos.

Se utilizaron sismómetros triaxiales de alta precisión del modelo CMG – 40T (Ilustración 10) para realizar las mediciones de microtemores. Estos instrumentos, conocidos por su sensibilidad y capacidad para capturar vibraciones sísmicas de baja amplitud, fueron seleccionados para garantizar la recopilación de datos precisos y detallados.

Cada sismómetro fue conectado a grabadoras de ruido ambiental MINISHARK – KEAS (Ilustración 11), estableciendo así un sistema integrado para la captura y registro de las mediciones sísmicas. Esta configuración permitió registrar la respuesta espectral de las vibraciones sísmicas a lo largo de periodos de 25 minutos en cada estación. Este tiempo óptimo permitió capturar variaciones temporales en la respuesta sísmica del suelo, asegurando un conjunto de datos completo y representativo.

Ilustración 10 *Sismómetro CMG – 40T*



Nota. Sismómetro CMG – 40T conectado a la grabadora de ruido ambiental MiniShark – Keas. Imagen propia

Ilustración 11 Grabadora de ruido ambiental MiniShark – KEAS



Nota. Grabadora de ruido ambiental Minishark – Keas configurada para un periodo de 25 min. Imagen propia.

3.5.2.3. **Captura de Coordenadas y Registro Fotográfico.**

Cada estación de medición fue registrada meticulosamente mediante la captura de coordenadas UTM. Además, se llevó a cabo un registro fotográfico detallado, proporcionando documentación visual que será esencial para la posterior interpretación de los datos y la validación de las condiciones ambientales en el momento de la medición.

3.5.2.4. **Control de Calidad en la Recopilación de Datos.**

Durante la recopilación de datos en campo, se implementó un riguroso control de calidad para garantizar la integridad y confiabilidad de las mediciones. Se aseguró el correcto funcionamiento de los sensores y se supervisó la captura de mediciones de alta calidad. Cualquier anomalía o problema técnico fue abordado inmediatamente para garantizar la consistencia y validez de los datos recopilados.

3.5.2.5. **Llenado de Fichas de Registro.**

Paralelamente a la recopilación de datos, se llevó a cabo el llenado detallado de fichas de registro con los datos obtenidos. Estas fichas contuvieron información clave sobre cada estación de medición, condiciones ambientales y otros detalles relevantes. La documentación exhaustiva en el campo facilita la posterior interpretación y análisis de los resultados.

3.5.2.6. **Desmontaje de Equipos.**

Una vez finalizada la recopilación de datos en cada estación, se procedió al desmontaje cuidadoso de los equipos. Este proceso se llevó a cabo con la misma atención y precisión que la instalación, asegurando que los instrumentos se manejaran de manera adecuada y se preservara la

integridad de los datos registrados. Los datos tomados en tiempo real fueron almacenados en una memoria SD para después ser procesados e interpretados.

3.5.2.7. **Reconocimiento de la Geología Local**

Durante la etapa de reconocimiento de la geología local en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, se llevó a cabo el levantamiento de una columna estratigráfica que reveló la presencia de características en sedimentos posiblemente correspondientes a la formación San Sebastián. Este hallazgo indica la presencia histórica de cuerpos de agua en la región, durante ciertos períodos geológicos.

Se encontraron depósitos coluvio – aluviales demostrando el dinamismo de la cuenca alimentado por las quebradas aledañas. Además se ubicó el afloramiento de la Formación Puquín, una unidad geológica común en la zona, fue reconocida por la presencia lutitas oscuras.

El reconocimiento de estas características geológicas fue importante para comprender la distribución geológica del área y su influencia en la caracterización sísmica.

3.5.3. *Etapa de Post Campo*

La etapa de post campo en el estudio HVSR fue importante para transformar los datos recopilados en campo en información útil y significativa. A continuación, se describen las actividades que fueron llevadas a cabo durante esta fase:

3.5.3.1. **Organización de los Puntos Tomados.**

En el marco de nuestro proyecto HVSR, hemos tomado medidas en 19 puntos estratégicos de la zona para comprender la respuesta sísmica del suelo.

Esta sección se centra en la presentación y organización de datos clave recopilados en cada punto a través de una tabla (Tabla 7), que comprenden información importante como las coordenadas específicas en el barrio, la fecha de la toma de datos, la hora de inicio de la grabación, la grabadora utilizada y un código único asociado a cada punto de medición.

Tabla 7 *Tabla con características de los diferentes puntos tomados en el Barrio Cruz Verde Quehuepay*

N°	X	Y	ZONA	Fecha	Hora de inicio	Grabadora	CÓDIGO
1	823743.51	8504952.6	18	26/07/2023	8:19 a. m.	Mini 36	Q1
2	823657.12	8504991.59	18	26/07/2023	8:23 a. m.	Mini 17	Q2
3	823566.88	8505040.43	18	26/07/2023	8:50 a. m.	Mini 36	Q3
4	823476.86	8505091.09	18	26/07/2023	9:09 a. m.	Mini 17	Q4
5	823395.79	8505133.91	18	26/07/2023	9:40 a. m.	Mini 36	Q5
6	823306.25	8505178.21	18	26/07/2023	9:49 a. m.	Mini 17	Q6
7	823367.06	8505097.13	18	26/07/2023	10:35 a. m.	Mini 17	Q7
8	823322.53	8505020.66	18	26/07/2023	10:35 a. m.	Mini 36	Q8
9	823415.04	8505189.46	18	26/07/2023	11:06 a. m.	Mini 36	Q9
10	823459.45	8505268.97	18	26/07/2023	11:15 a. m.	Mini 17	Q10
11	823218	8505233.66	18	26/07/2023	12:07 p.m.	Mini 17	Q11
12	823155.97	8505266.91	18	26/07/2023	11:55 a. m.	Mini 36	Q12
13	823439.71	8505022.52	18	26/07/2023	1:35 p. m.	Mini 17	Q13
14	823506.82	8505147.85	18	26/07/2023	1:32 p. m.	Mini 36	Q14
15	823612.94	8504921.92	18	26/07/2023	2:11 p. m.	Mini 17	Q15
16	823579.54	8504862.53	18	26/07/2023	2:18 p. m.	Mini 36	Q16
17	823683.26	8505060.52	18	26/07/2023	3:01 p. m.	Mini 17	Q17
18	823728.73	8505141.88	18	26/07/2023	2:53 p. m.	Mini 36	Q18
19	823855.24	8504951.09	18	26/07/2023	3:27 p. m.	Mini 17	Q19

Nota: En esta tabla se encuentran representadas las coordenadas UTM de los 19 puntos tomados en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Indicando los códigos de cada estación y la hora exacta de inicio de grabación.

3.5.3.2. **Aplicación del software GEOPSY y Procesamiento de Datos.**

Se utilizó el software GEOPSY (Wathelet et al., 2020) para el procesamiento de datos recopilados en campo. Este software especializado en geofísica permitió analizar y visualizar la

respuesta espectral del suelo. A través del software GEOPSY, se generaron curvas HVSR, proporcionando una representación gráfica de la variación de amplitud en función de la frecuencia. La calidad de las mediciones y la ausencia de fuentes de ruido persistentes (máquinas, obras, etc.) se comprobaron calculando el espectro de Fourier de cada uno de los 19 puntos.

Para la correcta aplicación del software se utilizó la siguiente tabla (Tabla 8) de parámetros más relevantes utilizados en Geopsy (tiempo, procesamiento y salida) y las configuraciones correspondientes utilizadas en nuestro estudio.

Tabla 8 *Parámetros utilizados en el software Geopsy*

Parámetros en Geopsy		Configuración aplicada
Time windows	Length	Exactly 40s
	Bad Sample	Relative
	Anti – triggering	no
Processing	High – pass filter	no
	Taper	
	Window Type	• Turkey
	Width	• 5.00%
	Smoothing	
	Window type	• Konno - Ohmachi
	Width	• Log 20.00%
	Y Scale type	• Linear
	Horizontal components	
	• Total horizontal energy	
	Salida	Frequency range
Step		Log
Number of frequency samples		Step value: 1.02500

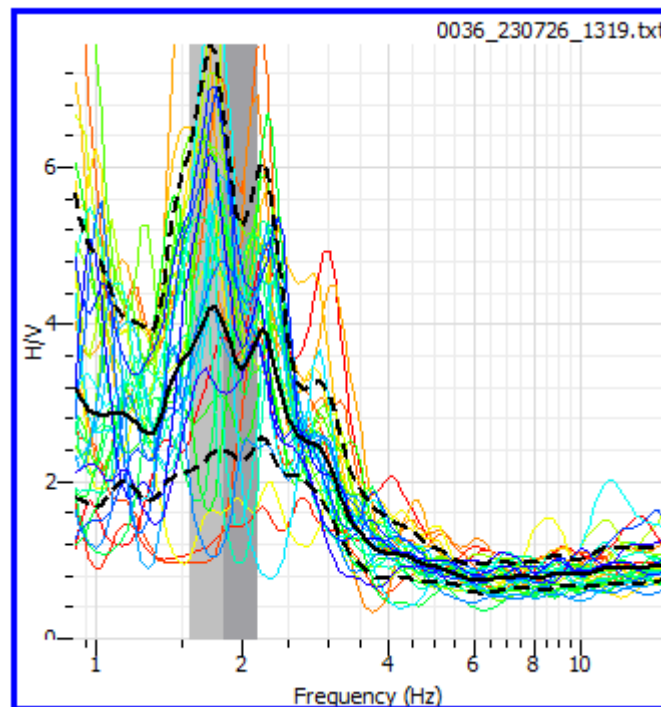
Nota: En esta tabla se muestra la configuración de parámetros utilizados en el software GEOPSY

Al momento del procesamiento, se consideraron las curvas que presentaron picos claros (Ilustración 12). Se observaron 17 puntos con curvas definidas; sin embargo, se observaron 2 puntos con picos nulos representando curvas prácticamente planas.

La observación de ausencias de pico en las curvas HVSR (H/V Spectral Ratio) en los puntos Q8 y Q12 puede sugerir la posibilidad de cercanía al basamento rocoso. En el contexto de este estudio HVSR, los picos en las curvas suelen indicar resonancias o modos de vibración del subsuelo, y la presencia de picos nulos podría sugerir una respuesta diferente que podría estar relacionada con la existencia de material rocoso en esas ubicaciones.

La cercanía al basamento rocoso puede influir significativamente en la propagación de ondas sísmicas, y esta variación en la respuesta sísmica puede ser capturada por las curvas HVSR

Ilustración 12 Curva HVSR del punto Q1



Nota. La barra vertical gris representa el pico máximo de la frecuencia fundamental (f_0) en función de su amplitud

HV. Imagen propia

3.5.3.3. **Inversiones de Datos HVSR Con el Software HV-Inv.**

A partir de las mediciones HVSR se pueden inferir propiedades del subsuelo, como la velocidad de onda y la estructura del mismo. Este es un campo especializado y hay diversas metodologías y enfoques para realizar la inversión de datos HVSR (Tsuji et al., 1997).

Se aplicó el software HV-inv (García et al., 2016) para realizar inversiones de datos HVSR. Este proceso implicó estimar la profundidad del basamento rocoso debajo de la cobertura sedimentaria y las diferentes magnitudes en sus velocidades de onda. La inversión de datos proporcionó información sobre la estructura geológica subsuperficial y contribuyó a la comprensión de las características del subsuelo.

El proceso de inversión de las curvas HVSR implicó la aplicación de técnicas matemáticas y modelos para derivar información cuantitativa sobre las capas del subsuelo. Sin embargo, en el contexto del estudio HVSR el problema inverso implicó ajustar un modelo teórico a la curva HVSR observada.

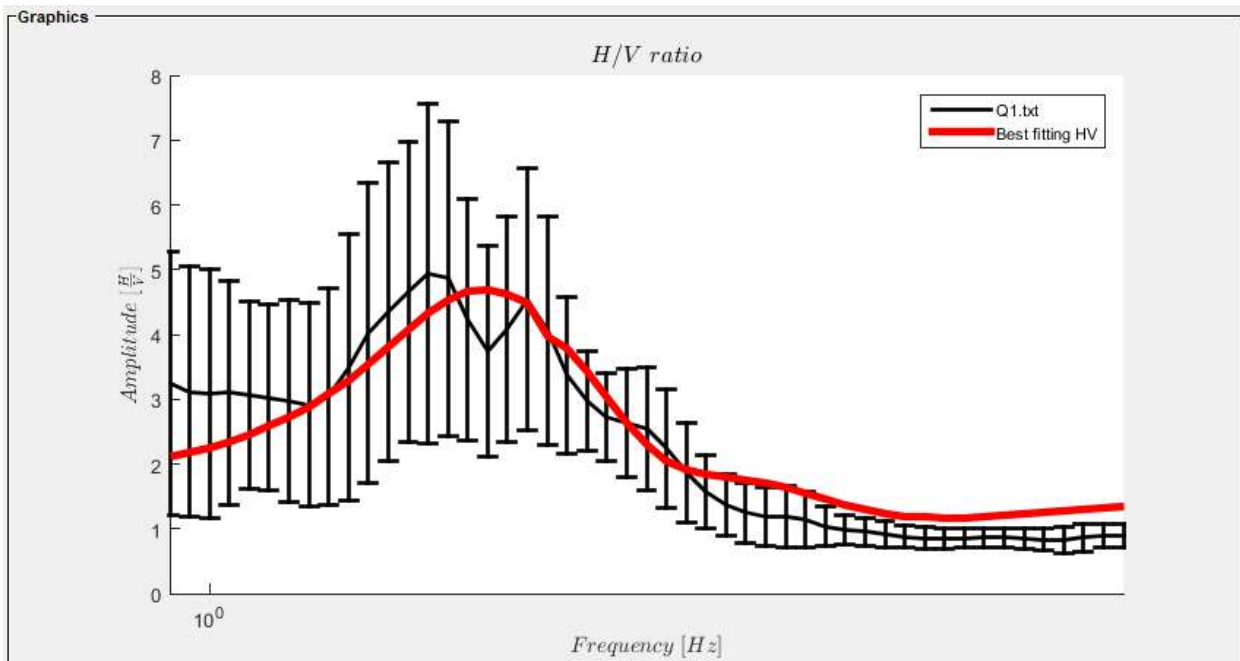
Se utilizaron modelos inversos para encontrar los parámetros que mejor describieron la respuesta del suelo. Esto implicó modificar los parámetros del modelo teórico de manera iterativa hasta lograr que la curva sintética generada por el modelo coincidiera de manera óptima con la curva HVSR observada (Ilustración 13). Fue muy importante encontrar un conjunto de parámetros que minimizó la diferencia entre la curva sintética y la observada.

El "problema inverso" presentó desafíos significativos, ya que, en muchos casos, hubo múltiples combinaciones de parámetros que condujeron a resultados similares. Esto se debe a la no unicidad

de las soluciones, lo que significa que diferentes conjuntos de condiciones iniciales pueden producir resultados que se ajusten de manera similar a las observaciones.

La resolución del problema inverso implicó un análisis detallado y cuidadoso, así como la consideración de la incertidumbre asociada con los resultados.

Ilustración 13 Inversión realizada en el punto Q1



Nota. La inversión realizada se representa mediante la curva sintética (Best fitting HV) asemejándose a la curva real (Q1.txt). Imagen propia

En el proceso de inversión, se realizaron varios intentos y se consideró la variación de parámetros en función del valor resultante con menor desviación estándar. Se llevó a cabo una optimización de parámetros con el objetivo de encontrar aquellos que mejor se ajustaran a los datos y minimizar la desviación estándar, buscando así obtener un conjunto óptimo de parámetros (Tabla 9) que pudiera ser utilizado en todos los puntos de estudio. Este enfoque se llevó a cabo de manera sistemática, sin restringir demasiado la libertad del modelo con el objetivo de realizar varios intentos con diferentes rangos de parámetros para determinar hacia qué valores convergían las

inversiones, garantizando así la obtención de un conjunto consistente de resultados para todos los puntos considerados en la investigación.

Tabla 9 *Parámetros utilizados*

Parámetros						
Capa	Depth min (m)	Depth max (m)	Vp min (m/s)	Vp max (m/s)	Vs min (m/s)	Vs max (m/s)
1	0.00	100.00	0.00	6000.00	150.00	500.00
2	0.00	200.00	0.00	6000.00	600.00	1200.00
3	0.00	300.00	0.00	6000.00	1000.00	2000.00
4	0.00	00.00	0.00	6000.00	1500.00	3400.00

Nota: Estos parámetros se utilizaron para un modelo de 4 capas, y es importante destacar que la interfaz entre el basamento rocoso y los sedimentos, se estimó entre la capa 1 y la capa 2. Además, los valores de velocidad de corte (Vs) obtenidos para la segunda capa superaron los 700 m/s, considerado como “engineering bedrock” (Gupta et al., 2021).

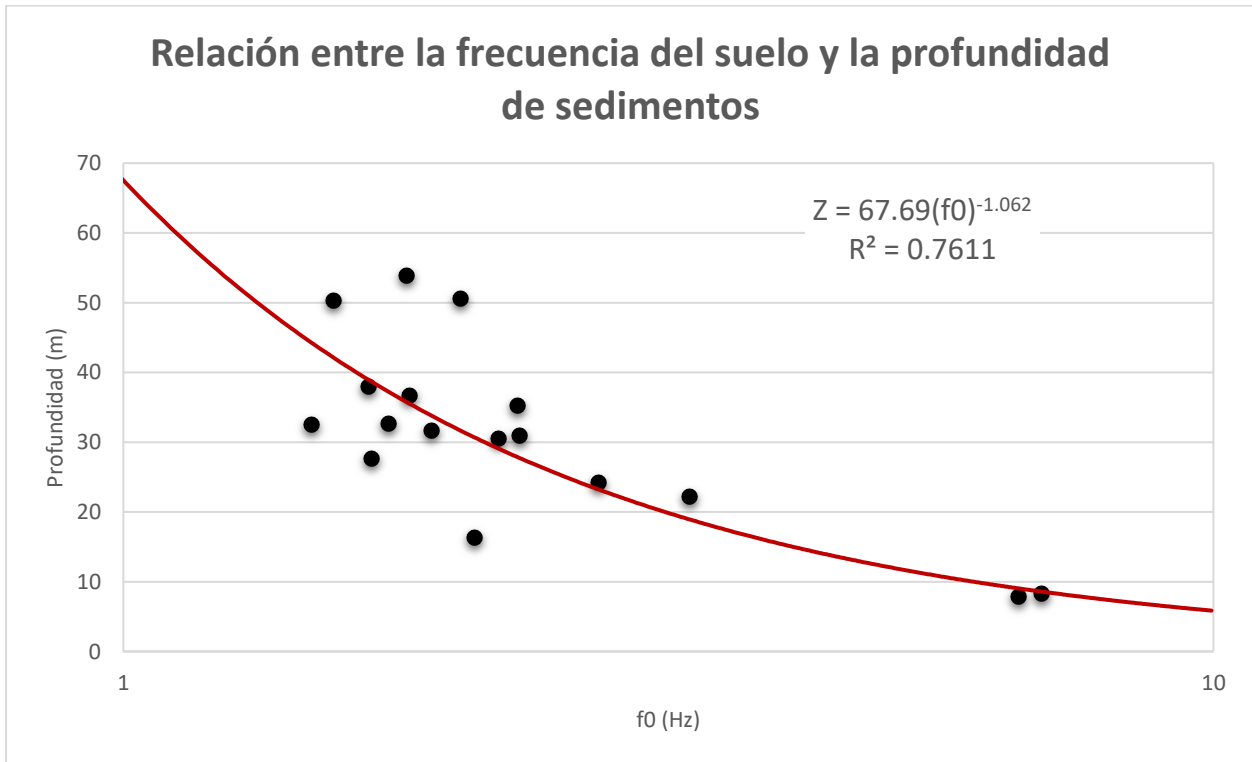
3.5.3.4. Análisis estadístico

La aplicación del método Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) ha emergido como una herramienta poderosa en la caracterización geofísica de la subsuperficie, particularmente en la estimación de la profundidad de capas de sedimentos. En el marco de este estudio, se ha llevado a cabo la inversión de las curvas HVSr, generando así una valiosa base de datos que revela información detallada sobre la estructura del subsuelo.

Sin embargo, para enriquecer la interpretación de estos datos y profundizar en la comprensión de la variabilidad subsuperficial, fue imperativo adoptar un enfoque estadístico que considere la relación entre la frecuencia fundamental y la profundidad. En este contexto, la modelización

mediante una función potencial (ver Ilustración 14) surgió como una herramienta matemática idónea para describir y cuantificar dicha relación.

Ilustración 14 *Gráfica de dispersión de datos entre la frecuencia fundamental y la profundidad de los sedimentos*



Nota. El objetivo principal de este análisis estadístico fue mostrar patrones significativos que puedan ser modelados eficazmente por funciones potenciales para el cálculo de valores teóricos en la capa de sedimentos (Z), permitiendo así una caracterización más detallada de la variabilidad de la profundidad de la capa de sedimentos en relación con la frecuencia fundamental. Además, el coeficiente de determinación R^2 proporcionó una estimación de la dispersión de los valores alrededor de la línea de regresión. Cuanto más cercano sea R^2 a 1, más representativa será la curva de regresión para explicar la variabilidad de los datos. Elaboración propia.

3.5.3.5. Elaboración de una Columna Estratigráfica

Durante el reconocimiento geológico en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, se elaboró una columna estratigráfica detallada de los sedimentos posiblemente pertenecientes a la Formación

San Sebastián. Esta columna proporciona una representación visual y descriptiva de la secuencia estratigráfica de los sedimentos identificados en el área de estudio. La estratigrafía revela la disposición vertical de los distintos tipos de sedimentos, desde los más antiguos en la base hasta los más recientes en la parte superior, permitiendo una comprensión profunda de la historia sedimentaria del lugar. La elaboración de esta columna estratigráfica es muy importante para caracterizar la naturaleza, la composición y la secuencia temporal de los depósitos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, lo que contribuye significativamente al entendimiento de la evolución geológica y ambiental de la región

3.5.3.6. **Elaboración de Mapas.**

La elaboración de mapas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay se llevó a cabo mediante el software ArcMap 10.8, utilizando datos obtenidos de los programas GEOPSY (Wathelet et al., 2020) y HV-Inv (García et al., 2016). Estos datos fueron sometidos a un análisis detallado para identificar patrones y tendencias significativas en relación con la potencia de sedimentos, frecuencia fundamental, amplitud H/V y velocidades de onda.

La interpolación de puntos se realizó para generar mapas que representan la distribución espacial de estas variables geofísicas en la zona de estudio. En particular, se emplearon splines, que son funciones matemáticas suaves, con el objetivo de ajustar curvas a los conjuntos de datos (de Boor, 1978).

Se utilizó el método Spline With Barriers para llevar a cabo la interpolación de superficie de ráster. Este método incorpora barreras durante la interpolación, utilizando una técnica de spline de curvatura mínima. Las barreras permiten tener en cuenta limitaciones espaciales o restricciones

específicas durante el proceso de interpolación, lo que fue útil para representar de manera más precisa la distribución de datos en áreas donde se conocen limitaciones geológicas o geofísicas.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras el análisis detallado de la geología local y el procesamiento de los datos recopilados a través de las curvas HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Proporcionando una visión integral de las características geológicas del Barrio Cruz Verde Quehuepay, así como de la respuesta sísmica del suelo en la zona. A través de la combinación de información geológica de campo y datos de análisis sísmico, se busca ofrecer una comprensión profunda de la estructura del subsuelo y su comportamiento frente a las ondas sísmicas, contribuyendo así al conocimiento de la geología local y al estudio del riesgo sísmico en la región.

4.1. Geología y Estratigrafía

4.1.1. Formación Puquín (Coniaciano- Maestrichtiano)

Presencia de lutitas negras (Ilustración 15) que exhiben una coloración oscura, indicativa de la presencia de materia orgánica. Estas lutitas negras forman parte de las secuencias basales del Miembro M2 de la Formación Puquín perteneciente al anticlinal de Puquín, caracterizadas por la alternancia de calizas, margas y lutitas, lo que indica fluctuaciones en las condiciones deposicionales a lo largo del tiempo.

Ilustración 15 *Formación Puquín*



Nota. Se observa el afloramiento alterado de lutitas pertenecientes a la formación Puquín.

4.1.2. Formación Kayra (Eoceno Inferior)

La Formación Kayra, se encuentra al norte del barrio, aunque la observación directa estuvo obstaculizada por la vegetación y construcciones circundantes. Esta unidad geológica exhibe una amplia distribución en la periferia norte según el cartografiado del INGEMMET.

4.1.3. Formación San Sebastián

La formación San Sebastián se encuentra en la parte oeste del Barrio Cruz Verde Quehuepay, es una formación cuaternaria cuyos depósitos correspondientes a su primera secuencia fluvio – lacustre estarían probablemente en la zona de estudio. La sección levantada muestra una secuencia de 2 m constituidos por facies finas intercaladas con pequeños bancos de arenisca con

bases erosivas y clastos basales de 2 cm. Estas secuencias corresponderían a depósitos de llanura de inundación con crevasse splay.

Se ha identificado la presencia de depósitos compuestos principalmente por materiales sedimentarios finos, que incluyen arcillas, limos, arena fina – media y contactos erosivos. Para una descripción más detallada de estos depósitos, se levantó una columna estratigráfica (Ilustración 17), proporcionando una representación visual y detallada de las capas sedimentarias y las características de estos materiales.

Los sedimentos finos como arcilla y limo se depositan durante los períodos de inundación cuando la velocidad del agua disminuye y permite la sedimentación de partículas en suspensión. La arcilla y el limo suelen indicar un ambiente de deposición de baja energía, típicamente en áreas más alejadas del canal principal del río, como en las partes más planas y extensas de la llanura de inundación.

Los contactos erosivos de gravas y gravillas indican episodios de mayor energía, donde el flujo del río es lo suficientemente fuerte como para transportar y depositar materiales más gruesos. Estos depósitos suelen formar barras de gravas y canales secundarios, y los contactos erosivos sugieren eventos de erosión y redeposición, típicos de canales migratorios y flujos fluctuantes.

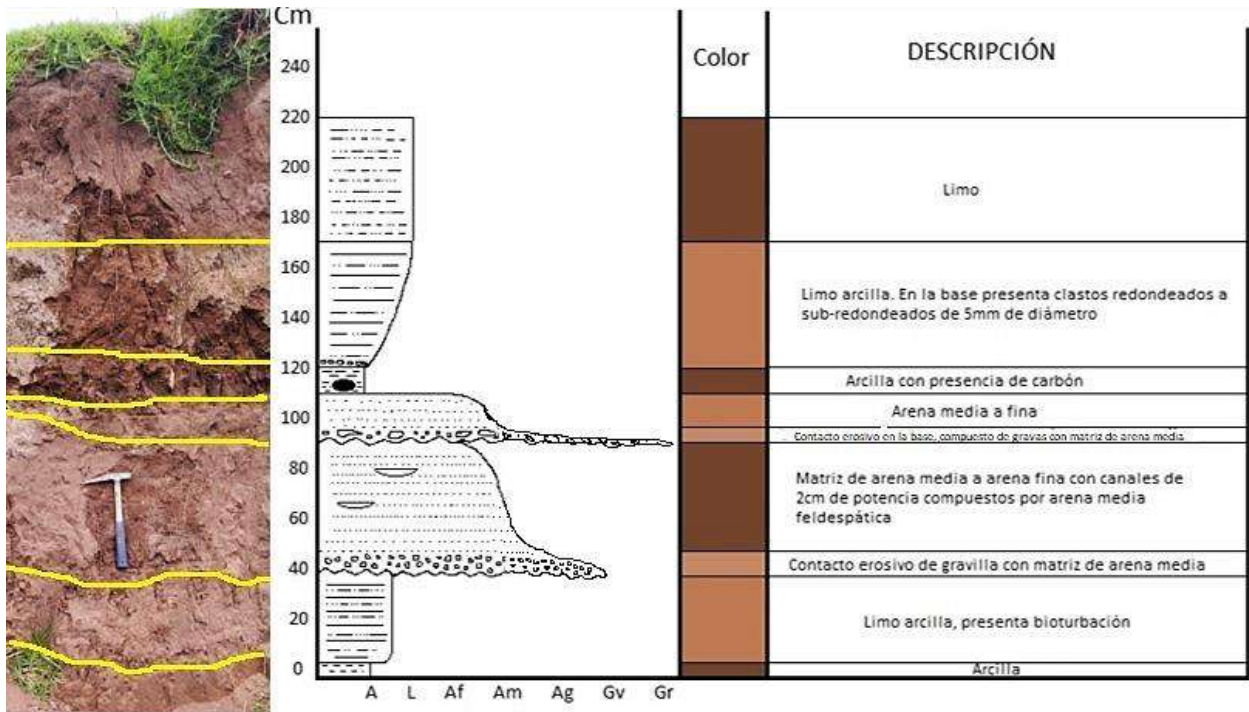
Las arenas se depositan en ambientes de energía moderada, como los márgenes de los canales principales y los depósitos de barras de arena. La granulometría media a fina refleja la capacidad del río para transportar estos sedimentos durante eventos de flujo más tranquilo, posterior a las crecidas iniciales.

Ilustración 16 *Ubicación de la Formación San Sebastián*



Nota. El afloramiento de la Formación San Sebastián se encuentra cerca al río que atraviesa el Barrio Cruz Verde Quehuepay

Ilustración 17 *Columna Estratigráfica*



Nota. Se muestra la el levantamiento de una columna estratigráfica del afloramiento de un depósito perteneciente a la Formación San Sebastián con su descripción correspondiente. Elaboración propia

4.1.4. Depósito Coluvio – Aluvial

El barrio se asienta sobre depósitos aluviales, presenta detritos asociados con materiales orgánico arcillosos, indicando la presencia de suelos ricos en arcilla y materia orgánica descompuesta (Minaya et al., 2003).

Los depósitos coluvio-aluviales se originaron a raíz del transporte y la deposición de sedimentos en las faldas de las quebradas cercanas. En el barrio, la topografía descansa sobre estos depósitos, lo que sugiere que la zona ha experimentado procesos de sedimentación relacionados con la combinación de deslizamientos de tierra (procesos coluviales) y la influencia de corrientes fluviales o cuerpos de agua (procesos aluviales). Estos depósitos se caracterizan por la acumulación de materiales transportados y depositados tanto por la acción de la gravedad, como los detritos de deslizamientos, como por la acción del agua, como los sedimentos arrastrados por ríos o arroyos.

Ilustración 18 Depósito Coluvio – Aluvial



Nota: Se observan depósitos coluvio – aluviales , presentando clastos subangulosos a subredondeados soportados en una matriz arcillosa con alto contenido orgánico y cobertura vegetal.

4.2. Frecuencia Fundamental y Amplitud H/V

Uno de los enfoques fundamentales en este análisis es la consideración de las propiedades dinámicas del suelo, las cuales están intrínsecamente vinculadas a los valores de la frecuencia fundamental (f_0) y la amplitud del espectro de la relación horizontal/vertical o H/V (Tabla 10).

La frecuencia fundamental (f_0) representa la frecuencia natural de oscilación del suelo ante una excitación sísmica. Este valor es importante, ya que indica la frecuencia a la cual el suelo tiende a amplificar las ondas sísmicas, resultando en mayores movimientos en la superficie.

La amplitud H/V proporciona información sobre la amplificación de las ondas sísmicas en la superficie del suelo. La relación entre los espectros de amplitud de los componentes horizontales (H) y vertical (V) del movimiento del suelo permite identificar los niveles de amplificación que pueden experimentar las ondas sísmicas al pasar a través de diferentes estratos del subsuelo.

Tabla 10 Valores de Frecuencia fundamental (f_0), Periodo y Amplitud H/V

Código	f_0 (Hz)	Amplitud H/V
Q1	1.83	4.02
Q2	1.56	3.43
Q3	1.82	6.13
Q4	2.04	5.77
Q5	1.92	5.55
Q6	1.69	11.51
Q7	1.68	4.93
Q8	-	-
Q9	2.21	14.87
Q10	6.63	4.41
Q11	2.1	4.09
Q12	-	-
Q13	1.75	3.62
Q14	2.73	4.46
Q15	1.49	4.37
Q16	2.31	2.58

Q17	2.3	4.49
Q18	6.96	3.91
Q19	3.31	3.5

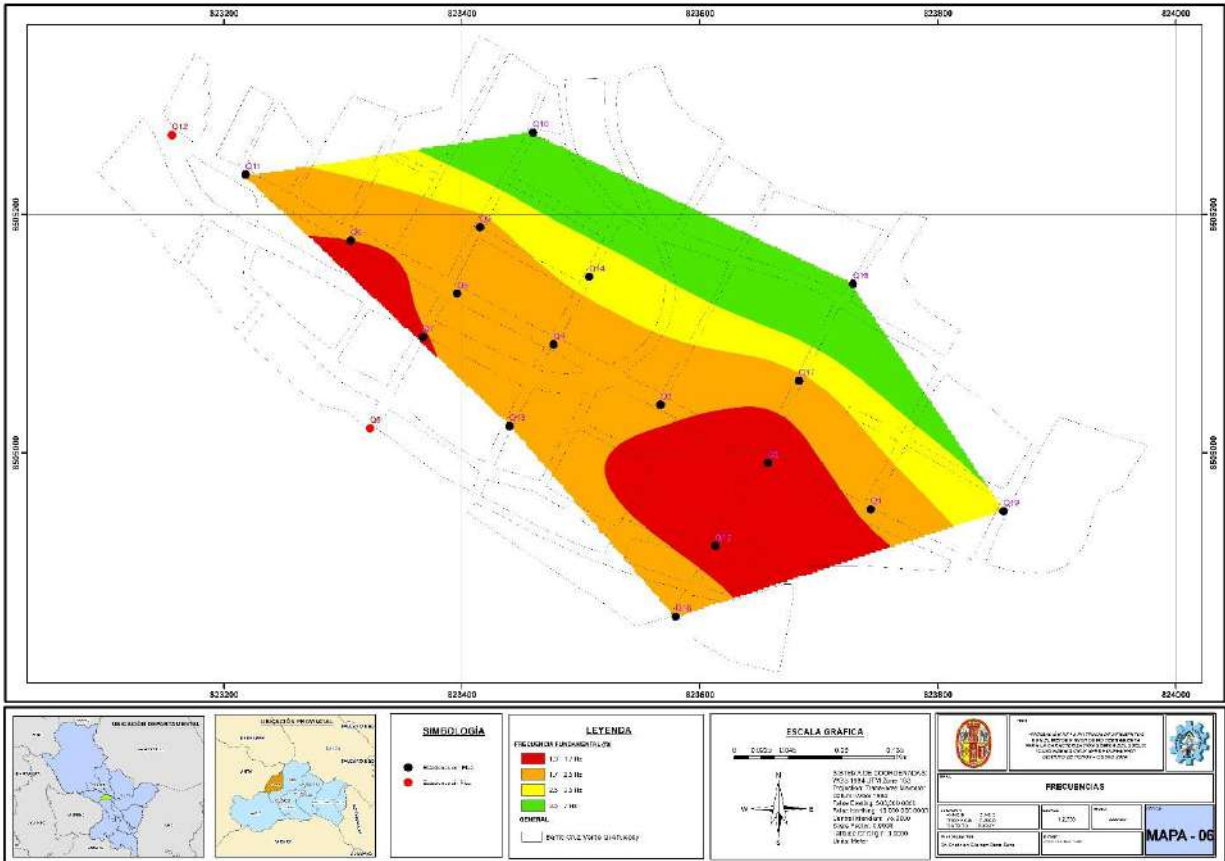
Nota: En la tabla se expresan los valores obtenidos de frecuencia fundamental (f_0) y Amplitud H/V.

La comprensión de la distribución espacial de estas características es esencial para identificar áreas críticas y para fundamentar recomendaciones específicas destinadas a mejorar la resiliencia sísmica de las estructuras en la región.

4.2.1. Frecuencia Fundamental (f_0)

La distribución de la frecuencia fundamental en el Barrio Cruz Verde Quehuepay (Ilustración 19) muestra propiedades significativas en función de su frecuencia fundamental. Las variaciones pueden influir en la amplificación sísmica y deben considerarse en evaluaciones de riesgos sísmicos y en la planificación urbana, especialmente si las viviendas oscilan a la misma frecuencia.

Ilustración 19 Representación espacial de los valores de f_0



Nota. Se observa la distribución de frecuencias en el área de estudio.

4.2.1.1. Patrón de Distribución de Frecuencia Fundamental

La variación en la frecuencia fundamental, desde 1.3 hasta 7 Hz (los valores altos de f_0 son indicadores de contraste de impedancia más superficial y los valores bajos de f_0 son indicadores de contraste de impedancia en profundidad), revela un patrón claro en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Los valores más bajos se encuentran en la parte suroeste y oeste del mapa, aumentando gradualmente en dirección noreste, con el área de alta frecuencia fundamental ubicada en el noroeste, en la parte periférica del barrio.

4.2.1.1.1. Área Roja (1.3 a 1.7 Hz)

Se observa que esta área exhibe valores bajos de frecuencia fundamental (f_0) a comparación con las otras regiones. Esto indica que los sedimentos en esta área son más densos además o poseen una menor velocidad de propagación de las ondas sísmicas en comparación con el basamento.

4.2.1.1.2. Área Naranja (1.7 a 2.5 Hz)

Se evidencia frecuencia fundamental (f_0) ligeramente mayor que en la región roja. Esto indica una transición gradual entre los sedimentos y el basamento, con propiedades geológicas intermedias que afectan la propagación de las ondas sísmicas.

4.2.1.1.3. Área Amarilla (2.5 a 3.5 Hz)

Muestra valores de frecuencia altos, lo que sugiere una diferencia significativa en las propiedades físicas entre los sedimentos y el basamento. Esto muestra la existencia de una capa de sedimentos más delgada o menos densa en esta área, lo que resulta en una mayor velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

4.2.1.1.4. Área Verde (3.5 a 7 Hz)

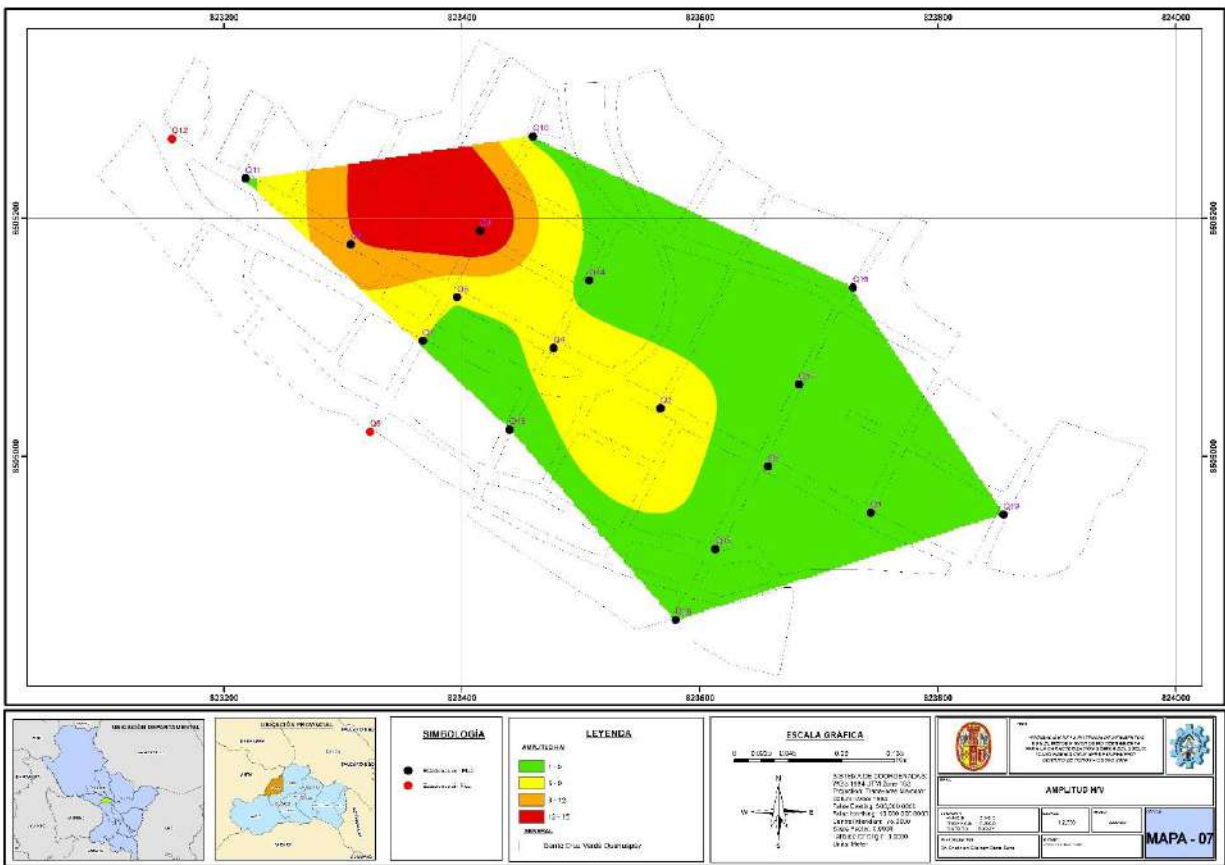
Se observan valores de frecuencia más pronunciado de todas las áreas identificadas. Esto indica la existencia de una capa de sedimentos muy delgada o de baja densidad, lo que resulta en una rápida propagación de las ondas sísmicas y un contraste significativo con el basamento en la región periférica al norte del barrio.

