

Evaluación del comportamiento dinámico de suelos en localidades ubicadas en la vía principal de tránsito vehicular de las provincias de Chumbivilcas y Paruro (Región Cusco)



Instituto Geofísico del Perú

Presidente Ejecutivo: Hernando Tavera

Director Científico: Danny Scipión

Director Ciencias de la Tierra Sólida: Juan Carlos Gómez

Informe Técnico

Evaluación del comportamiento dinámico de suelos en localidades ubicadas en la vía principal de tránsito vehicular de las provincias de Chumbivilcas y Paruro - Región Cusco

Autores

Isabel Bernal, Kelly Pari y Hernando Tavera

Evaluación Geofísica

Kelly Pari

Isabel Bernal

Fabiola Rosado

Wilfredo Suya

Liliana Torres

Personal de apoyo

Javier Oyola

Jorge Salas

Personal Administrativo

Marisol Enríquez

Este informe ha sido producido por el Instituto Geofísico del Perú
Calle Badajoz 169 Mayorazgo
Teléfono: 51-1-3172300

RESUMEN

Se evalúa las características físicas y dinámicas del suelo de las localidades de Huaylla Huaylla, Halanta, Patacsillo, San Roque, Sol de Oro, Tuntuma, Huallpamayo, Huincho, Huiniquiri, Pumapuquio, Ocho de Agosto, Ccoyabamba, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranrraccasa (provincias de Chumbivilcas y Paruro de la región Cusco), utilizando datos obtenidos con la aplicación de métodos geofísicos de tomografía eléctrica, análisis multicanal de ondas superficiales y razones espectrales.

En estas localidades se ha identificado la existencia de suelos con diferentes grados de rigidez, variando de suelos blandos a moderadamente rígidos y muy rígidos. Asimismo, presentan alto grado de saturación o alto nivel freático a nivel superficial (Huaylla Huaylla, Halanta, Tuntuma, Huallpamayo, Huincho, Huiniquiri y Pumapuquio) y profundo (Ocho de Agosto, Ccoyabamba, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranrraccasa) a excepción de las localidades de Patacsillo, San Roque y Sol de Oro.

Los resultados indican que los camiones de carga pesada (concentrado de mineral) y otros que transitan por la vía principal o carretera de las provincias de Chumbivilcas y Paruro, generan vibraciones con amplificaciones de hasta 2.2 veces que “contribuyen” con el deterioro de las viviendas de adobe ubicadas en ambas márgenes de esta vía; sin embargo, no son determinantes como son los efectos generados por la presencia de suelos blandos con altos niveles de saturación y/o nivel freático, que dañan a las viviendas de adobe.

ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VIVIENDAS Y SUELOS

2.1.- Geología y morfología de los suelos

2.2.- Tipos de viviendas

2.3.- Tránsito vehicular

3. METODOLOGÍA

3.1.- Razones Espectrales (H/V)

3.2.-Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

3.3.-Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

4. RESULTADOS

4.1.- Localidad de Huaylla Huaylla

4.2.- Localidad de Halanta

4.3.- Localidad Patacsillo

4.4.- Localidad San Roque

4.5.- Localidad Sol de Oro

4.6.- Localidad de Tuntuma

4.7.- Localidad de Huallpamayo

4.8.- Localidad de Huincho

4.9.- Localidad de Huiniquiri

4.10.- Localidad de Pumapuquio

4.11.- Localidad de Ocho de Agosto

4.12.- Localidad de Ccoyabamba

4.13.- Localidad de Ayusbamba

4.14.- Localidad de Ccoypa

4.15.- Localidad de Paccarectambo

4.16.- Localidad de Ranrraccasa

CONCLUSIONES GENERALES

BIBLIOGRAFÍA

1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una manera de conocer las propiedades físicas de los suelos y su comportamiento dinámico ante la sollicitación natural (sismos) o vibraciones antrópicas (tránsito de vehículos, personas, etc.), es aplicando métodos geofísicos como razones espectrales, tomografías eléctrica y análisis multicanal de ondas superficiales. Los resultados que se obtienen definen los periodos dominantes de los suelos, los espesores de capas y la ubicación, en profundidad, de suelos saturados, parámetros que definen las propiedades físicas de los suelos considerando la Norma E.030. Asimismo, dependiendo las dimensiones del área en estudio, un número importante de estos datos permiten, muchas veces, zonificar los suelos, constituyéndose como información importante para normar el crecimiento de las ciudades o expansión urbana

En este informe técnico y a solicitud de la OEFA, se presenta los resultados obtenido del estudio geofísico realizado en 16 localidades ubicadas en las vías de transito de las provincias de Chumbivilcas y Paruro (Región Cusco), las mismas que facilitan el acceso de vehículos de carga provenientes principalmente del Corredor Vial Apurímac, Cusco, Arequipa. Estas localidades son: *Huaylla Huaylla, Halanta, Patacsillo, San Roque, Sol de Oro, Tuntuma, Huallpamayo, Huincho, Huiniquiri, Pumapuquio, Ocho de Agosto, Ccoyabamba, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranrraccasa* (Figura 1).

Específicamente, la aplicación de estos métodos geofísicos en las localidades indicadas permitirá conocer las características físicas de los suelos como su nivel freático, espesores y velocidades de las ondas de corte (V_s) de las capas que conforman su subsuelo; además de evaluarse el comportamiento dinámico de los suelos al paso de camiones de carga de diferentes dimensiones y volúmenes. Esta información permitirá evaluar la generación

o no de daños estructurales en las viviendas aledañas a la vía de tránsito de las provincias antes indicadas.

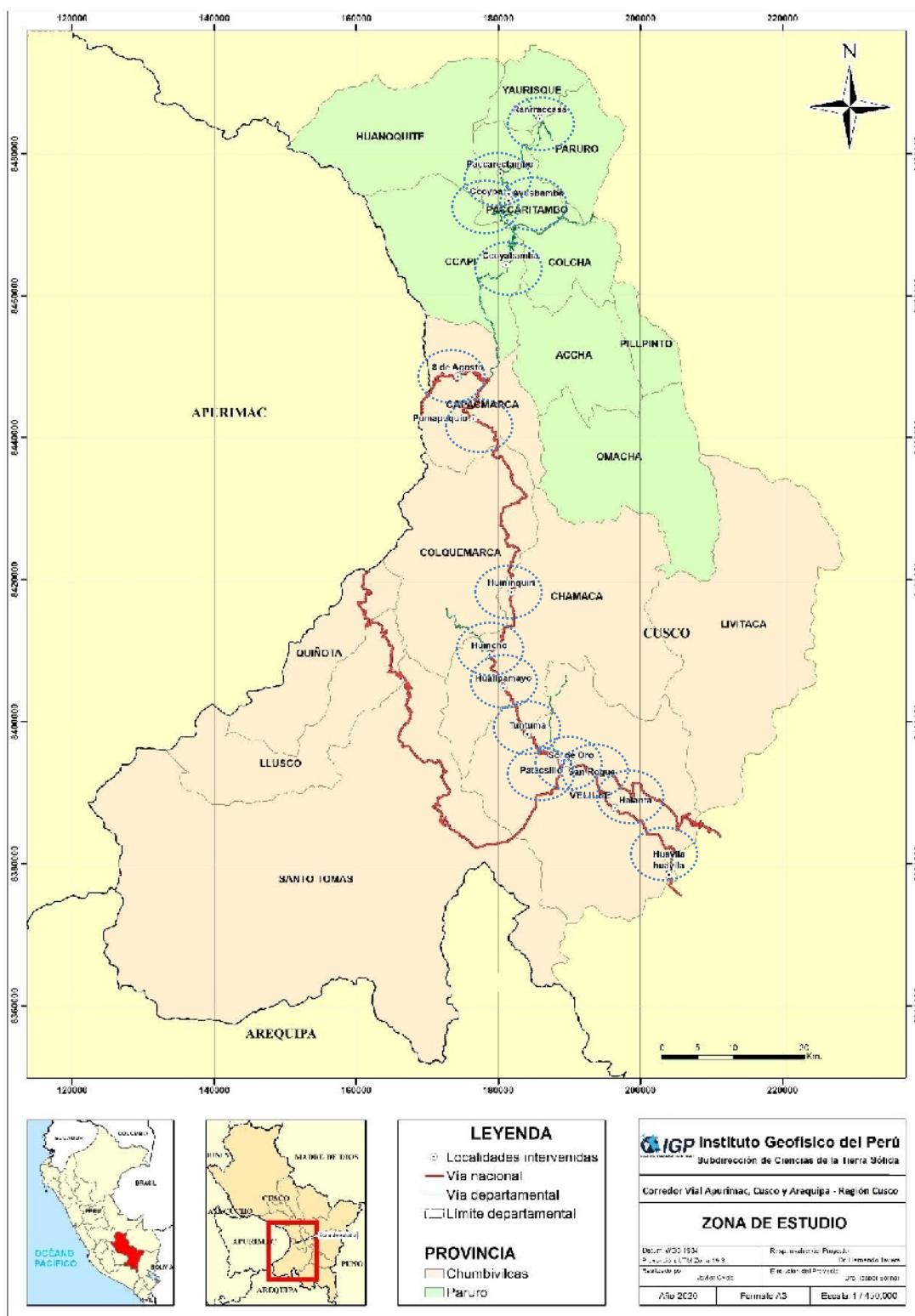


Figura 1: Mapa de ubicación de las localidades intervenidas.

2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VIVIENDAS Y SUELOS

Es sabido que los daños en estructuras ante la sollicitación de sismos y/o vibraciones antrópicas (tránsito de vehículos, personas, etc.), no solo depende de la calidad de los suelos sino también de las estructuras, básicamente por el material utilizado, geometría y antigüedad de las viviendas (estos parámetros no han sido analizados en este estudio). Asimismo, en ingeniería se hace cada vez más importante conocer las propiedades físicas y geológicas de los suelos para saber qué tipo de estructuras diseñar y construir a fin de que estas tengan respuesta o comportamiento dinámico aceptable a la ocurrencia de fuentes naturales o antrópicas.

2.1- Geología y morfología de los suelos

En este estudio se considera a 16 localidades que se distribuyen en el tramo comprendido en la localidad de Ranrraccasa (Paruro) hasta Huaylla Huaylla (Cusco), presentando sus suelos variadas características geológicas y morfológicas. Por ejemplo, sus suelos son parte de unidades litológicas que abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, conformados por depósitos sedimentarios consolidados, evaporitas, reminiscencias de intrusiones volcánicas e intrusivas, y depósitos superficiales no consolidados como coluviales y fluviales (Ingemmet, 2010). En la Tabla 1, se presenta la lista de las localidades estudiadas indicando el tipo de suelo predominante, su nivel freático (NF) y el registro de camiones de carga pesada y/o convoy.

Asimismo, la geomorfología y geodinámica de la zona están estrechamente relacionadas con las condiciones climáticas y aguas subterráneas que definen las características del comportamiento del recurso hídrico, recargas y descargas, escurrimiento superficial, distribución de las permeabilidades en profundidad, entre otros. Estos parámetros son los

detonantes para la generación de deslizamientos, asentamientos, erosión, hundimientos, sobrecarga de los suelos, reptación de suelos por saturación y erosión de laderas por cárcavas.

Tabla 1: Localidades estudiadas, tipo de suelo y nivel freático superficial. Asimismo, se indica que tipo de vehículo de tránsito frecuente

Localidad	Paso de camiones Encapsulados	Buses de personal	Camiones de Carga ancha	Tipo de suelo	NF superficial
Huaylla Huaylla	SI	SI	SI	Roca	SI
Halanta	SI	SI	SI	Roca	SI
Patacsillo	SI	SI	SI	Gravas con matriz Limo arenosa	NO
San Roque	SI	SI	SI	Gravas con matriz Limo arenosa	NO
Sol de Oro	SI	SI	SI	Gravas con matriz Limo arenosa	NO
Tumtuma	SI	SI	SI	Roca	SI
Huallpamayo	SI	SI	SI	Roca	SI
Huincho	SI	SI	SI	Roca	SI
Huinqiri	SI	SI	SI	Roca	SI
Pumapuquio	SI	SI	SI	Roca	SI
Ocho de Agosto	SI	SI	SI	Grava con matriz areno limosa	NO
Ccoyabamba	NO	SI	SI	Conglomerados aluviales	NO
Ayusbamba	NO	SI	SI	Conglomerados aluviales	NO
Ccoypa	NO	SI	SI	Yeso lutitas rojas, calizas	NO
Paccarectambo	NO	SI	SI	Conglomerados aluviales	NO
Ranrraccasa	NO	SI	SI	Lutitas y limonitas lacustres	NO

En la región Cusco, el periodo de lluvias está presente desde el mes de octubre hasta abril; es decir, son 7 meses durante los cuales las precipitaciones intensas saturan los suelos, permitiendo que estos sean susceptibles a generar movimientos en masa y disminuir su capacidad portante. Asimismo, localidades como Huaylla Huaylla, Halanta y Huinquiri están ubicadas al borde de riachuelos que aportan a la saturación del suelo. Por otro lado, localidades como Tumtuma, Huallpamayo, Huincho y Pumapuquio tienen cerca de sus viviendas grandes extensiones de bofedales que, del mismo modo, contribuyen en la saturación del suelo.

Por otro lado, la morfología presente en cada una de las localidades cuyos suelos fueron evaluados, es muy heterogénea y por ello, es importante realizar un análisis localidad por localidad a fin de caracterizar las áreas de trabajo con el único objetivo de lograr resultados coherentes, entre las características físicas de los suelos y su comportamiento dinámico a la ocurrencia de eventos naturales o antrópicos (Figura 2).

.- Localidad de Huaylla Huaylla: Presenta una geomorfología plana sobre la cresta de un valle por el que discurren riachuelos que alimentan a los humedales ubicados en la parte baja del mismo valle. En esta localidad, solo existe una vivienda de adobe con tres ambientes de un piso (Figura 2a).



Figura 2a.- Vivienda en la localidad de Huaylla Huaylla

.- Localidad de Halanta: Presenta una geomorfología en forma de valle, por donde discurre un riachuelo. En esta localidad, las viviendas son mayormente de adobe y pirca de piedras de un solo piso (Figura 2b).



Figura 2b.- Viviendas típicas en la localidad de Halanta

.- Localidad de Hualpamayo: Presenta una geomorfología plana con la presencia de riachuelos que discurren por ambas márgenes para alimentar a los bofedales de la zona. Debido a la ausencia de propietarios, no se recolectaron datos en el interior de las viviendas (Figura 2c).



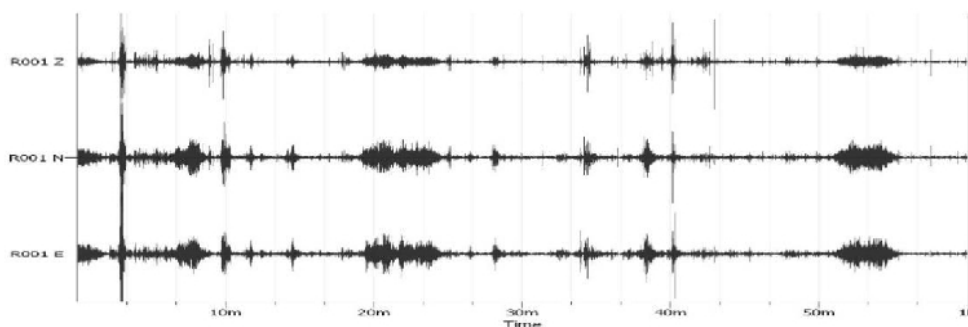
Figura 2c.- Viviendas de adobe y morfología de la localidad de Hualpamayo

.- Localidad de Patacsillo: Presenta una geomorfología plana que considera un gran valle fluvial. En este caso, se registró datos de

vibración antrópica en una vivienda de adobe ubicada a 10 metros de la carretera, en el primer y segundo piso (Figura 2d).



Primer Piso



Segundo Piso

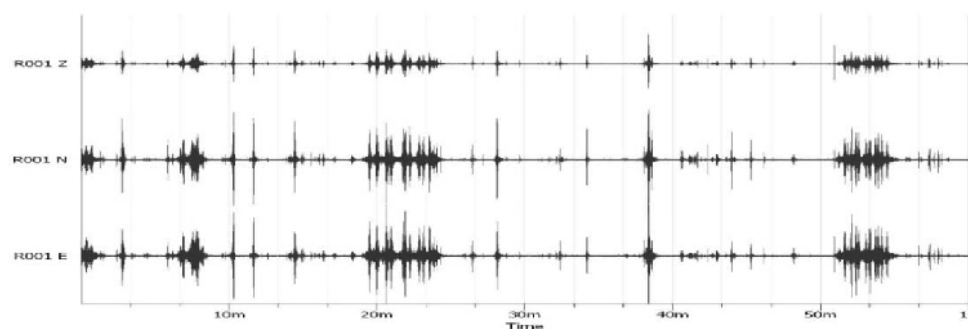


Figura 2d.- Vivienda de adobe en la localidad de Patacsillo y registros de vibración antrópica (vehículos encapsulados vacíos) obtenidos en el primer y segundo nivel de la vivienda.

.- Localidad de San Roque: Presenta una geomorfología plana sobre un gran valle fluvial. Los datos de vibración antrópica (camiones

encapsulados con carga) se registraron en el primer y segundo piso de una vivienda de adobe, así como en campo abierto (Figura 2e).

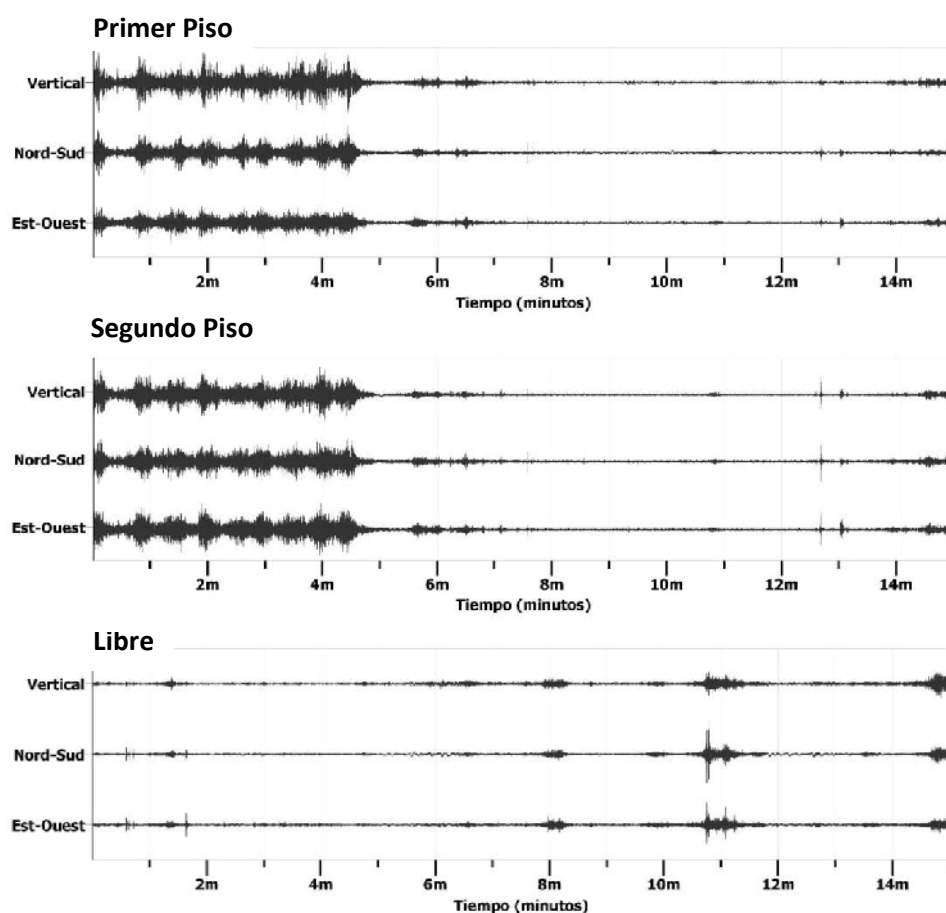


Figura 2e.- Vivienda de adobe en la localidad de San Roque y registros de vibración antrópica y a campo libre.