4.2.2. Amplitud H/V

La variabilidad en las amplitudes H/V sugiere diferentes respuestas sísmicas del suelo en distintas áreas del Barrio Cruz Verde Quehuepay (Ilustración 20). Las áreas con amplitudes más

altas pueden ser más susceptibles a amplificaciones sísmicas, especialmente en presencia de depósitos blandos. Este análisis destaca la importancia de considerar la geología subyacente y la saturación en agua al evaluar el riesgo sísmico en la planificación urbana y en la mitigación de desastres en esta área específica.

Ilustración 20 *Distribución espacial de Amplitudes H/V*



Nota. Se observa la distribución de amplitud H/V en el área de estudio

4.2.2.1. Patrón de Distribución de Amplitud H/V

La clasificación de la amplitud H/V en cuatro categorías proporciona otra capa importante de información sobre la respuesta sísmica del suelo en el Barrio Cruz Verde Quehuepay. Resaltando la presencia de mayor amplitud H/V al noroeste del barrio.

4.2.2.1.1. Área Verde (Amplitud H/V entre 1 y 5)

La amplitud H/V más baja en esta área representa un menor contraste de impedancia entre el basamento y los sedimentos, indicando una respuesta sísmica más estable con menos amplificación de ondas.

4.2.2.1.2. Área Amarilla (Amplitud H/V entre 5 y 9)

Una amplitud moderada en esta zona sugiere una respuesta sísmica que podría necesitar consideraciones específicas en términos de diseño de construcción. La clasificación en esta categoría indica cierta amplificación de ondas sísmicas.

4.2.2.1.3. Área Naranja (Amplitud H/V entre 9 y 12)

Una amplitud H/V más alta en esta área indica una mayor amplificación sísmica. Esto podría estar relacionado con las características del suelo, como la presencia de sedimentos poco consolidados, así como posible saturación de agua.

4.2.2.1.4. Área Roja (Amplitud H/V entre 12 y 15)

La amplitud H/V más alta en esta categoría, muestra una respuesta sísmica significativamente amplificada en esta área. Esto podría estar relacionado con condiciones geológicas y posible mayor saturación de agua en el suelo, que aumentan la vulnerabilidad estructural.

4.3. Potencia de Sedimentos y Velocidades de Onda

El conocimiento de la estructura del subsuelo es fundamental para comprender la respuesta sísmica local. La variabilidad en la composición y espesor de los sedimentos puede tener un impacto significativo en la propagación de ondas sísmicas, generando fenómenos de amplificación o atenuación que deben ser caracterizados para una planificación urbana segura y efectiva.

A través de la aplicación del HVSR, se obtuvo una representación detallada de la estructura del subsuelo y el comportamiento de las velocidades de onda en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Los datos, obtenidos mediante inversiones de las curvas HVSR utilizando el software HV-Inv, han revelado información sobre la respuesta sísmica local. Sin embargo, para el cálculo de los valores de potencia de sedimentos se utilizó la función representativa de dispersión de datos entre la frecuencia fundamental f_0 y la profundidad resultante de las inversiones:

$$Z = 67.69(f_0)^{-1.062}$$

Donde:

Z: Profundidad Teórica

f_0 : Frecuencia fundamental

La representación de estos datos se ha organizado y condensado en una tabla (Tabla 11), la cual sirvió como base para la generación de mapas que ilustran la distribución espacial de la profundidad de los sedimentos y las velocidades de onda en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Los puntos Q10 y Q18 muestran velocidades V_p y V_s notablemente bajas, lo cual está directamente relacionado con la menor potencia de la capa sedimentaria en esas áreas. Para ajustar adecuadamente la curva, el software de inversión tuvo que reducir significativamente las velocidades registradas en estos puntos. Sin embargo, es importante considerar que las velocidades para los primeros 10 metros de sedimentos en otros puntos podrían estar cercanas a los valores observados en Q10 y Q18. Esta discrepancia se debe a que la velocidad probablemente aumenta con la profundidad, y el promedio se aproxima a alrededor de 400 m/s (V_s) para una capa sedimentaria de 30 metros. Es crucial comprender que las velocidades bajas cerca del borde de la cuenca no necesariamente indican sedimentos menos compactos, sino que simplemente reflejan

los valores de los primeros 10 metros de la capa sedimentaria, que probablemente sean similares en el centro de la cuenca.

Tabla 11 *Valores de profundidad y magnitudes de las velocidades de onda en la capa de sedimentos*

Valores				
Código	Profundidad de las inversiones (m)	Profundidad Teórica (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Q1	-36.7	-35.6	849	490
Q2	-50.3	-42.2	803	462
Q3	-53.8	-35.8	783	450
Q4	-50.5	-31.7	779	443
Q5	-31.6	-33.8	507	277
Q6	-27.6	-38.7	430	241
Q7	-37.9	-39.0	767	318
Q9	-30.4	-29.1	646	372
Q10	-7.8	-9.0	478	199
Q11	-16.2	-30.7	1027	484
Q13	-32.5	-37.3	797	459
Q14	-24.2	-23.3	561	322
Q15	-32.4	-44.3	836	478
Q16	-30.9	-27.8	892	484
Q17	-35.2	-27.9	826	473
Q18	-8.3	-8.6	516	230
Q19	-22.1	-18.9	1167	494

Nota: En la tabla se muestran los valores de profundidades de la inversión y profundidades teóricas (Z) junto con los valores de velocidades Vp y Vs.

Se calcularon la desviación estándar y el promedio de las variables clave, como la profundidad de la capa de sedimentos y las velocidades de onda (Tabla 12). Estos cálculos brindaron una medida de la dispersión y la tendencia central de los datos, respectivamente. La desviación estándar permitió evaluar la variabilidad de las mediciones, identificando posibles heterogeneidades en la respuesta sísmica del suelo. Mientras tanto, el promedio proporcionó un valor representativo que contribuyó a la comprensión general de las características sísmicas en la zona.

Tabla 12 Promedio y desviación estándar de la potencia y velocidades de onda en la capa de sedimentos.

	Profundidad Teórica (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Promedio	30.2	745	393
Desviación estándar	10.3	199	105

Nota: La tabla muestra los resultados estadísticos de los valores de la potencia de sedimentos y las velocidades de onda P y S.

4.3.1. Potencia de Sedimentos

La observación de potencias de sedimentos en un rango de valores entre 10 y 50 metros muestra una variabilidad significativa en la distribución vertical de los sedimentos en el área de estudio (Ilustración 21).

Ilustración 21 Distribución espacial de la potencia de sedimentos

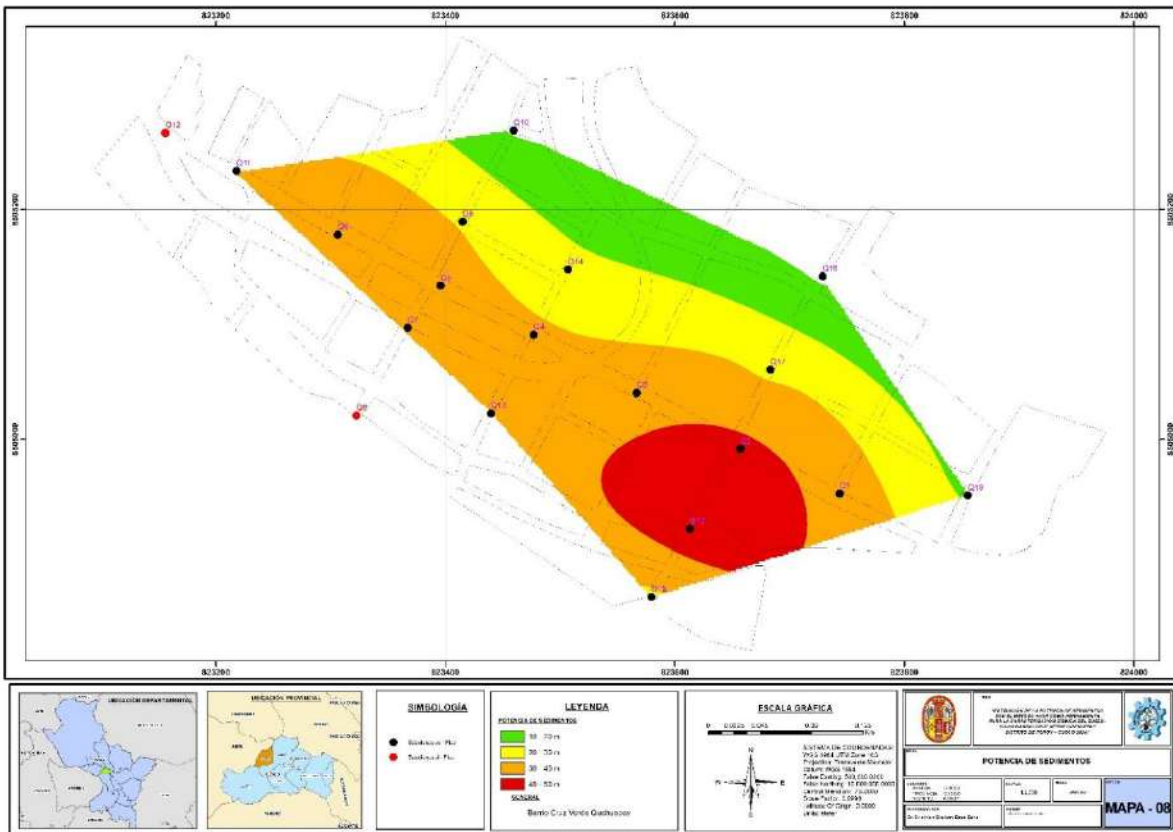
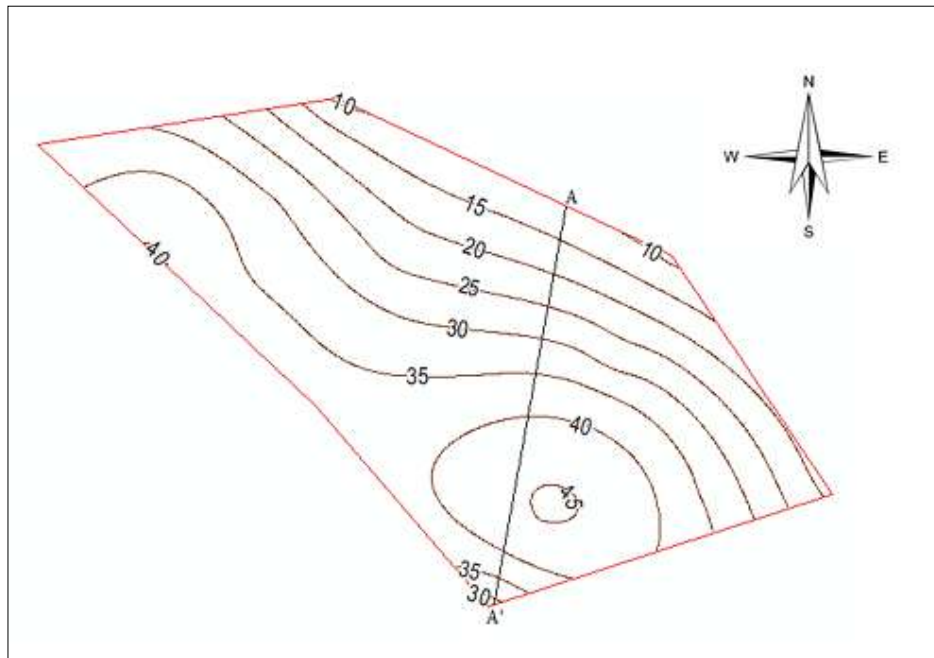
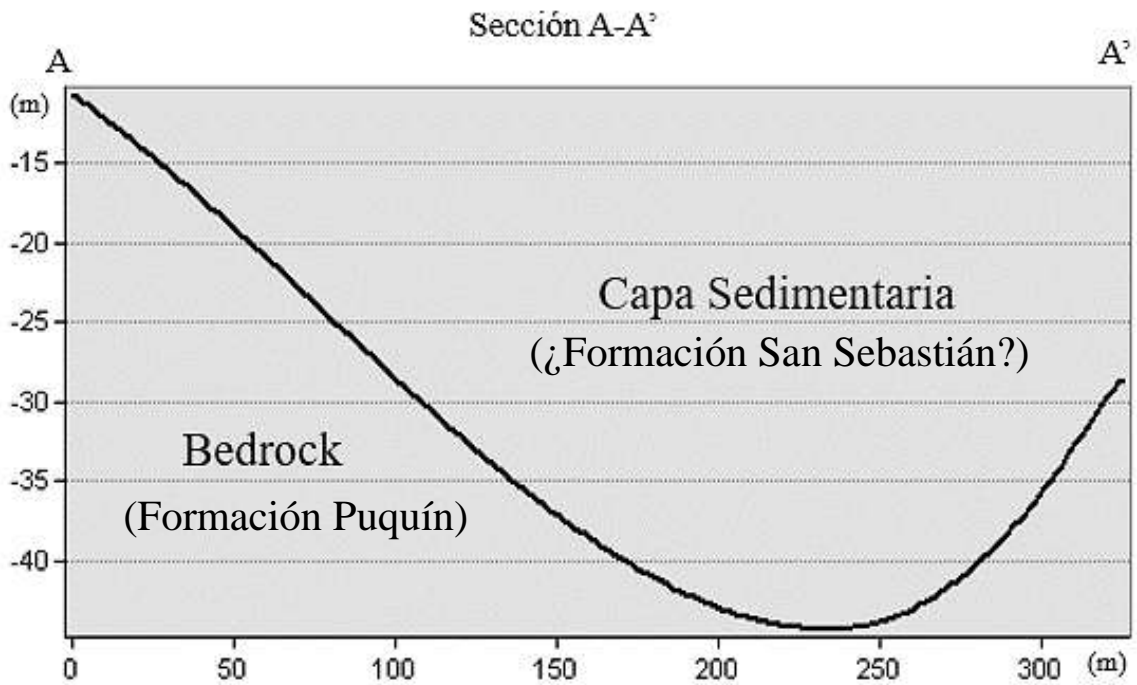


Ilustración 22 Mapa de isópacos



Nota. Se observa un mapa de isópacos representativo de la capa sedimentaria

Ilustración 23 Sección A-A'



Nota. La sección representa la profundidad de la capa sedimentaria (Formación San Sebastián) frente al bedrock (Formación Puquín).

4.3.1.1. **Patrón de Distribución de Potencia de Sedimentos**

La distribución espacial de la potencia de sedimentos en el área presenta una clara gradación, revelando patrones significativos en relación con la topografía y la historia geológica del lugar.

Las áreas con menor potencia de sedimentos se encuentran al norte del barrio, mientras que la zona central, más deprimida, alberga depósitos más profundos. Esto se atribuye a procesos de deposición y transporte sedimentario relacionados con la topografía y geología circundante.

4.3.1.1.1. Área Roja (40-50 metros)

Ubicada al centro del Barrio Cruz Verde Quehuepay, posee una potencia de sedimentos alta, indicativa de capas substanciales de sedimentos. Sugiere una acumulación considerable de material sedimentario a lo largo del tiempo.

4.3.1.1.2. Área Naranja (30-40 metros)

Tiene una potencia ligeramente menor que el área roja, pero aún considerable. Se observa una reducción en la cantidad de sedimentos en comparación con el área roja, pero aún indicativa de una deposición significativa.

4.3.1.1.3. Área Amarilla (20-30 metros)

Muestra una disminución en la extensión de las capas de material sedimentario en comparación con las áreas anteriores. Esto podría señalar cambios en el ambiente deposicional o actividad geológica en el pasado.

4.3.1.1.4. Área Verde (10-20 metros)

Caracterizada por la menor potencia de sedimentos, señala una disminución significativa en la acumulación de material sedimentario. Refleja el borde de la cuenca sedimentaria con la presencia más cercana a la superficie de la formación Kayra.

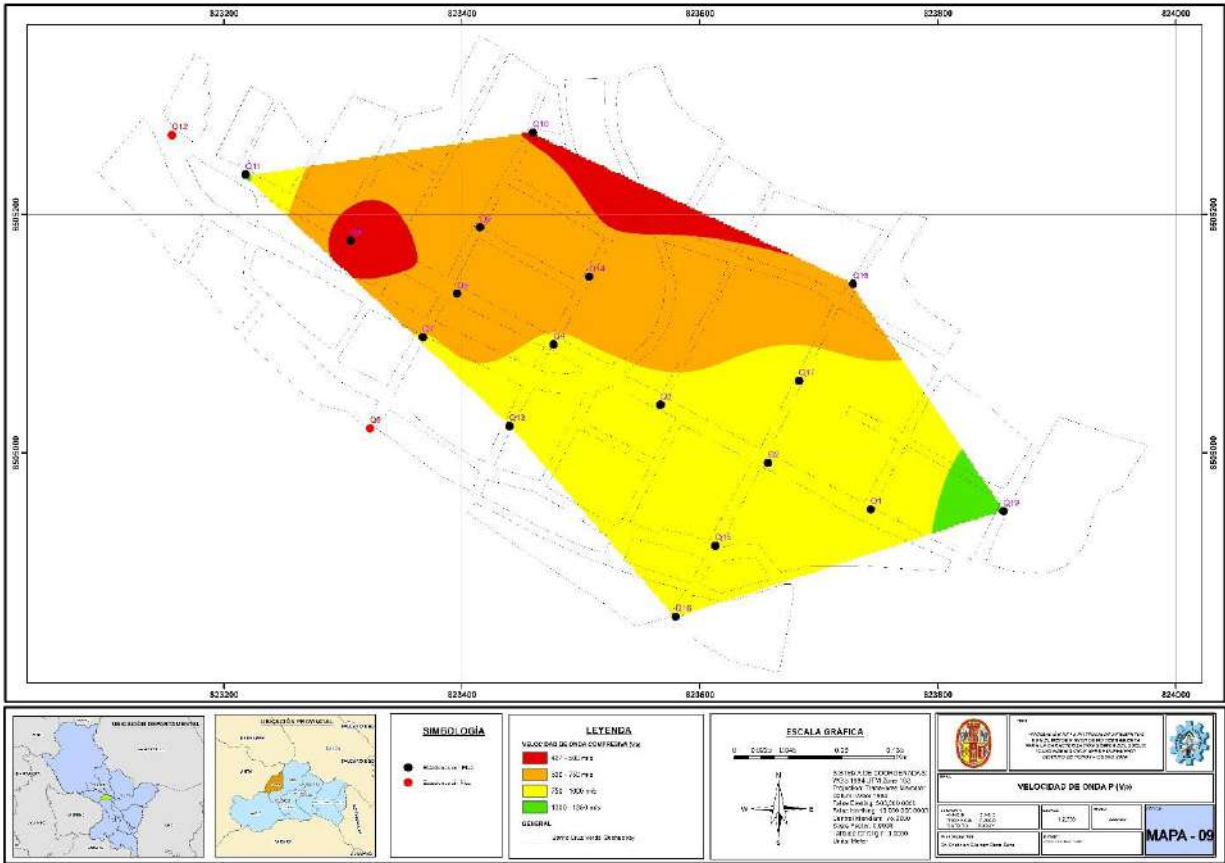
4.3.1.2. Implicaciones Sísmicas

La variabilidad en la potencia de sedimentos sugiere posibles implicaciones sísmicas. Las áreas con sedimentos más profundos pueden tener una respuesta sísmica diferente en comparación con las áreas con sedimentos más delgados. La proximidad a fallas geológicas activas, como la Falla Cusco y la Falla de Tambomachay, también podría influir en la respuesta sísmica del suelo.

4.3.2. Análisis de Velocidades de Onda Vp

La variabilidad en las velocidades de onda P sugiere diferentes condiciones geotécnicas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay (Ilustración 22). La presencia de áreas con velocidades más altas puede influir en la respuesta sísmica, mientras que zonas con velocidades más bajas pueden ser más susceptibles a amplificaciones sísmicas.

Ilustración 24 Mapa de velocidades de Onda Vp



Nota. Se observa la distribución espacial de las velocidades de onda P (Vs).

4.3.2.1. Área Roja (Valores entre 427 y 500 m/s)

Velocidades más bajas en esta área pueden indicar la presencia de sedimentos menos consolidados; sin embargo, las velocidades bajas cerca del borde al norte de la cuenca indican velocidad “aparente” resultante de una inversión con una capa muy delgada, o posible presencia de sedimentos menos compactos asociados a una capa muy delgada. Demostrando que la capa sedimentaria no es tan homogénea como lo previsto. Así que estos valores bajos de velocidades reflejan el menor espesor de sedimentos de toda la capa sedimentaria. Los valores de velocidad aumentan en otras partes con el aumento de la potencia y de la compactación en profundidad.

4.3.2.2. **Área Naranja (Valores entre 500 y 750 m/s)**

En este rango de velocidades, se puede esperar una respuesta sísmica moderada. Las capas de sedimentos en esta área pueden tener características intermedias en términos de consolidación, lo que influirá en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

4.3.2.3. **Área Amarilla (Valores entre 750 y 1000 m/s)**

Velocidades más altas sugieren sedimentos más consolidados o menos saturados en comparación con las áreas anteriores. La respuesta sísmica en esta área podría ser menos pronunciada, pero aún es esencial tener en cuenta estas velocidades al planificar la construcción.

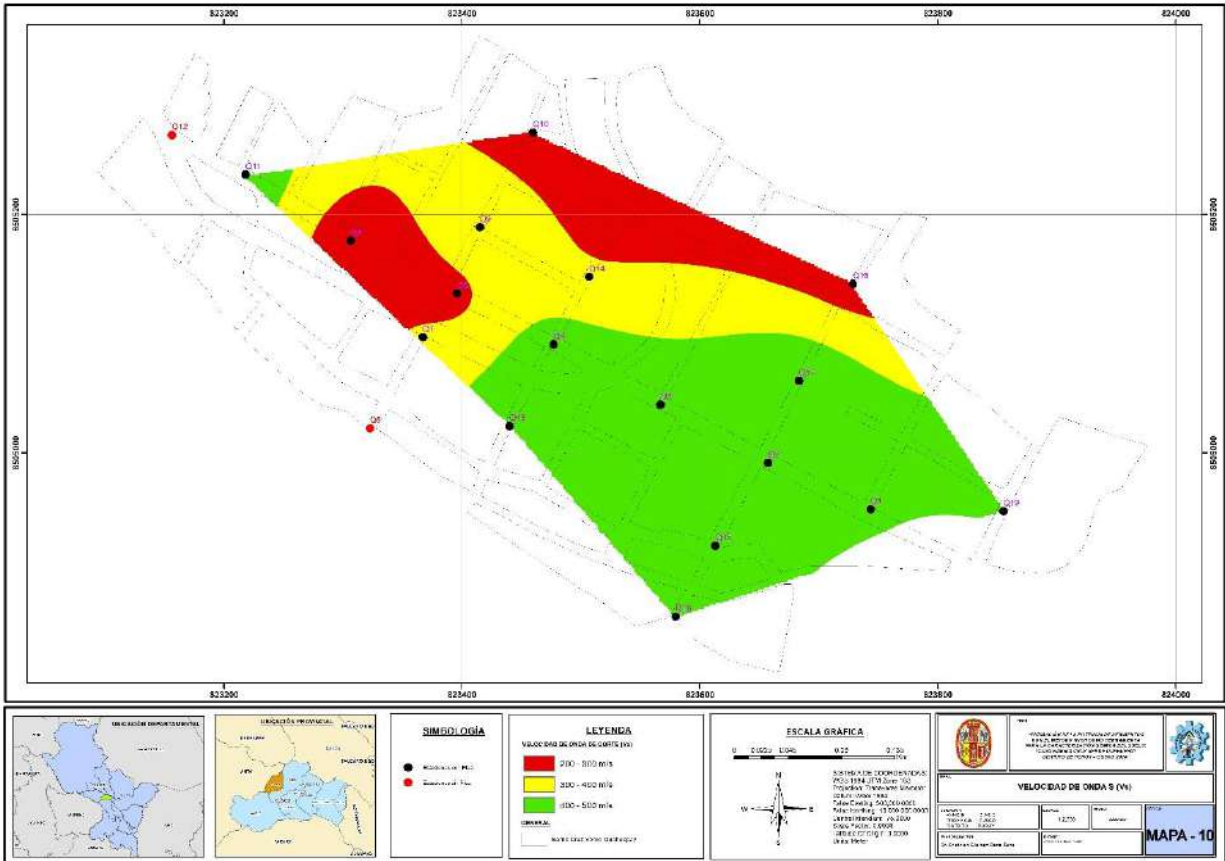
4.3.2.4. **Área Verde (Valores entre 1000 y 1250 m/s)**

Velocidades más altas en esta área indican sedimentos más consolidados y menos propensos a la amplificación sísmica. Esta zona puede ser considerada más estable en términos de respuesta sísmica, pero aún se deben tener en cuenta otros factores geológicos.

4.3.3. *Análisis de Velocidades de Onda Vs*

La variabilidad en las velocidades de onda S destaca la heterogeneidad geotécnica en el Barrio Cruz Verde Quehuepay (Ilustración 23). Estas diferencias en la rigidez del suelo pueden tener importantes implicaciones en la respuesta sísmica del área, afectando la amplificación o disipación de las ondas sísmicas

Ilustración 25 Distribución espacial de las velocidades V_s



Nota. Se observa la distribución espacial de las velocidades de onda S (V_s)

4.3.3.1. Área Roja (Valores entre 200 y 300 m/s)

Velocidades más bajas en esta área pueden indicar la presencia de suelos menos consolidados o más saturados, lo que podría contribuir a una mayor amplificación sísmica. Esta zona podría requerir precauciones adicionales en términos de diseño de construcción; sin embargo, al igual que las consideraciones tomadas con los valores bajos de V_p al norte del barrio, se debe considerar que las velocidades bajas cerca del borde al norte de la cuenca no necesariamente indican sedimentos menos compactos.

4.3.3.2. **Área Amarilla (Valores entre 300 y 400 m/s)**

Velocidades de corte intermedias sugieren una respuesta sísmica moderada. Los suelos en esta área pueden tener una consolidación intermedia y una capacidad de transmisión de ondas sísmicas que no es tan pronunciada como en el Área Roja.

4.3.3.3. **Área Verde (Valores entre 400 y 500 m/s)**

Velocidades más altas en esta área indican suelos más consolidados y menos propensos a la amplificación sísmica. Esta zona puede considerarse más estable en términos de respuesta sísmica, pero aún es importante tener en cuenta otros factores geológicos y de suelo.

CAPÍTULO V – DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Confirmación de Hipótesis

Las hipótesis planteadas proporcionaron un marco para comprender la distribución y las propiedades de los sedimentos en el área de estudio, así como su influencia en la respuesta sísmica del suelo. A continuación, se discuten los resultados obtenidos en relación con las hipótesis planteadas:

La investigación realizada en el Barrio Cruz Verde Quehuepay, distrito de Poroy – Cusco, confirma la hipótesis general planteada en la caracterización sísmica, utilizando el método HVSR, se revela un espesor considerable de sedimentos. Los resultados obtenidos demuestran que la máxima potencia sedimentaria oscila entre los 40 y 50 metros, evidenciando un espesor significativo en la zona estudiada. Este hallazgo es importante para comprender la dinámica sísmica del área y resaltar la importancia del método HVSR en la caracterización sísmica en contextos similares.

Los resultados de frecuencia fundamental mostraron variaciones significativas en diferentes áreas del barrio. Las frecuencias más bajas observadas en el área roja (1.3 – 1.7 Hz) sugieren la presencia de sedimentos más densos o una menor velocidad de propagación de las ondas sísmicas en comparación con el basamento. Por otro lado, las frecuencias más altas en el área verde (3.5 – 7 Hz) indican la presencia de sedimentos menos densos o una mayor velocidad de propagación de las ondas sísmicas. Estos resultados respaldan la idea de una cuenca sedimentaria heterogénea con diferentes características de suelo en diferentes áreas.

La amplitud H/V proporcionó información sobre la amplificación sísmica en diferentes partes del barrio. Las áreas con amplitudes más altas, como la zona roja (12 – 15) y naranja (9 – 12), sugieren

una mayor amplificación sísmica, posiblemente debido a la presencia de sedimentos menos consolidados o más saturados. En contraste, las áreas con amplitudes más bajas, como la zona verde (1 – 5), indican suelos más consolidados y menos propensos a la amplificación sísmica.

Los valores de V_p y V_s proporcionaron información sobre la consolidación y la composición de los sedimentos en diferentes áreas del barrio. Las velocidades más bajas de V_p y V_s en el área roja sugieren la presencia de suelos menos consolidados o más saturados, lo que podría contribuir a una mayor amplificación sísmica. Por otro lado, las velocidades más altas en el área verde indican suelos más consolidados y menos propensos a la amplificación sísmica.

5.2. Interpretación de Resultados

5.2.1. Correlación Entre la Frecuencia Fundamental y la Amplitud H/V

En las áreas con frecuencias fundamentales más bajas indican mayor potencia de sedimentos (por ejemplo, Área Roja), se puede producir un efecto de resonancia en los edificios (la frecuencia de resonancia de las viviendas varía en función de su tamaño), especialmente si la amplitud H/V también es alta. La presencia de sedimentos poco consolidados y posiblemente saturados de agua, puede contribuir a este efecto de resonancia.

En áreas donde tanto la frecuencia fundamental como la amplitud H/V son altas (por ejemplo, Área Naranja), existe un mayor riesgo de amplificación sísmica significativa. La combinación de sedimentos poco consolidados con posible saturación de agua podría aumentar la vulnerabilidad de las estructuras en estas zonas.

En zonas de transición (por ejemplo, Área Amarilla), donde las frecuencias fundamentales están en un rango intermedio y la amplitud H/V es moderada, la respuesta sísmica puede variar. La

presencia de depósitos cuaternarios y la posible saturación de agua podrían influir en esta respuesta.

En áreas con frecuencias fundamentales más altas (por ejemplo, Área Verde), se puede esperar una respuesta sísmica menos amplificada, especialmente si la amplitud H/V es baja. La presencia de formaciones geológicas más resistentes y menos saturación de agua puede contribuir a una menor amplificación de ondas.

5.2.2. Correlación Entre la Capa de Sedimentos y Velocidades de Onda

El Barrio Cruz Verde Quehuepay presenta una compleja interacción entre la geología subyacente, las velocidades de onda P (V_p) y onda S (V_s), así como la potencia de sedimentos en distintas áreas.

La correlación entre la potencia de sedimentos y las velocidades de onda sugiere que zonas con mayores espesores de sedimentos podrían experimentar una mayor variabilidad en la respuesta sísmica. Mayor potencia de sedimentos puede ser relacionado a efectos de sitio mas fuertes. Sin embargo, la geometría de la cuenca podría tener un impacto. Así que los bordes de cuenca pueden también estar asociados a efectos de sitios muy locales y a consecuencias fuertes para las construcciones humanas. Además, hay que considerar que la respuesta bajo vibraciones ambientales no es siempre representativa de la respuesta bajo un sismo (comportamiento no lineal).

Esto se debe a la mayor influencia de los sedimentos en la transmisión de ondas sísmicas y a la posibilidad de amplificación sísmica asociada con la presencia de capas más gruesas. Las áreas con velocidades de onda más bajas podrían requerir medidas de construcción especiales debido a la mayor amplificación sísmica, mientras que las áreas con velocidades más altas pueden ser más adecuadas para ciertos tipos de estructuras.

En las áreas con mayor potencia de sedimentos, especialmente, donde se encuentran altos valores de H/V, se observa velocidades de onda de corte (V_s) más bajas. La presencia de sedimentos no consolidados o saturados puede reducir la rigidez del suelo y, por lo tanto, disminuir las velocidades de onda de corte.

5.3. Implicaciones de los Hallazgos

Al noreste del barrio, se destaca que el área más crítica se concentra alrededor de los puntos Q5, Q6, Q7 y Q9 (Ilustración 24). Estos puntos exhiben características coincidentes preocupantes que sugieren una mayor susceptibilidad ante eventos sísmicos. Con una potencia de sedimentos que oscila entre 30 y 40 metros, estos puntos muestran una acumulación significativa de material sedimentario, lo que puede amplificar la energía sísmica. Además, las velocidades de corte (V_s) y de onda P (V_p) son muy bajas en estas ubicaciones, lo que indica una capacidad limitada para disipar la energía de un terremoto. Asimismo, se observa una amplitud considerable en la relación entre la altura y la velocidad de la onda (H/V), lo que sugiere una mayor probabilidad de amplificación de la vibración sísmica en estas áreas. Por lo tanto, estos puntos identificados emergen como focos críticos que requieren una atención especial en términos de planificación y mitigación del riesgo sísmico.

Tabla 13 Resultados de estudios realizados

Autor (es)	Frecuencia (f0)	Amplitud H/V	Potencia de capa sedimentaria	Vp	Vs
Este estudio – Sedimentos de la Formación San Sebastián y sedimentos coluvio - aluviales	1.5 – 6.9 Hz	2.6 – 14.9	10 - 50 metros	427 - 1250 m/s	200 - 500 m/s
Fazriati et al. (Mataram, Indonesia, 2023) – Sedimentos Volcano aluviales	2.5 – 5.0 Hz		32 – 64 metros		280 – 580 m/s
Ryanto et al. (Batan, Indonesia, 2020)	3.07 – 5.37 Hz	2.01 – 5.89	7 metros		
Gupta et al. (India, 2020)	4.61 – 10.4 Hz	2.77 – 6.25	3 – 12 metros		400 – 700 m/s
Liang et al. (Guangxi, China, 2018) – Sedimentos Aluviales	1.44 – 6.88 Hz		7.9 – 39.6 metros		
Minaya et al. (Arequipa, Perú, 2003) Sedimentos Aluviales			10.2 metros	538 – 1132 m/s	

Nota: En la tabla se presentan los resultados de estudios internacionales y nacionales.

5.4.1. Tipo de Depósito

Este estudio abarca depósitos de la Formación San Sebastián y depósitos coluvio – aluviales, similar a Liang (2018) y Minaya (2003) con depósitos aluviales, pero diferente a Fazriati (2023) que estudió depósitos volcano aluviales y a Gupta (2020) que se centró en una cuenca sedimentaria, no especificando el material.

5.4.2. Frecuencia Fundamental del Suelo

Este estudio presenta una frecuencia de 1.5 - 6.9 Hz, comparable a Liang (2018) que presenta un rango de 1.44 - 6.88 Hz. Fazriati (2023) y Ryanto (2020) tienen frecuencias ligeramente superiores. Gupta (2020) y Ryanto (2020) muestran frecuencias superiores, entre 4.61 - 10.4 Hz.

5.4.3. Amplitud H/V

La amplitud H/V en este estudio es de 2.6 - 14.9, abarcando un rango más amplio que los estudios de Ryanto (2020) y Gupta (2020), que presentan menores amplitudes de 2.01 - 5.89 y 2.77 - 6.25 respectivamente.

5.4.4. Potencia de Sedimentos

Este estudio muestra una potencia de sedimentos entre 10-50 metros, similar a Liang (2018) que reporta entre 7.9 - 39.6 metros y Fazriati (2023) con 32-64 metros. Minaya (2003) y Ryanto (2020) tienen menor potencia, con 10.2 y 7 metros respectivamente.

5.4.5. Velocidad V_p y V_s

- Este estudio presenta velocidades V_p de 427-1250 m/s, similar a Minaya (2003) con un rango de 538-1132 m/s.
- La velocidad V_s en este estudio es de 200-500 m/s, comparable a Fazriati (2023) y Gupta (2020), con rangos de 280-580 m/s y 400-700 m/s respectivamente.

Comparando con (Minaya, 2003). Los valores de V_p corresponden a materiales orgánico arcillosos, materiales arcillosos inconsolidados y materiales aluviales semi compactos. Además, estudios auxiliares como (Thomas E., 1978) demuestran velocidades V_s entre 200m/s – 300m/s en sedimentos blandos. Resultando en una correlación con el estudio geotécnico (J&T INGEOTECNIA, 2020) indicando el suelo SC (areno arcilloso) presente en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

5.5. Consideraciones Metodológicas

5.5.1. Influencia de la Geología Subyacente

Los puntos Q8 y Q12 sin pico y probablemente indicadores de un lecho rocoso muy superficial, son de particular interés y podrían sugerir la existencia de formaciones geológicas significativas, como la Formación Puquín. Sin embargo, es esencial abordar la posibilidad de interferencias instrumentales o limitaciones temporales en la adquisición de datos. La inesperada presencia de bedrock en Q8 y Q12 (especialmente en el Q12 se aconseja realizar nuevas medidas en esta zona en el futuro para comprobar los resultados adquiridos) podría plantear interrogantes sobre la consistencia de las mediciones, incluyendo la posibilidad de problemas instrumentales o la insuficiencia del tiempo de registro. Factores como la heterogeneidad e inestabilidad del ruido sísmico durante los 25 minutos de registro merecen una consideración detallada al interpretar los resultados en este punto específico. Esta cautela garantiza una evaluación precisa de la influencia del lecho rocoso en la variabilidad de la potencia de sedimentos en la zona, permitiendo una interpretación más robusta de los datos.

5.5.2. Datos arrojados por el Software

Las inversiones de las velocidades, analizadas a través del software HV-inv, arrojan importantes consideraciones metodológicas para la interpretación entre la capa sedimentaria y el basamento rocoso en la zona de estudio. La detección de velocidades más bajas de V_p y V_s al norte del Barrio Cruz Verde Quehuepay puede sugerir la presencia de sedimentos menos consolidados, lo que indica una menor compactación en esas zonas. Sin embargo, es crucial considerar que velocidades bajas cerca del borde al norte de la cuenca pueden ser engañosas, representando una velocidad "aparente" generada por una inversión con una capa extremadamente delgada o la presencia probable de sedimentos menos compactos asociados a una capa muy fina.

Estos hallazgos desafían la suposición de homogeneidad en la capa sedimentaria. En consecuencia, los valores más bajos de velocidades en esta zona reflejan predominantemente el bajo espesor de la capa sedimentaria frente al basamento rocoso, mientras que los incrementos en las velocidades en otras áreas sugieren una mayor potencia y compactación en profundidad.

CONCLUSIONES

Primera.

Los resultados obtenidos con el método HVSR en la caracterización sísmica revelaron una potencia sedimentaria máxima que oscila entre los 40 y 50 metros, mostrando la distribución espacial de espesores de material cuaternario en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Segunda.

La presencia de picos claros en la gama de frecuencias de 1.56 – 6.96 Hz confirma la existencia de una frecuencia fundamental (f_0) que es compatible con una pequeña cuenca sedimentaria en el área de estudio.

Tercera.