.- Localidad de Sol de Oro: Presenta una geomorfología en forma de valle con poca pendiente y los registros fueron obtenidos en el primer y

segundo nivel de una vivienda de adobe al paso de camiones con carga (Figura 2f).

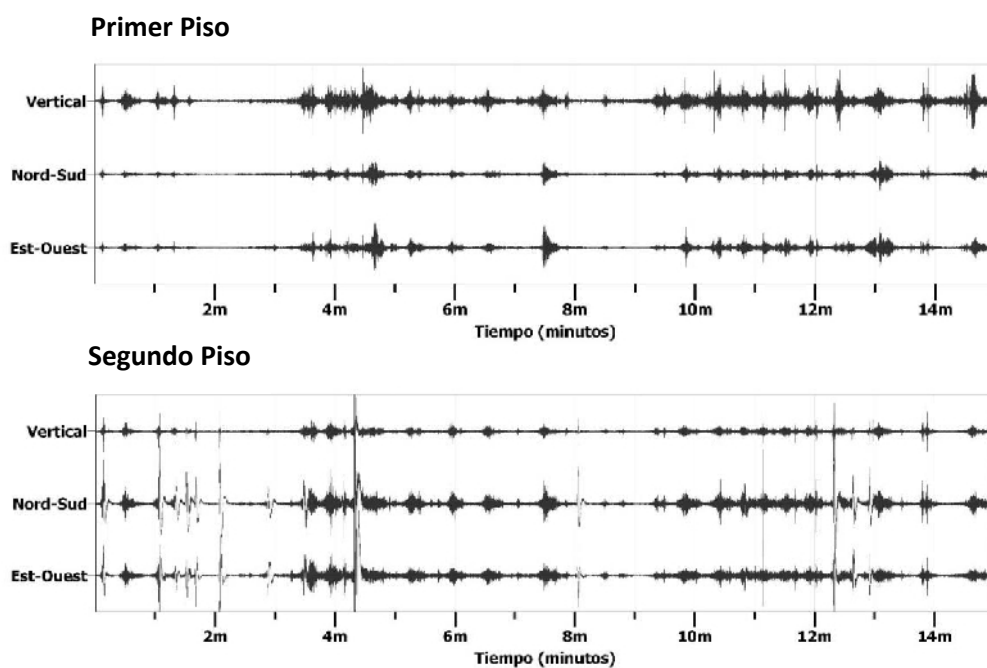


Figura 2f.- Viviendas típicas de la localidad Sol de Oro y registro de vibraciones antrópicas (camiones con carga)

.- Localidad de Tuntuma: Presenta una geomorfología plana, aunque desde puntos superiores discurre agua que satura los suelos. Los registros fueron obtenidos en el primer y segundo piso de la IE, con presencia de nivel freático superficial. Las construcciones fueron abandonadas a causa de la saturación del suelo (Figura 2g).

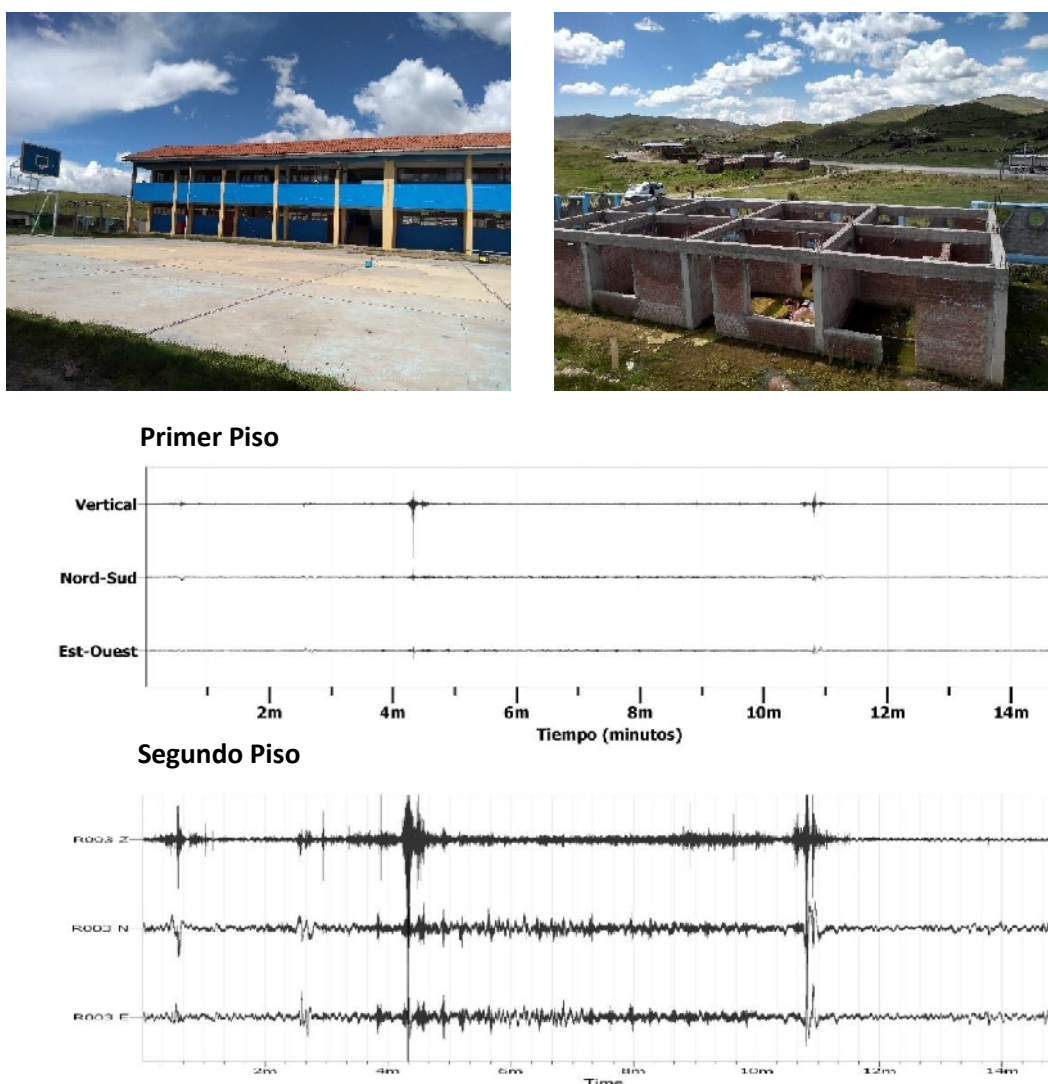


Figura 2g.- Viviendas en la localidad de Tuntuma abandonadas por presencia de niveles freáticos importantes

.- Localidad de Huincho: Presenta una geomorfología plana con la presencia de un gran número de bofedales en la zona. No se obtuvieron datos porque las dos viviendas de adobe y dos pisos,

estaban cerradas. La última imagen de la Figura 2h, muestra la presencia de minería informal.

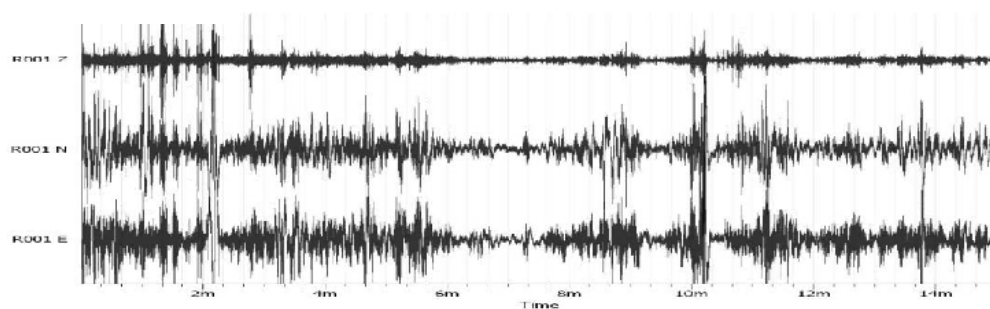


Figura 2h.- Viviendas de adobe y morfología de la localidad de Huincho

.- Localidad de Huinquiri: Presenta una geomorfología en forma de valle con pendientes suaves. En la margen derecha de la carretera se encuentra el río que es alimentado por riachuelos que bajan de ambas márgenes de las cotas más altas. Los datos se registraron en el primer y segundo piso de una vivienda de adobe, al paso de camiones vacíos (Figura 2i).



Primer Piso



Segundo Piso

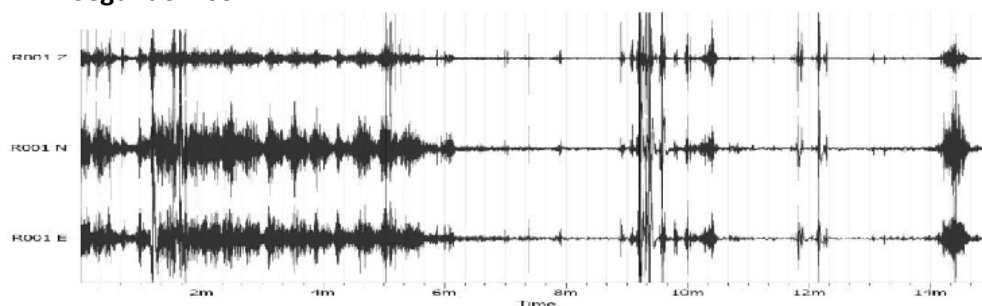


Figura 2i.- Viviendas y morfología de la localidad de Huiniquiri, así como registros de vibración antrópica (camiones vacíos)

.- Localidad de Pumapuquio: Presenta una morfología de ladera de poca pendiente, en la que el suelo se encuentra completamente saturado con la presencia de bofedales al final de la pendiente. En esta localidad las viviendas de adobe solo presentan un nivel (Figura 2j).



Figura 2j.- Viviendas y morfología de la localidad de Pumapuquio

.- Localidad de 8 de agosto: La morfología de esta localidad es de una ladera con alta pendiente. Se ha identificado el desarrollo de un deslizamiento en proceso. Los registros de vibración fueron obtenidos a nivel del suelo por ser crítico (Figura 2k).



Figura 2k.- Viviendas y morfología de la localidad de Ocho de Agosto.

.- Localidad de Ccoyabamba: El área urbana de esta localidad presenta una geomorfología plana: sin embargo, a menos de un kilómetro en dirección Este, se identifica la presencia de una pendiente que corresponde a las laderas de un afluente del río Apurímac. Los registros se obtuvieron en viviendas de adobe (segundo piso) y en una estructura irregular de albañilería, ubicada en la carretera (segundo y tercer piso). Durante los días de trabajo, solo circularon camiones de

carga ancha, buses de transporte de personal y maquinaria pesada para dar mantenimiento a las vías (Figura 21).

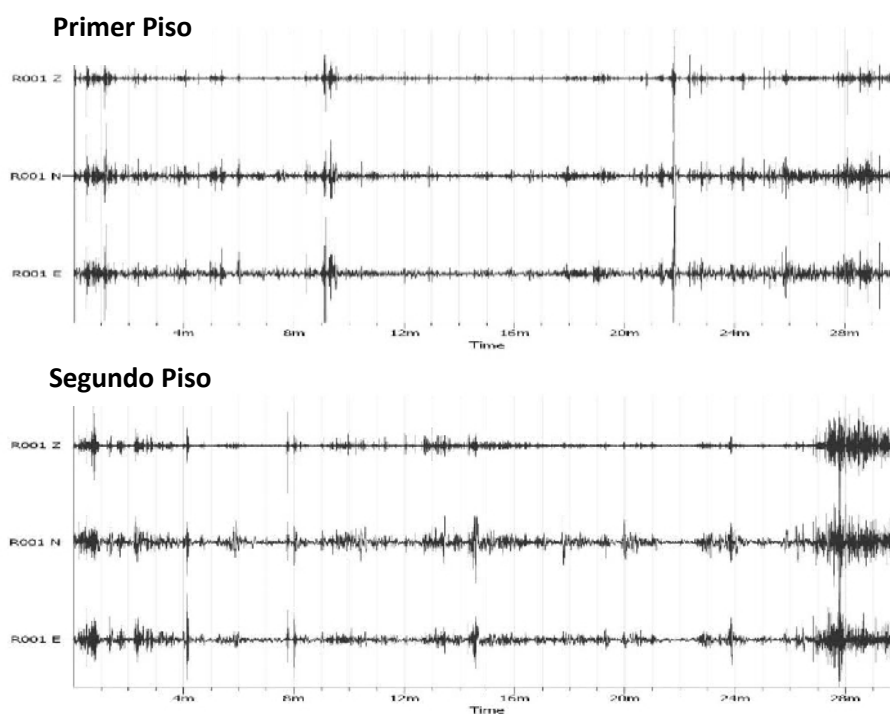


Figura 21.- Vivienda de ladrillo y cemento en la localidad de Ccoyabamba y registros de vibración ambiental



Segundo Piso

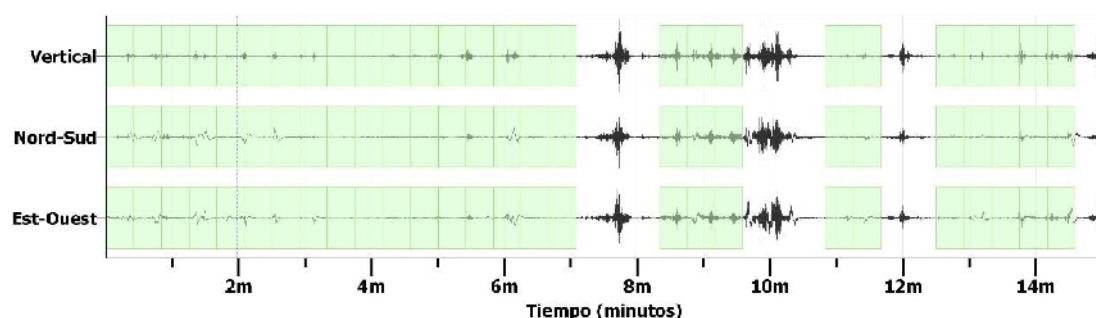


Figura 2l.- Continuación.../ Vivienda de adobe y registros de vibración ambiental

.- Localidad de Ayusbamba: Presenta una morfología de ladera de alta pendiente constituida por conglomerados aluviales y areniscas fluviales. Los registros de vibración fueron obtenidos a nivel del suelo. Durante los días de recolección de datos, no transitaron vehículos de carga, solo camiones de carga ancha, buses de transporte de personal y maquinaria pesada para dar mantenimiento a las vías (Figura 2m).



Figura 2m.- Vivienda de adobe de la localidad de Ayusbamba

.- Localidad de Ccoypa: Presenta una morfología de ladera de pendiente media compuesta por una mezcla de yeso, lutitas rojas y algunos cuerpos de calizas. Los registros de vibración fueron obtenidos en una vivienda de adobe (segundo piso) al tránsito de vehículos locales (Figura 2n).



Segundo Piso

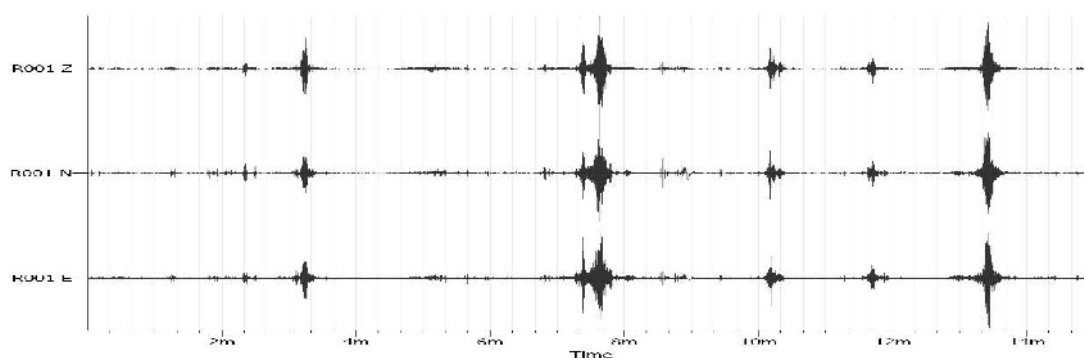


Figura 2n.- Viviendas de la localidad de Ccoypa y registros de vibración

.- Localidad de Paccarectambo: Presenta una morfología de ladera de pendiente media constituida por conglomerados aluviales y areniscas fluviales rojas. En esta localidad se registró información en una estructura de albañilería de tres pisos con un sensor en el suelo y en el tercer piso, en una casa de adobe de dos pisos y en el Anexo Hermanos Ayar (vivienda de adobe), ver Figura 2o.



Tercer Piso

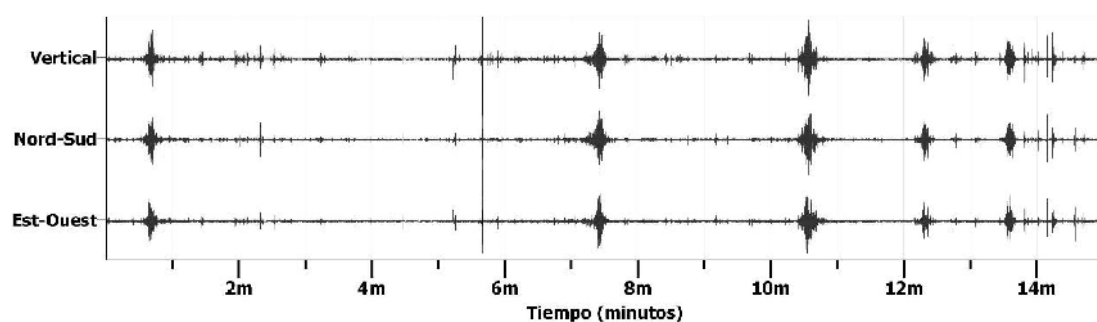


Figura 2o.- Vivienda de ladrillo y cemento de la localidad de Paccarectambo y registro de vibración al paso de buses.



Segundo Piso

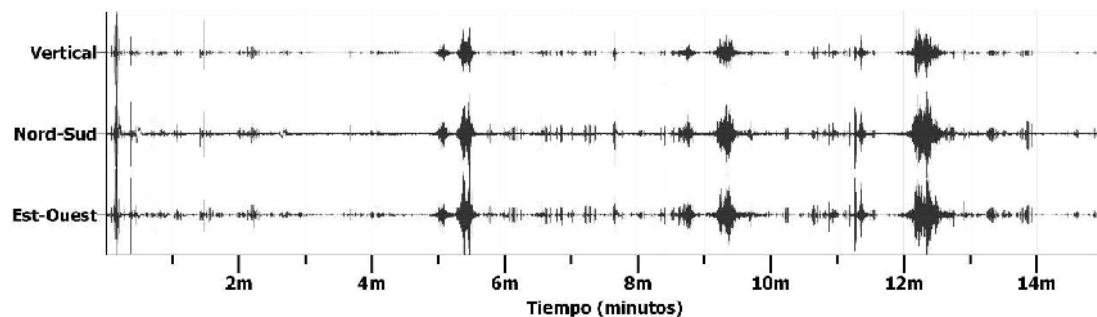
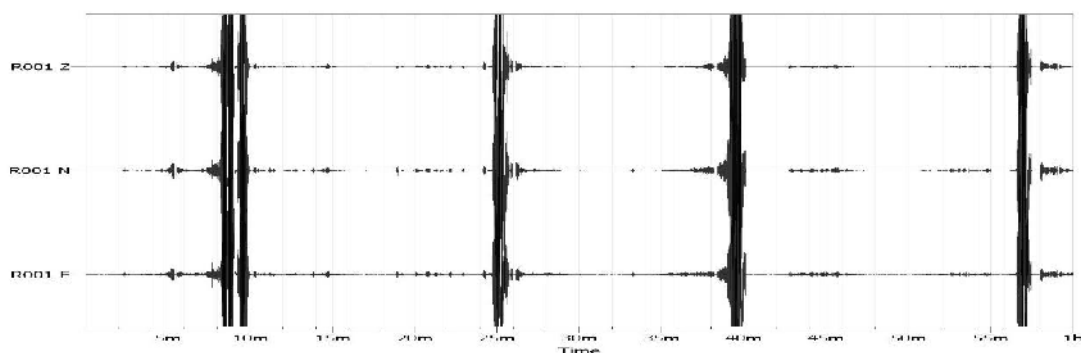


Figura 2o.- Continuación.../ Vivienda de adobe en la localidad de Paccarectambo y registro de vibraciones en su interior.