Los valores significativos de amplitudes H/V 2.58 – 14.87 indican un contraste notable de velocidad entre la capa de sedimentos y el basamento subyacente. Importante para comprender la dinámica de propagación de ondas sísmicas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Cuarta.

Las bajas velocidades de ondas de corte ($V_s < 500\text{m/s}$) observadas en los primeros metros del subsuelo confirman la presencia de sedimentos blandos en la zona de estudio.

Anomalías y Discrepancias:

Primera.

Los puntos Q8 y Q12 no reflejan picos claros o definidos, posiblemente por cercanía al basamento rocoso o error del equipo al momento de la recolección de datos en campo. Sugiriendo la necesidad de realizar estudios en estos puntos para complementar la información de este estudio.

Segunda.

Los puntos Q10 y Q18 al norte del barrio presentan picos en frecuencias muy altas 6.63 hz y 6.96 hz respectivamente. Al momento de realizar la inversión de datos con estos puntos, se hallaron velocidades V_p y V_s notablemente bajas en contraste con sus frecuencias. Esto a consecuencia del software al momento de realizar las inversiones tuvo que reducir significativamente las velocidades registradas en estos puntos para ajustar las curvas sintéticas.

RECOMENDACIONES

Primera.

Evaluar la frecuencia de las edificaciones existentes para contrastar los fenómenos de resonancia en áreas con altas amplitudes H/V. Considerar la posibilidad de reforzar estructuras en base al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Segunda.

En el Barrio Cruz Verde Quehuepay se recomienda no construir edificios en zonas de frecuencias cercanas a 2 Hz que tengan una altura aproximada 12m de (6 pisos), ya que podrían ocurrir fenómenos de resonancia en las estructuras durante un posible sismo (Bui et al. 2011).

Tercera.

Realizar estudios geotécnicos en diferentes áreas del barrio (especialmente en áreas con frecuencias fundamentales bajas y amplitudes H/V significativas) para evaluar la capacidad de carga del suelo y el grado de saturación en agua para contrastar las características sísmicas en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

Cuarta.

Realizar estudios geofísicos y geológicos en los segmentos de la Falla Cusco cercanos al Barrio Cruz Verde Quehuepay, para determinar el nivel de peligro y la influencia que tendría al suscitarse un posible movimiento en esta falla geológica.

Quinta.

Realizar estudios de evaluación de riesgo sísmico y microzonificación para identificar las zonas con mayor susceptibilidad a efectos de posibles movimientos sísmicos en el Barrio Cruz Verde Quehuepay.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhikary, S. (2022). Development of Soil Amplification Factors Using 1D and 2D Ground Response Analysis. doi: 10.1007/978-981-99-1459-3_24

Alamri, A. M., Bankher, A., Abdelrahman, K., El-Hadidy, M., & Zahran, H. (2020). Soil site characterization of Rabigh city, western Saudi Arabia coastal plain, using HVSR and HVSR inversion techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(1). doi:10.1007/s12517-019-5027-3

Albarello, D. (2023). Comparison using different models between theoretical and experimental HVSR curves. doi: 10.5194/egusphere-egu23-1778

Anbazhagan, P., Janarthana, Boobalan A., & Shaivan, H. S. (2019). Establishing empirical correlation between sediment thickness and resonant frequency using HVSR for the Indo-Gangetic Plain. *Research articles current science*, vol. 117, no. 9, 10 November 2019.

Bui, Q.-B., Hans, S., Morel, J.-C., & Do, A.-P. (2011). First exploratory study on dynamic characteristics of rammed earth buildings. *Engineering Structures*, 33(12), 3690–3695. doi:10.1016/j.engstruct.2011.08.004

Cara, F., Cultrera, A., & Piatanesi, A. (2007). *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 97, No. 3, pp. 761–776

Changqing, Chi., Brent, L., & Rosenblad. (2023). Reliability of Shallow Bedrock Depth Determination from HVSR Measurements in Central Missouri. doi: 10.1061/9780784484678.020

Combey, A., Audin, L., Benavente, C., Bouysse-Cassagne, T., Marconato, L., & Rosell, L. (2020). Evidence of a large “prehistorical” earthquake during Inca times? New insights from an indigenous chronicle (Cusco, Peru). *Journal of Archaeological Science: Reports*, 34, 102659. doi:10.1016/j.jasrep.2020.102659

Combey, A., Mercerat, D., Días, J., Benavente, C., Pérez, F., García, B., Palomino, A., & Guevara, C. (2024). Characterizing the seismic response and basin structure of Cusco (Peru). Implications for the seismic hazard assessment of a World Heritage Site. doi: 10.21203/rs.3.rs-3859742/v1

Farfour, M., & Gaci, S. (2020). Applications of shear waves in modern seismic technology: overview and examples. 151-167. doi: 10.1016/B978-0-323-85617-1.00016-3

Fazriati, E., Azhari, M. R., Hakam, A., Utama, W., & Rosandi, Y. (2023). Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Analysis of the Passive Seismic Data on Alluvial Lithology: An Example from Bandung Basin Rim. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1), 402–411. doi:10.29303/jppipa.v9i1.2962

Hunstad, I., Marsili, A., Casale, P., Vallocchia, M., & Burrato, P. (2013). Seismic Waves and Sound Waves: From Earthquakes to Music. *Seismological Research Letters*, 84(3), 532–535. doi:10.1785/0220120095

Kotha, S. R., Weatherill, G., Bindi, D., & Cotton, F. (2020). A regionally-adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. *Bull Earthquake Eng* 18, 4091–4125. doi:10.1007/s10518-020-00869-1

Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, New Jersey.

Liang, D., Gan, F., Zhang, W., & Jia, L. (2018). The application of HVSr method in detecting sediment thickness in karst collapse area of Pearl River Delta, China. *Environmental Earth Sciences*, 77(6). doi:10.1007/s12665-018-7439-x

Minaya, A., Ticona, J., Aguilar, V., Gonzáles, E., Campano, J., & Bustamante, L. (2003). Estudio Geofísico de la Ciudad del Cusco y Zonas de Expansión Urbana para la Elaboración de Mapas de Peligro. Convenio UNSA – INDECI. Proyecto INDECI PNUD PER/02/051.

Molnar, S., Cassidy, J. F., Castellaro, S., Cornou, C., Crow, H., Hunter, J. A., & Yong, A. (2018). Application of Microtremor Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (MHVSR) Analysis for Site Characterization: State of the Art. *Surveys in Geophysics*, 39(4), 613–631. doi:10.1007/s10712-018-9464-4

Morillo, D. (2021). Vulnerabilidad de edificios ante resonancia sísmica en Huancayo por el sismo del 7 de agosto de 2020 Mw=4.9 con la aplicación de la metodología de Bazán y Meli.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), 25-33.

Nakamura, Y. (2008). ON THE H/V SPECTRUM. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.

Peña, C., Ochoa, M., Ochoa, N., & Zavala, M. (2020). Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres del distrito de Poroy al 2023. *Municipalidad Distrital de Poroy Plaza Domingo Echegaray S/N° Poroy, Cusco, Perú*.

Ponodolis, E., & Souici, R. (2022). Site Effects Assessment and Soil-Structure Resonance in The Old Center of Algiers. doi: 10.21203/rs.3.rs-1462873/v1

Pourya, A., Siavash, M., Joseph, T., Coe, A., Atsuhiko, M., Sarah, E., Mia, A., & Katherine, K. (2023). HVSR Measurements to Investigate Sinkholes and Treatment Efforts along a Roadway. doi: 10.1061/9780784484678.010

Ravindra, K., Gupta, M., Agrawal, Sanjit, Kumar, Pal. (2020). Inversion of HVSR Curves using Monte-Carlo Global Optimization Technique for Seismic Site Characterization. 2020(1):1-5. doi: 10.3997/2214-4609.202071043

Rezaei, S., & Choobbasti, A. J. (2017). Application of the microtremor measurements to a site effect study. *Earthquake Science*, 30(3), 157–164. doi:10.1007/s11589-017-0187-2

Rosales, C. (2001). “Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia.” Universidad del Valle.

Rosel, L., Benavente, C., Aguirre, E., García, B., & Palomino, A. (2022). Expresión geomorfológica de tectónica activa y paleosismología en el Cusco: caso falla Tambomachay. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 88, 99 p.

Ryanto, T., Iswanto, E., Indrawati, Y., Setiaji, A., & Suntoko, H. (2020). Sediment Thickness Estimation in Serpong Experimental Power Reactor Site Using HVSR Method. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 22, No. 1, (2020) 29-37. doi: 10.17146/jpen.2020.22.1.5949

Saadi, A., Issaadi, A., Semmane, F., Yelles–Chaouche, A., Galiana-Merino, J. J., Layadi, K., & Chimouni, R. (2023). Vs model for Oran city, obtained by joint-inversion of dispersion and HVSR curves, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-6655. doi:10.5194/egusphere-egu23-6655

Stephens, K. (2018). Application of the passive seismic Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) technique for embankment integrity monitoring, Australian Society of Exploration Geophysicists. Australia. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/1791044/application-of-the-passive-seismic-horizontal-to-vertical-spectral-ratio-hvsr-technique-for-embankment>

ANEXOS

ANEXO N°1

PROCESAMIENTO

GEOPSY

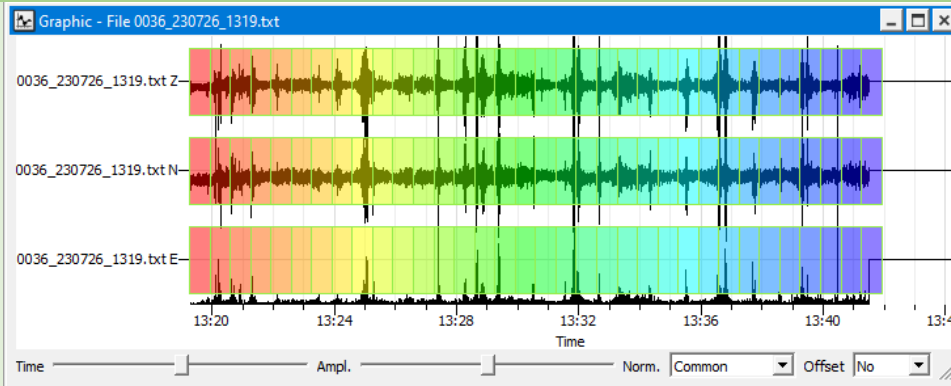
Estación Q1

Acelerograma Q1

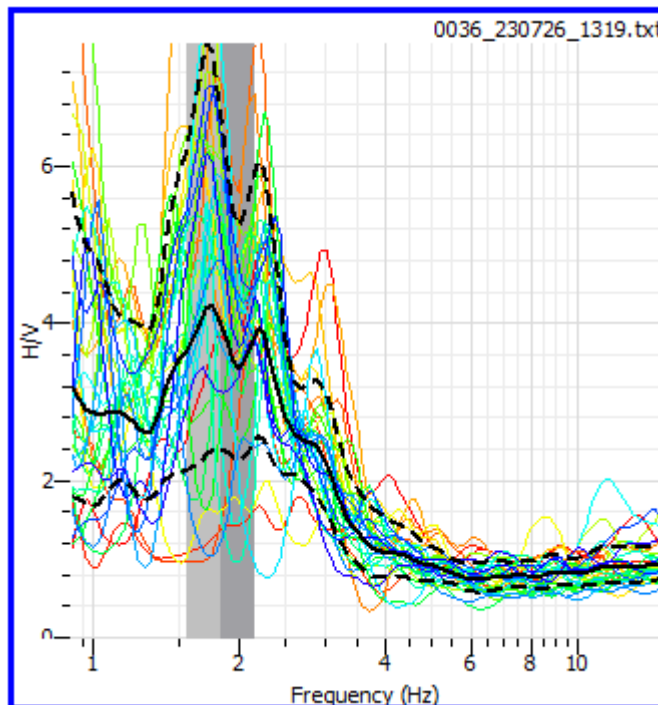
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	0036_230726_1319.txt	Vertical	2023-07-26 13:19:15.000000	2023-07-26 13:44:15.000000	200	0.005	300000	25m	823741.7296	8504954.296
2	0036_230726_1319.txt	North	2023-07-26 13:19:15.000000	2023-07-26 13:44:15.000000	200	0.005	300000	25m	823741.7296	8504954.296
3	0036_230726_1319.txt	East	2023-07-26 13:19:15.000000	2023-07-26 13:44:15.000000	200	0.005	300000	25m	823741.7296	8504954.296

UTM: 18s
E: 823743.51
N: 8504952.6
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 8:19 am
Hora final: 8:44 am
Tiempo de registro:
 13.41 min



SECCIONES
 34 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.83 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.02

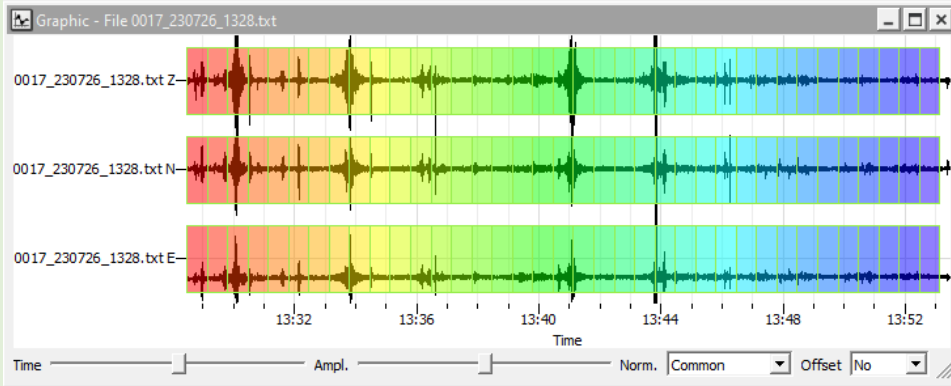
Estación Q2

Acelerograma Q2

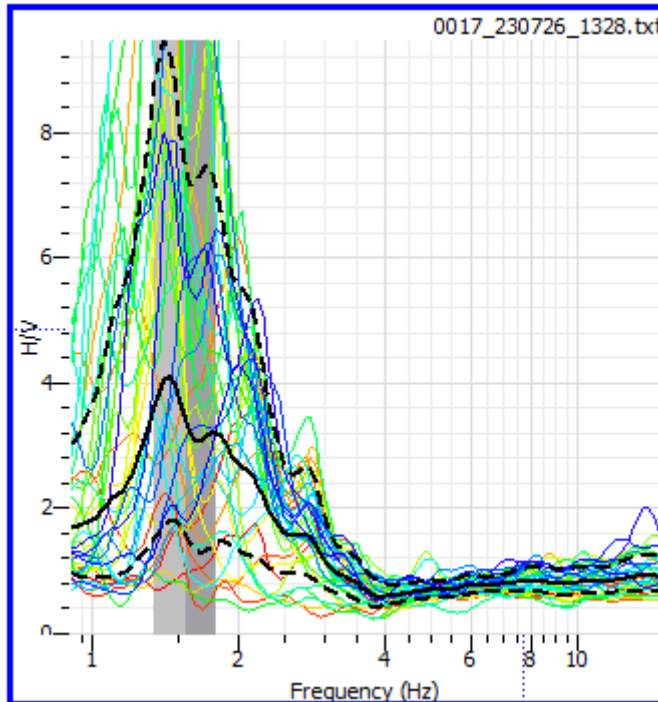
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	4	0017_230726_1328.txt	Vertical	2023-07-26 13:28:28.000000	2023-07-26 13:53:28.000000	200	0.005	300000	25m	823657.9737 8504999.615
2	5	0017_230726_1328.txt	North	2023-07-26 13:28:28.000000	2023-07-26 13:53:28.000000	200	0.005	300000	25m	823657.9737 8504999.615
3	6	0017_230726_1328.txt	East	2023-07-26 13:28:28.000000	2023-07-26 13:53:28.000000	200	0.005	300000	25m	823657.9737 8504999.615

UTM: 18s
E: 823657.12
N: 8504991.59
Fecha: 26/072023
Hora de inicio: 8:23 am
Hora final: 8:48 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.56 Hz
AMPLITUD (A0)
 3.43

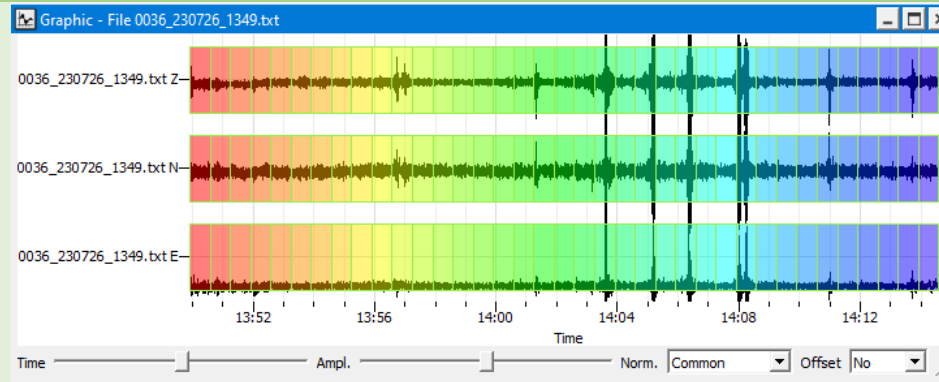
Estación Q3

Acelerograma Q3

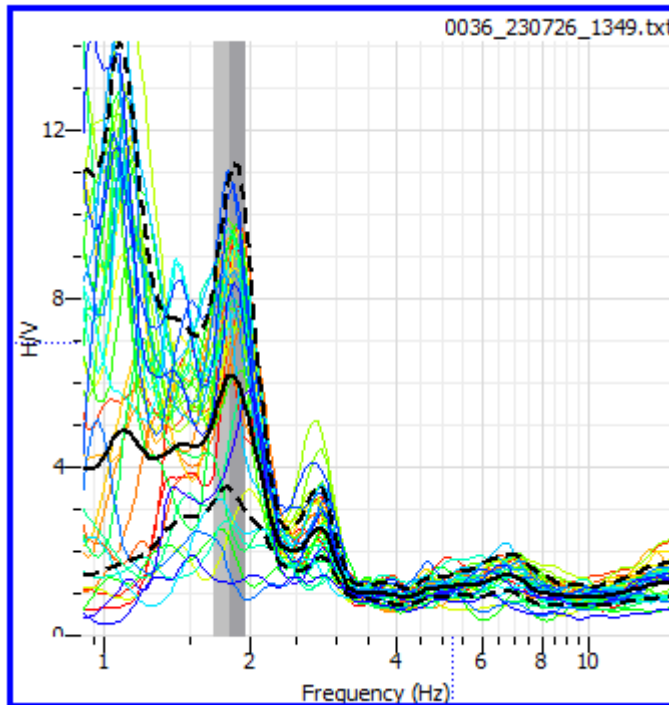
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	10	0036_230726_1349.txt	Vertical	2023-07-26 13:49:55.000000	2023-07-26 14:14:55.000000	200	0.005	300000	25m	823571.7483 8505046.846
2	11	0036_230726_1349.txt	North	2023-07-26 13:49:55.000000	2023-07-26 14:14:55.000000	200	0.005	300000	25m	823571.7483 8505046.846
3	12	0036_230726_1349.txt	East	2023-07-26 13:49:55.000000	2023-07-26 14:14:55.000000	200	0.005	300000	25m	823571.7483 8505046.846

UTM: 18s
E: 823566.88
N: 8505040.43
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 8:50 am
Hora final: 9:15 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.83 Hz

AMPLITUD (A0)
 6.13

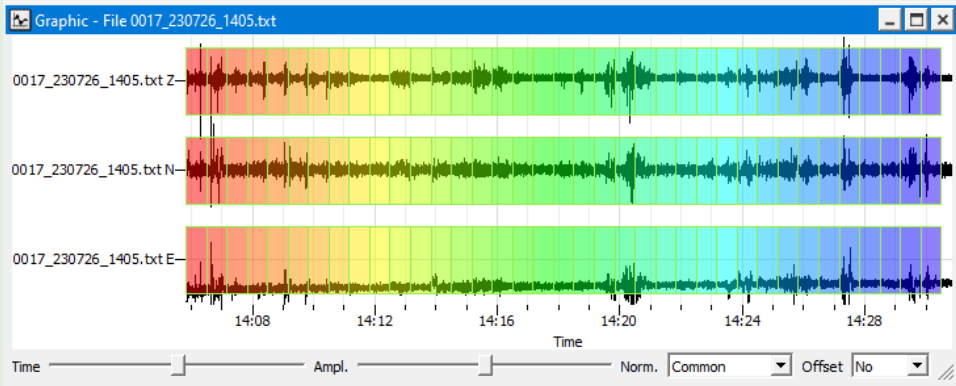
Estación Q4

Acelerograma Q4

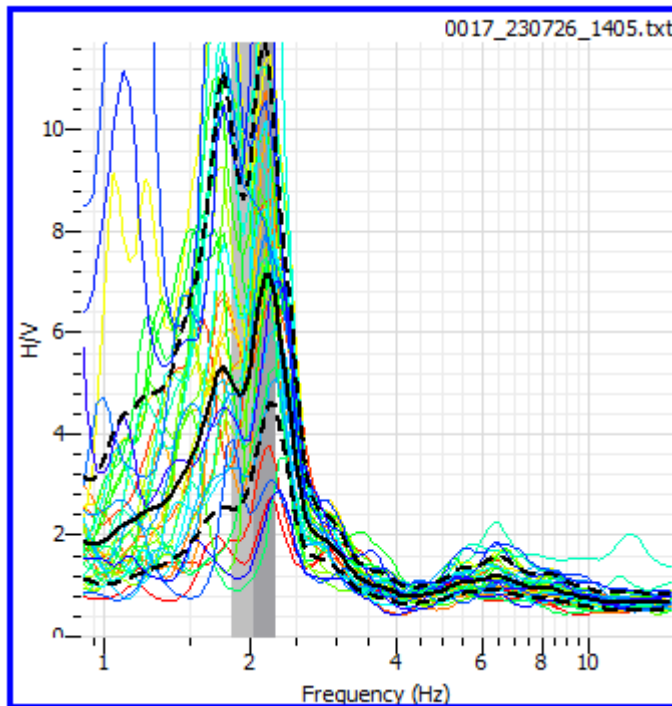
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y	
1	13	0017_230726_1405.txt	Vertical	2023-07-26 14:05:50.000000	2023-07-26 14:30:50.000000	200	0.005	300000	25m	823470.6366	8505099.684
2	14	0017_230726_1405.txt	North	2023-07-26 14:05:50.000000	2023-07-26 14:30:50.000000	200	0.005	300000	25m	823470.6366	8505099.684
3	15	0017_230726_1405.txt	East	2023-07-26 14:05:50.000000	2023-07-26 14:30:50.000000	200	0.005	300000	25m	823470.6366	8505099.684

UTM: 18s
E: 823476.86
N: 8505091.09
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 9:09 am
Hora final: 9:34 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.04 Hz
AMPLITUD (A0)
 5.77

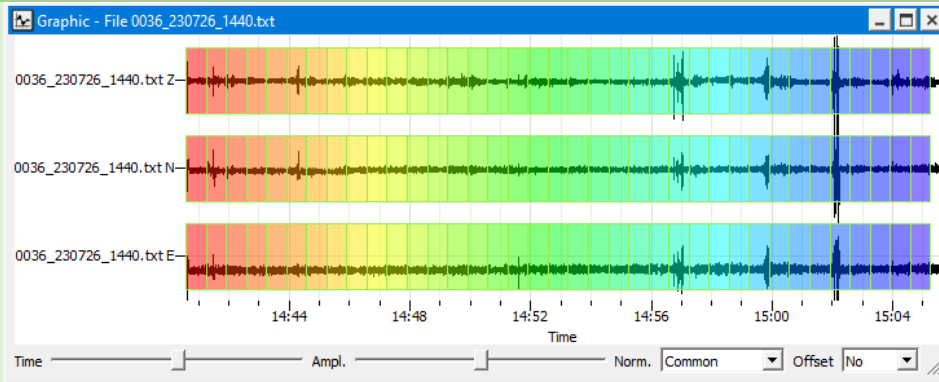
Estación Q5

Acelerograma Q5

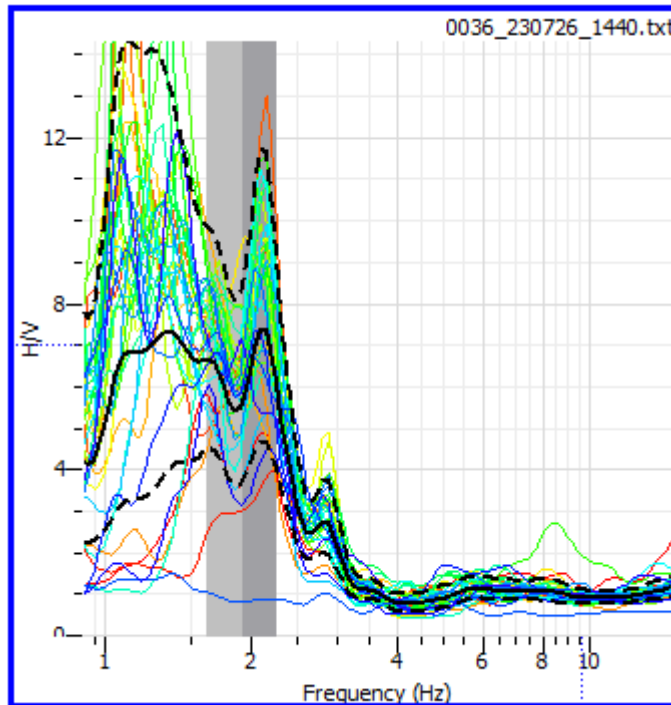
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
16	0036_230726_1440.txt	Vertical	2023-07-26 14:40:35.000000	2023-07-26 15:05:35.000000	200	0.005	300000	25m	823396.0042	8505146.773
17	0036_230726_1440.txt	North	2023-07-26 14:40:35.000000	2023-07-26 15:05:35.000000	200	0.005	300000	25m	823396.0042	8505146.773
18	0036_230726_1440.txt	East	2023-07-26 14:40:35.000000	2023-07-26 15:05:35.000000	200	0.005	300000	25m	823396.0042	8505146.773

UTM: 18s
E: 823395.79
N: 8505133.91
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 9:40 am
Hora final: 10:05 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.92 Hz

AMPLITUD (A0)
 5.55

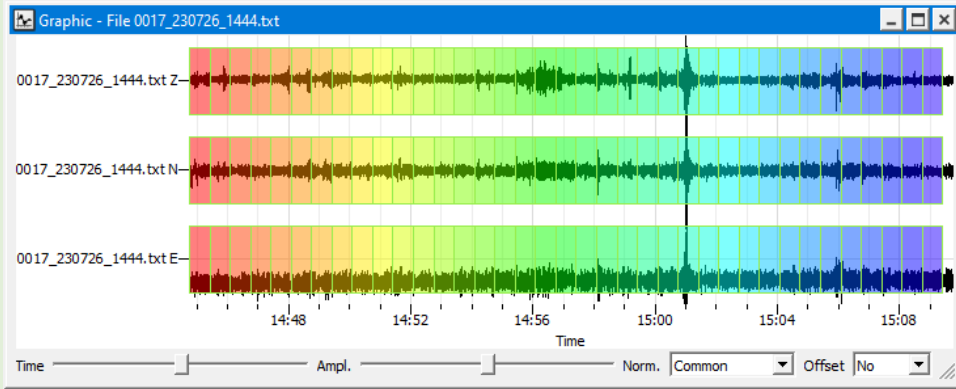
Estación Q6

Acelerograma Q6

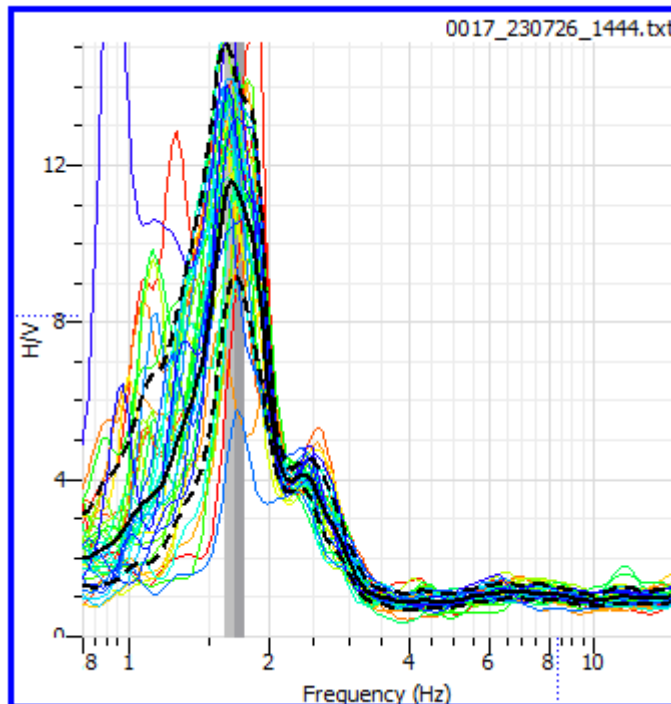
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec. x	Rec. y
19	0017_230726_1444.txt	Vertical	2023-07-26 14:44:45.000000	2023-07-26 15:09:45.000000	200	0.005	300000	25m	823305.48	8505179.216
20	0017_230726_1444.txt	North	2023-07-26 14:44:45.000000	2023-07-26 15:09:45.000000	200	0.005	300000	25m	823305.48	8505179.216
21	0017_230726_1444.txt	East	2023-07-26 14:44:45.000000	2023-07-26 15:09:45.000000	200	0.005	300000	25m	823305.48	8505179.216

UTM: 18s
E: 823306.25
N: 8505178.21
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 9:49 am
Hora final: 10:14 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.69 Hz

AMPLITUD (A0)
 11.51

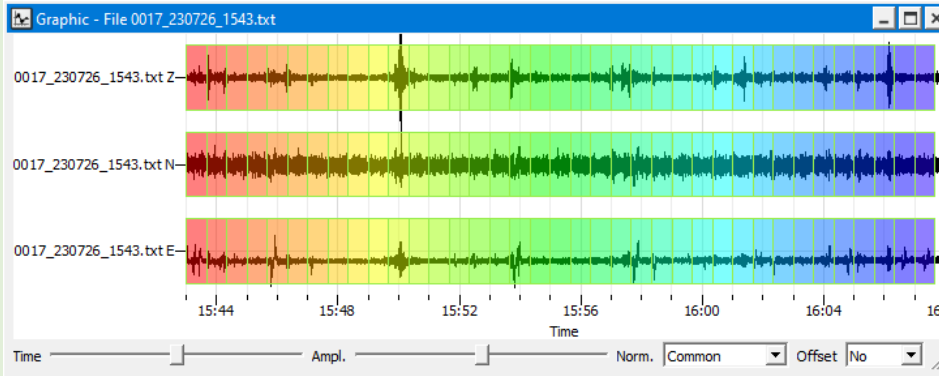
Estación Q7

Acelerograma Q7

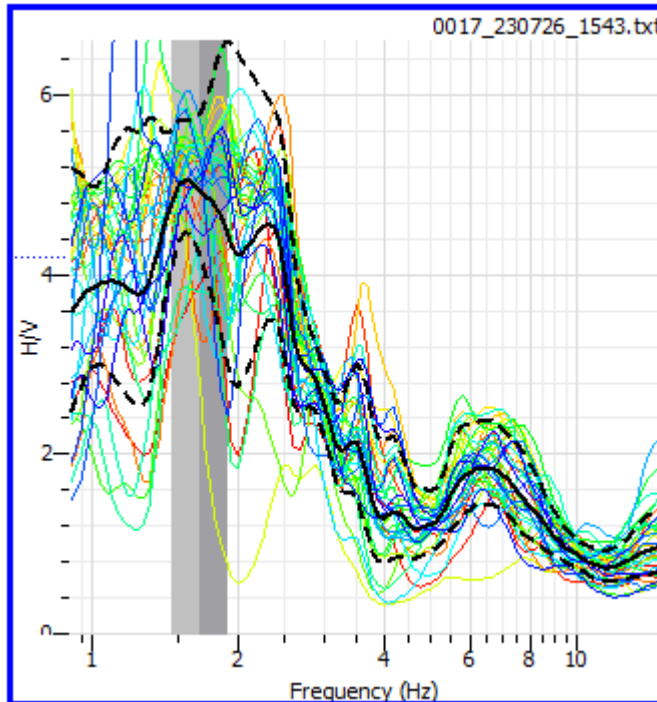
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	4	0017_230726_1543.txt	Vertical	2023-07-26 15:43:00.000000	2023-07-26 16:08:00.000000	200	0.005	300000	25m	823366.4675 8505097.299
2	5	0017_230726_1543.txt	North	2023-07-26 15:43:00.000000	2023-07-26 16:08:00.000000	200	0.005	300000	25m	823366.4675 8505097.299
3	6	0017_230726_1543.txt	East	2023-07-26 15:43:00.000000	2023-07-26 16:08:00.000000	200	0.005	300000	25m	823366.4675 8505097.299

UTM: 18s
E: 823367.06
N: 8505097.13
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 10:35 am
Hora final: 11:00 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.68 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.93

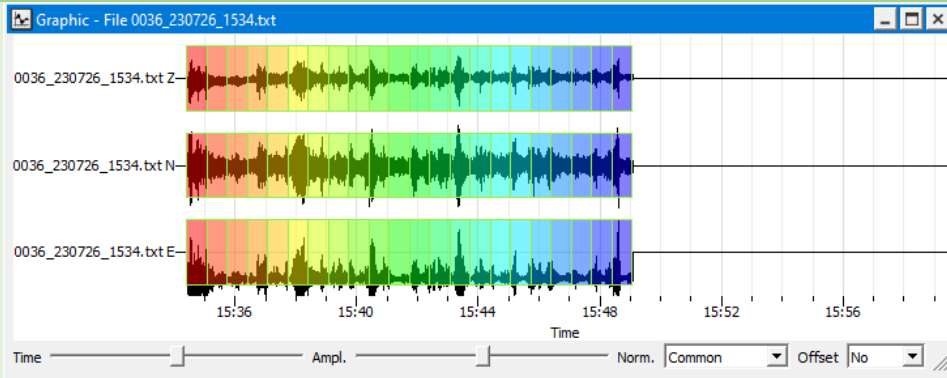
Estación Q8

Acelerograma Q8

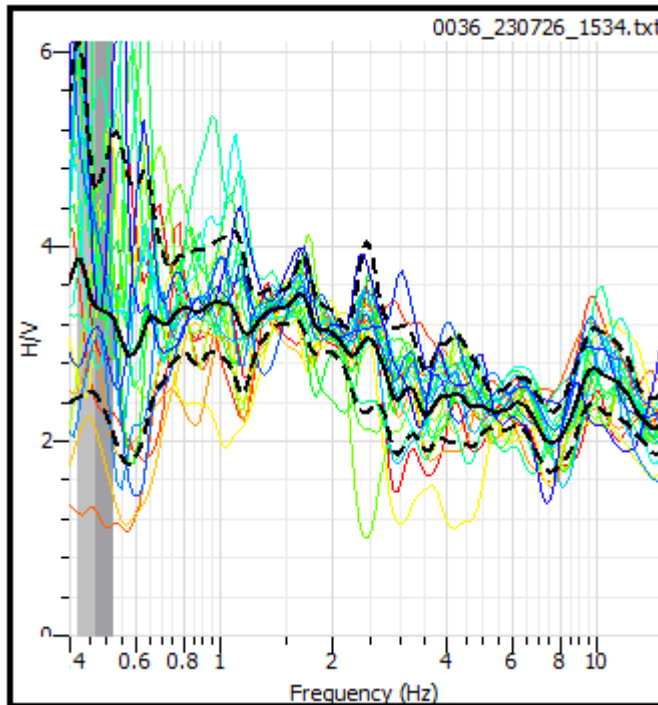
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	7	0036_230726_1534.txt	Vertical	2023-07-26 15:34:24.000000	2023-07-26 15:59:24.000000	200	0.005	300000	25m	823324.2418 8505020.294
2	8	0036_230726_1534.txt	North	2023-07-26 15:34:24.000000	2023-07-26 15:59:24.000000	200	0.005	300000	25m	823324.2418 8505020.294
3	9	0036_230726_1534.txt	East	2023-07-26 15:34:24.000000	2023-07-26 15:59:24.000000	200	0.005	300000	25m	823324.2418 8505020.294

UTM: 18s
E: 823322.53
N: 8505020.66
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 10:35 am
Hora final: 11:00 am
Tiempo de registro:
 15.49 min



SECCIONES
 22 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)

--

AMPLITUD (A0)

--

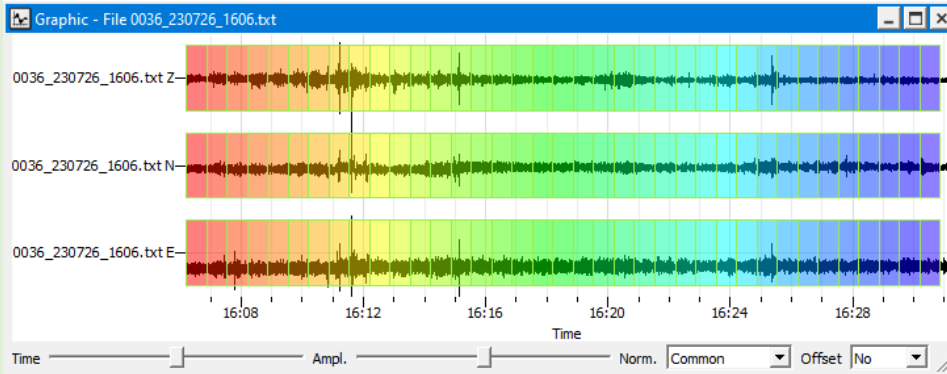
Estación Q9

Acelerograma Q9

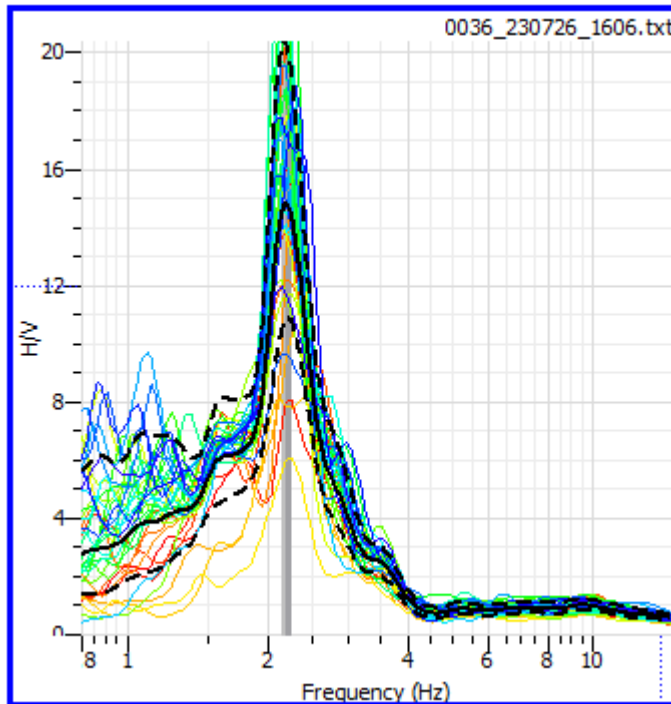
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec. x	Rec. y
1	0036_230726_1606.txt	Vertical	2023-07-26 16:06:12.000000	2023-07-26 16:31:12.000000	200	0.005	300000	25m	823410.562	8505185.355
2	0036_230726_1606.txt	North	2023-07-26 16:06:12.000000	2023-07-26 16:31:12.000000	200	0.005	300000	25m	823410.562	8505185.355
3	0036_230726_1606.txt	East	2023-07-26 16:06:12.000000	2023-07-26 16:31:12.000000	200	0.005	300000	25m	823410.562	8505185.355

UTM: 18s
E: 823415.04
N: 8505189.46
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 11:06 am
Hora final: 11:31 am
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.21 Hz