Primer Piso



Segundo Piso

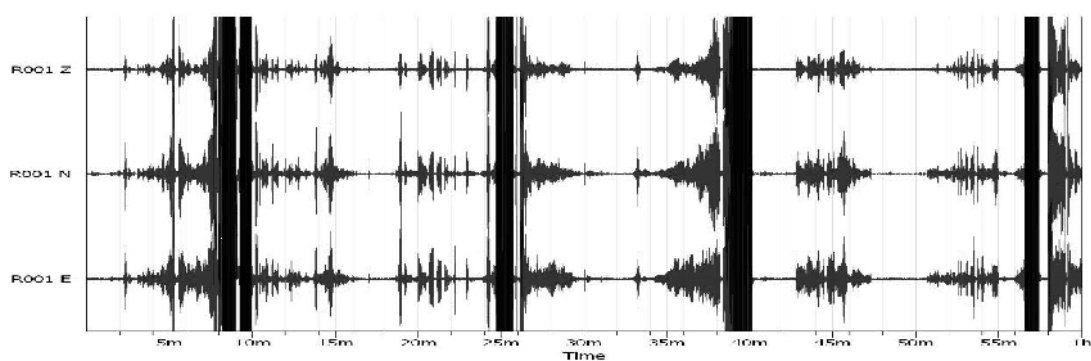


Figura 2o.- Continuación.../ Casa de adobe en el Anexo Hermanos Ayar. El registro corresponde al obtenido en el primer y segundo piso de la vivienda al paso de un vehículo de rodillo para mantenimiento de la vía. Obsérvese que la señal se satura completamente.

.- Localidad de Ranrraccasa: Presenta una morfología de una ladera de pendiente media constituida por lutitas, areniscas, limonitas lacustres y conglomerados fluviales. Los registros de vibración se obtuvieron en 2 viviendas de adobe al paso de buses de transporte de personal (Figura 2p).

Vivienda 1

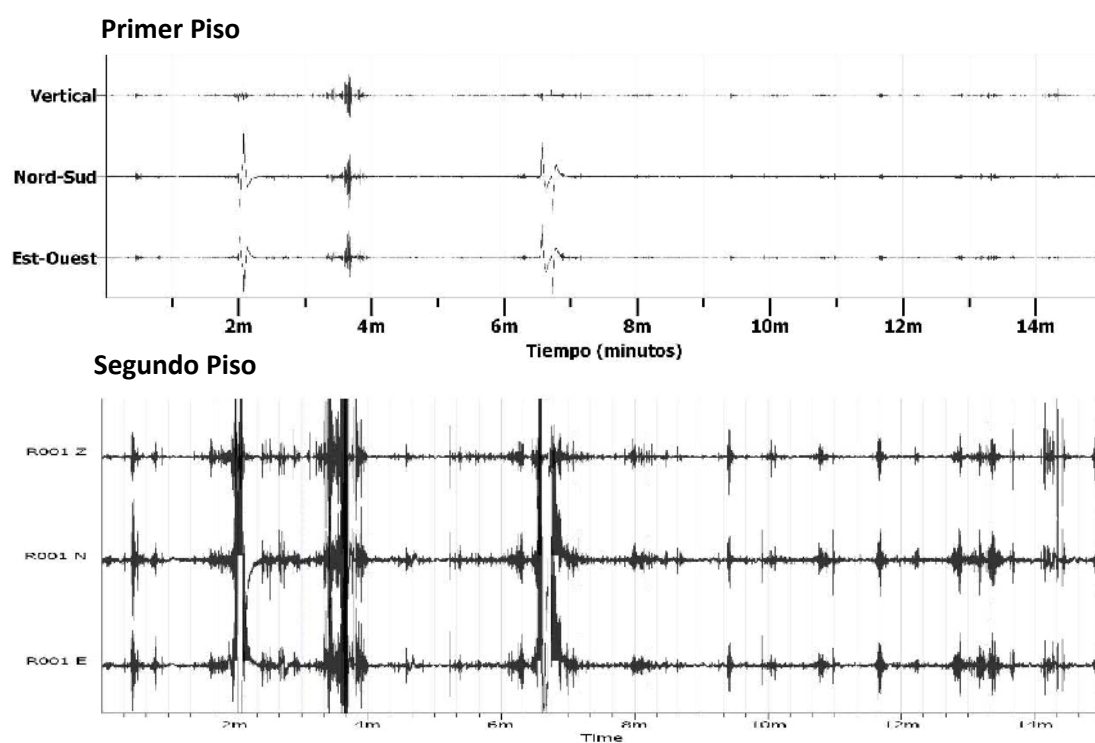


Figura 2p.- Vivienda de adobe evaluada en la localidad de Ranrraccasa y registros de vibración al paso de buses.

Vivienda 2



Segundo Piso

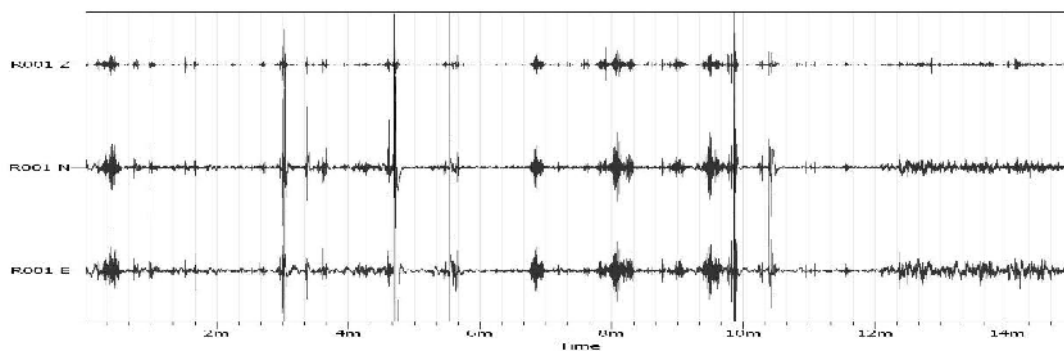


Figura 2p.- Continuacion .../Segunda vivienda de dobe evaluada en la localidad de Ranraccasa y registros de vibración al paso de buses.

2.2.- Tipos de viviendas

En las localidades estudiadas predominan las viviendas de adobe o tapial (paredes de adobe, techo de teja y pisos de tierra o madera) y en menor número, de material noble. En general, el adobe es un material higrófilo, que tiende a absorber la humedad del subsuelo y/o humedad atmosférica o del aire cuando está saturado, perdiendo su resistencia a los esfuerzos aún de los de su propio peso y más aún disminuye su estabilidad frente a agentes externos derivados de fuentes naturales (sismos) y/o antrópicos (paso de vehículos). Debido a las lluvias prolongadas por varios días, la humedad afectaría a las paredes de las viviendas de adobe pudiéndose fisurarse sin la intervención de ningún efecto externo. En condiciones climáticas secas, el adobe en su proceso de recuperación de su estado original también soporta procesos de formación de fisuras que las debilitan. En la Figura 3, se muestra ejemplos de viviendas típicas de las localidades en estudio y de forma visual, se evidenciaron algunas fisuras en las viviendas de adobe.

2. 3.- Tránsito vehicular

En las vías de tránsito principal de la provincia de Chumbivilcas y Paruro, en esta última más conocida como Corredor Económico, se tiene el paso de vehículos de carga de mineral provenientes del “Corredor vial Apurímac, Cusco y Arequipa” con un flujo promedio del orden de 250 unidades por día. Además, se tiene el tránsito de camiones con cisternas de agua, combustibles, de carga ancha, autobuses y otros de menor volumen (Figura 4).



Figura 3: Viviendas características de la zona de estudio



Figura 4: Unidades de carga que transportan concentrado de la mina Las Bambas

3.- METODOLOGÍA

La caracterización física del subsuelo depende de la estructura de sus diferentes capas evaluadas usando información y métodos geológicos (estratigrafía, geomorfología, geodinámica, geotecnia, etc.) y geofísicos (sísmica, eléctrica, gravimétrica, etc.). En conjunto, estos campos de investigación permiten delimitar los diferentes tipos de suelos e identificar la presencia de suelos blandos o con efectos de sitio que, por el bajo grado de rigidez o contenido de agua, son de alto riesgo ante la solicitud de fuentes naturales (sismos) o antrópicos (paso de vehículos).

En este estudio, los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos geofísicos (sísmicos, eléctricos y vibración ambiental) son indicados para cada localidad. A continuación, se describe cada uno de los métodos utilizados y los resultados obtenidos para conocer el comportamiento dinámico de los suelos de cada localidad a la sollicitación de fuentes naturales y antrópicas.

3.1.- Razones Espectrales (H/V)

Las razones espectrales obtenidas de registro de vibración ambiental (Nakamura, 1989), permiten conocer el periodo de respuesta del suelo y su factor de amplificación ante la ocurrencia de eventos con origen en fuentes naturales (sismos) y antrópicos (explosiones, paso de camiones o convoy). Debe entenderse que la variación de las propiedades físicas de cada capa estratigráfica superficial del suelo, presentan diferente espesor, geometría y composición litológica; y de acuerdo con su grado de consistencia causaran o no, la amplificación de las ondas sísmicas y/o vibraciones incidentes en el subsuelo.

Para obtener los registros de vibración ambiental, se ha empleado sismómetros Lennartz de 5 segundos y registradores CityShark II (Figura 5).



Figura 5. Equipo utilizado para el registro de vibración ambiental.

Para aplicar la técnica de razones espectrales H/V, los registros sísmicos de vibración ambiental fueron tratados por ventanas de 20 segundos, luego se calcula la Transformada Rápida de Fourier a fin de obtener espectros para cada componente (E-O/N-S/V), para luego relacionarse entre ellos. La frecuencia predominante es identificada considerando, un rango de interés que fluctúa entre 1.0 a 10 Hz y picos/rangos con amplificaciones relativas de al menos 2 veces.

Para la interpretación de los resultados, se considera la información geológica y geomorfológica. Para los espectros, se considera la siguiente escala conceptual: 1) Las frecuencias predominantes menores a 1 Hz corresponden a vibraciones generadas por el oleaje del mar, y/o cambios meteorológicos (periodos muy largos), 2) Las bajas frecuencias o periodos largos son debidas a la presencia de depósitos profundos y 3) Las frecuencias altas o periodos cortos son debidos a depósitos superficiales blandos y de poco espesor (SESAME, 2006; Bernal, 2006). Para H/V, se debe identificar el rango de las frecuencias y/o periodos predominantes del suelo

(que son los que lo van a caracterizarlo), así como, los lugares donde los picos de amplitud alcanzarían sus máximos valores.

3.2.- Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

El ensayo de análisis multicanales de ondas superficiales (MASW) permite determinar la estratigrafía del subsuelo bajo un punto; es decir, conocer la velocidad de propagación de las ondas de corte V_s en el subsuelo, a partir del análisis de la dispersión de ondas superficiales (ondas Rayleigh), generados por una fuente de energía impulsiva y registrada por arreglos lineales de estaciones sísmicas.

Para el registro de datos con la técnica MASW se ha utilizado un equipo sísmico de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) y una longitud de registro de 2 segundos. A los datos registrados, se aplicó la transformada rápida de Fourier (FFT) a fin de obtener como resultado la imagen de dispersión que relaciona la velocidad de fase de las ondas superficiales con la frecuencia. Luego las curvas de dispersión son sometidas a un proceso de inversión a fin de obtener los perfiles V_s en una dimensión (1D)

Tabla 2. Clasificación de perfiles de suelo, a partir de la norma E.030.

Clasificación de los perfiles de Suelo				
N°	V_s	Norma E.030		Descripción
1	< 180 m/s	S_3	Suelo blando	Suelo blando
2	180 m/s a 350 m/s	S_2	Suelo medianamente rígido	Suelo moderadamente rígido
3	350 m/s a 500 m/s			Suelo rígido
4	500 m/s a 800 m/s	S_1	Roca o suelo muy rígido	Suelo muy rígido o roca blanda
5	800 m/s a 1500 m/s			Roca moderadamente dura
6	> 1500 m/s	S_0	Roca dura	Roca dura

Para el análisis e interpretación de los resultados, se considera la clasificación de suelos propuesta por la Norma E.030 (2018). En este caso, el rango de velocidad de los perfiles de suelo S1 y S2 se subdividen, según la Tabla 2. Esta nueva clasificación del suelo es representada con colores, para mejor visualización de los resultados obtenidos.

3.3.- Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

El ensayo de ERT permite determinar las variaciones de resistividad y conductividad eléctrica de las rocas y suelos para conocer el nivel freático del suelo. En general, los materiales que conforman el subsuelo muestran ciertos rangos de valores de resistividad (ρ) que depende de la composición del material que atraviesa la corriente eléctrica, teniendo en cuenta el contenido de agua o de sales disueltas en las fracturas de las rocas o en la porosidad del suelo. Para la aplicación de la técnica ERT se utiliza un Equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, cables y accesorios. Los datos recolectados en campo corresponden al registro de valores de resistividad.

Para realizar el procesamiento de los datos recolectados en campo se selecciona los de mejor calidad; es decir, sin presencia de ruidos que pueda alterar los resultados a obtenerse. Seguidamente, son corregidos por efectos de topografía usando algoritmos de inversión de datos geoelectricos y de procesamiento de imágenes. Para realizar la interpretación de información, se debe tener en cuenta que son varios los factores que influyen en suelos (grado de saturación, porosidad y forma del poro, salinidad del fluido, tipo y composición de la roca, temperatura, procesos geológicos que afectan a los materiales); es decir, el incremento de fluidos en el terreno se verá reflejado por una disminución en los valores de resistividad. En la Tabla 3, se presentan algunos valores de resistividad relacionados a los distintos tipos de suelos y rocas.

Tabla 3. Valores de resistividad de suelos, rocas y/o materiales presentes en la naturaleza (Loke, 2004).

Material	Resistividad (ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^9$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$
Yeso	$10^4 - 10^6$
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Esquistos	$20 - 2 \times 10^3$
Caliza	$50 - 4 \times 10^2$
Arcilla	1 - 100
Aluvión	10 - 800
Agua dulce	10 - 100
Agua de mar	0.2

4.- RESULTADOS

A continuación, se describe los resultados obtenidos para cada una de las localidades consideradas en este estudio y que se encuentran ubicadas a lo largo de la vía principal de tránsito de las provincias de Chumbivilcas y Paruro (Corredor Económico), ambas utilizadas para el paso de vehículos de carga pesada provenientes del “Corredor Vial Apurímac, Cusco y Arequipa”.

LOCALIDAD DE HUAYLLA HUAYLLA

4.1.- Localidad de Huaylla Huaylla

La localidad de Huaylla Huaylla se ubica al sur del distrito de Livitaca, en la provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 6). Se encuentra a una altitud promedio de 4650 m.s.n.m. y limita por el norte, con los distritos de Omacha (Paruro) y Pomacanchis (provincia de Acomayo), por el sur con el distrito de Coporaque (provincia de Espinar), al este con el distrito de Quehue (provincia de Canas) y al oeste con el distrito de Velille y Chamaca (provincia de chumbivilcas). Geológicamente, esta localidad se encuentra sobre unidades del grupo Barroso y depósitos cuaternarios (glaciar y fluvial). El cartografiado y mapa base utilizado para esta localidad es de 1:1000, sobre un área total de 0.113 km².

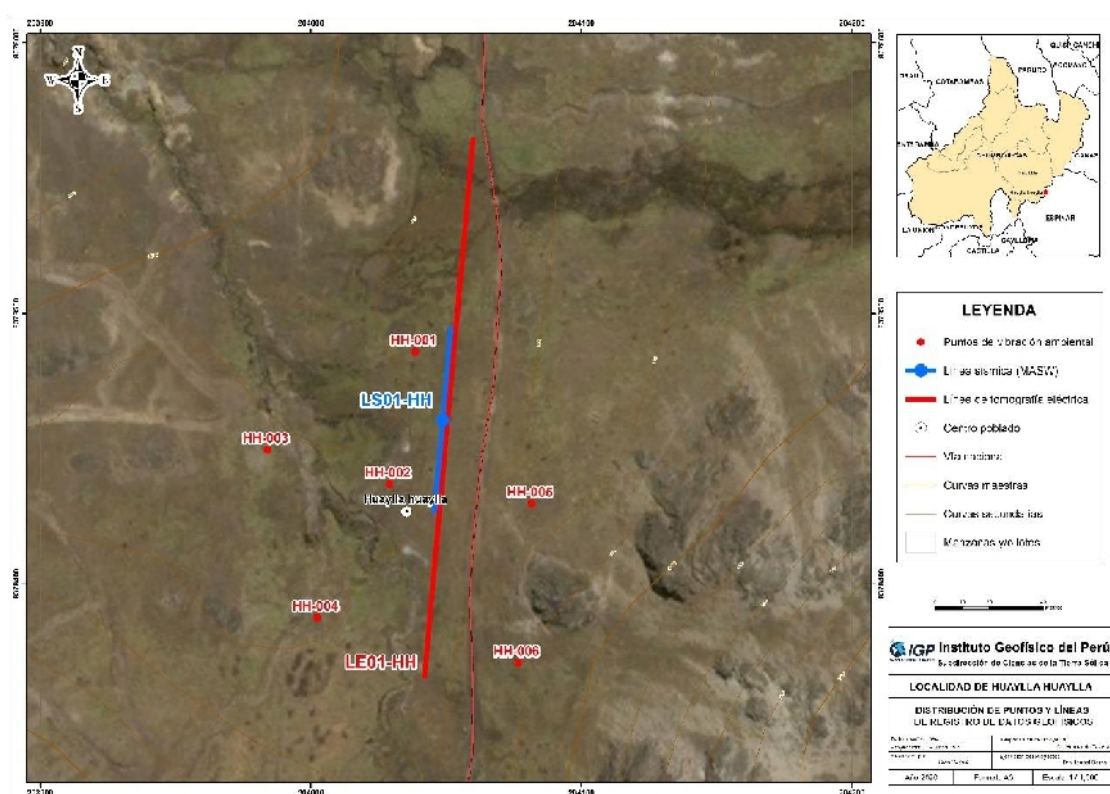


Figura 6. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Huaylla Huaylla.

a.) Adquisición de datos

En la Figura 6, se muestra la distribución de los puntos y líneas donde se adquirió los registros de vibración ambiental, sísmica y eléctrica, todos distribuidos de manera relativamente homogénea en la localidad de estudio. En la Tabla 4, se indica las coordenadas y características de estos puntos.

Tabla 4: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, líneas eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Huaylla Huaylla	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-HH	204048	8378426	4650	3	69
	204052	8378495	4647		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-HH	204060	8378565	4635	10	190
	204042	8378365	4650		
Puntos H/V					
HH-01	204039	8378486	4651	-	-
HH-02	204029	8378437	4652	-	-
HH-03	203984	8378450	4650	-	-
HH-04	204002	8378387	4508	-	-
HH-05	204082	8378430	4648	-	-
HH-06	204077	8378371	4583	-	-

b.) Resultados obtenidos

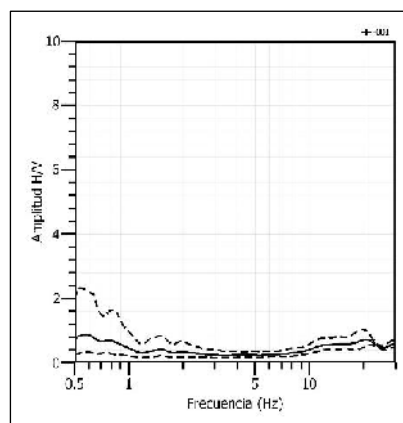
La aplicación de métodos geofísicos para el estudio de los suelos en la localidad de Huaylla Huaylla, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- Parámetros dinámicos del suelo: Las razones (H/V) obtenidos para los puntos HH-01 y HH-06, ubicados sobre suelos y afloramientos rocosos, no muestran la presencia de picos de frecuencias

predominantes evidenciando que los suelos son altamente consistentes y/o rígidos (Figura 7).