AMPLITUD (A0)
 14.87

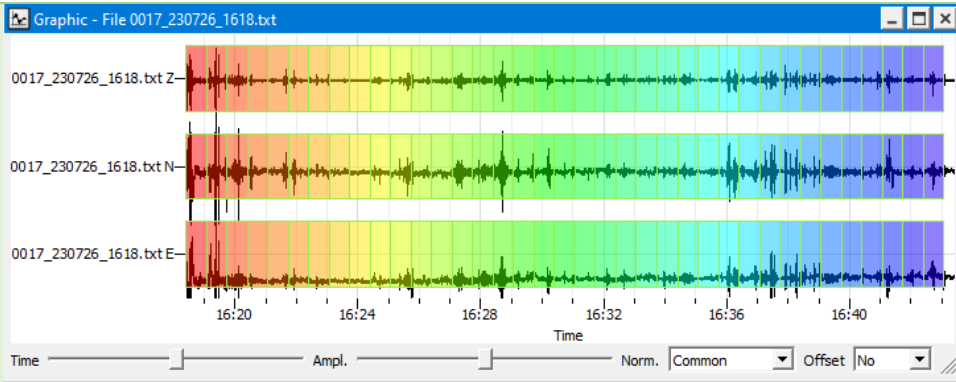
Estación Q10

Acelerograma Q10

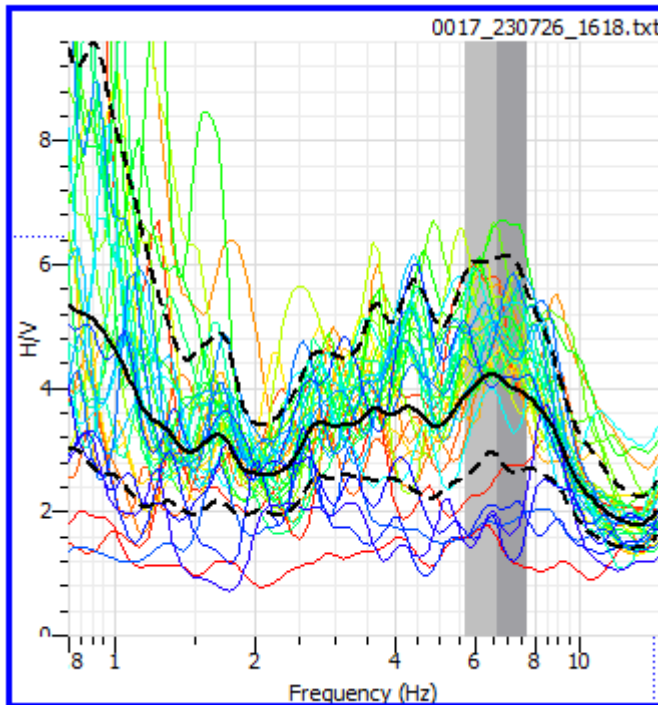
Resultados del registro

UTM: 18s
E: 823459.45
N: 8505268.97
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 11:15 am
Hora final: 11:40 am
Tiempo de registro:
 25 min

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
19	0017_230726_1618.txt	Vertical	2023-07-26 16:18:24.000000	2023-07-26 16:43:24.000000	200	0.005	300000	25m	823455.4826	8505278.939
20	0017_230726_1618.txt	North	2023-07-26 16:18:24.000000	2023-07-26 16:43:24.000000	200	0.005	300000	25m	823455.4826	8505278.939
21	0017_230726_1618.txt	East	2023-07-26 16:18:24.000000	2023-07-26 16:43:24.000000	200	0.005	300000	25m	823455.4826	8505278.939



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 6.63 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.41

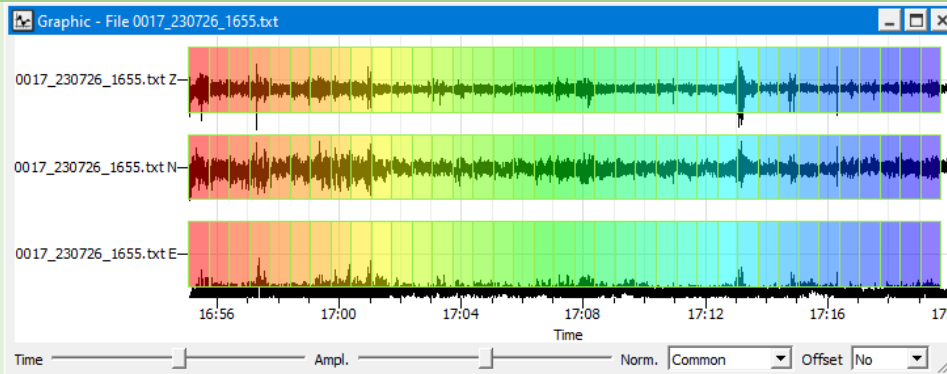
Estación Q11

Acelerograma Q11

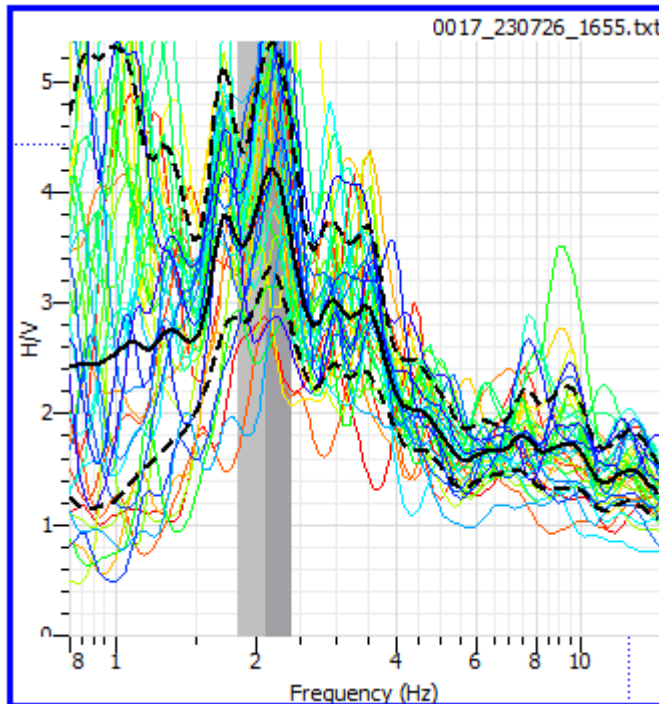
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	22	0017_230726_1655.txt	Vertical	2023-07-26 16:55:03.000000	2023-07-26 17:20:03.000000	200	0.005	300000	25m	823217.6958 8505232.002
2	23	0017_230726_1655.txt	North	2023-07-26 16:55:03.000000	2023-07-26 17:20:03.000000	200	0.005	300000	25m	823217.6958 8505232.002
3	24	0017_230726_1655.txt	East	2023-07-26 16:55:03.000000	2023-07-26 17:20:03.000000	200	0.005	300000	25m	823217.6958 8505232.002

UTM: 18s
E: 823218
N: 8505233.66
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 12:07 pm
Hora final: 12:32 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.1 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.09

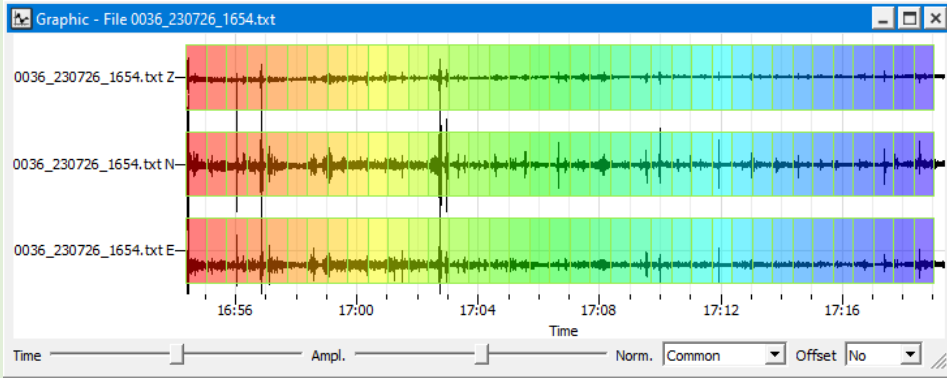
Estación Q12

Acelerograma Q12

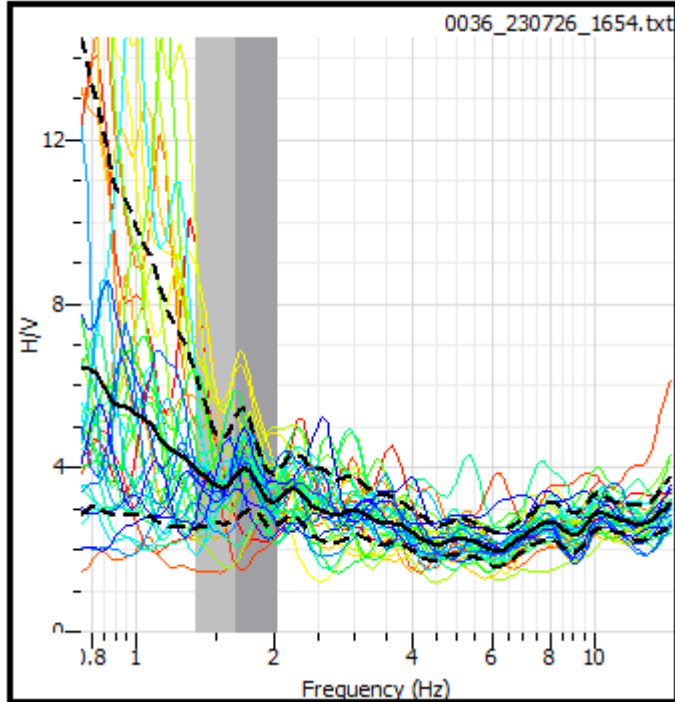
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec. x	Rec. y
1 25	0036_230726_1654.txt	Vertical	2023-07-26 16:54:22.000000	2023-07-26 17:19:22.000000	200	0.005	300000	25m	823153.5233	8505266.006
2 26	0036_230726_1654.txt	North	2023-07-26 16:54:22.000000	2023-07-26 17:19:22.000000	200	0.005	300000	25m	823153.5233	8505266.006
3 27	0036_230726_1654.txt	East	2023-07-26 16:54:22.000000	2023-07-26 17:19:22.000000	200	0.005	300000	25m	823153.5233	8505266.006

UTM: 18s
E: 823155.97
N: 8505266.91
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 11:55 am
Hora final: 12:20 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)

--

AMPLITUD (A0)

--

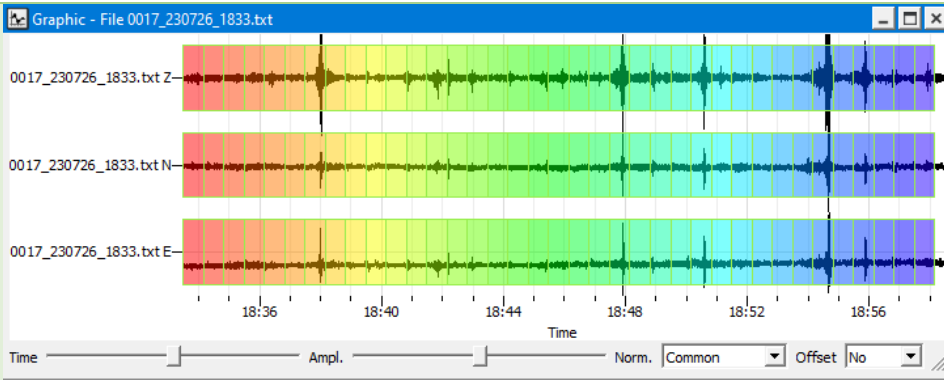
Estación Q13

Acelerograma Q13

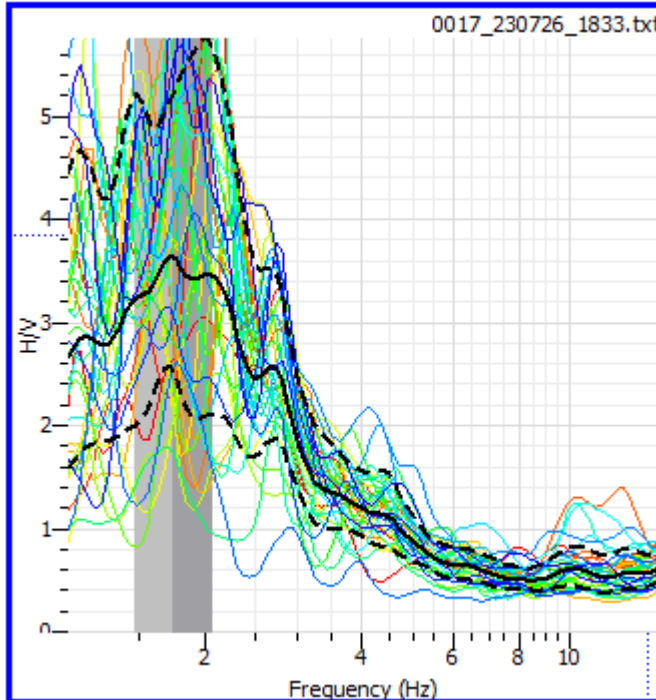
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 28	0017_230726_1833.txt	Vertical	2023-07-26 18:33:29.000000	2023-07-26 18:58:29.000000	200	0.005	300000	25m	823444.9472	8505028.015
2 29	0017_230726_1833.txt	North	2023-07-26 18:33:29.000000	2023-07-26 18:58:29.000000	200	0.005	300000	25m	823444.9472	8505028.015
3 30	0017_230726_1833.txt	East	2023-07-26 18:33:29.000000	2023-07-26 18:58:29.000000	200	0.005	300000	25m	823444.9472	8505028.015

UTM: 18s
E: 823439.71
N: 8505022.52
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 13:35 pm
Hora final: 14:00 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.75 Hz
AMPLITUD (A0)
 3.62

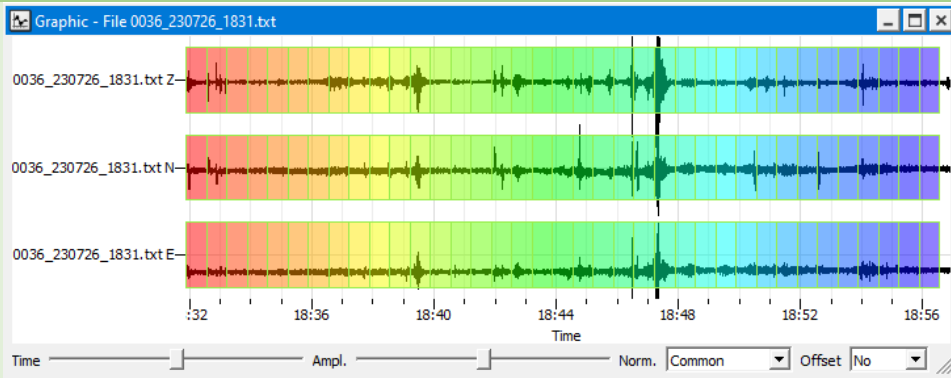
Estación Q14

Acelerograma Q14

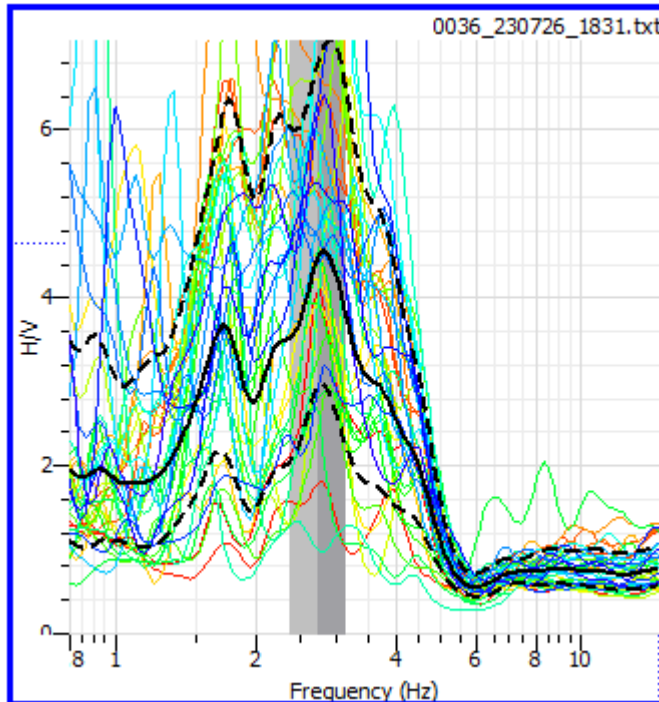
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 31	0036_230726_1831.txt	Vertical	2023-07-26 18:31:53.000000	2023-07-26 18:56:53.000000	200	0.005	300000	25m	823500.1289	8505145.504
2 32	0036_230726_1831.txt	North	2023-07-26 18:31:53.000000	2023-07-26 18:56:53.000000	200	0.005	300000	25m	823500.1289	8505145.504
3 33	0036_230726_1831.txt	East	2023-07-26 18:31:53.000000	2023-07-26 18:56:53.000000	200	0.005	300000	25m	823500.1289	8505145.504

UTM: 18s
E: 823506.82
N: 8505147.85
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 13:32 pm
Hora final: 13:57 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.73 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.46

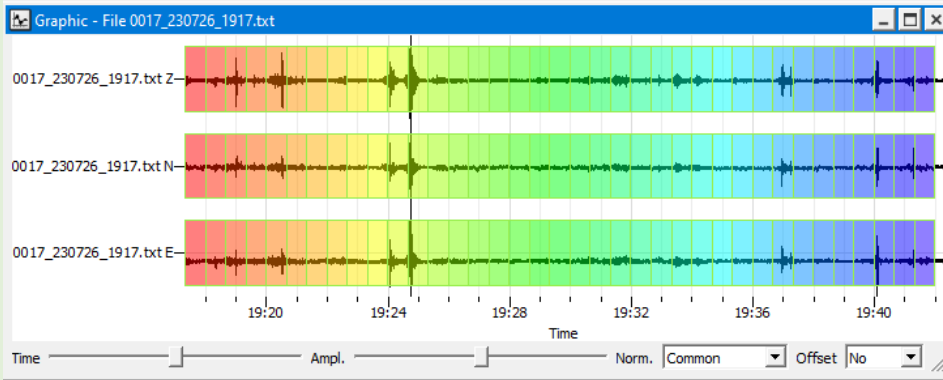
Estación Q15

Acelerograma Q15

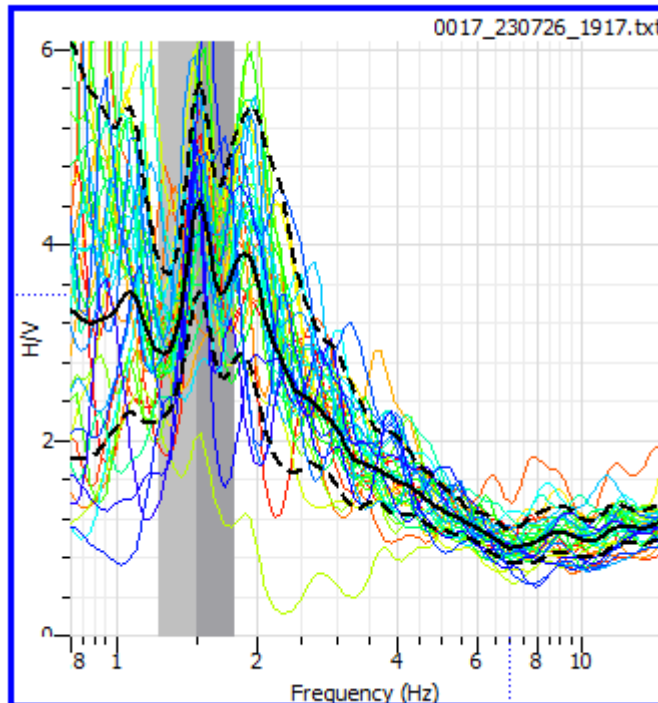
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 34	0017_230726_1917.txt	Vertical	2023-07-26 19:17:19.000000	2023-07-26 19:42:19.000000	200	0.005	300000	25m	823605.7343	8504919.078
2 35	0017_230726_1917.txt	North	2023-07-26 19:17:19.000000	2023-07-26 19:42:19.000000	200	0.005	300000	25m	823605.7343	8504919.078
3 36	0017_230726_1917.txt	East	2023-07-26 19:17:19.000000	2023-07-26 19:42:19.000000	200	0.005	300000	25m	823605.7343	8504919.078

UTM: 18s
E: 823612.94
N: 8504921.92
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 14:11 pm
Hora final: 14:36 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 1.49 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.37

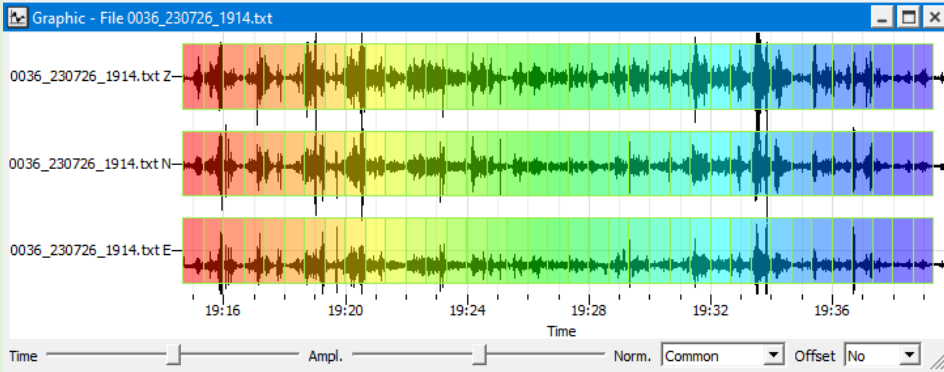
Estación Q16

Acelerograma Q16

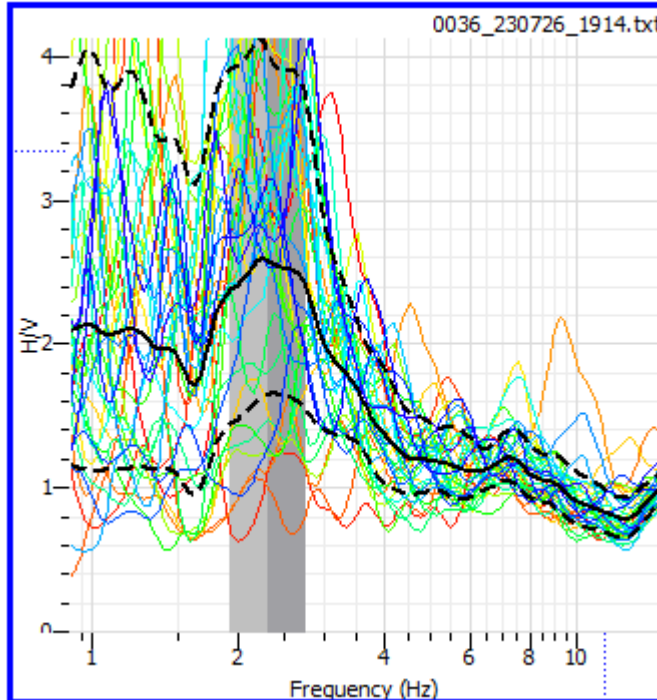
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 37	0036_230726_1914.txt	Vertical	2023-07-26 19:14:39.000000	2023-07-26 19:39:39.000000	200	0.005	300000	25m	823580.2687	8504865.789
2 38	0036_230726_1914.txt	North	2023-07-26 19:14:39.000000	2023-07-26 19:39:39.000000	200	0.005	300000	25m	823580.2687	8504865.789
3 39	0036_230726_1914.txt	East	2023-07-26 19:14:39.000000	2023-07-26 19:39:39.000000	200	0.005	300000	25m	823580.2687	8504865.789

UTM: 18s
E: 823579.54
N: 8504862.53
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 14:18 pm
Hora final: 14:43 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.31 Hz

AMPLITUD (A0)
 2.58

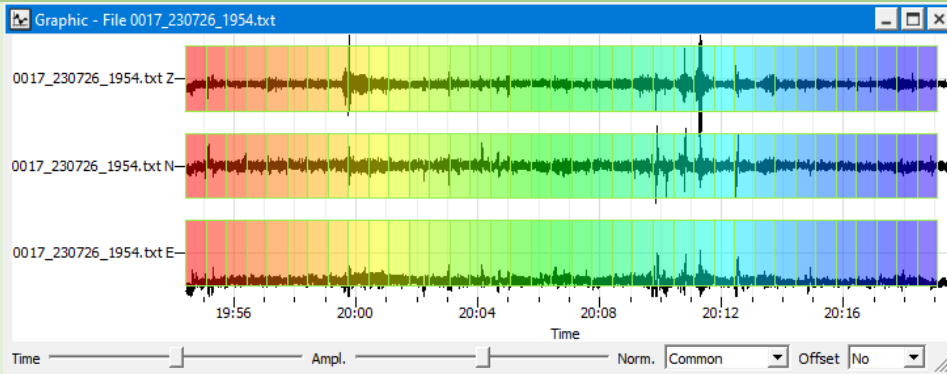
Estación Q17

Acelerograma Q17

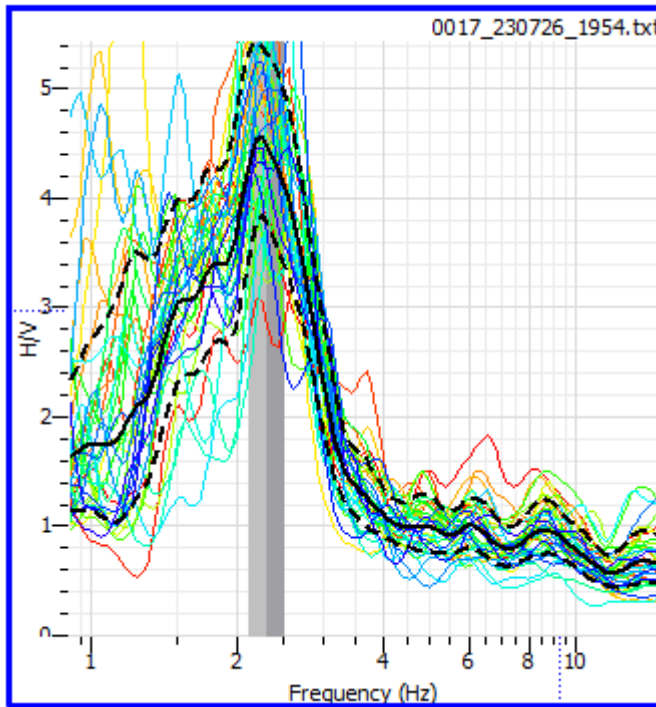
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 40	0017_230726_1954.txt	Vertical	2023-07-26 19:54:25.000000	2023-07-26 20:19:25.000000	200	0.005	300000	25m	823681.818	8505062.115
2 41	0017_230726_1954.txt	North	2023-07-26 19:54:25.000000	2023-07-26 20:19:25.000000	200	0.005	300000	25m	823681.818	8505062.115
3 42	0017_230726_1954.txt	East	2023-07-26 19:54:25.000000	2023-07-26 20:19:25.000000	200	0.005	300000	25m	823681.818	8505062.115

UTM: 18s
E: 823683.26
N: 8505060.52
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 15:01 pm
Hora final: 15:26 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 2.3 Hz

AMPLITUD (A0)
 4.49

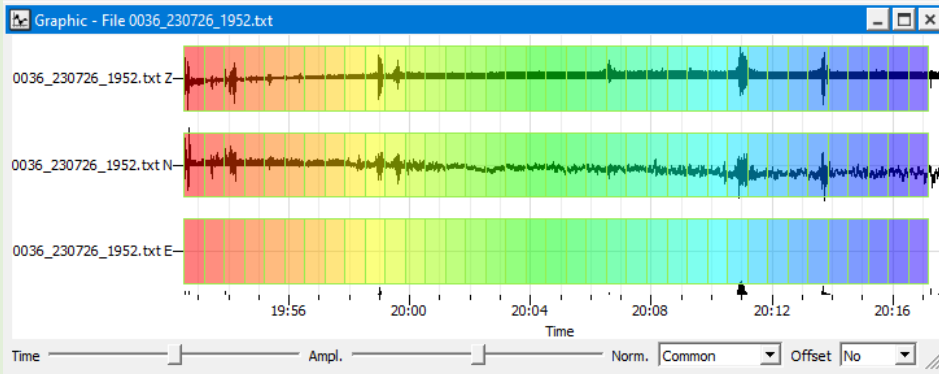
Estación Q18

Acelerograma Q18

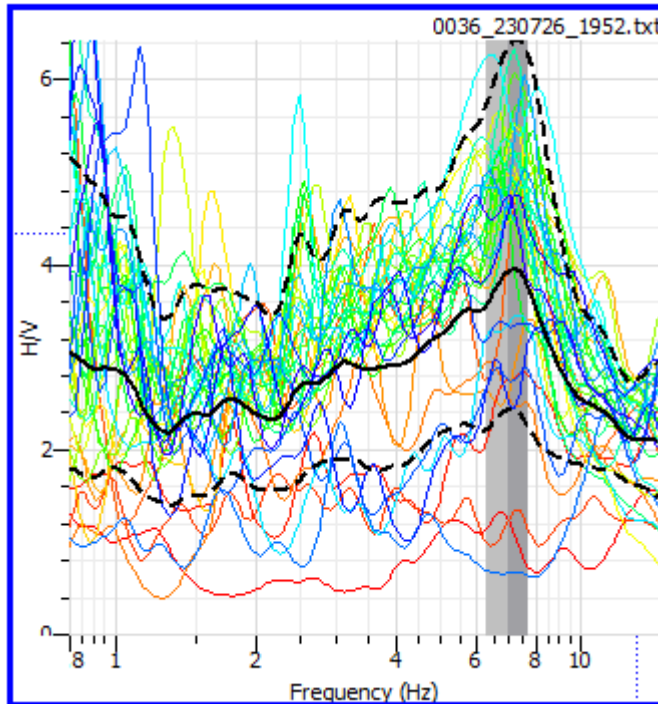
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	43	0036_230726_1952.txt	Vertical	2023-07-26 19:52:31.000000	2023-07-26 20:17:31.000000	200	0.005	300000	25m	823725.869 8505146.517
2	44	0036_230726_1952.txt	North	2023-07-26 19:52:31.000000	2023-07-26 20:17:31.000000	200	0.005	300000	25m	823725.869 8505146.517
3	45	0036_230726_1952.txt	East	2023-07-26 19:52:31.000000	2023-07-26 20:17:31.000000	200	0.005	300000	25m	823725.869 8505146.517

UTM: 18s
E: 823728.73
N: 8505141.88
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 14:53 pm
Hora final: 15:18 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 6.96 Hz
AMPLITUD (A0)
 3.91

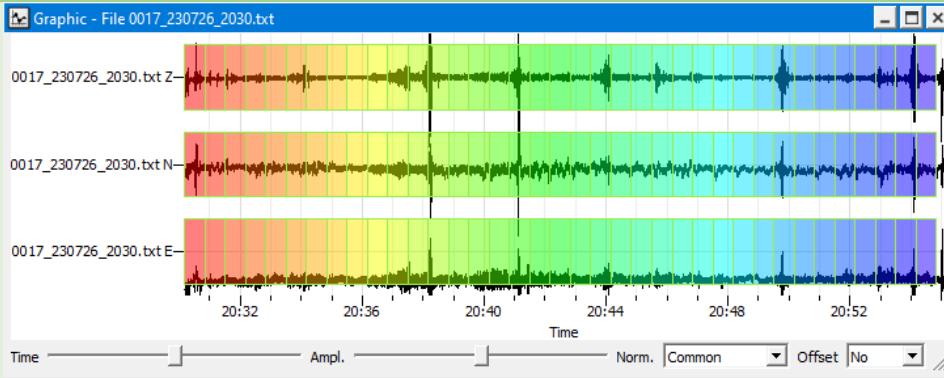
Estación Q19

Acelerograma Q19

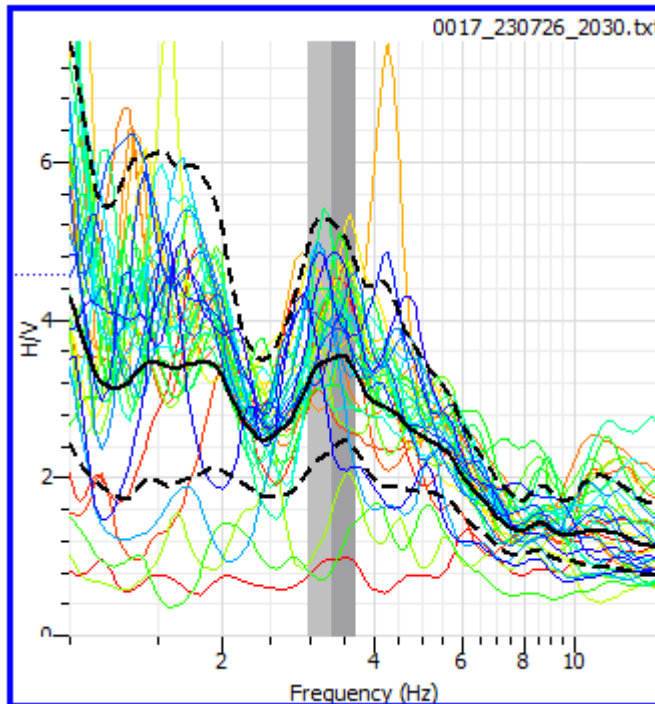
Resultados del registro

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1	0017_230726_2030.txt	Vertical	2023-07-26 20:30:10.000000	2023-07-26 20:55:10.000000	200	0.005	300000	25m	823857.4919	8504956.538
2	0017_230726_2030.txt	North	2023-07-26 20:30:10.000000	2023-07-26 20:55:10.000000	200	0.005	300000	25m	823857.4919	8504956.538
3	0017_230726_2030.txt	East	2023-07-26 20:30:10.000000	2023-07-26 20:55:10.000000	200	0.005	300000	25m	823857.4919	8504956.538

UTM: 18s
E: 823855.24
N: 8504951.09
Fecha: 26/07/2023
Hora de inicio: 15:27 pm
Hora final: 15:52 pm
Tiempo de registro:
 25 min



SECCIONES
 37 ventanas de 40 segundos



FRECUENCIA (f0)
 3.31 Hz

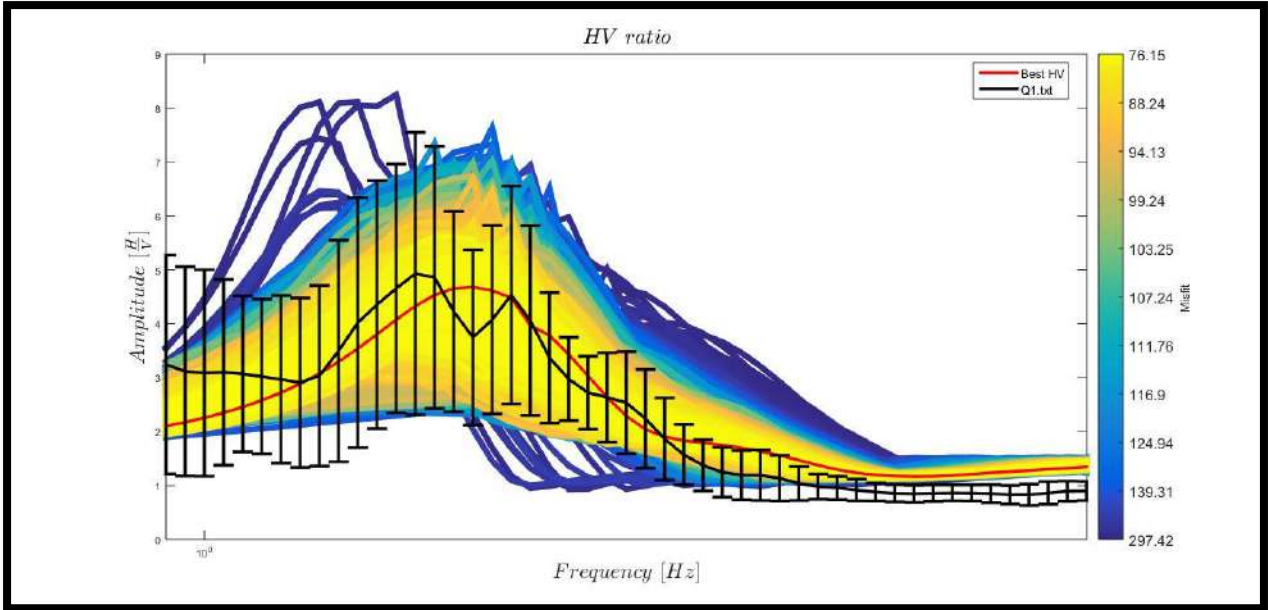
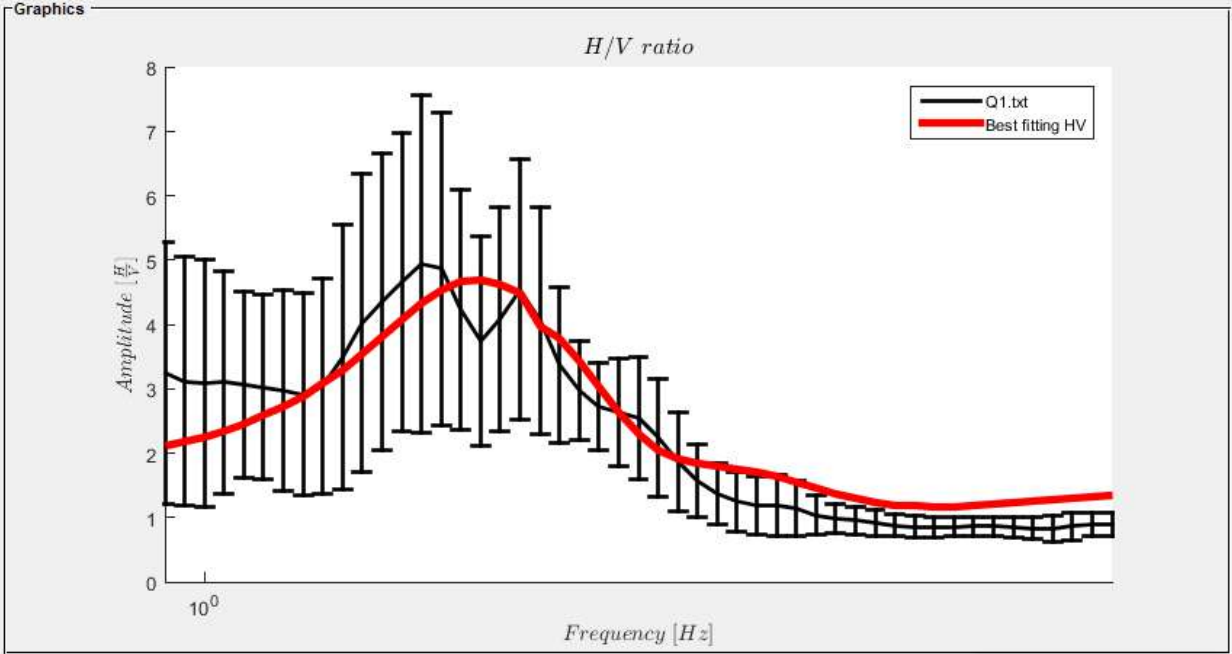
AMPLITUD (A0)
 3.5