Vibraciones generadas durante el paso de camiones: En la Figura 8, se muestra el registro de vibraciones generadas durante el paso de camiones y/o vehículos menores. Según el análisis frecuencial de la señal, en el punto HH-06, ubicado a 10 metros de distancia de la carretera, se identifica el registro de frecuencias altas con valores entre 20 a 30 Hz (0.03 y 0.05 segundos). En el gráfico de Razones Espectrales, se muestra los resultados obtenidos para el paso de camiones con carga (C. Carga), sin carga (C. Vacíos) y sin el paso de camiones (Libre), observándose que no existe variaciones en el factor de amplificación del suelo, lo que indica que es un suelo compacto y por lo tanto, no afectarían a las viviendas cercanas a la carretera.

HH - 01



HH - 06

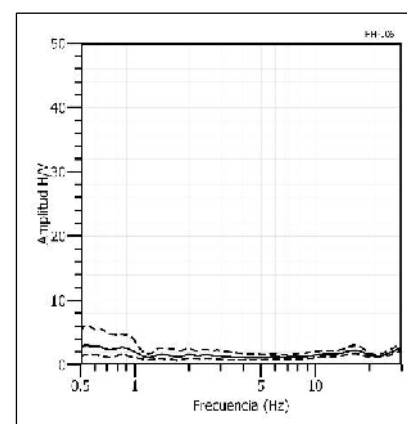
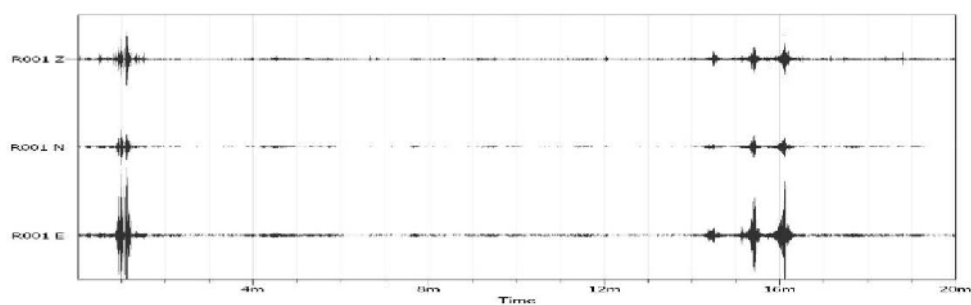
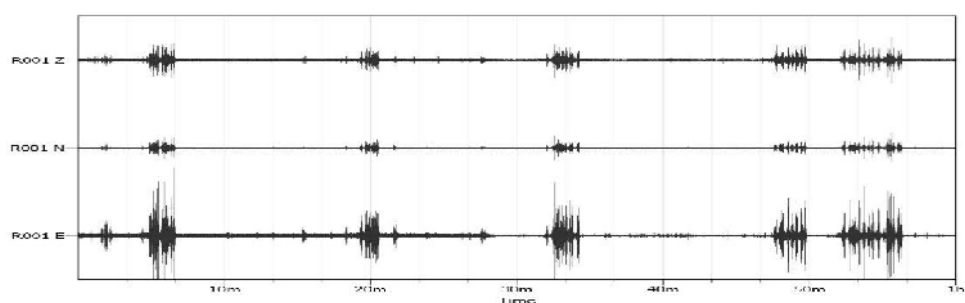


Figura 7: Ejemplos de razones espectrales (H/V). Puntos HH-01 y HH-06 ubicados en ambas márgenes de la carretera de la localidad Huaylla Huaylla. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

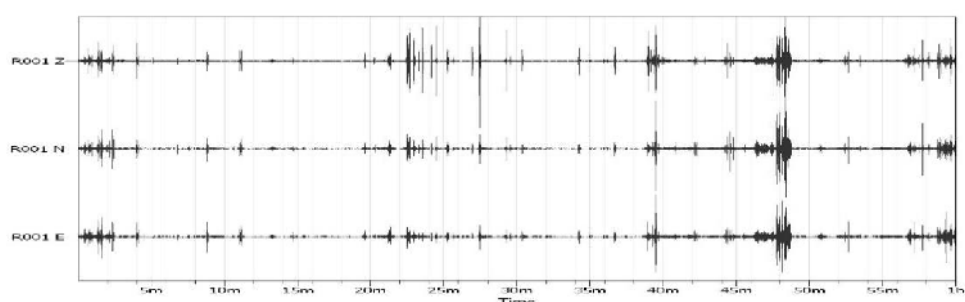
Registros obtenidos en el punto HH-06



Registros del paso de camiones encapsulados sin carga en el punto HH-06



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HH-06



Razones espectrales

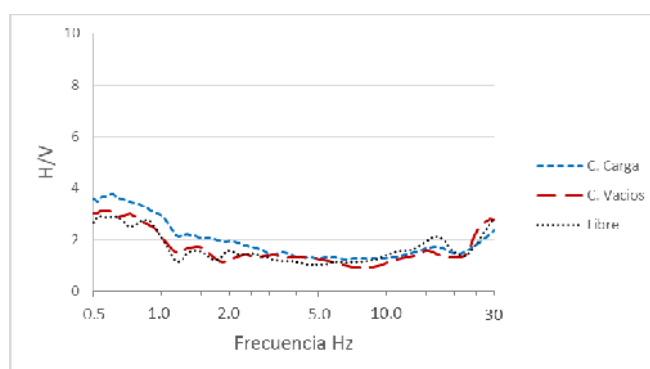


Figura 8. En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental natural del suelo, durante el paso de camiones con y sin carga obtenidos en el punto HH-06 ubicado a 10 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto.

.- **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-HH fue realizada en la zona céntrica del poblado de Huaylla Huaylla, siguiendo una orientación paralela a la vía principal o carretera. El análisis de la información obtenida ha permitido identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 5): la primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 432 m/s, lo que sugiere la existencia de suelos rígidos; la segunda capa, de 8 metros de espesor con velocidades V_s de 813 m/s, indican la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas. El semi-espacio presenta velocidades $V_s > 1066$ m/s correspondiendo a rocas moderadamente duras (Figura 9).

Tabla 5. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Huaylla Huaylla	LS01-HH	432	5	813	8	1066	-	794
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

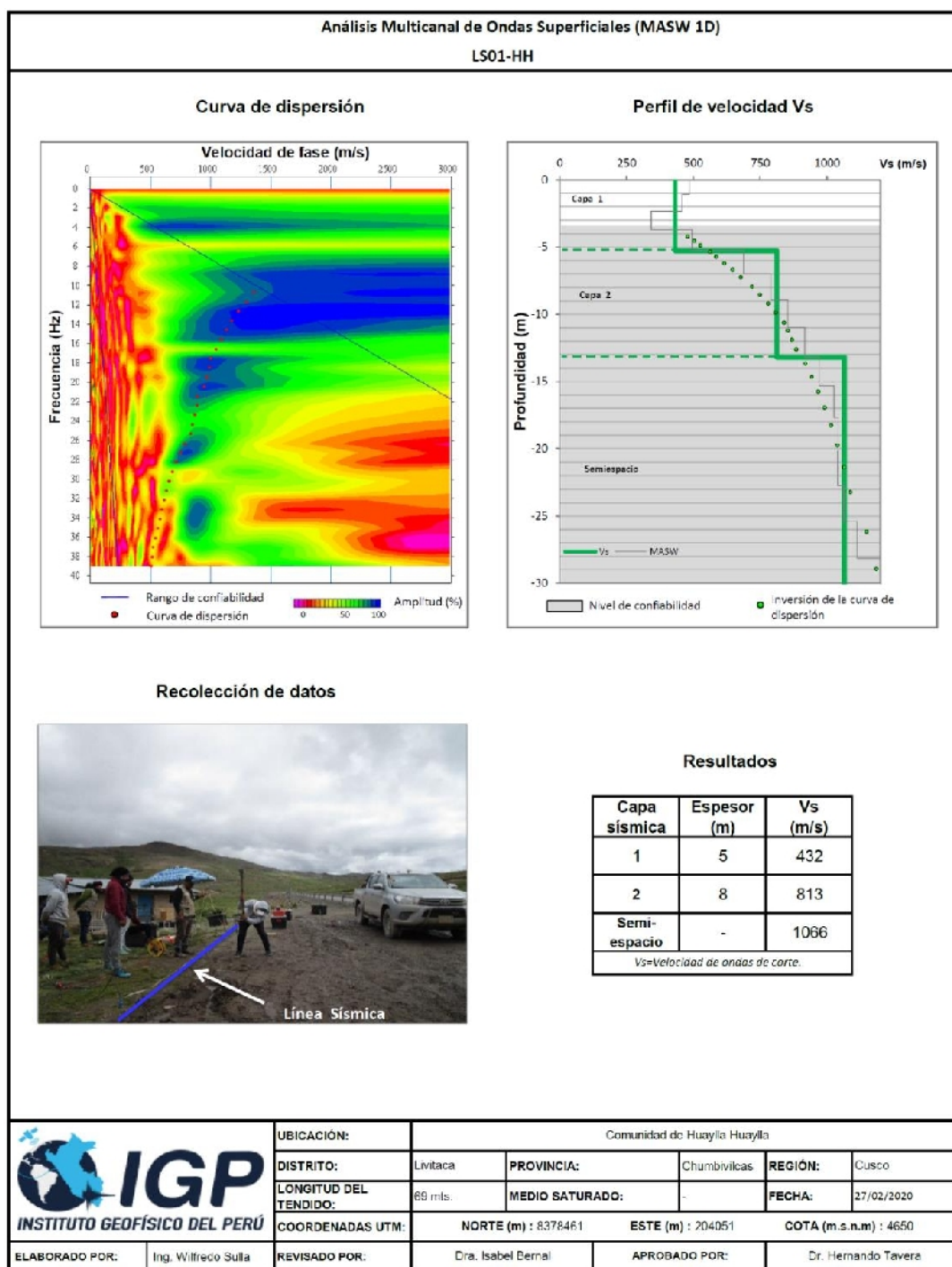


Figura 9. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-HH, realizado en la localidad de Huaylla Huaylla.

.- **Tomografía eléctrica:** La línea eléctrica **LE01-HH**, fue realizada paralela a al via principal o carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 10. Según los resultados obtenidos en esta línea, los suelos de la localidad de Huaylla Huaylla, presentan predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$) hasta los 20 metros de profundidad; además de la presencia de lentes con valores bajos resistivos ($< 100 \Omega.m$) y por debajo de los 30 metros de profundidad, valores resistivos ($>500 \Omega.m$); ver Figura 11. Estos resultados son debidos a la presencia de bofedales y riachuelos cercanos o en la localidad; mientras que, por debajo de los 30 metros, el grado de humedad disminuye considerablemente.