ANEXO N°2

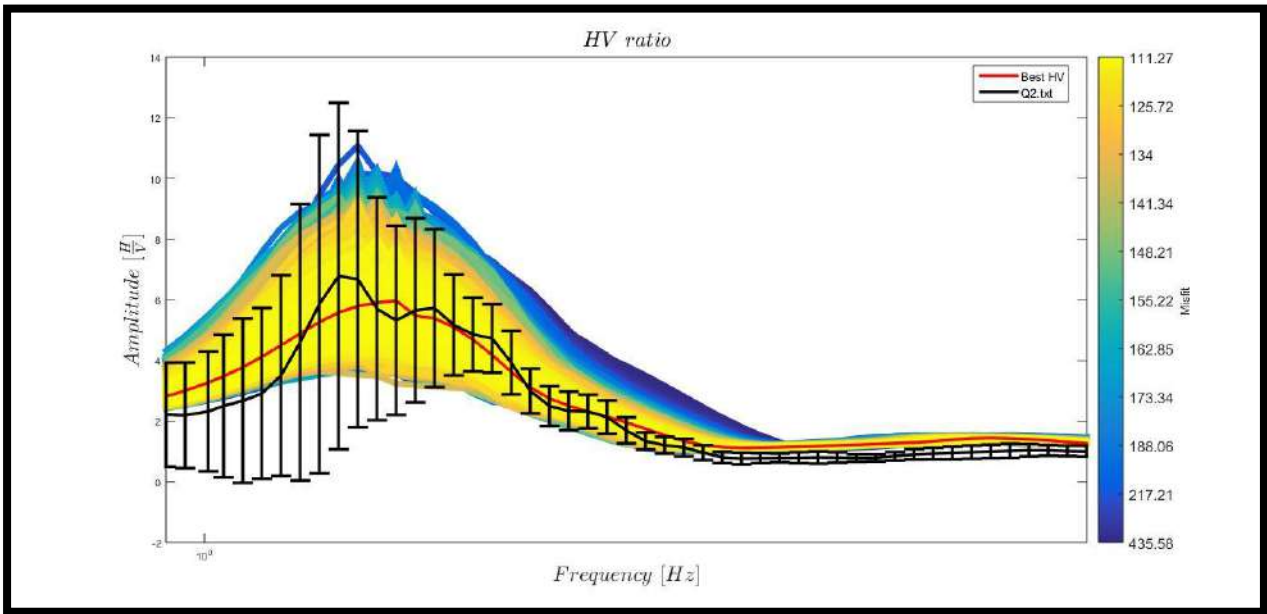
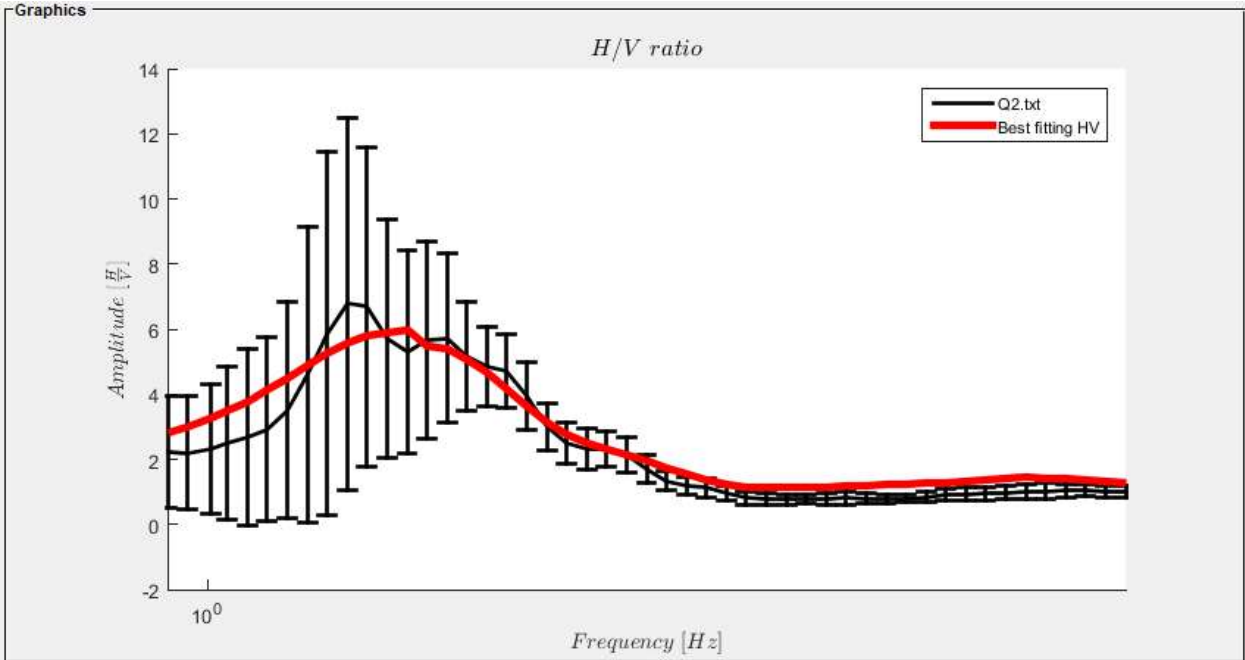
INVERSIÓN DE CURVAS

HVSR

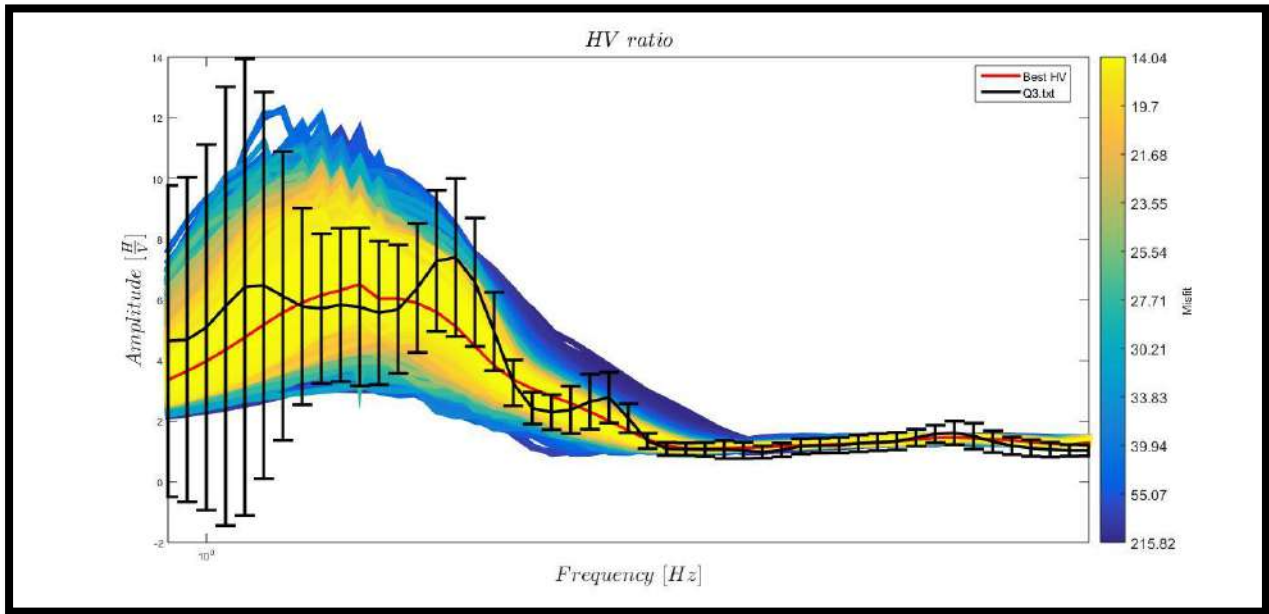
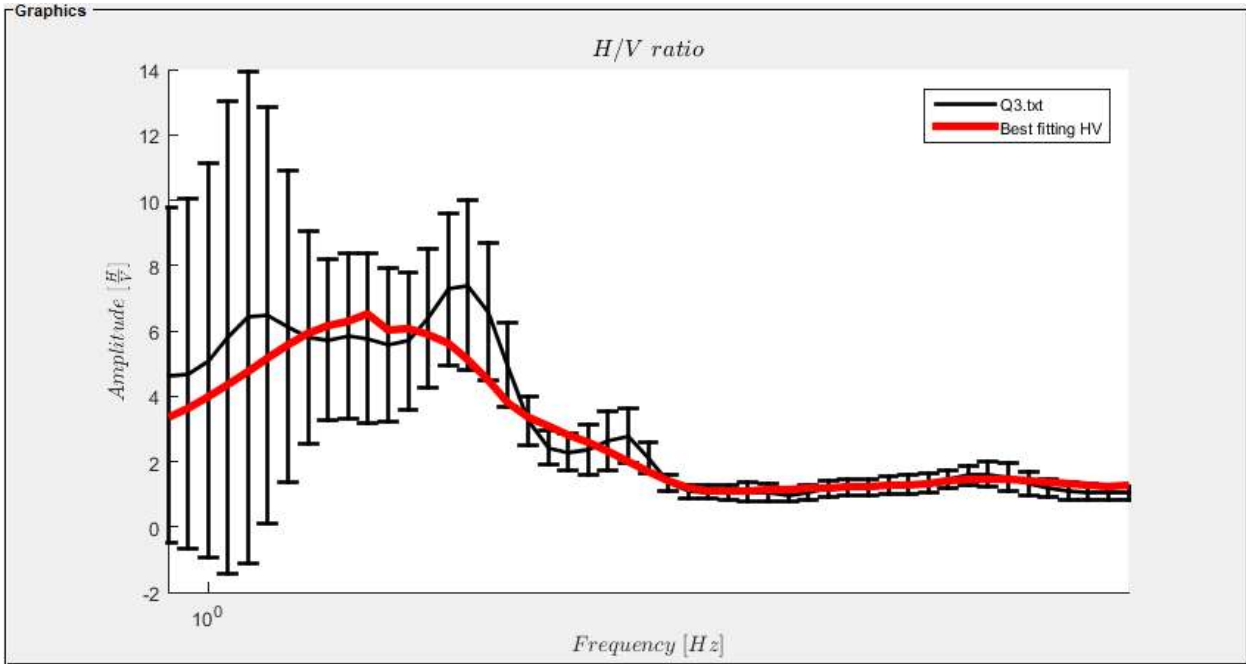
PUNTO Q1



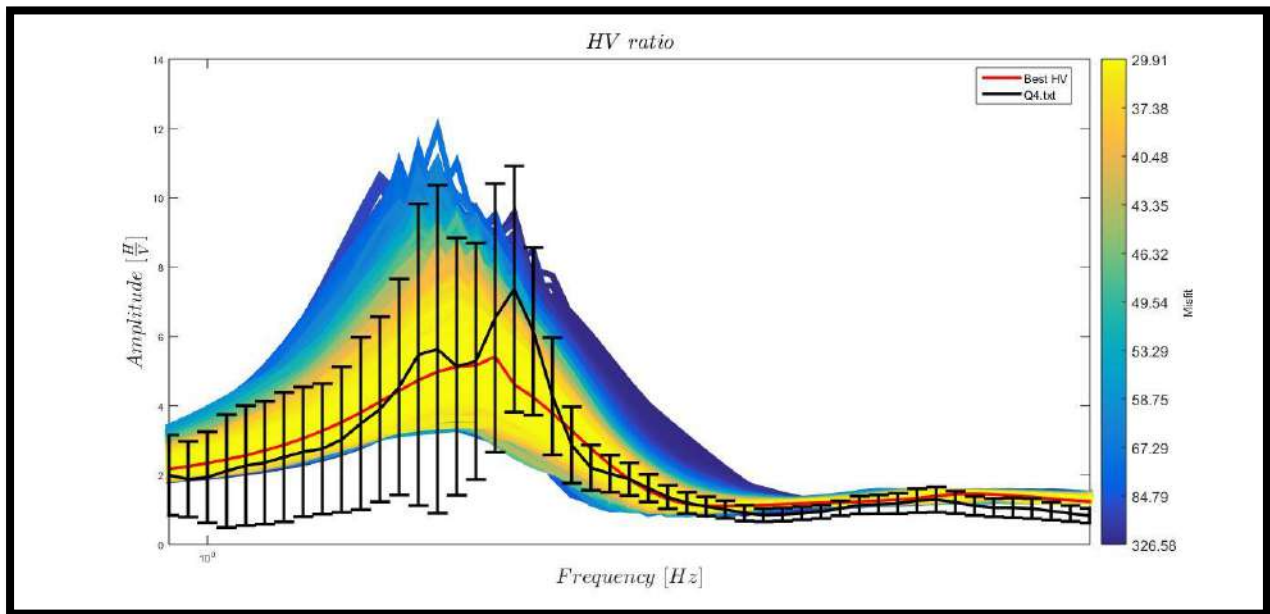
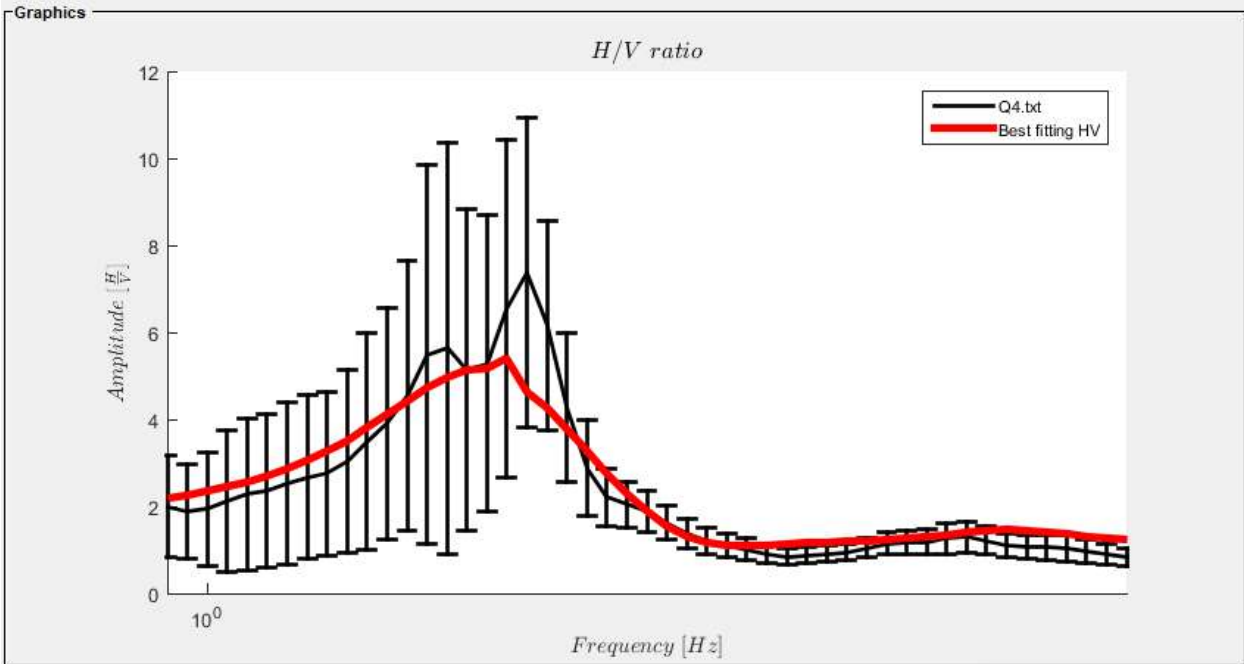
PUNTO Q2



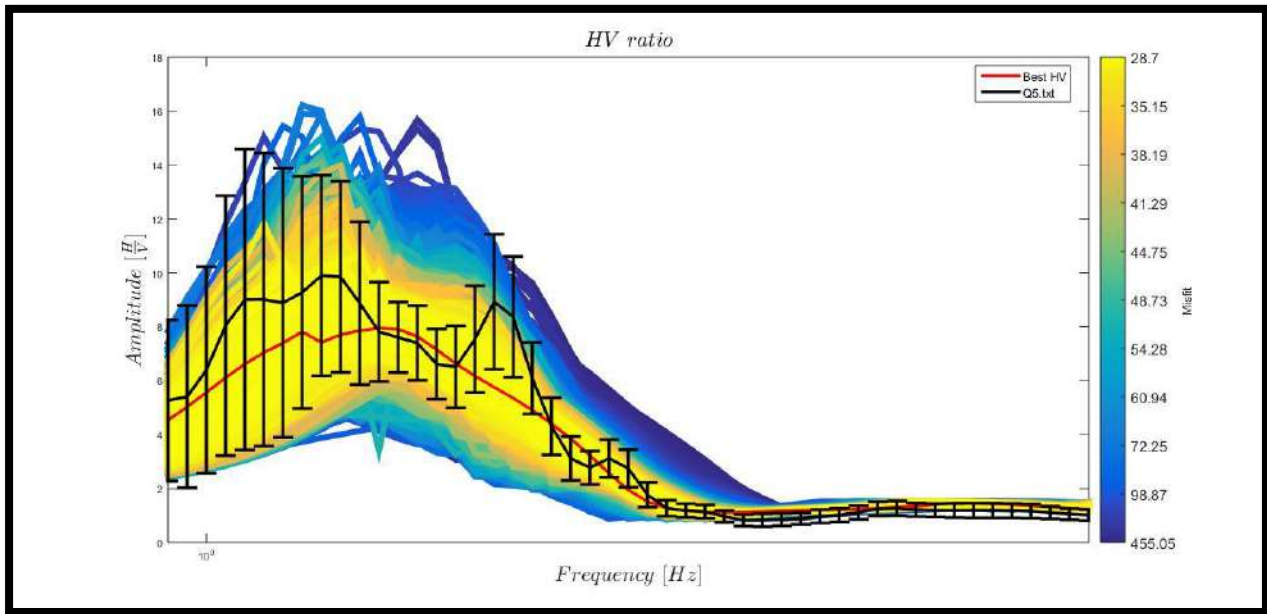
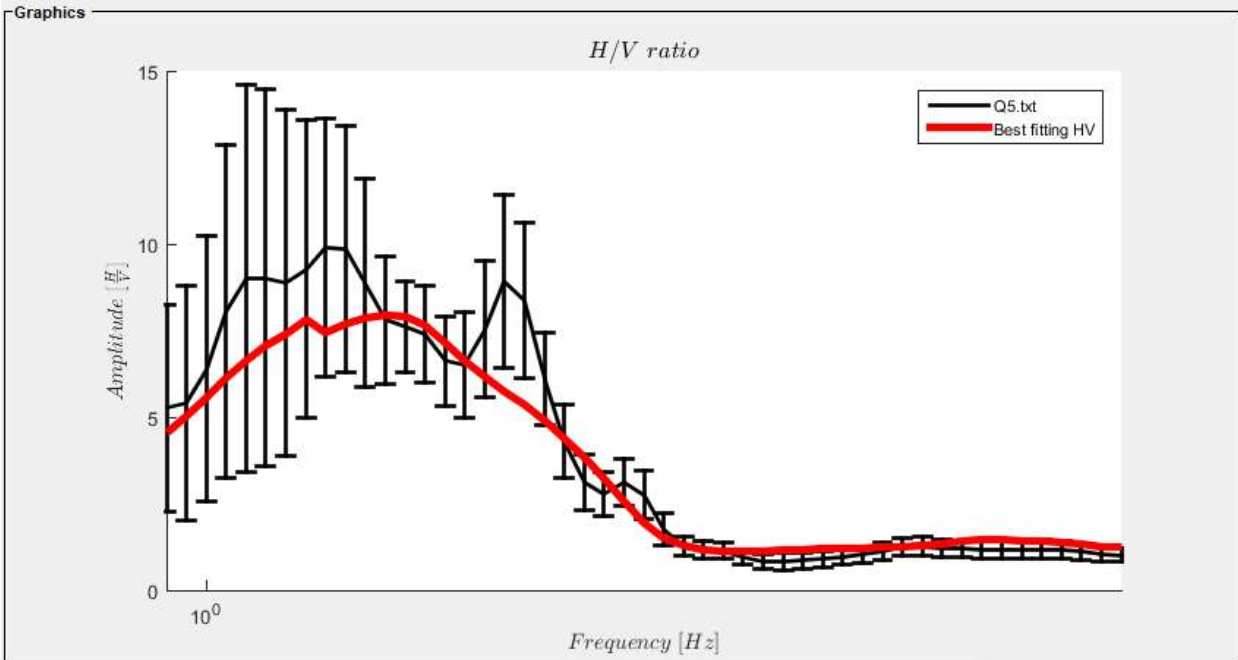
PUNTO Q3



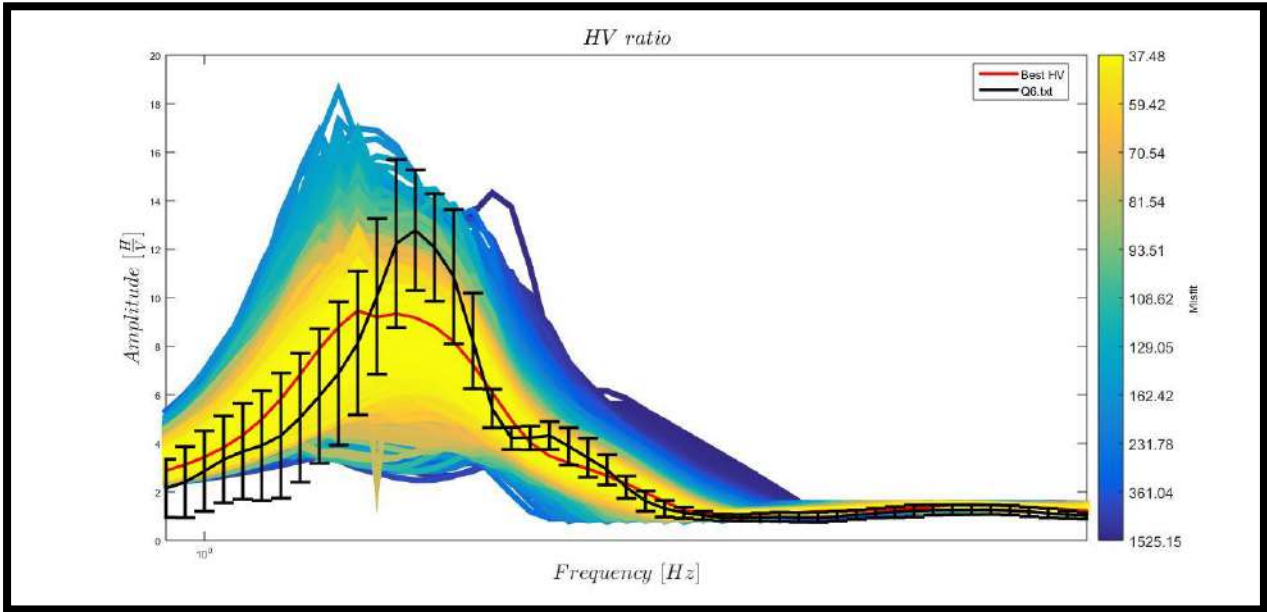
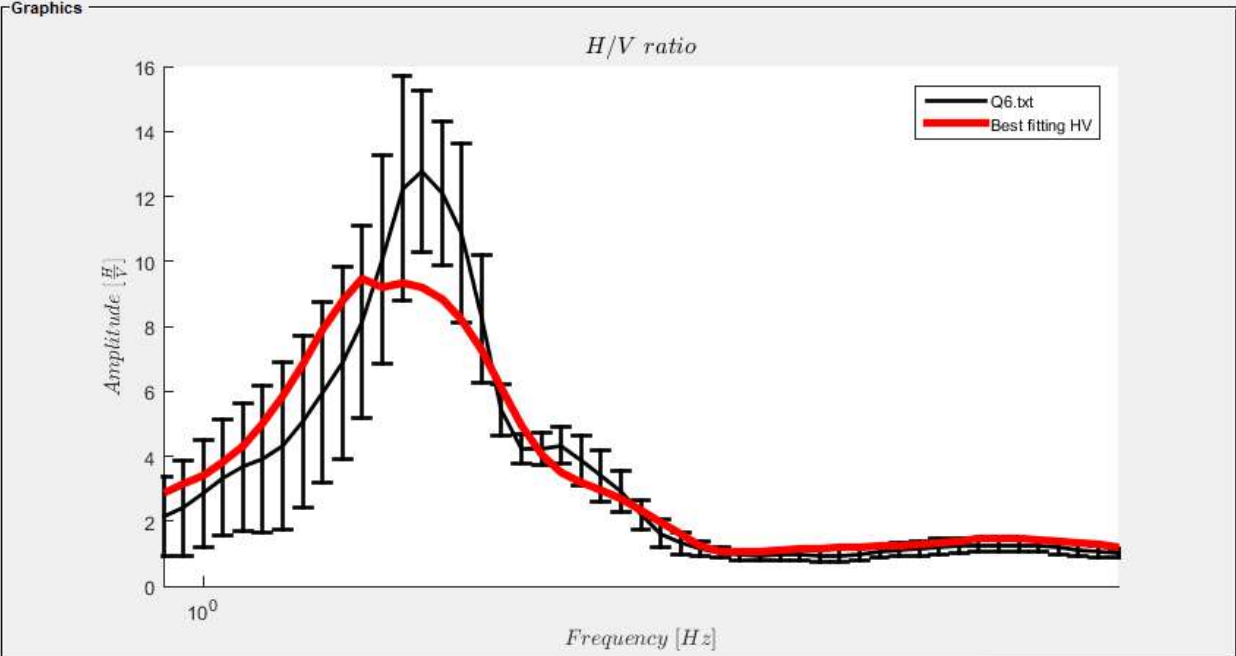
PUNTO Q4



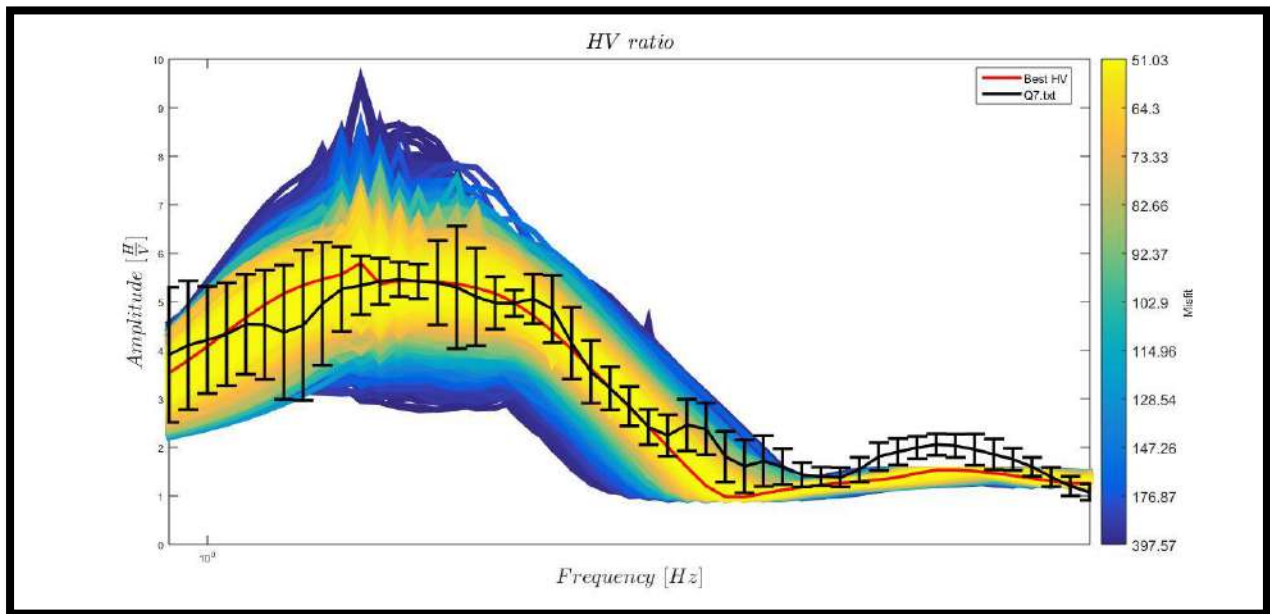
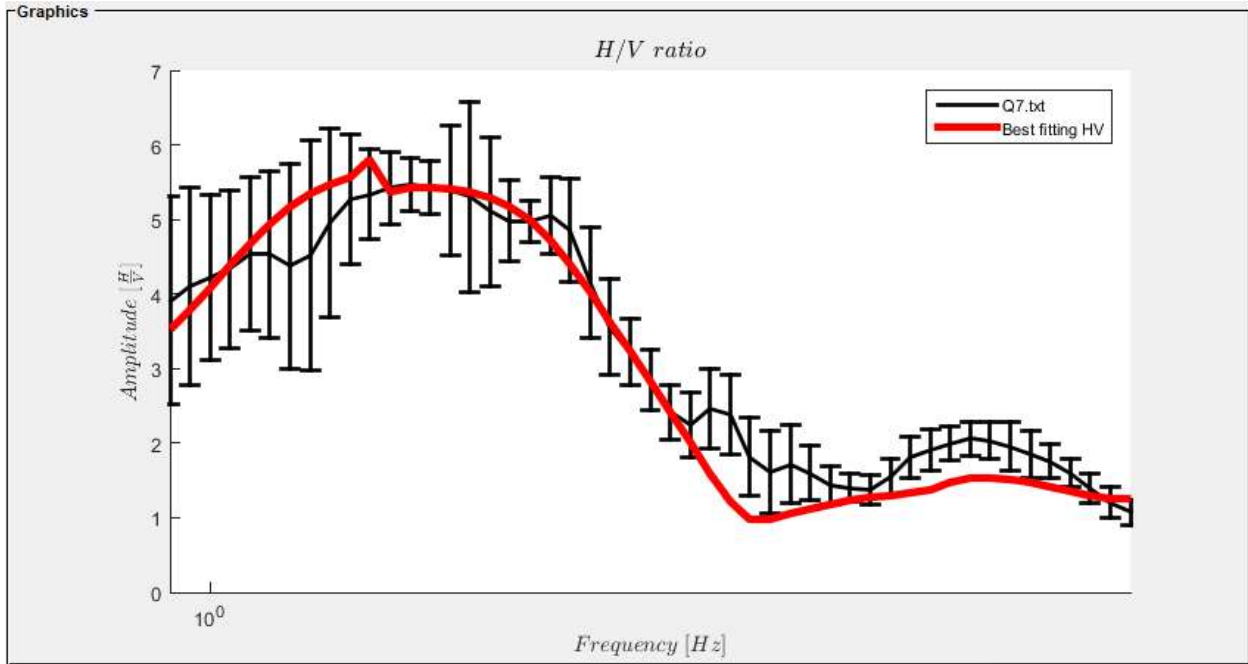
PUNTO Q5



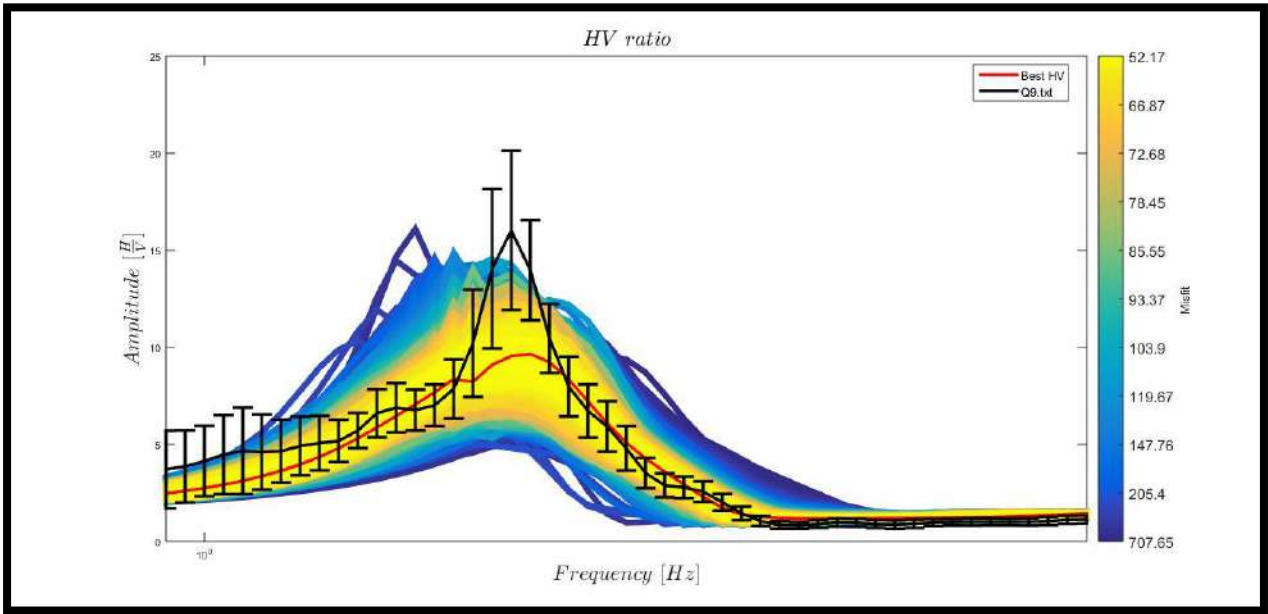
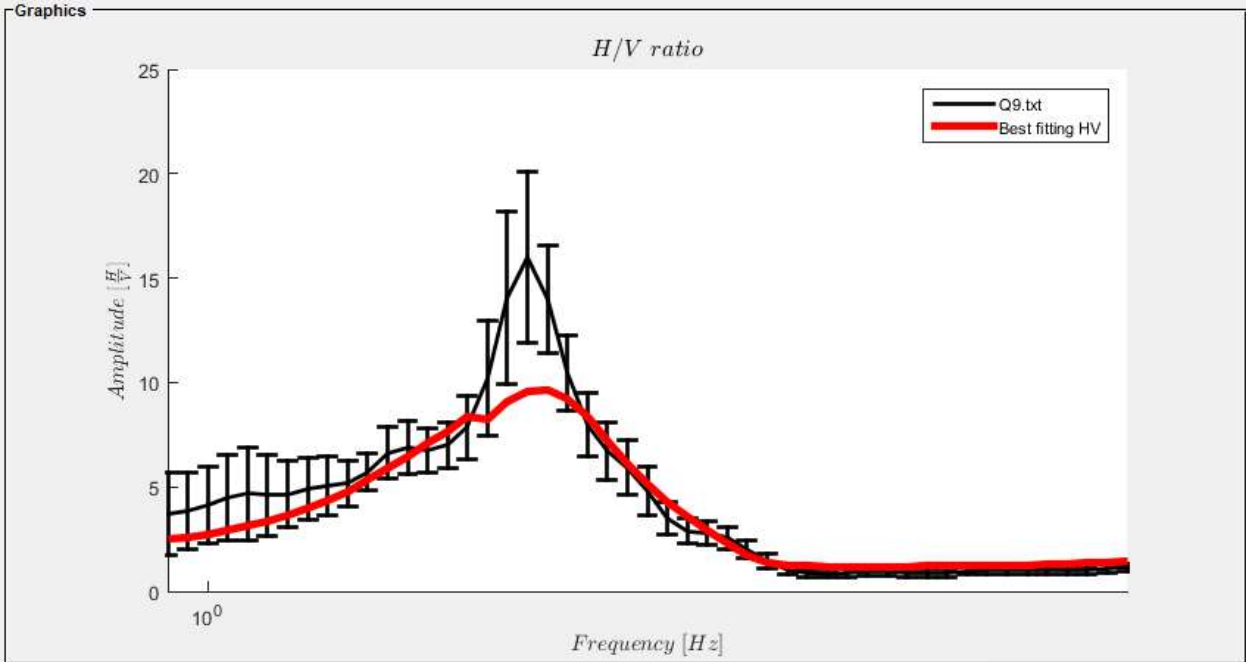
PUNTO Q6



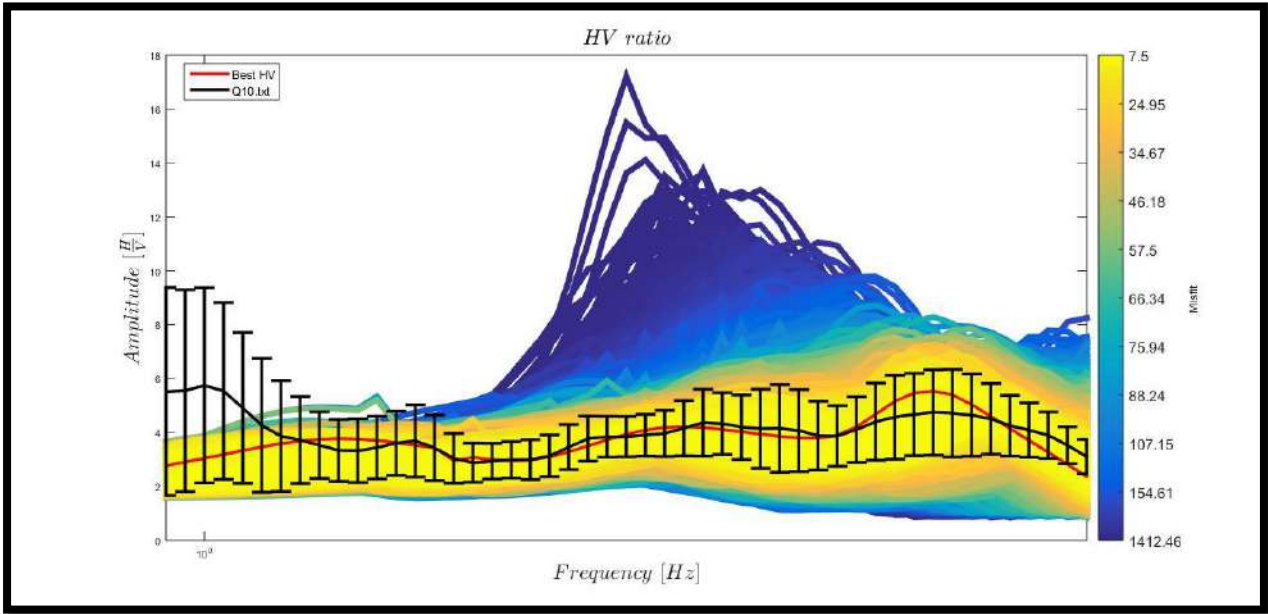
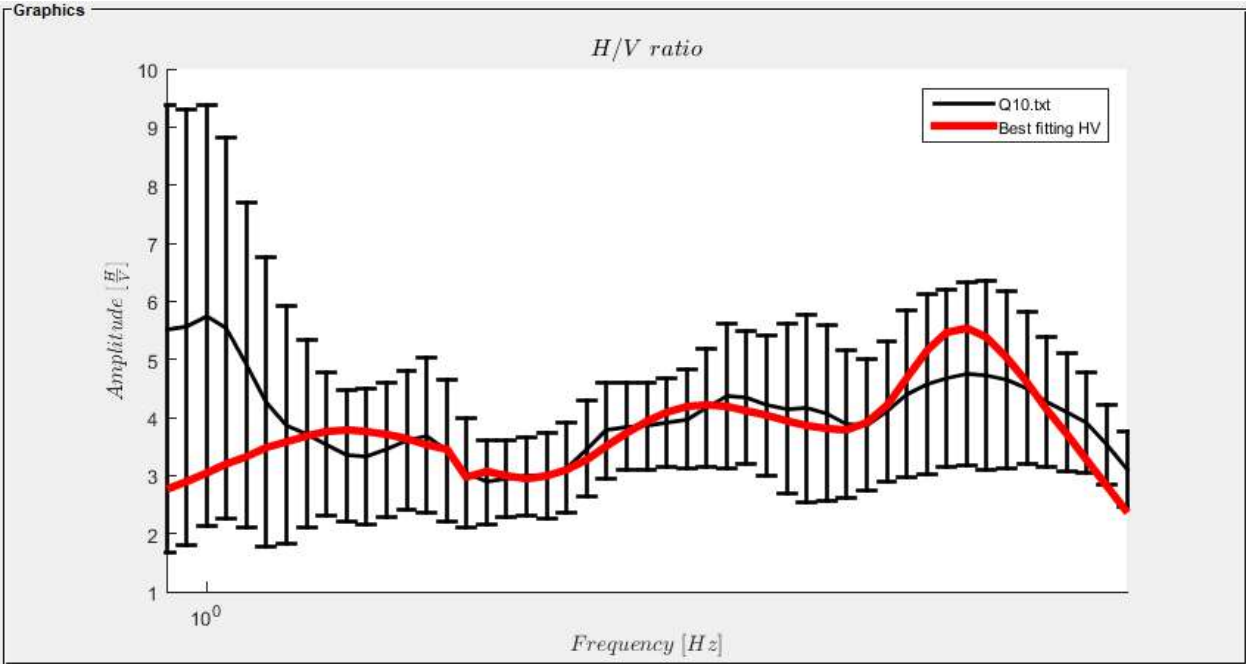
PUNTO Q7



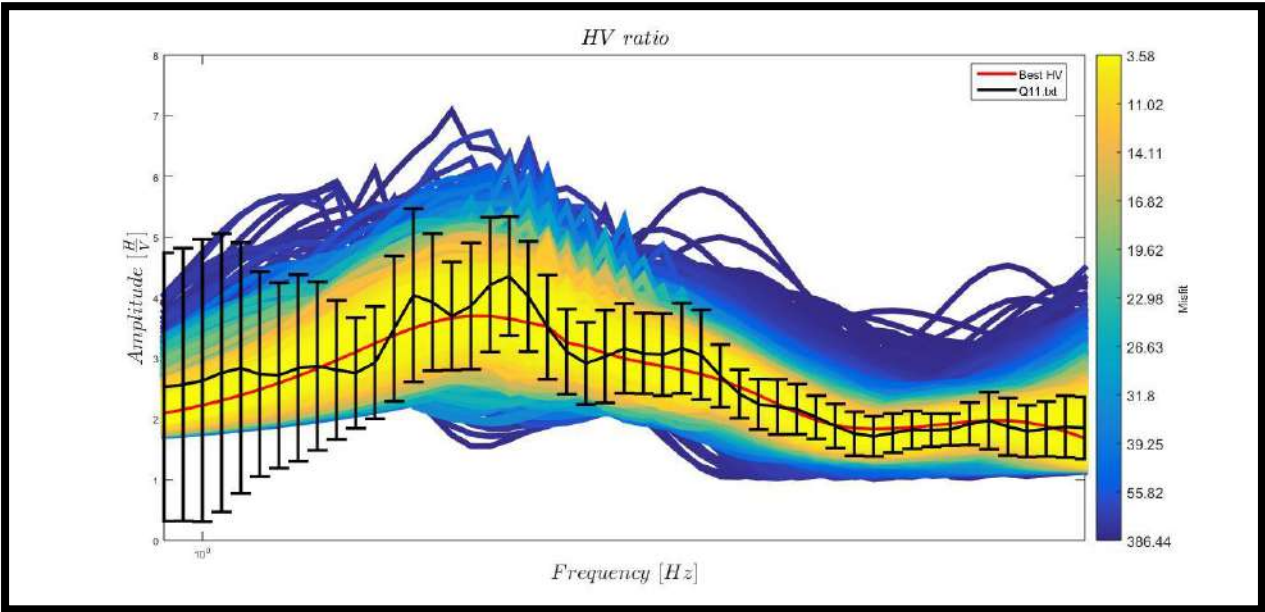
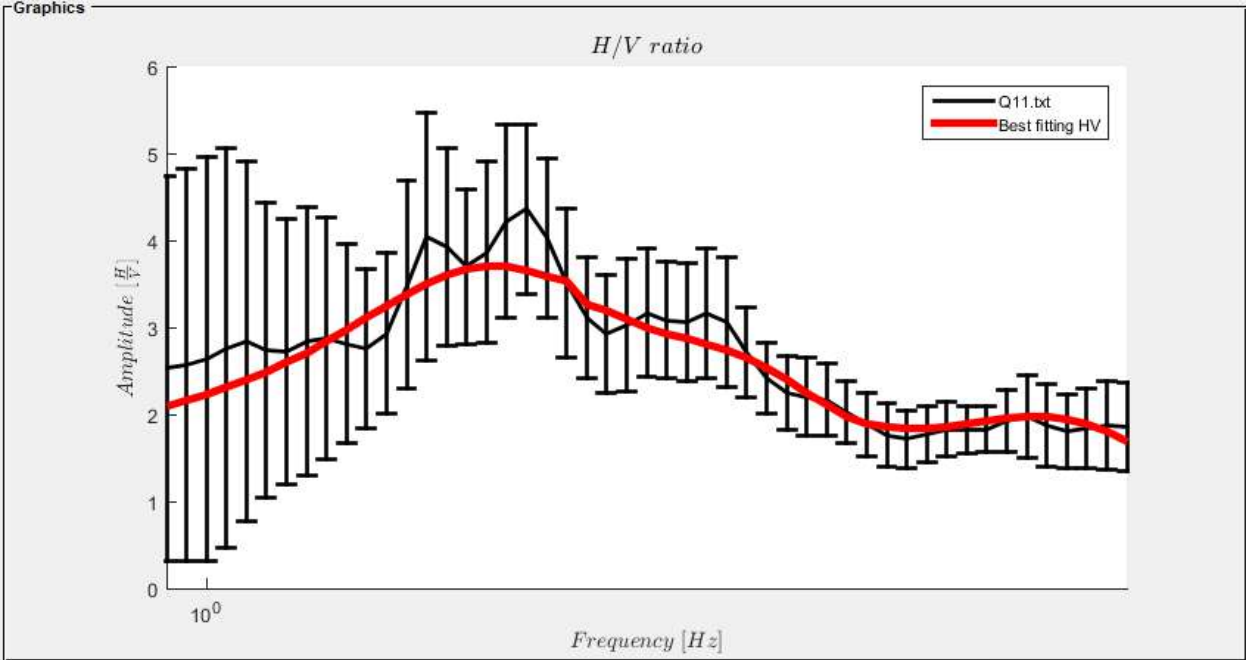
PUNTO Q9



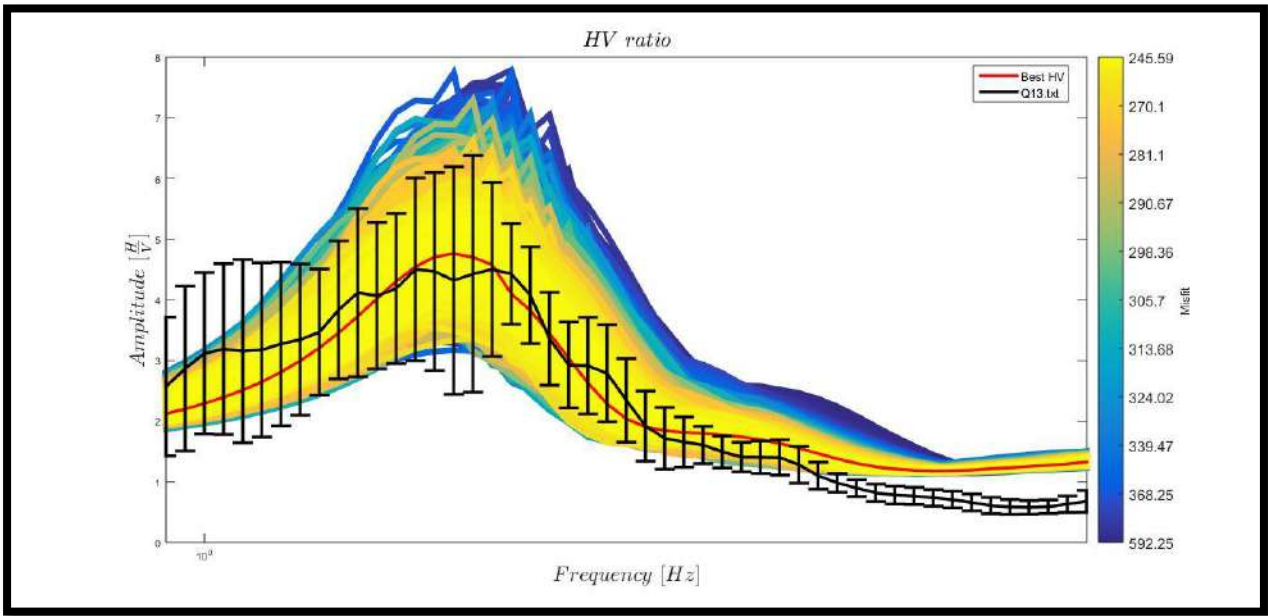
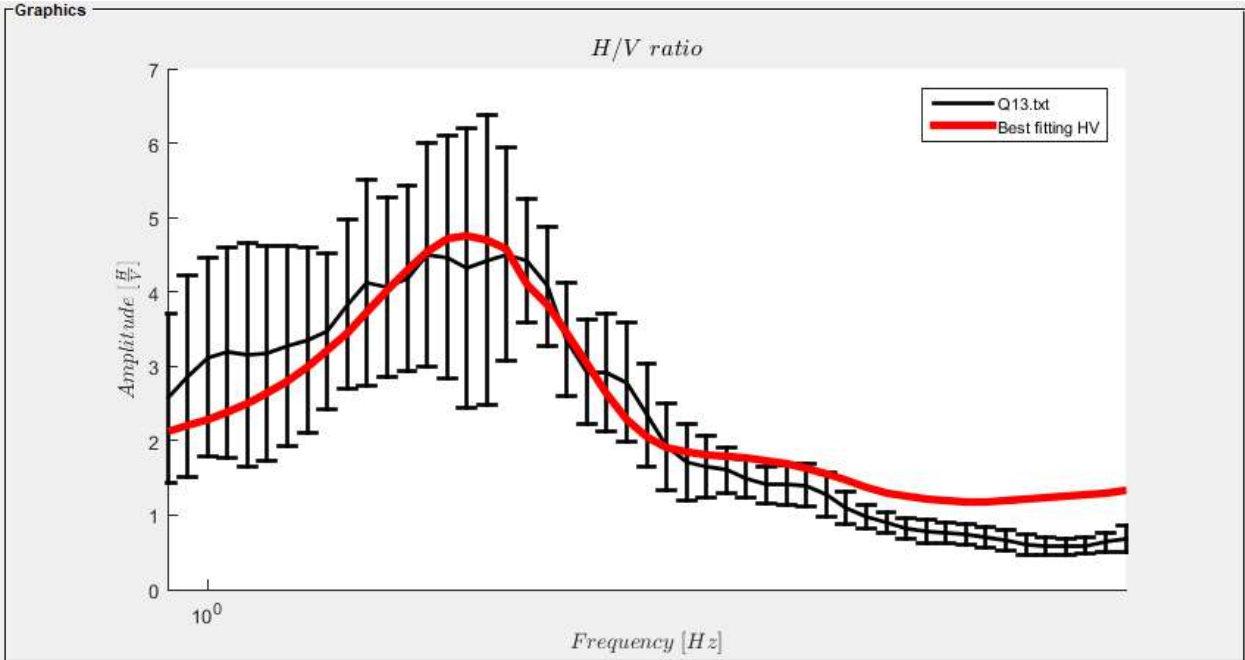
PUNTO Q10



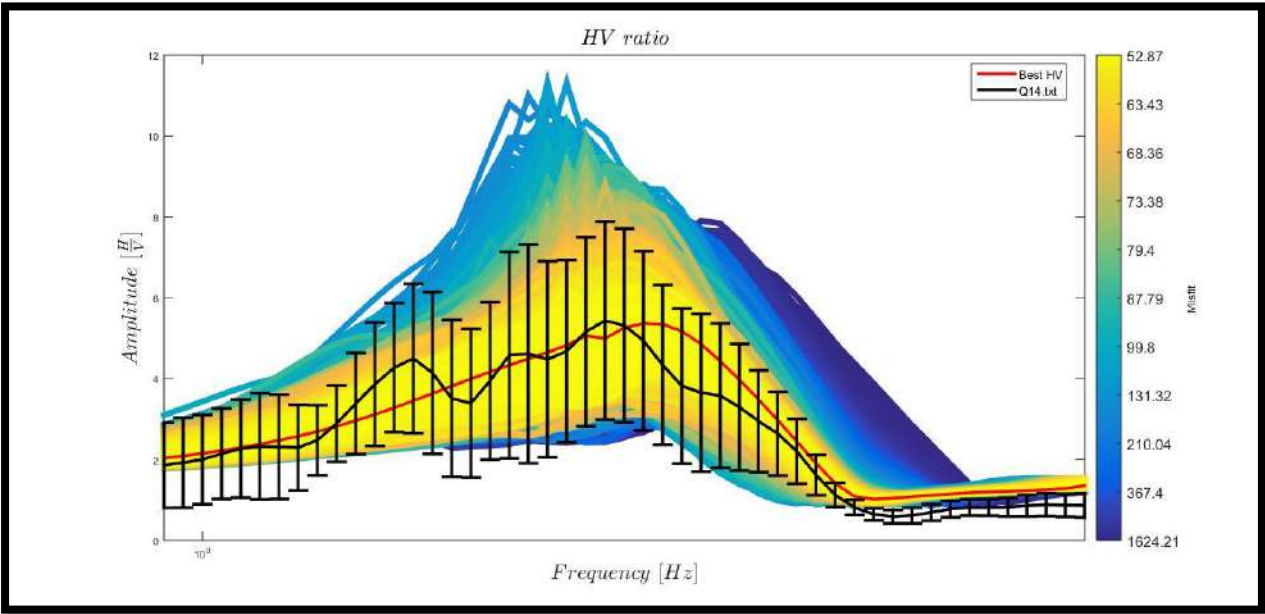
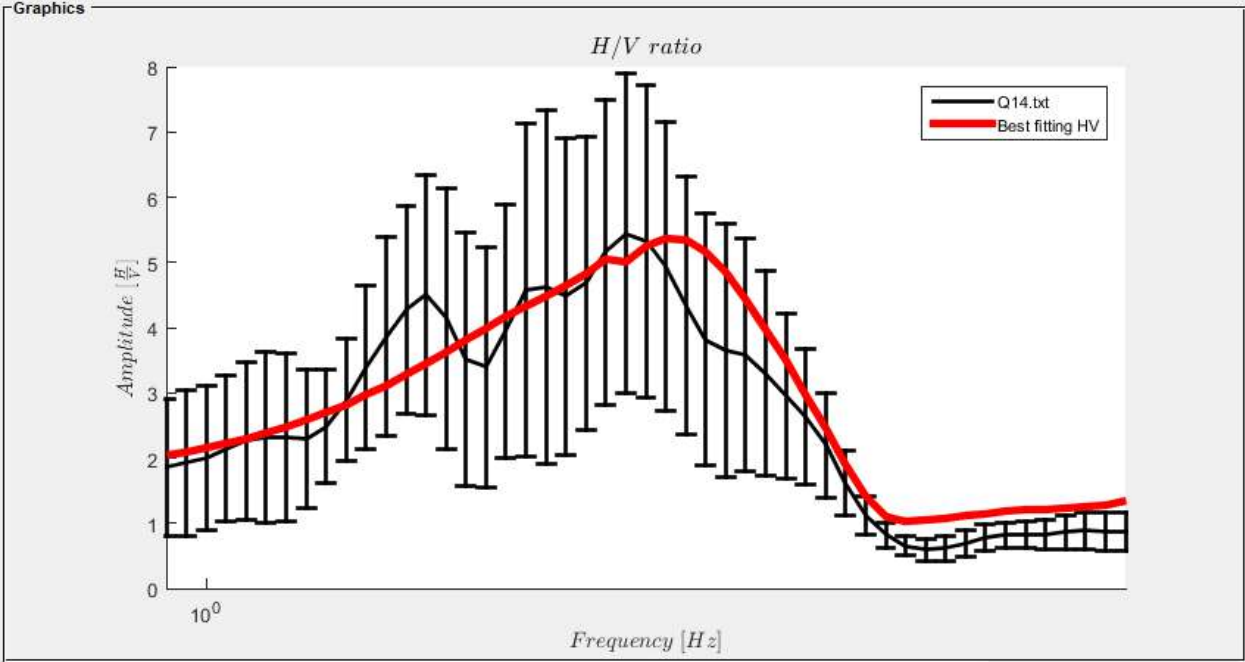
PUNTO Q11



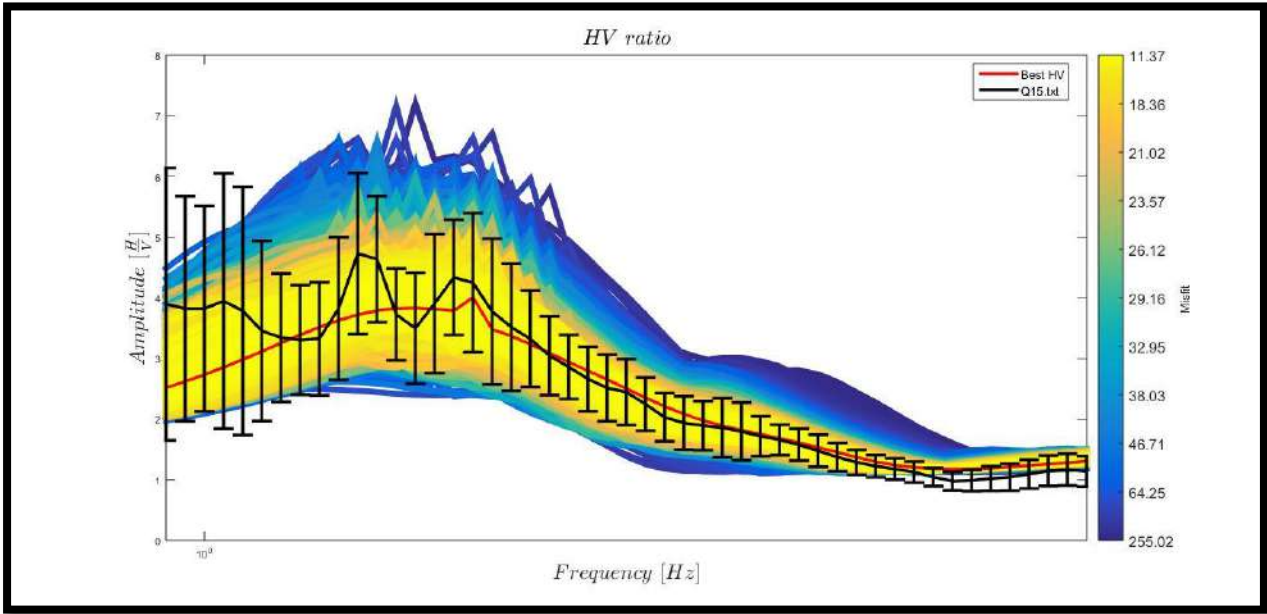
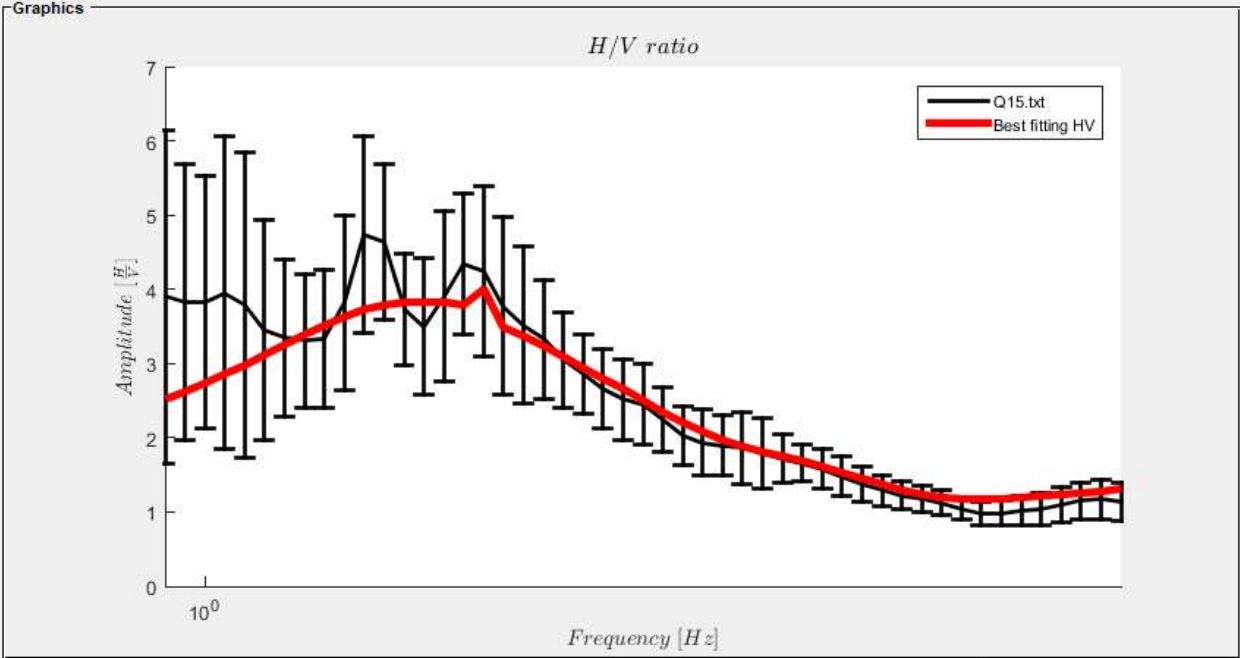
PUNTO Q13



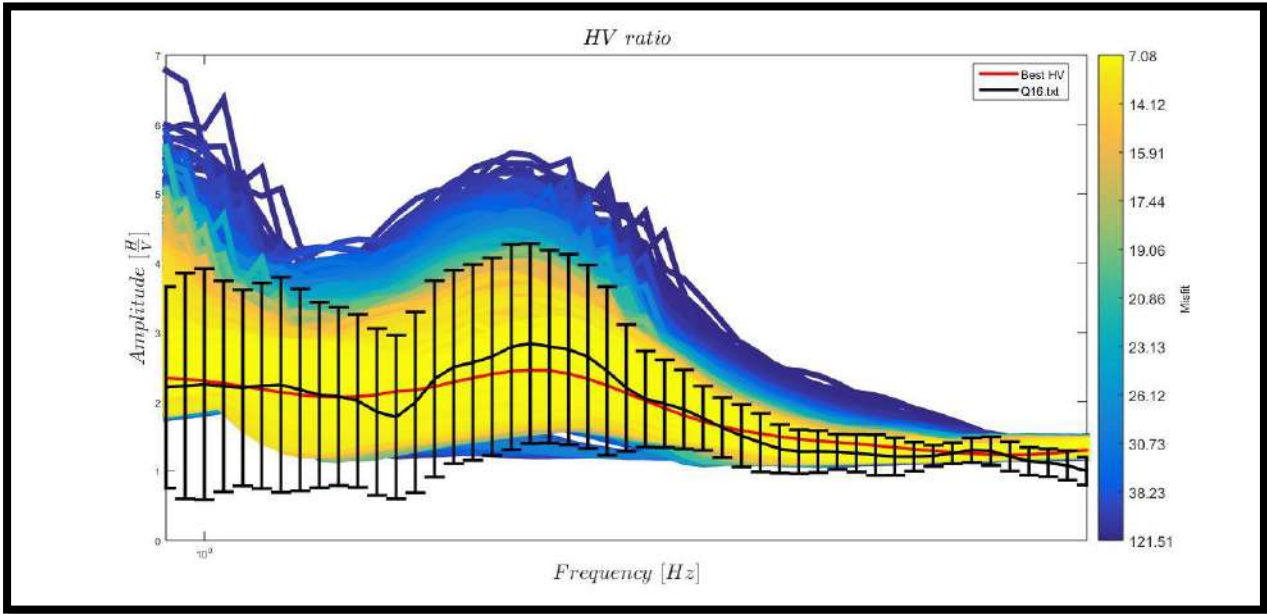
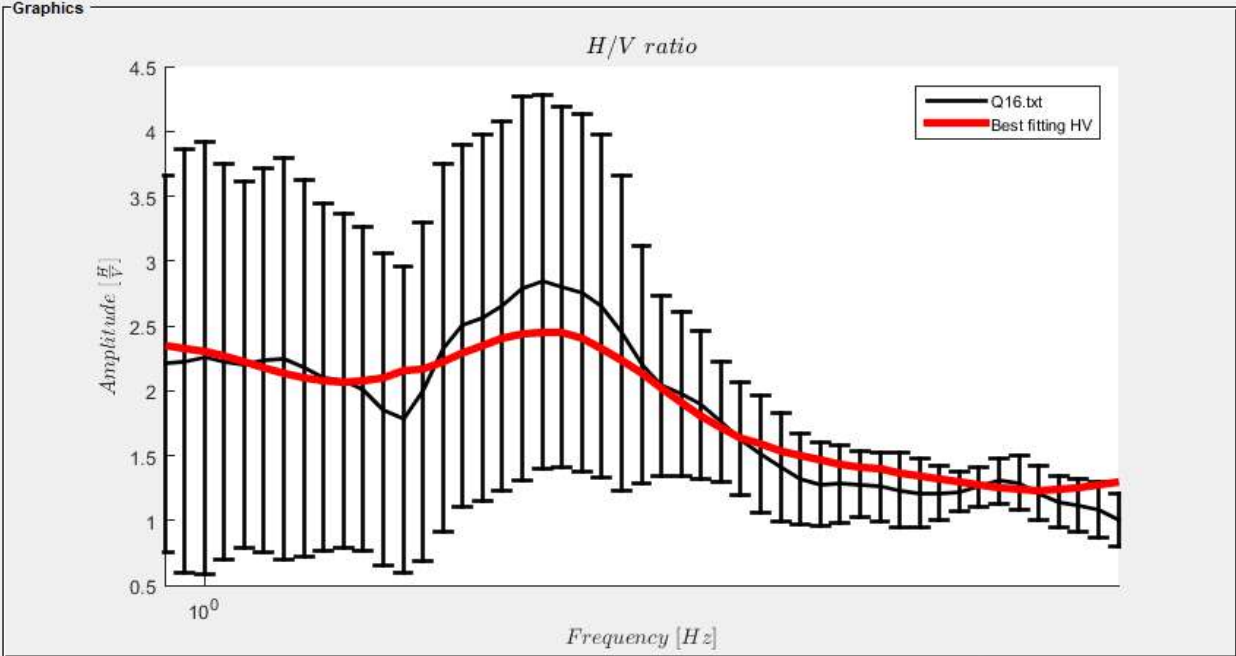
PUNTO Q14



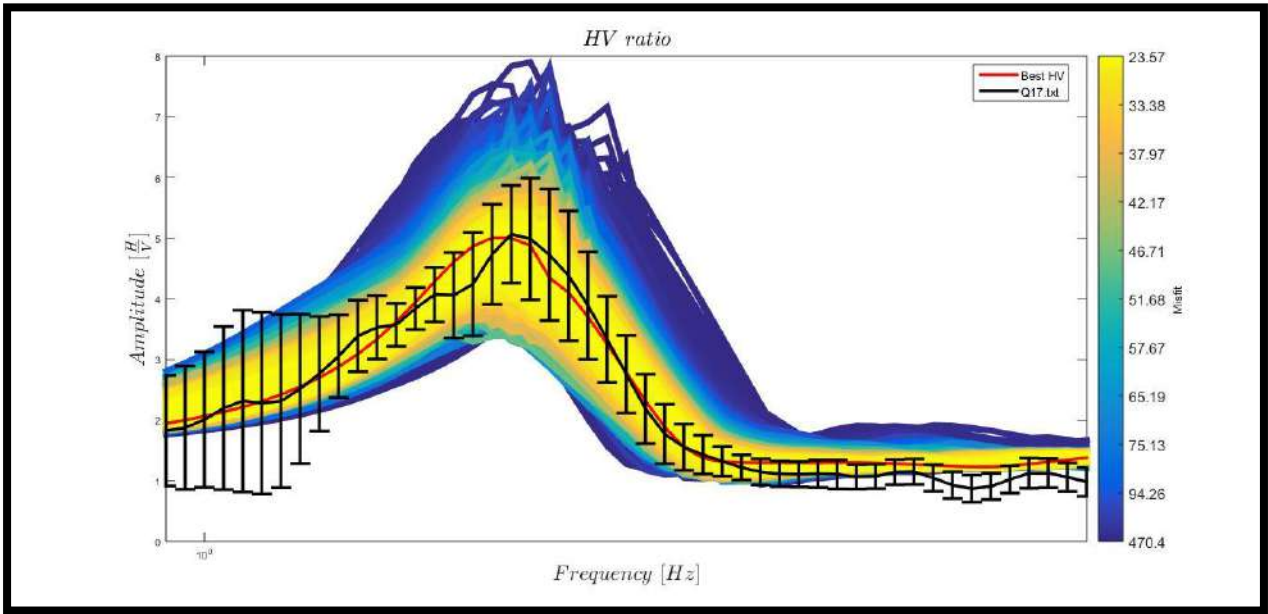
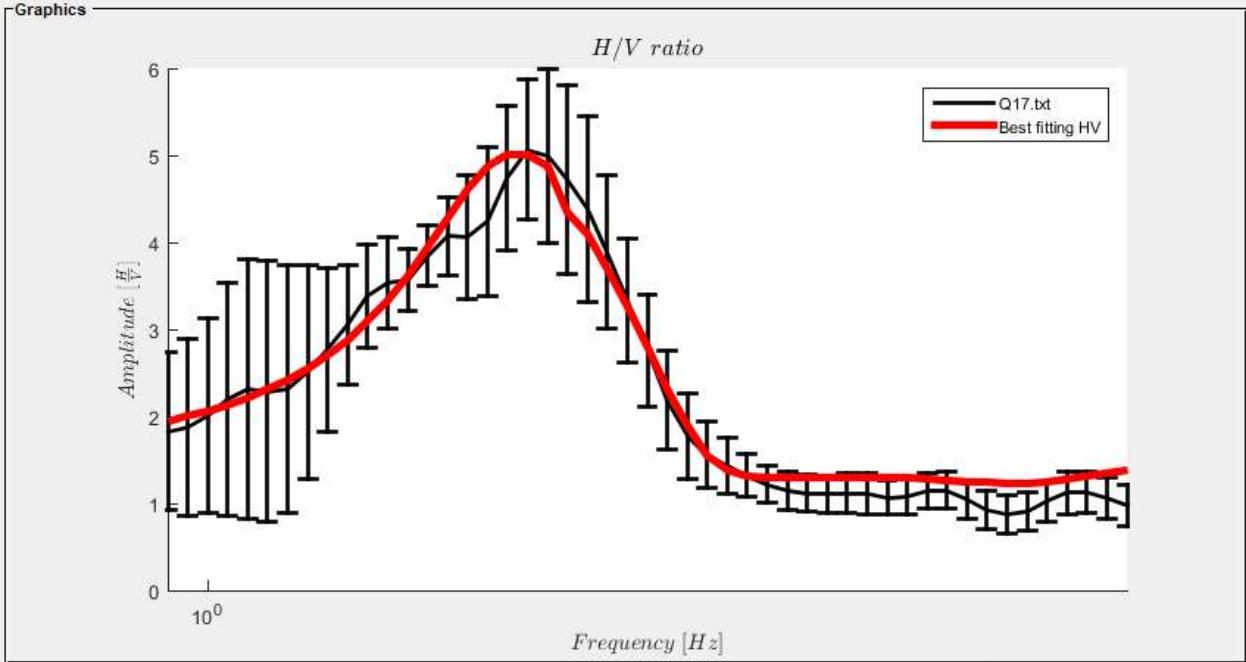
PUNTO Q15



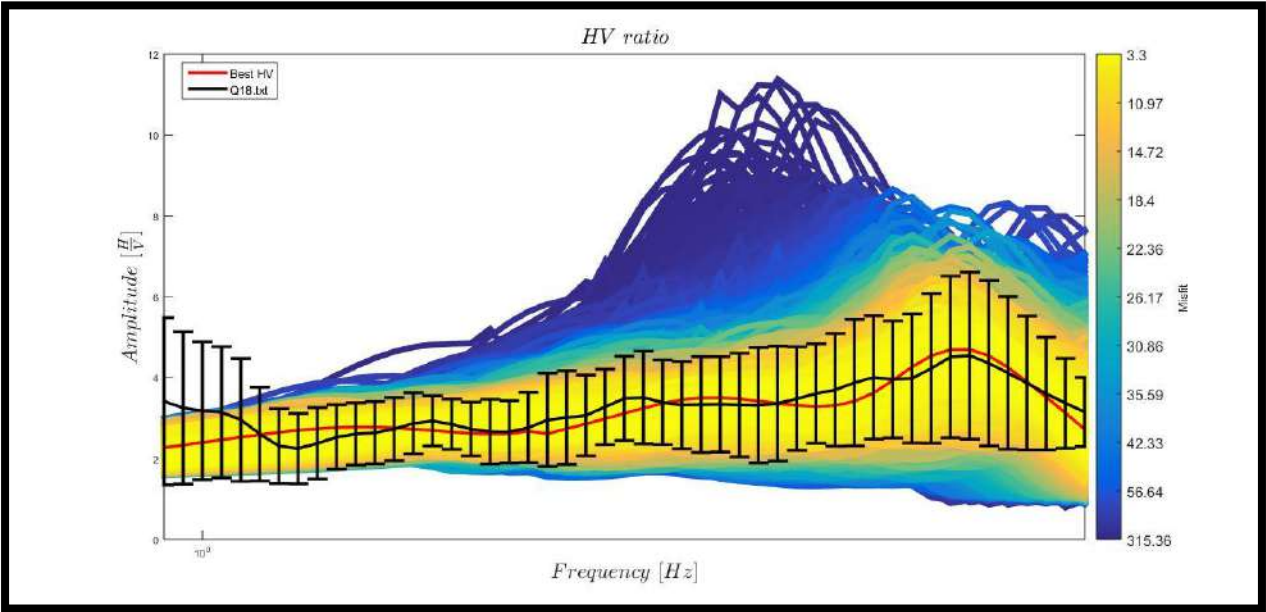
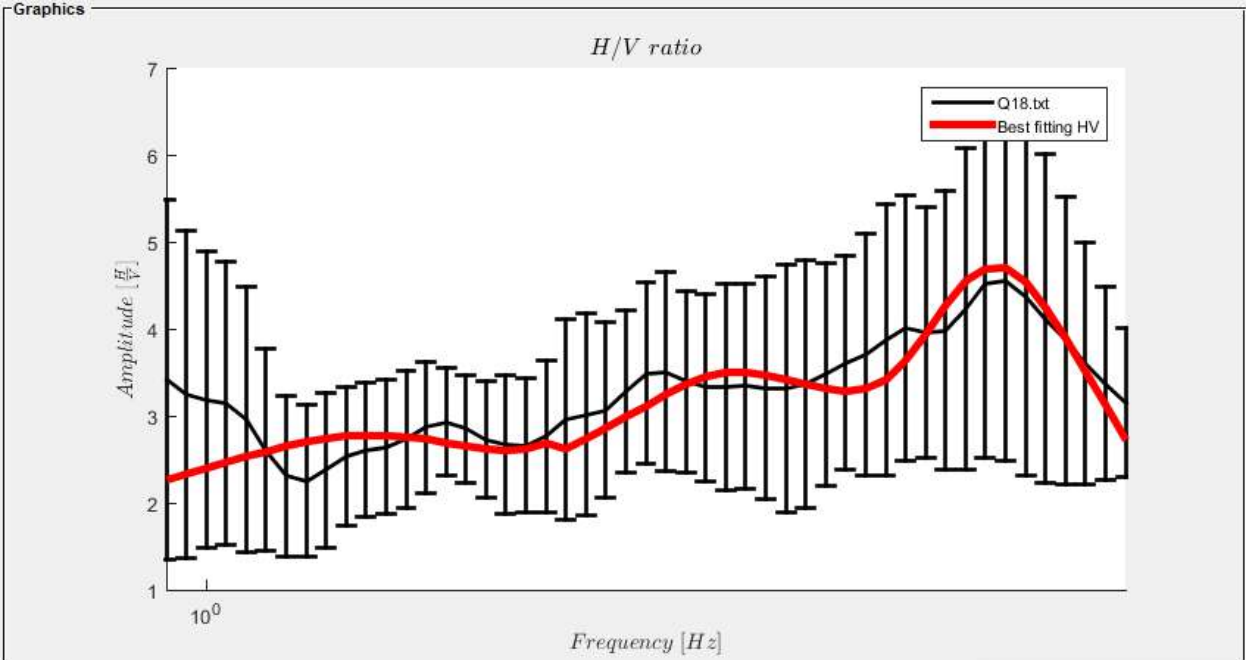
PUNTO Q16



PUNTO Q17

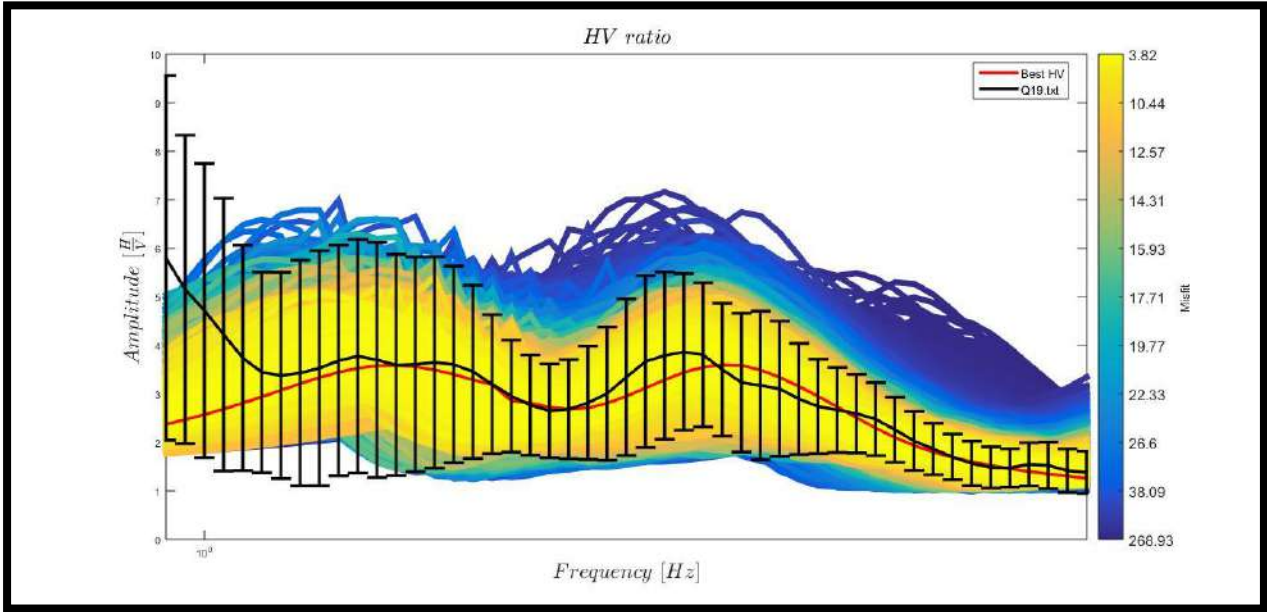
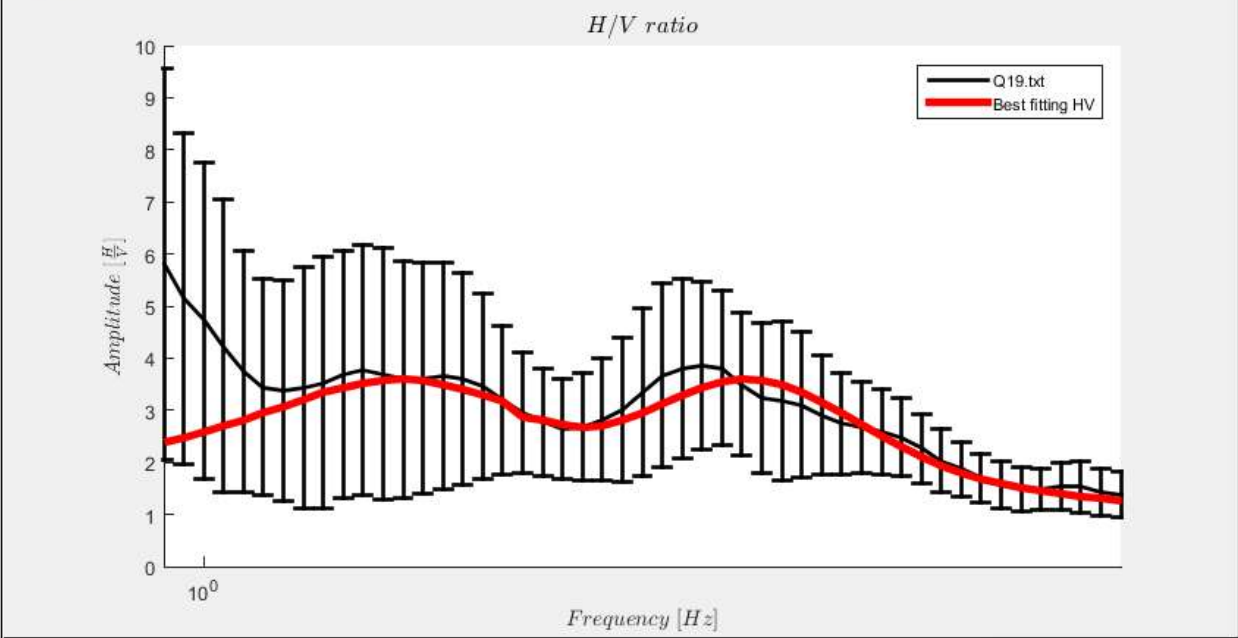


PUNTO Q18



PUNTO Q19

Graphics



ANEXO N°3

FICHAS DE REGISTRO

DATE 26/07/2023		HOUR 8:19am		PLACE Cruz Verde Quehuepay		
OPERATOR Andy Combey			UTM ZONE 18S			
X 823743,51		Y 8504952,6		ALTITUDE		
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG-40T				
STATION # Mini 36		SENSOR # 1		DISK #		
FILE NAME 0036_230726_1319				POINT # Q1		
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC DURATION 25 min <small>minutes seconds</small>		
WEATHER CONDITIONS		WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ Temperature (approx): _____ Remarks _____				
GROUND TYPE		<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall) <input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____				
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____						
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____						
TRANSIENTS		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers, ...)				
		<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____				
		NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)				
		(description, height, distance)				
	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars		X				
trucks						
pedestrians		X				
other						
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)		

DATE 26/07/2023		HOUR 8:23am		PLACE Cruz Verde Quehuepay																																				
OPERATOR Cristhian Baca Zans			UTM ZONE 18s																																					
X 823657,12		Y 8504991,59		ALTITUDE																																				
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG ₃ -40T																																						
STATION # Mini It		SENSOR # 2		DISK #																																				
FILE NAME 0017_230726_1328				POINT # Q2																																				
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC. DURATION 25 min minutes seconds																																				
WEATHER CONDITIONS		WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ Temperature (approx): _____ Remarks _____																																						
GROUND TYPE		<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall) <input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____																																						
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____																																								
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____																																								
TRANSIENTS		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...)																																						
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>none</th> <th>few</th> <th>moderate</th> <th>many</th> <th>very dense</th> <th>distance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cars</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>trucks</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>pedestrians</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>other</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			none	few	moderate	many	very dense	distance	cars	X						trucks							pedestrians		X					other							<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____ NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...)			
	none	few	moderate	many	very dense	distance																																		
cars	X																																							
trucks																																								
pedestrians		X																																						
other																																								
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)																																				

DATE 26/07/2023		HOUR 8:50 am		PLACE Cruz Verde Quehvepay				
OPERATOR Andy Combey			UTM ZONE 18s					
X 823566;88		Y 8505040;43		ALTITUDE				
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG-40T						
STATION # Mini 36		SENSOR # 1		DISK #				
FILE NAME 0036_230726_1349				POINT # Q3				
GAIN		SAMPL FREQ		REC DURATION 25 min <small>minutes seconds</small>				
WEATHER CONDITIONS		WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong		Measurement (if any): _____				
		RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong		Measurement (if any): _____				
		Temperature (approx): _____ Remarks _____						
GROUND TYPE		<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft)		<input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)				
		<input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____		<input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil				
		Remarks _____						
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____								
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____								
TRANSIENTS							MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers, ...)	
							<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____	
							NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)	
							(description, height, distance)	
						FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)		
OBSERVATIONS								

	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						

DATE 26/07/2023 HOUR 9:40am PLACE Cruz Verde Quehpepay

OPERATOR Andy Combey UTM ZONE 18s

X 823395; 79 Y 8505133; 91 ALTITUDE

STATION TYPE Minishark SENSOR TYPE CMG-40T

STATION # Mini 36 SENSOR # 1 DISK #

FILE NAME 0036-230726-1440 POINT # Q5

GAIN SAMPL. FREQ Hz REC. DURATION 25min minutes seconds

WEATHER CONDITIONS WIND [X] none [] weak (5m/s) [] medium [] strong Measurement (if any): RAIN [X] none [] weak [] medium [] strong Measurement (if any): Temperature (approx): Remarks

GROUND TYPE [X] earth ([X]hard []soft) [] gravel [] sand [] rock [] grass = ([]short []tall) [] asphalt [] cement [] concrete [] paved [] other [] dry soil [] wet soil Remarks

ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING [X] no [] yes, type

BUILDING DENSITY [] none [X] scattered [] dense [] other, type

Table with columns: TRANSIENTS, none, few, moderate, many, very dense, distance. Rows: cars, trucks, pedestrians, other.

MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) [X] no [] yes, type

NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...)

OBSERVATIONS FREQUENCY: Hz (if computed in the field)

DATE 26/07/2023		HOUR 10:35 am		PLACE Cruz Verde Quehupay			
OPERATOR Andy Combey			UTM ZONE 18s				
X 823322;53		Y 8505020;66		ALTITUDE			
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG-40T					
STATION # Mini 36		SENSOR # 1		DISK #			
FILE NAME 0036_230726_1534				POINT # Q8			
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC. DURATION 25min <small>minutes seconds</small>			
WEATHER CONDITIONS	WIND <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input checked="" type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong		Measurement (if any): _____				
	RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong		Measurement (if any): _____				
Temperature (approx): _____ Remarks _____							
GROUND TYPE	<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft)		<input type="checkbox"/> gravel	<input type="checkbox"/> sand	<input type="checkbox"/> rock	<input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)	
	<input checked="" type="checkbox"/> asphalt		<input type="checkbox"/> cement	<input type="checkbox"/> concrete	<input type="checkbox"/> paved	<input type="checkbox"/> other _____	
<input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____							
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____							
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____							
TRANSIENTS		none	few	moderate	many	very dense	distance
	cars				X		
	trucks						
	pedestrians			X			
	other						
MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers,) <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____							
NEARBY STRUCTURES (description, height, distance) (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)							
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)			

DATE 26/07/2023	HOUR 11:15am	PLACE Cruz Verde Quehuepay				
OPERATOR Christian Baca Zans		UTM ZONE 18s				
X 823459;45	Y 8505268;97	ALTITUDE				
STATION TYPE Minishark	SENSOR TYPE CMG-40T					
STATION # Mini 17	SENSOR # 2	DISK #				
FILE NAME 0017-230726-1618		POINT # Q10				
GAIN	SAMPL. FREQ. Hz	REC. DURATION 25 min minutes seconds				
WEATHER CONDITIONS	WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____					
	RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____					
Temperature (approx): _____ Remarks _____						
GROUND TYPE	<input checked="" type="checkbox"/> earth (<input checked="" type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)					
	<input type="checkbox"/> asphalt <input type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____					
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____						
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____						
TRANSIENTS	none	few	moderate	many	very dense	distance
	cars	X				
	trucks					
	pedestrians		X			
	other					
MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____						
NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...) (description, height, distance)						
OBSERVATIONS						FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)

DATE 26/07/2023 HOUR 1:35 pm PLACE Cruz Verde Quehue pay

OPERATOR Cristhian Baca Zans UTM ZONE 18s

x 823439;71 y 8505022;52 ALTITUDE

STATION TYPE Minishark SENSOR TYPE CMG-40T

STATION # Mini 17 SENSOR # 2 DISK #

FILE NAME 0017_230726_1833 POINT # Q13

GAIN SAMPL FREQ Hz REC DURATION 25 min minutes seconds

WEATHER WIND none weak (5m/s) medium strong Measurement (if any): _____
 CONDITIONS RAIN none weak medium strong Measurement (if any): _____
 Temperature (approx): _____ Remarks _____

GROUND TYPE earth (hard soft) gravel sand rock grass = (short tall)
 asphalt cement concrete paved other _____
 dry soil wet soil Remarks _____

ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING no yes, type _____

BUILDING DENSITY none scattered dense other, type _____

TRANSIENTS	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars		X				
trucks						
pedestrians		X				
other						

MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) no yes, type _____

NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...) (description, height, distance)

OBSERVATIONS FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)

DATE 26/07/2023 HOUR 1:32 pm PLACE Cruz Verde Quehuesay

OPERATOR Andy Combey UTM ZONE 18S

X 823506,82 Y 8505147,85 ALTITUDE

STATION TYPE Minishark SENSOR TYPE CMG-40T

STATION # Mini 36 SENSOR # 1 DISK #

FILE NAME 0036_230726_1831 POINT # Q14

GAIN SAMPL. FREQ. Hz REC. DURATION 25 min minutes seconds

WEATHER CONDITIONS WIND none weak (5m/s) medium strong Measurement (if any): _____
 RAIN none weak medium strong Measurement (if any): _____
 Temperature (approx): _____ Remarks _____

GROUND TYPE earth (hard soft) gravel sand rock grass = (short tall)
 asphalt cement concrete paved other _____
 dry soil wet soil Remarks _____

ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING no yes, type _____

BUILDING DENSITY none scattered dense other, type _____

TRANSIENTS	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						

MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...)
 no yes, type _____

NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)

OBSERVATIONS FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)

DATE 26/07/2023		HOUR 2:11pm		PLACE Cruz Verde Quehupay		
OPERATOR Cristhian Baca Zans			UTM ZONE 18s			
X 823612;44		Y 8504921;92		ALTITUDE		
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG-40T				
STATION # Mini 17		SENSOR # 2		DISK #		
FILE NAME 0017_230726_1917				POINT # Q15		
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC. DURATION 25min <small>minutes seconds</small>		
WEATHER CONDITIONS		WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____				
		RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____				
		Temperature (approx): _____ Remarks _____				
GROUND TYPE		<input checked="" type="checkbox"/> earth (<input checked="" type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)				
		<input type="checkbox"/> asphalt <input type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____				
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____						
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____						
TRANSIENTS		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...)				
		<input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> yes, type <u>r10</u>				
		NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures....)				
		(description, height, distance)				
	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)		

DATE 26/07/2023		HOUR 3:01 pm		PLACE Cruz Verde Quehupay		
OPERATOR Cristhian Boca Zans			UTM ZONE 18s			
X 823683; 26		Y 8505060; S2		ALTITUDE		
STATION TYPE Minishark		SENSOR TYPE CMG-40T				
STATION # Mini 17		SENSOR # 2		DISK #		
FILE NAME 0017-230726-1954				POINT # Q17		
GAIN		SAMPL. FREQ. Hz		REC. DURATION 25 min <small>minutes seconds</small>		
WEATHER CONDITIONS		WIND <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (5m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____				
		RAIN <input checked="" type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____				
Temperature (approx): _____ Remarks _____						
GROUND TYPE		<input type="checkbox"/> earth (<input type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft) <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = (<input type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall)				
		<input type="checkbox"/> asphalt <input checked="" type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____				
<input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____						
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____						
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input checked="" type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____						
TRANSIENTS		MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...)				
		<input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____				
		NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)				
		(description, height, distance)				
	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						
OBSERVATIONS				FREQUENCY: _____ Hz <small>(if computed in the field)</small>		

DATE 26/07/2023 HOUR 2:53 pm PLACE Cruz Verde Quehpepay

OPERATOR Andy Combey UTM ZONE 18s

x 823728; 73 y 8505141; 88 ALTITUDE

STATION TYPE MiniShock SENSOR TYPE CMG-40T

STATION # Mini 36 SENSOR # 1 DISK #

FILE NAME 0036-230726-1952 POINT # Q18

GAIN SAMPL. FREQ. Hz REC. DURATION 25 min minutes
seconds

WEATHER CONDITIONS
 WIND none weak (5m/s) medium strong Measurement (if any): _____
 RAIN none weak medium strong Measurement (if any): _____
 Temperature (approx): _____ Remarks _____

GROUND TYPE
 earth (hard soft) gravel sand rock grass = (short tall)
 asphalt cement concrete paved other _____
 dry soil wet soil Remarks _____

ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING no yes, type _____

BUILDING DENSITY none scattered dense other, type _____

TRANSIENTS	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						

MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers, ...)
 no yes, type no

NEARBY STRUCTURES (trees, polls, buildings, bridges, underground structures, ...)
 (description, height, distance)

OBSERVATIONS

FREQUENCY: _____ Hz
(if computed in the field)

DATE 26/07/2023 HOUR 3:27pm PLACE Cruz Verde Quehrepay

OPERATOR Christian Baca Zans UTM ZONE 18s

x 823855;24 y 8504951;09 ALTITUDE

STATION TYPE Minishark SENSOR TYPE CMG-40T

STATION # Mini 17 SENSOR # 2 DISK #

FILE NAME 0017_230726_2030 POINT # Q19

GAIN SAMPL. FREQ. Hz REC. DURATION 25 min minutes seconds

WEATHER CONDITIONS WIND none weak (5m/s) medium strong Measurement (if any): _____
 RAIN none weak medium strong Measurement (if any): _____
 Temperature (approx): _____ Remarks _____

GROUND TYPE earth (hard soft) gravel sand rock grass = (short tall)
 asphalt cement concrete paved other _____
 dry soil wet soil Remarks _____

ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING no yes, type _____

BUILDING DENSITY none scattered dense other, type _____

TRANSIENTS	none	few	moderate	many	very dense	distance
cars	X					
trucks						
pedestrians		X				
other						

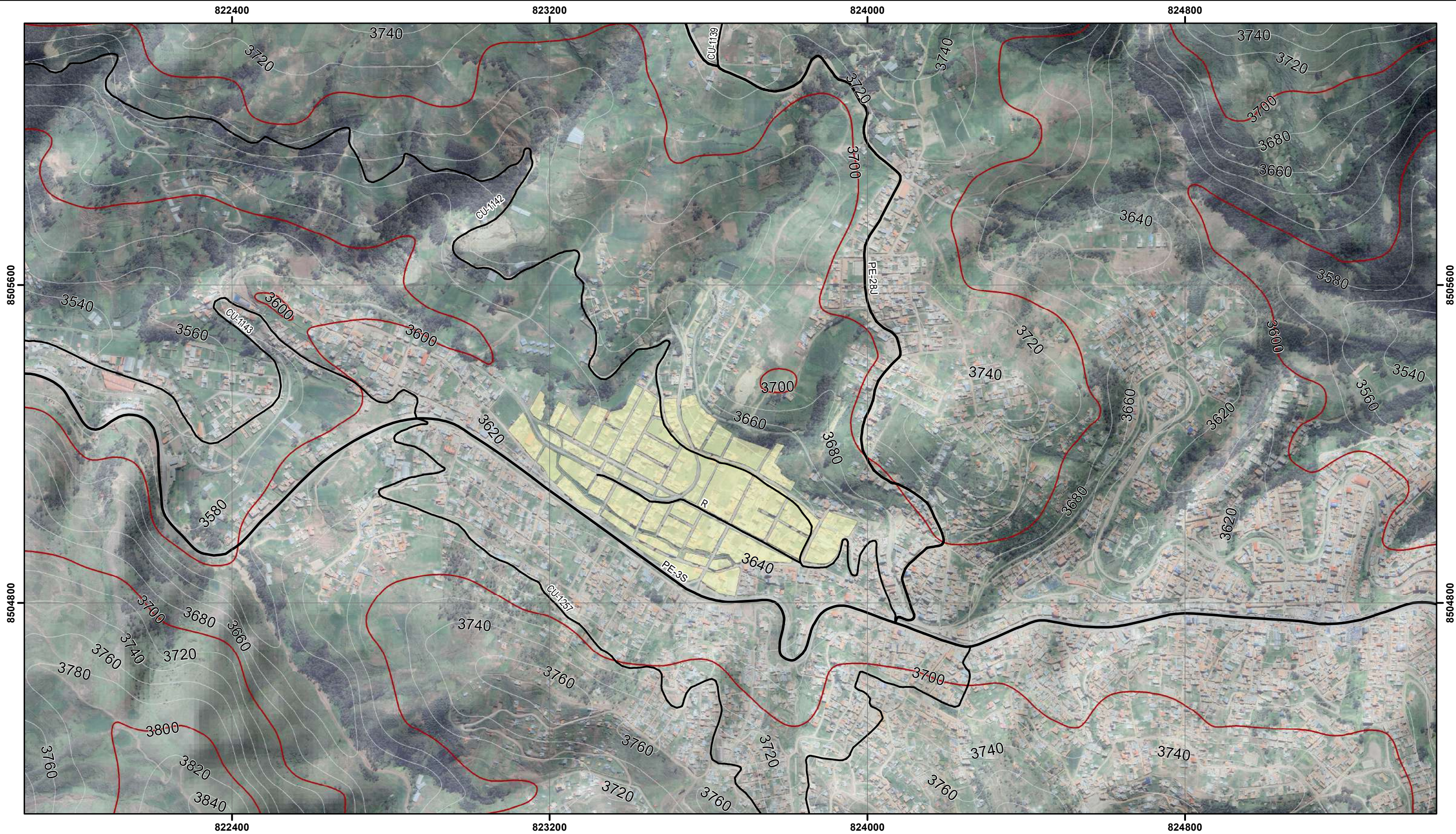
MONOCHROMATIC NOISE SOURCES (factories, works, pumps, rivers...) no yes, type _____

NEARBY STRUCTURES (description, height, distance) (trees, polls, buildings, bridges, underground structures...)

OBSERVATIONS FREQUENCY: _____ Hz (if computed in the field)

ANEXO N°4

MAPAS



SIMBOLOGÍA

- Red Vial Nacional
- Red Vial Vecinal
- Curvas de Nivel (100m)
- Curvas de Nivel (20m)

LEYENDA

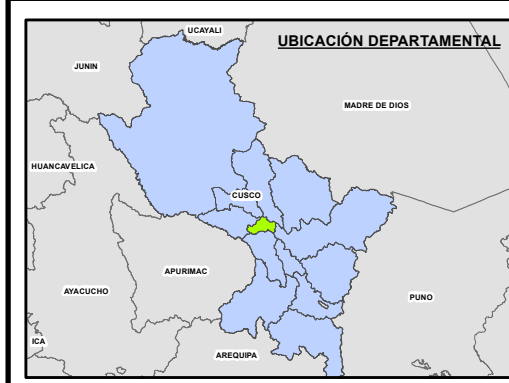
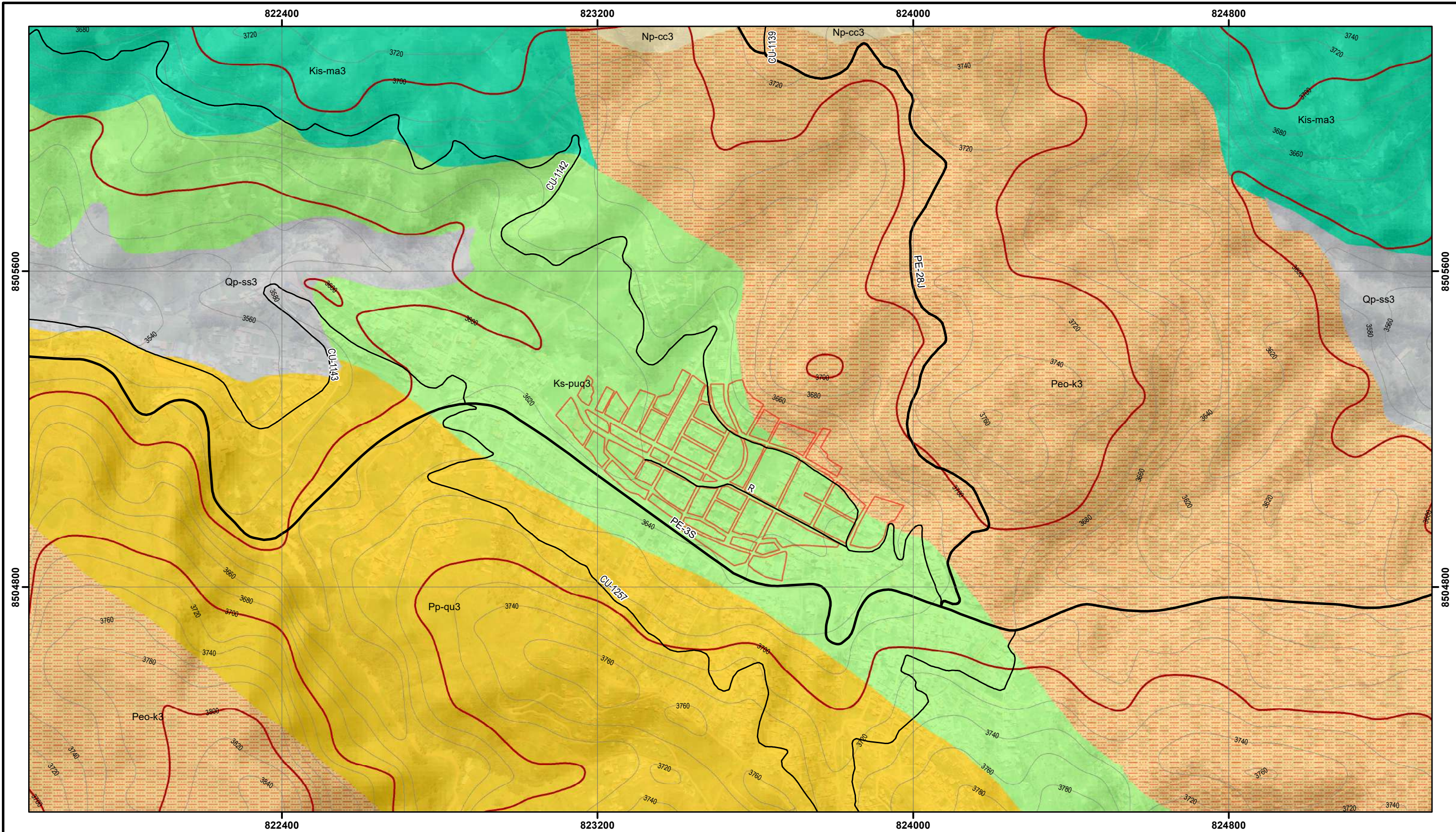
- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.075 0.15 0.3 0.45 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
 WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -75.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

	TESIS "ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"		
UBICACIÓN			
MAPA: UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA : CUSCO DISTRITO : POROY	ESCALA: 1:9,000	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">MAPA - 01</div>
ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans	FUENTE: CARTA TOPOGRÁFICA NACIONAL - IGN CENTROS POBLADOS - INEI RED VIAL - MTC		

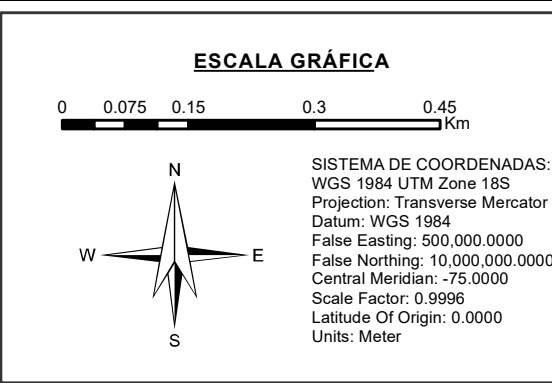


SIMBOLOGÍA

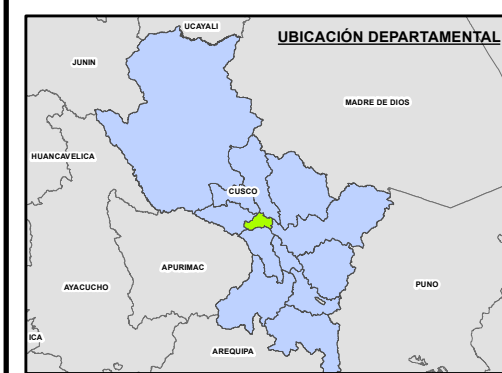
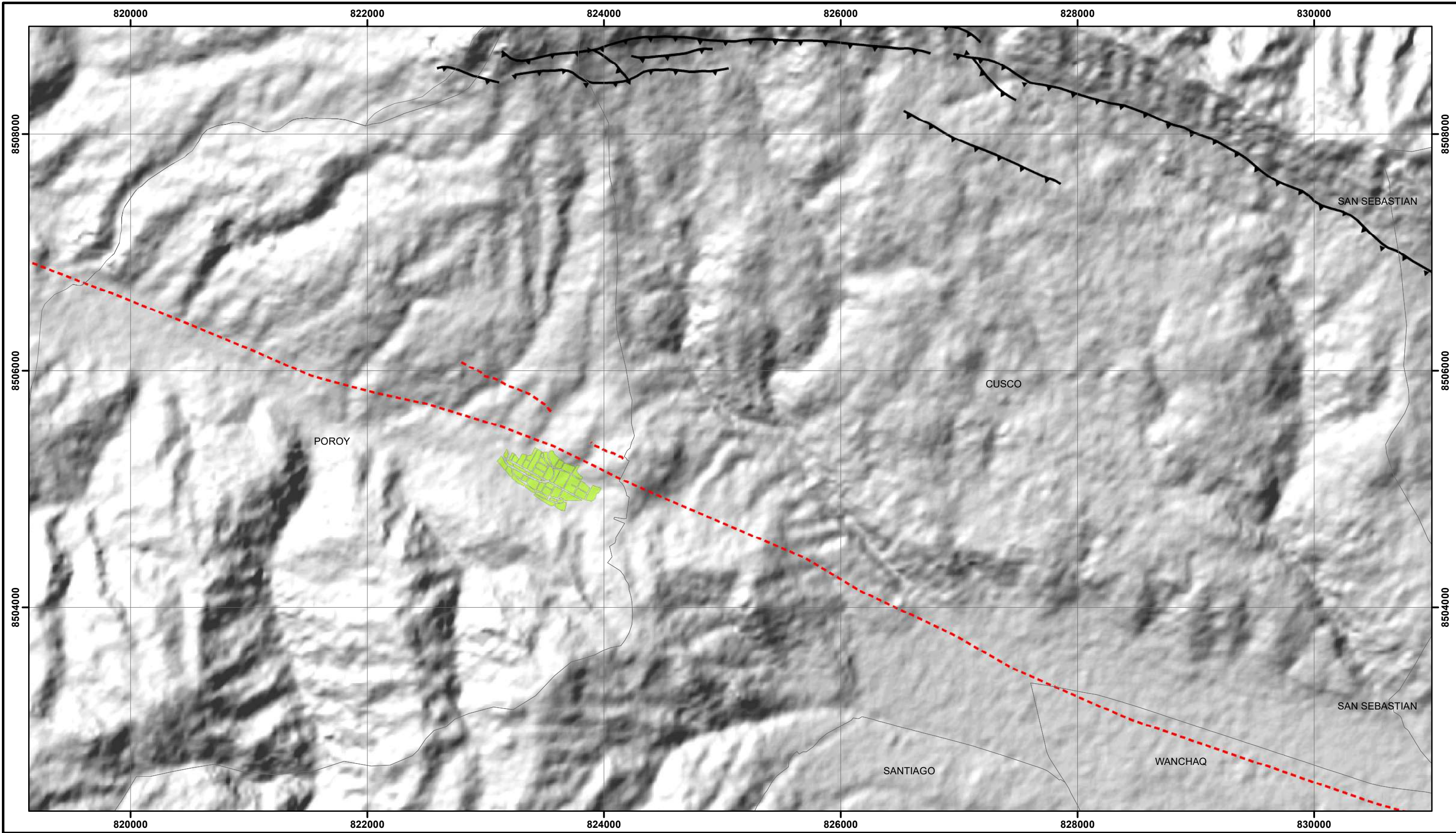
- Red Vial Nacional
- Red Vial Vecinal
- Curvas de Nivel (100m)
- Curvas de Nivel (20m)

LEYENDA

UNIDADES GEOLÓGICAS	GENERAL
Formación San Sebastián	Barrio Cruz Verde Quehuepay
Formación Chincheros	
Formación Kayra	
Formación Quilque	
Formación Puqín	
Formación Maras	



		<p>TESIS</p> <p>"ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"</p>		
GEOLOGÍA REGIONAL				
<p>MAPA:</p> <p>UBICACIÓN: CUSCO</p> <p>PROVINCIA: CUSCO</p> <p>DISTRITO: POROY</p>		<p>ESCALA:</p> <p>1:9,000</p>	<p>FECHA:</p> <p>JULIO 2024</p>	<p>CÓDIGO:</p> <p>MAPA - 02</p>
<p>ELABORADO POR:</p> <p>Br. Cristhian Giulbert Baca Zans</p>		<p>FUENTE:</p> <p>- CARTA TOPOGRÁFICA NACIONAL - IGN</p> <p>- CENTROS POBLADOS - INEI</p> <p>- RED VIAL - MTC</p> <p>- GEOLOGÍA - INGEOMINET</p>		



SIMBOLOGÍA

LEYENDA

FALLAS GEOLÓGICAS

- Falla Cusco
- ▲ Falla Tambomachay

GENERAL

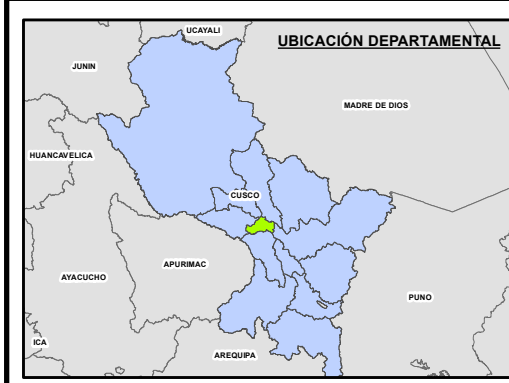
- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.275 0.55 1.1 1.65 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
 WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -75.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

		TESIS "ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"		
NEOTECTÓNICA				
MAPA: UBICACIÓN: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: POROY	ESCALA: 1:30,000	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: MAPA - 03	
ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans		FUENTE: NEOTECTÓNICA - INGEOMET		



SIMBOLOGÍA

- ★ Calicata
- Red Vial Nacional
- Red Vial Vecinal
- Curvas de Nivel (100m)
- Curvas de Nivel (20m)

LEYENDA

- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
 WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -75.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

UBICACIÓN DE LA CALICATA

UBICACIÓN: CUSCO
 PROVINCIA: CUSCO
 DISTRITO: POROY

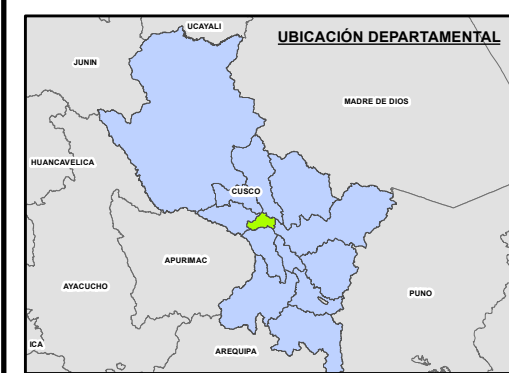
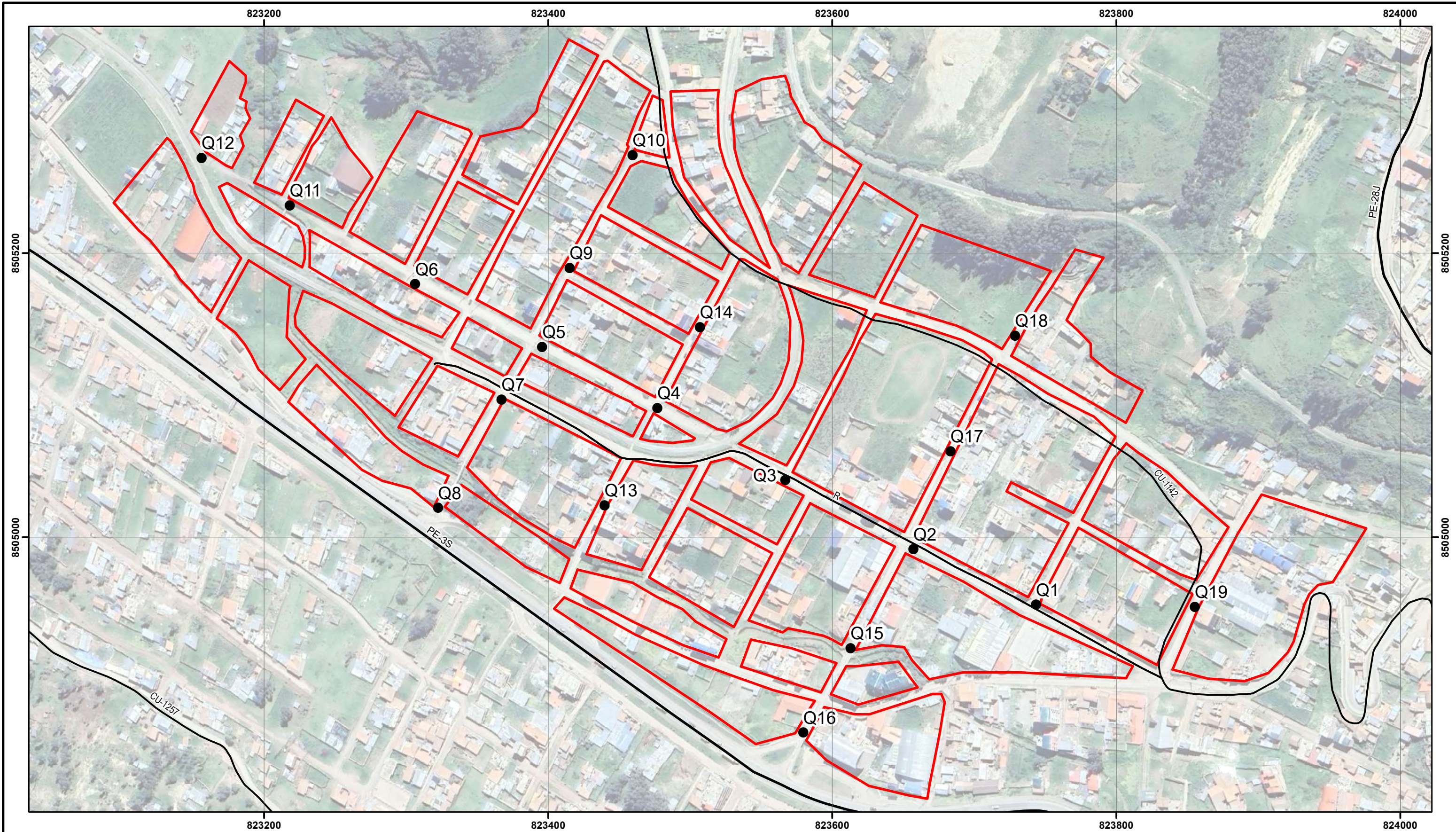
ESCALA: 1:2,500

FECHA: JULIO 2024

CÓDIGO: **MAPA - 04**

ELABORADO POR:
 Br. Cristhian Giulbert Baca Zans

FUENTE:
 CARTA TOPOGRÁFICA NACIONAL - IGN
 CENTROS PUEBLOS - REI
 RED VIAL - MTC
 PARCELAS - MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO
 CALICATA - IET INGENIERÍA SAC



SIMBOLOGÍA

- Estaciones
- Red Vial Vecinal
- Red Vial Nacional


LEYENDA

- ▭ Barrio Cruz Verde Quehupay

ESCALA GRÁFICA


0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
 WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -75.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter



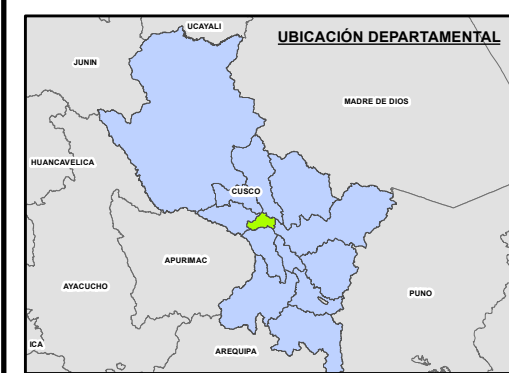
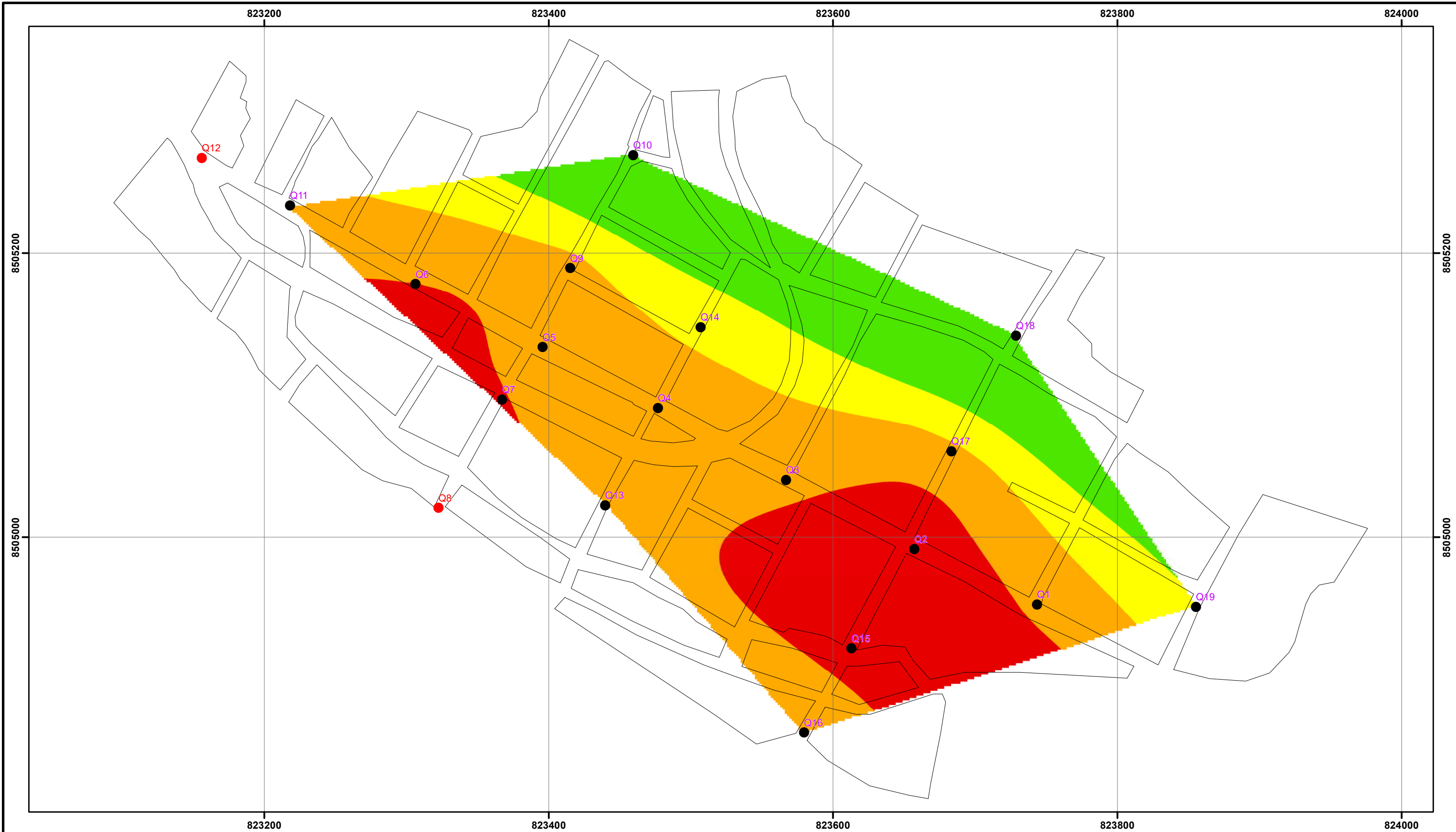
TESIS

"ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"



UBICACIÓN DE PUNTOS

UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA : CUSCO DISTRITO : POROY	ESCALA: 1:2,500	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">MAPA - 05</div>
ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans		FUENTE: - CENTROS POBLADOS - INEI - RED VIAL - MTC	



SIMBOLOGÍA

- Estaciones con Pico
- Estaciones sin Pico

LEYENDA

FRECUENCIA FUNDAMENTAL (f0)

- 1.3 - 1.7 Hz
- 1.7 - 2.5 Hz
- 2.5 - 3.5 Hz
- 3.5 - 7 Hz

GENERAL

- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
 WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 10,000,000.0000
 Central Meridian: -75.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

TESIS

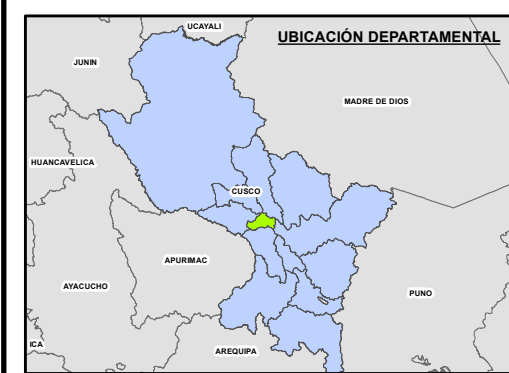
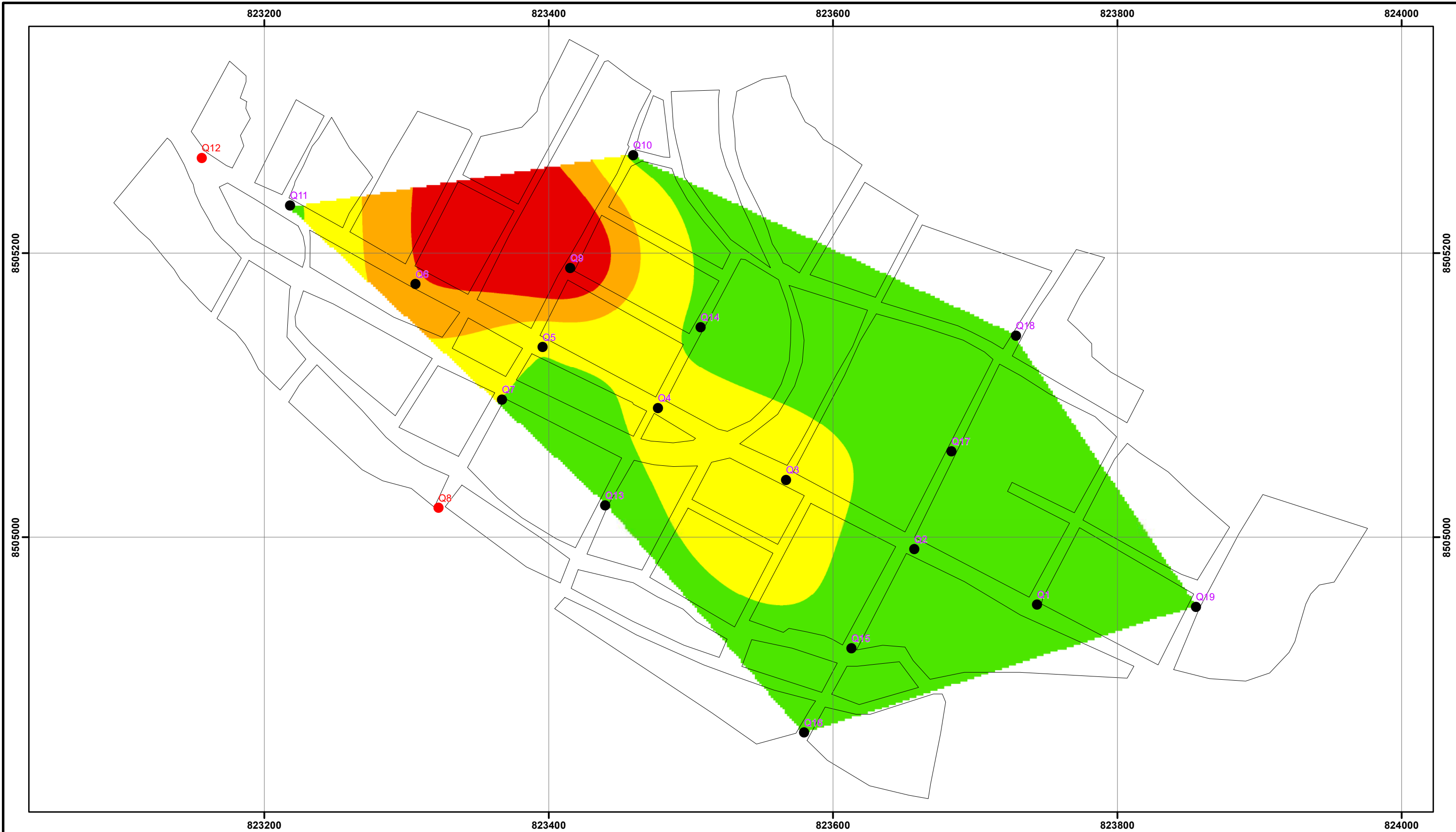
"ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"

FRECUENCIAS

UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA : CUSCO DISTRITO : POROY	ESCALA: 1:2,500	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: MAPA - 06
---	--------------------	----------------------	-----------------------------

ELABORADO POR:
Br. Cristhian Giulbert Baca Zans

FUENTE:
CENTROS POBLADOS - INEI



SIMBOLOGÍA

- Estaciones con Pico
- Estaciones sin Pico

LEYENDA

AMPLITUD H/V

- 1 - 5
- 5 - 9
- 9 - 12
- 12 - 15

GENERAL

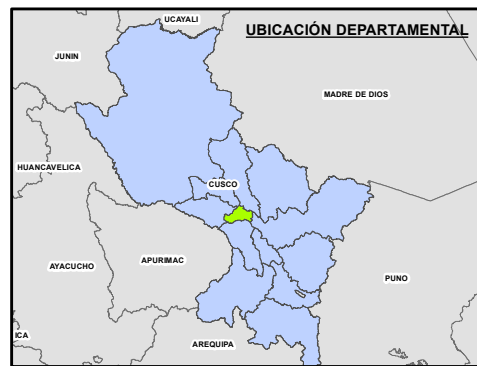
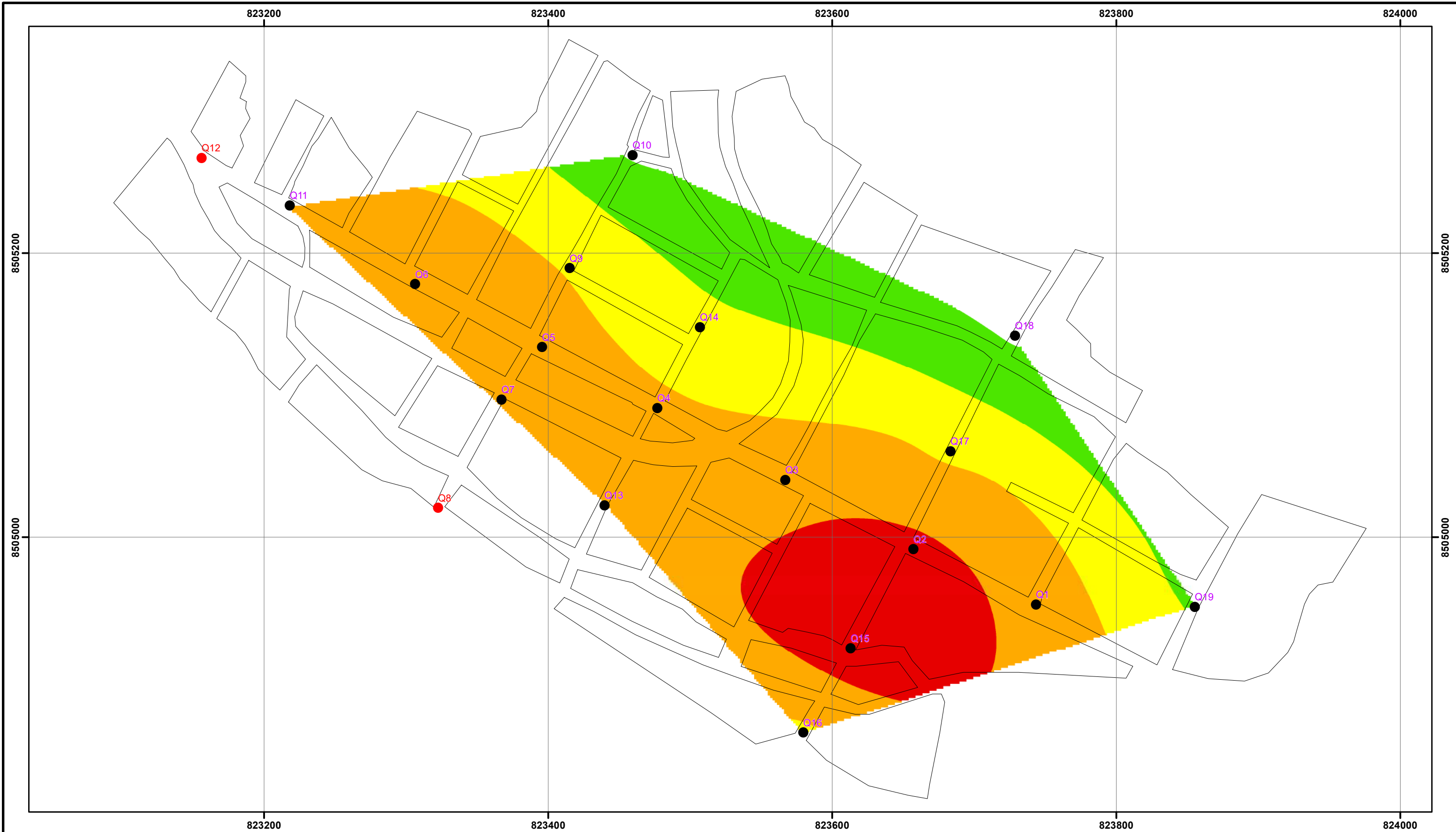
- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -75.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

		TESIS "ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"			
AMPLITUD H/V					
MAPA: UBICACIÓN: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: POROY		ESCALA: 1:2,500	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: MAPA - 07	
ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans		FUENTE: -CENTROS POBLADOS - INEI			



SIMBOLOGÍA

- Estaciones con Pico
- Estaciones sin Pico

LEYENDA

POTENCIA DE SEDIMENTOS

- 10 - 20 m
- 20 - 30 m
- 30 - 40 m
- 40 - 50 m

GENERAL

- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -75.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

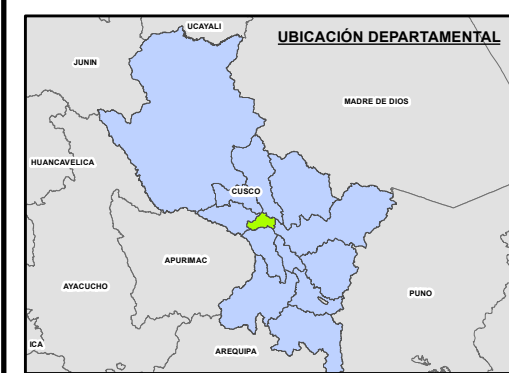
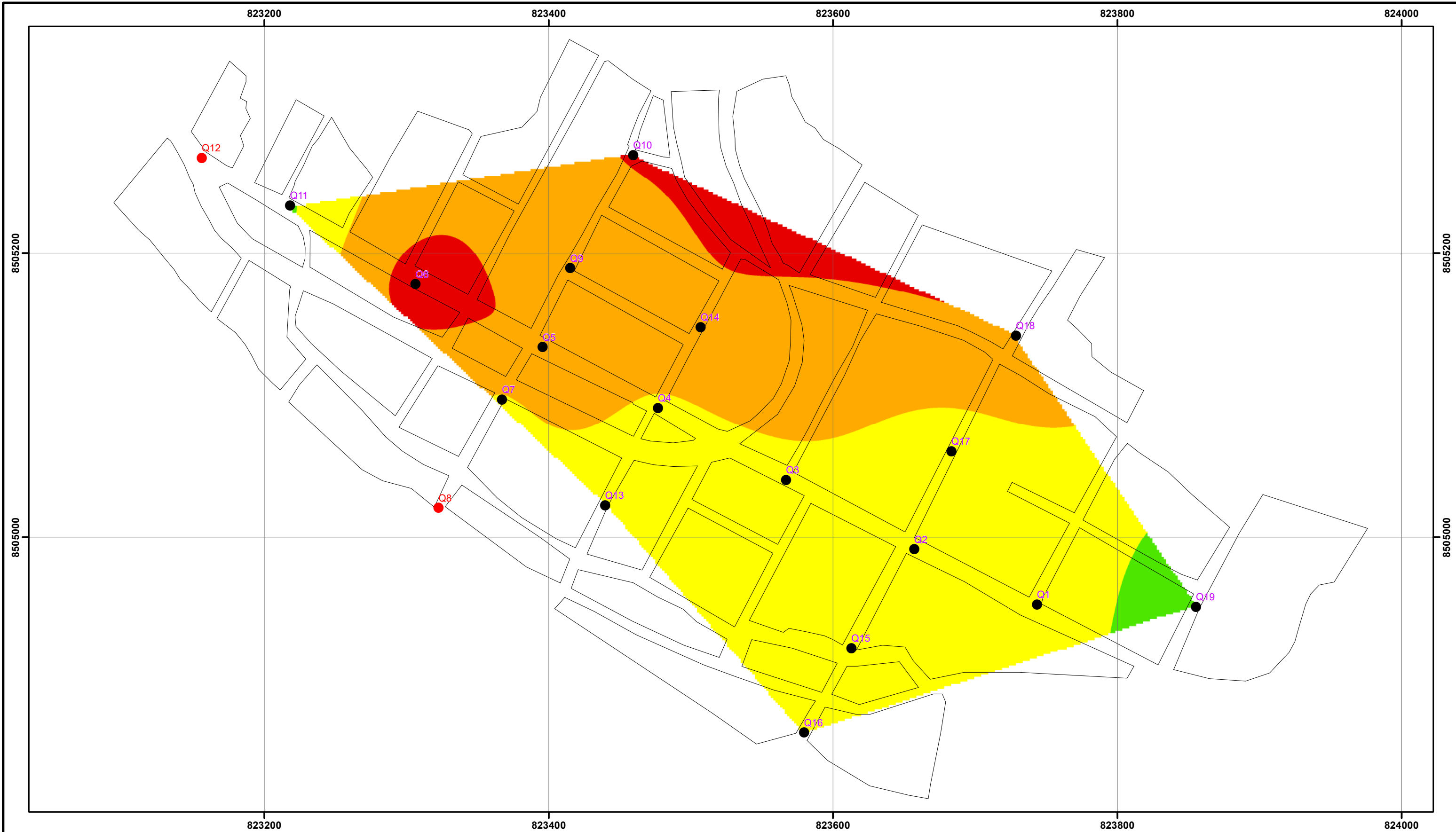
POTENCIA DE SEDIMENTOS

UBICACIÓN: REGION : CUSCO
PROVINCIA : CUSCO
DISTRITO : POROY

ESCALA: 1:2,500
FECHA: JULIO 2024

ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans
FUENTE: CENTROS POBLADOS - INEI

MAPA - 08



SIMBOLOGÍA

- Estaciones con Pico
- Estaciones sin Pico

LEYENDA

VELOCIDAD DE ONDA COMPRESIVA (Vp)

- 427 - 500 m/s
- 500 - 750 m/s
- 750 - 1000 m/s
- 1000 - 1250 m/s

GENERAL

- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -75.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

VELOCIDAD DE ONDA P (Vp)

UBICACIÓN: REGION : CUSCO
PROVINCIA : CUSCO
DISTRITO : POROY

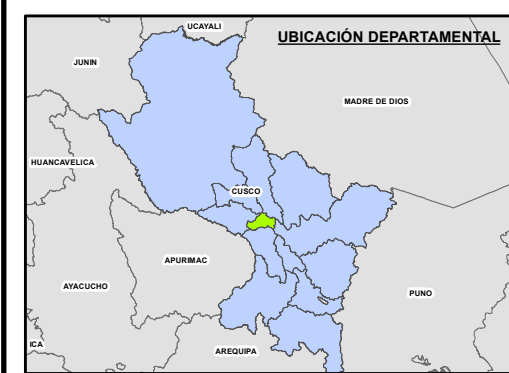
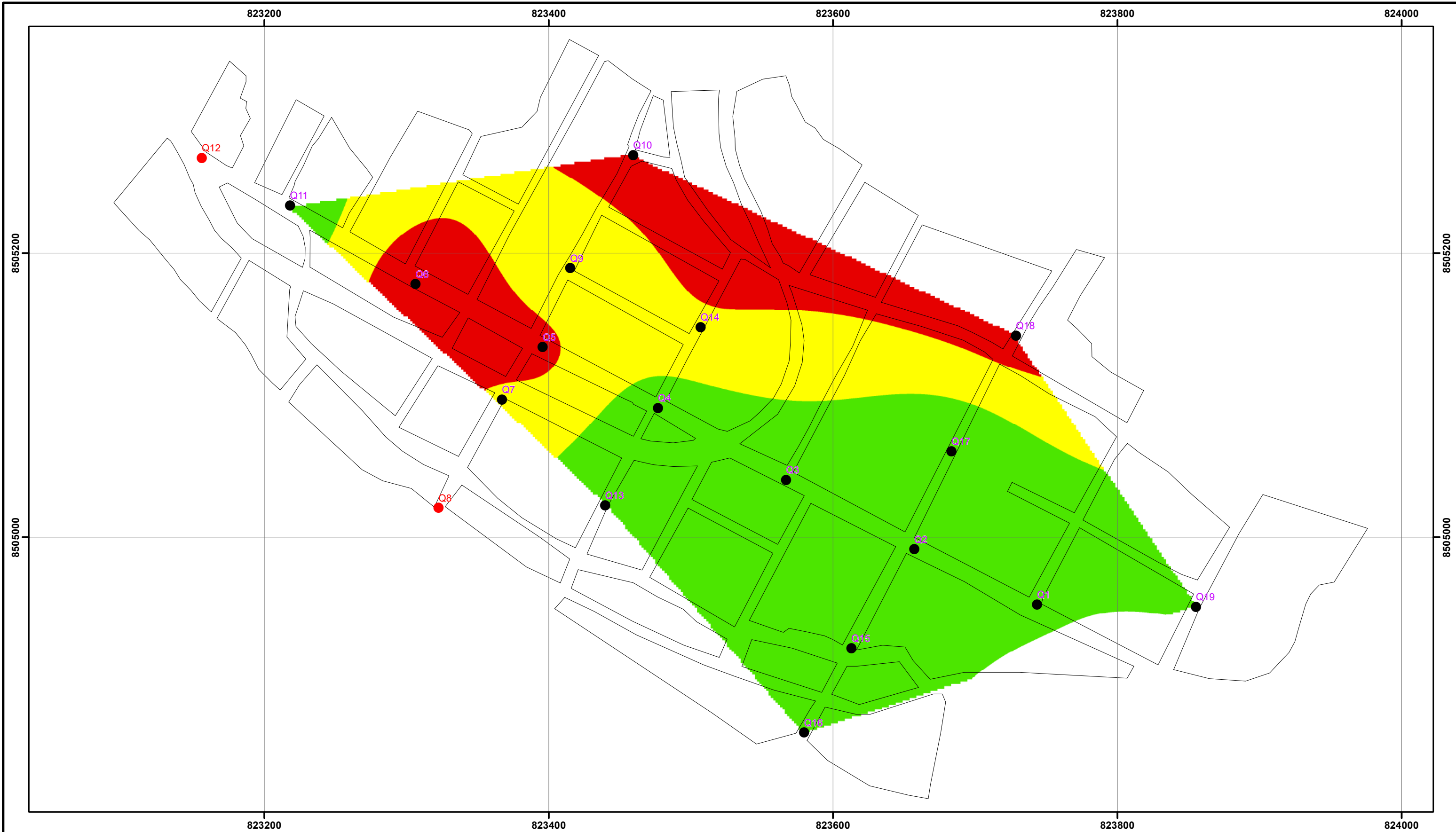
ESCALA: 1:2,500

FECHA: JULIO 2024

ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans

FUENTE: CENTROS POBLADOS - INEI

MAPA - 09



SIMBOLOGÍA

- Estaciones con Pico
- Estaciones sin Pico

LEYENDA

VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE (Vs)

- 200 - 300 m/s
- 300 - 400 m/s
- 400 - 500 m/s

GENERAL

- Barrio Cruz Verde Quehuepay

ESCALA GRÁFICA

0 0.0225 0.045 0.09 0.135 Km

SISTEMA DE COORDENADAS:
WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
False Easting: 500,000.0000
False Northing: 10,000,000.0000
Central Meridian: -75.0000
Scale Factor: 0.9996
Latitude Of Origin: 0.0000
Units: Meter

VELOCIDAD DE ONDA S (Vs)

UBICACIÓN: REGION : CUSCO
PROVINCIA : CUSCO
DISTRITO : POROY

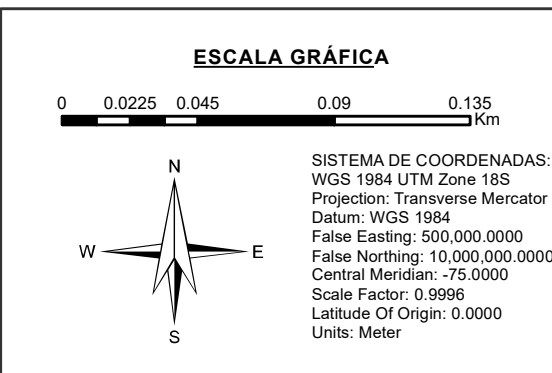
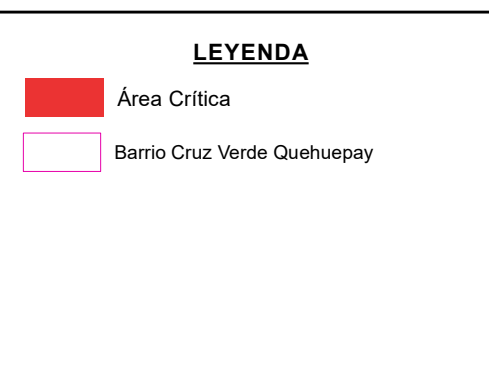
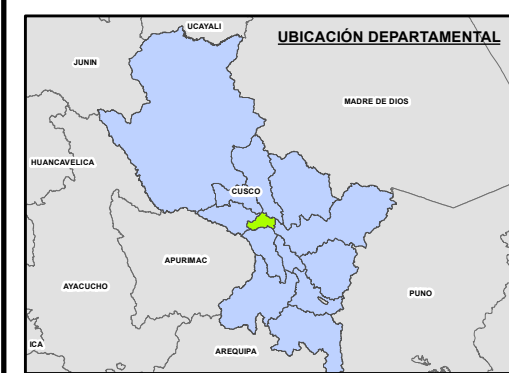
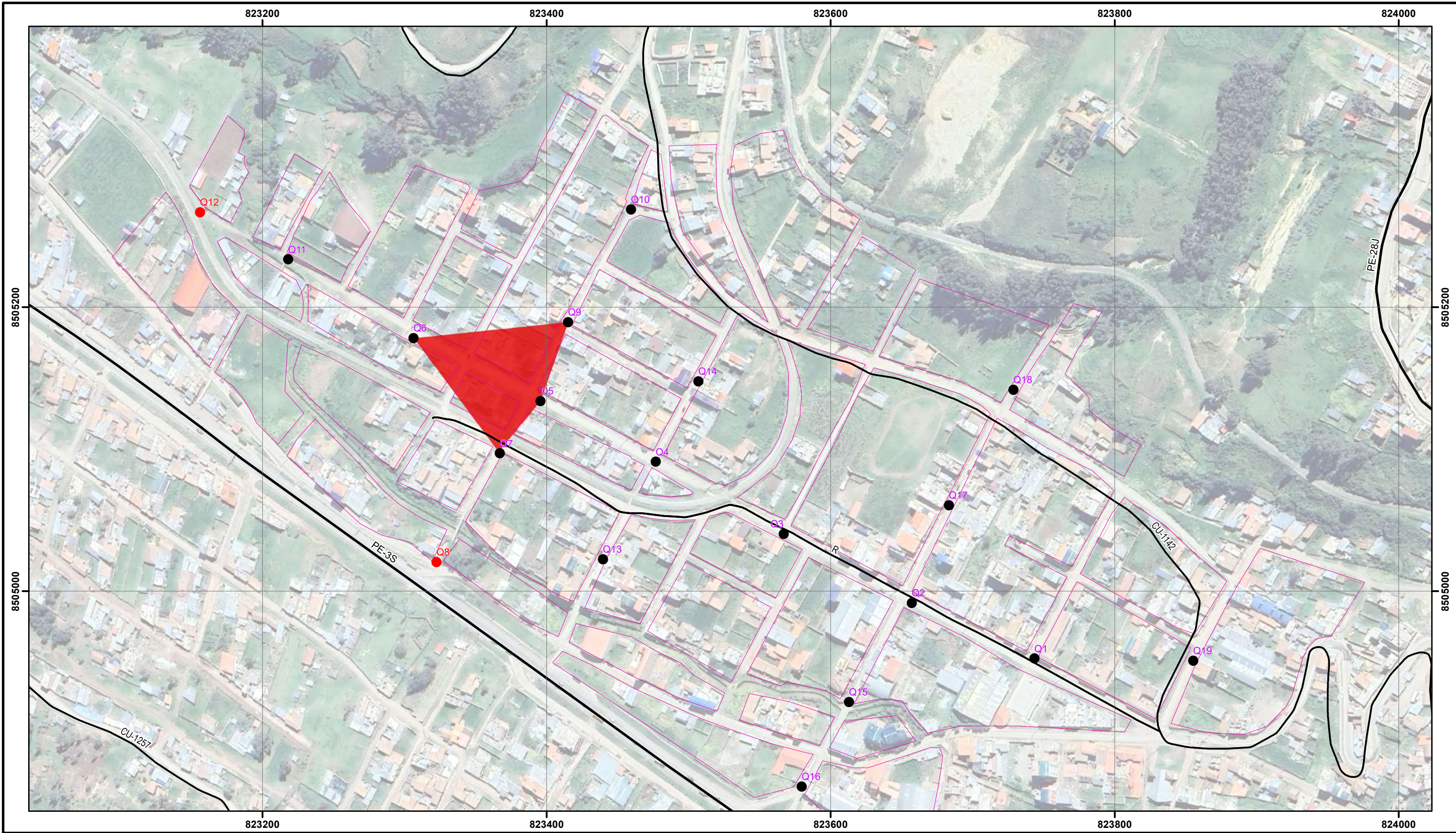
ESCALA: 1:2,500

FECHA: JULIO 2024

ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans

FUENTE: CENTROS POBLADOS - INEI

MAPA - 10





TESIS

"ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE SEDIMENTOS CON EL MÉTODO HVSR COMO HERRAMIENTA PARA LA CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DEL SUELO: (CASO BARRIO CRUZ VERDE QUEHUEPAY, DISTRITO DE POROY - CUSCO 2024)"



ÁREA CRÍTICA

UBICACIÓN: REGION : CUSCO PROVINCIA : CUSCO DISTRITO : POROY	ESCALA: 1:2,500	FECHA: JULIO 2024	CÓDIGO: <div style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">MAPA - 11</div>
ELABORADO POR: Br. Cristhian Giulbert Baca Zans		FUENTE: - CENTROS POBLADOS - INEI - RED VIAL - MTC	

ANEXO N°5

PANEL FOTOGRAFÍCO



Estación Q11



Estación Q9



Estación Q7



Estación Q13



Estación Q2



Estación Q5



Estación Q15



Estación Q1



Estación Q10



Estación Q19



Carbón encontrado en el depósito perteneciente al afloramiento de la Formación San Sebastián



Depósito correspondiente a la Formación San Sebastián

ANEXO N°6

ESTUDIO GEOTÉCNICO

HUMEDAD NATURAL

(NORMA ASTM D 2216 , MTC E 108 - 2000)

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y MATERIALES

PROYECTO : CONSTRUCCION DE VIVIENDA FAMILIAR

Informe Nº : -

CONDICION. : MUESTRA INALTERADA

Fecha : FEBRERO - 2020

SOLICITANTE : Sr. CIRILO HUAMAN AUCCAYLLA

MUESTRA : M - 1/E - 3

CALICATA : C - 1

UBICACIÓN : ASOCIACION DE VIVIENDA CRUZ VERDE PARCELA N° 09 - POROY - CUSCO - CUSCO

Realizado por : -

Revisado por : -

Certificado Nº : -

DATOS DE LA MUESTRA

UBICACIÓN :

MUESTRA : M - 1

PROF. (m) : -

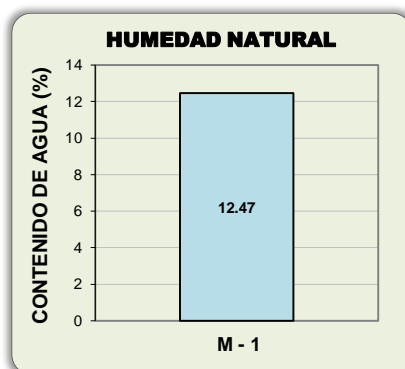
TAMAÑO MAXIMO

CERTIFICADO

Nº ENSAYOS	M - 1	M - 2		PROMEDIO
Nº TARRO	-	-		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)	240.11	263.51		
PESO TARRO + SUELO SECO (g)	213.49	234.27		
PESO DE AGUA (g)	26.62	29.24		
PESO DEL TARRO (g)	0.00	0.00		
PESO DEL SUELO SECO (g)	213.49	234.27		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	12.47	12.48		12.47

Observaciones:

Contenido de Humedad	12.47 %
-----------------------------	----------------



ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION

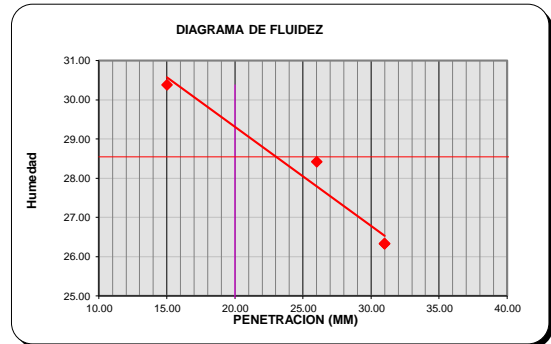
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y MATERIALES

PROYECTO : CONSTRUCCION DE VIVIENDA FAMILIAR
 CONDICION. : MUESTRA INALTERADA
 SOLICITANTE : Sr. CIRILO HUAMAN AUCCAYLLA
 MUESTRA : M - 1/E - 3
 CALICATA : C - 1
 UBICACIÓN : ASOCIACION DE VIVIENDA CRUZ VERDE PARCELA N° 09 - POROY - CUSCO - CUSCO

Informe N° : -
 Fecha : FEBRERO - 2020
 Realizado por : -
 Revisado por : -
 Certificado N° : -

Kilometraje			
Muestra		M - 1	
Profundidad (m)			
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA (%)	Malla	
		N°	Abertura (mm)
		3 "	76.200
		2 "	50.800
		1 1/2 "	38.100
		1 "	25.400
		3/4 "	19.100
		1/2 "	12.700
		3/8 "	9.520
		1/4 "	6.350
		N° 4	4.760
		N° 10	2.000
		N° 40	0.420
		N° 100	0.149
N° 200	0.074		
Contenido de Humedad		(%) 12.47	
Límite Líquido (LL)		(%) 29	
Límite Plástico (LP)		(%) 13	
Índice Plástico (IP)		(%) 16	
Clasificación (S.U.C.S.)		SC	
Clasificación (AASHTO)		A-6	
Índice de Grupo		4	

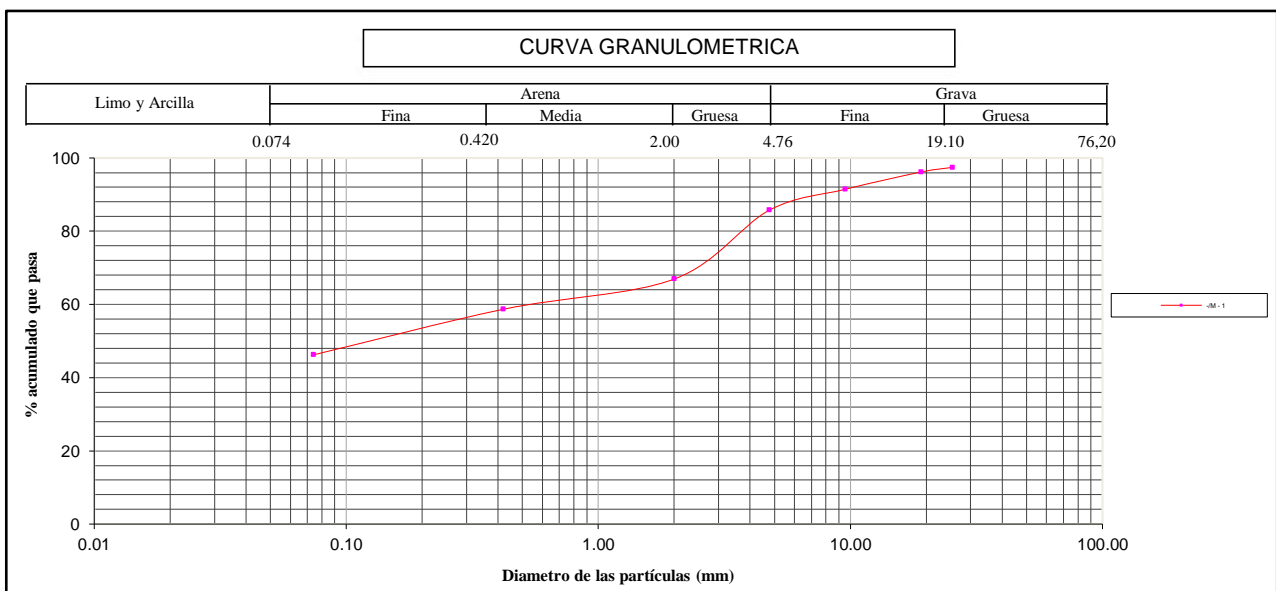
Nombre de grupo : Arena arcillosa



Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	3.82	8.56
	GF%	4.74	
% Arena	AG%	5.73	45.23
	AM%	18.78	
% Finos	AF%	20.72	46.21

Coefficiente de Uniformidad = -
 Coeficiente de Curvatura = -



Archivo: Clasificacion/Reporte

Descripción (AASHTO)	MALO
-------------------------------	------

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y MATERIALES**CORTE DIRECTO BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS Y DRENADAS MTC E 123 Y ASTM D 3080**

Proyecto : COCNUCCION DE VIVIENDA FAMILIAR
Lugar : ASOCIACION DE VIVIENDA CRUZ VERDE PARCELA N° 09 - POROY - CUSCO - CUSCO
Dist/Prov. : POROY - CUSCO - CUSCO
Solicitante : Sr. CIRILO HUAMAN AUCCAYLLA
Calicata : C - 1:H = 2.00m.
Fecha : FEBRERO - 2020
Muestra : M - 1; ALTERADA

Dimensiones del Material			
Nro Ensayo	Altura de la Muestra (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Tipo de la Muestra
1	2.400	6.300	Cilindro
2	2.400	6.300	Cilindro
3	2.400	6.300	Cilindro

RESULTADOS DE ENSAYO	
Sondeo	C - 1
Profundidad	2.00m.
Preparación	REMOLDEADA

Velocidad (mm/min)	0.50	0.50	0.50	
Esfuerzo Normal (Kg/cm ²)	0.50	1.00	2.00	
Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	0.36	0.67	1.32	
Cohesión (kg/cm²)	0.038			
Ángulo de fricción	32.56°			

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Esfuerzo Normal (Kg/Cm ²)	ENSAYO 1		ENSAYO 2		ENSAYO 3	
	0.5		1		2	
Etapas	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm ²)	0.361		0.671		1.317	
Fuerza Cortante (Kg)	11.248		20.902		41.048	
Ángulo Fricción (°)					32.564	
Cohesión kg/cm ²					0.038	

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y MATERIALES

Proyecto : CONSTRUCCION DE VIVIENDA FAMILIAR
Lugar : ASOCIACION DE VIVIENDA CRUZ VERDE PARCELA N° 09 - POROY - CUSCO - CUSCO
Dist/Prov. : POROY - CUSCO - CUSCO
Solicitante : Sr. CIRILO HUAMAN AUCCAYLLA
Calicata : C - 1
Fecha : FEBRERO - 2020
Muestra : M - 1/ESTRATO - 3

CALCULO DE CAPACIDAD PORTANTE

DATOS DE LA MUESTRA

Condicion de Muestra	: Alterada	Estratos	Densidad (gr/cm3)	Altura (m)
Clasificacion SUCS	: SC	: E - 1	1.543	0.50
Indice de Plasticidad (IP)	-	: E - 2	1.564	0.60
Elemento Estructural	: Zapata	: E - 3	1.635	0.90
Descripcion del Suelo	: Arena Arcillosa	: E - 4	-	-
Humedad Natural	: 12.47 %			

PARAMETROS GEOMECAVICOS DE LA MUESTRA

Cohesion Efectiva.	: 0.038 kg/cm2
Densidad humeda del Suelo a Nivel de Cimentacion.	: 1.635 gr/cm3
Profundidad de Cimentacion (Df).	: 2.00m
Ancho de Cimentacion .	: 1.50m
Largo de Cimentacion.	: 1.50m
Angulo de Friccion Interna.	: 32.56°
Factor de Seguridad.	: 3.00
Inclinacion de la Carga sobre la Cimentacion respecto a la Vertical.	: 0.0°
Diametro de la Zapata Circular.	: 0.00m

Sobrecarga(q) = 0.318 kg/cm2
C/σ° = 0.12
0.11 + 0.037 * IP = 0.110 (skempton)

Entonces Se trata de un suelo Pre Consolidado

Tipo de Cimentacion	Zapata Cuadrada
Tipo de Falla	Falla Local

Angulo de friccion corregido : 23.06°

CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA MAXIMA ADMISIBLE SEGUN K.V. TERZAGHI

Factores de Capacidad de Carga

$$Nq = e^{ntang\phi} * tang^2(45 + \phi/2)$$

$$Nq = 8.74$$

$$Nc = (Nq - 1)(Cot \phi)$$

$$Nc = 18.16$$

$$Ny = 2 * (Nq + 1) * tang(\phi)$$

$$Ny = 8.30$$

$$\begin{aligned}
 qu &= (1.3 * Cnc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.3 * \gamma * B * Ny) \\
 qu &= (1.3 * Cnc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.4 * \gamma * B * Ny) \\
 qu &= (Cnc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.5 * \gamma * B * Ny) \\
 qu &= (0.867 * Cnc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.3 * \gamma * B * Ny) \\
 qu &= (0.867 * Cnc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.4 * \gamma * B * Ny) \\
 qu &= \left(\frac{2}{3} Cnc\right) + (\gamma * Df * Nq) + (0.5 * \gamma * B * Ny)
 \end{aligned}$$

$$Q_{max} = 3.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q_{admissible} = (Q_{max}/\text{fact. de seguridad})$$

$$Q_{admissible} = 1.32 \text{ kg/cm}^2$$

CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA Y ADMISIBLE SEGUN MEYERHOF

$$q_{cu} = c * Nc * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * Nq * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} * B * \gamma * Ny * F_{ys} * F_{yd} * F_{yi}$$

Factores de profundidad , forma e inclinacion para previo qadm.

EXCENTRICIDAD: e = 0.00m B' = 1.50m

Df (m)	Fcs	Fqs	Fys	Fcd	Fqd	Fyd	Fci	Fqi	Fyi
2.00	1.48	1.43	0.60	1.3298	1.2921	1.00	1.00	1.00	1.00

Df (m)	Df/B	c (kg/cm2)	γ (gr/cm3)	q (kg/cm2)	Nc	Nq	Ny	qcu (kg/cm2)	qa (kg/cm2)
2.00	1.33	0.04	1.64	0.32	18.16	8.74	8.30	6.78	1.94

$$\text{Capacidad Admisible segun Meyerhof} = 1.94 \text{ kg/cm}^2$$

OBSERVACION:

Estimacion de la Carga total bruta "P" que soportara la zapata Calculados en funcion a los parametros geomecnicos del ensayo de corte directo bajo condiciones consolidadas y drenadas.

$$P = 29.65 \text{ Tn}$$