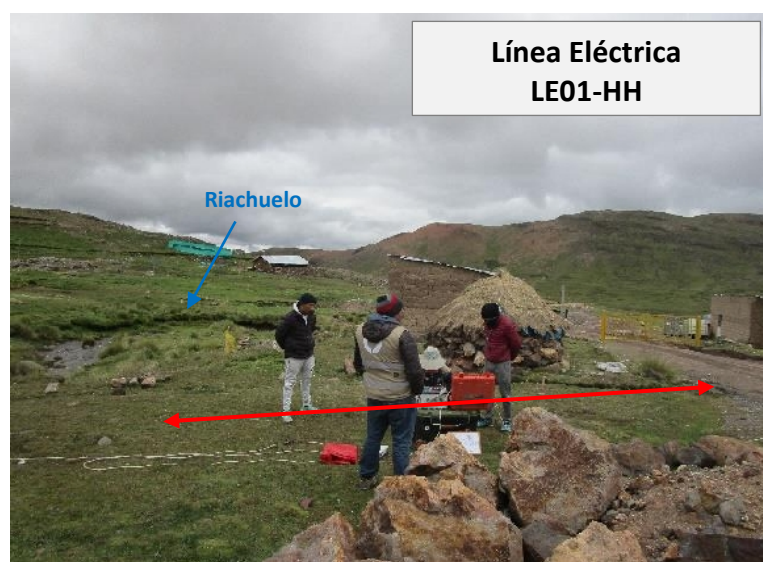


Figura 10. Vista de la línea eléctrica en la localidad de Huaylla Huaylla (LE01-HH).

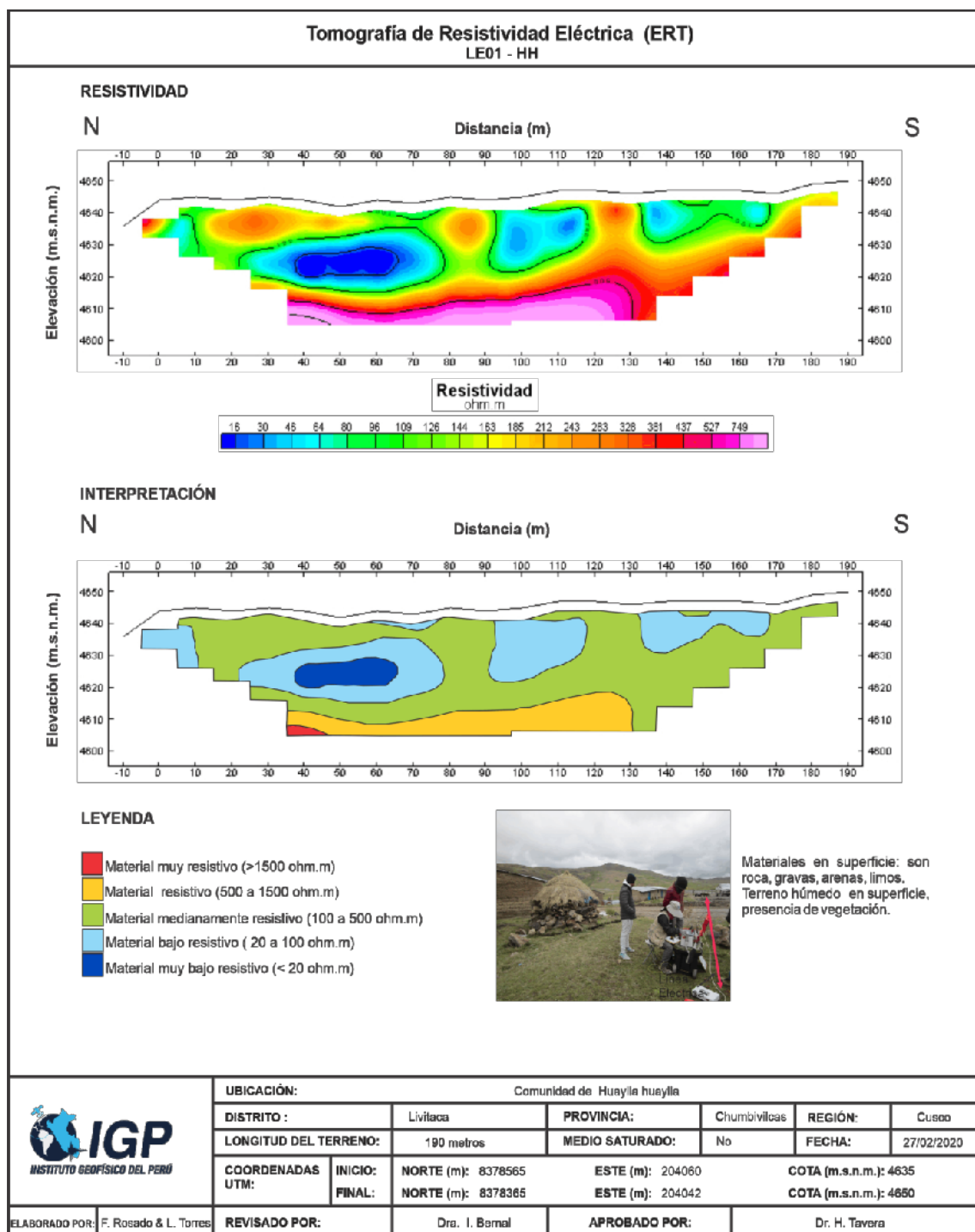


Figura 11. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-HH.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos no responden a ningún rango de frecuencias predominante (F_0), evidenciando su alta consistencia, siendo coherente con las velocidades V_s de 432 y 813 m/s que definen a la presencia de suelos muy rígidos. Hacia los extremos norte y oeste de la localidad, se observa que el suelo se presenta moderadamente saturado, por la presencia de bofedales, influyendo de manera desfavorable en el comportamiento dinámico de los suelos urbanos.

En la Figura 12, se observa la distribución de los valores de periodos dominantes del suelo y sus factores de amplificación. En este caso, se observa que no sobresale ningún periodo dominante y en este sentido, las viviendas ubicadas en este sector que presentan rajaduras, tendrían su origen en la saturación del suelo a niveles superficiales.

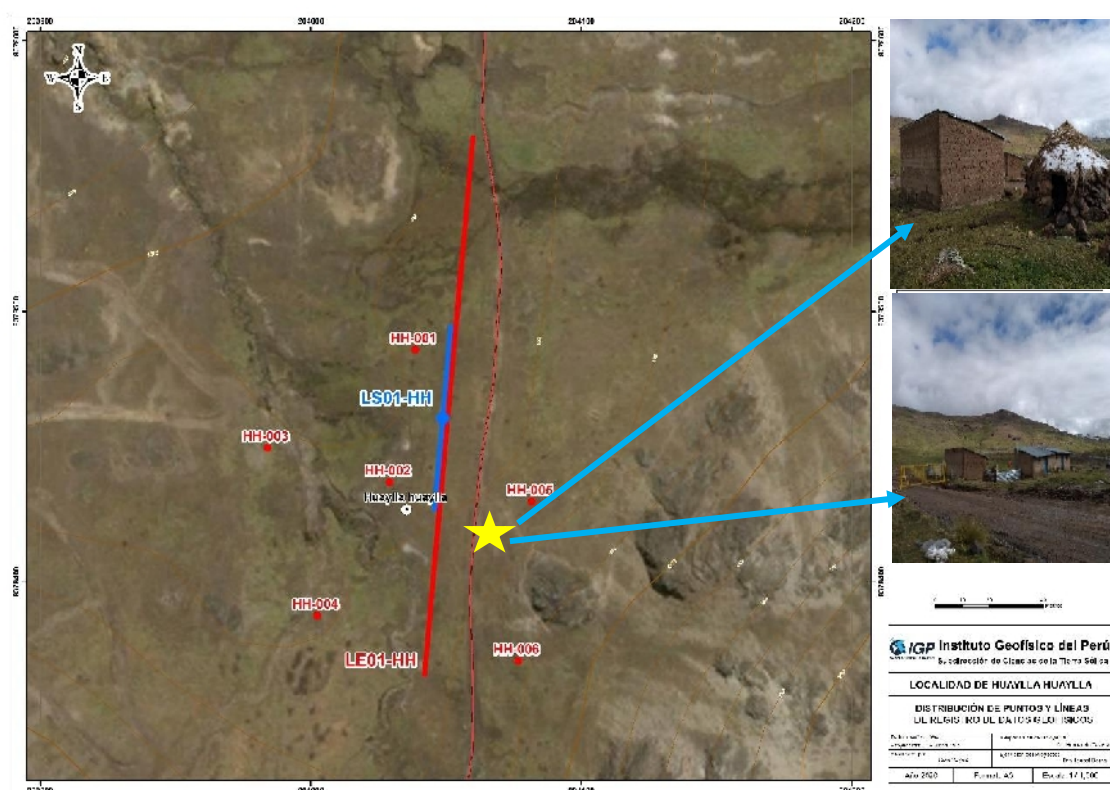


Figura 12. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes del suelo. La estrella indica la ubicación de una vivienda con rajaduras.

d.) Conclusiones

- En la localidad de Huaylla Huaylla, los suelos presentan características de ser suelos rígidos a muy rígidos ($V_s = 432$ y 813 m/s). El estrato superficial presenta un moderado grado de saturación de agua hasta profundidades de 20 metros.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, el suelo no experimentaría mayor amplificación.

- La vibración generada, por el paso de camiones de carga pesada presentan periodos muy bajos y por lo tanto; no afectarían a las viviendas de adobe ubicadas a más de 10 metros de distancia de la carretera. Pero las viviendas, al exponerse a las vibraciones constantes, es posible que disminuyan su tiempo de vida útil. Asimismo, el moderado grado de saturación del suelo, influye de manera desfavorable al comportamiento dinámico de las viviendas.

LOCALIDAD DE HALANTA

4.2.- Localidad de Halanta

La localidad de Halanta se encuentra ubicada al sureste del distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 13). Se encuentra a una altitud promedio de 4650 m.s.n.m. y limita por el norte, con los distritos de Chamaca y Colquemarka, por el sur con la región Arequipa y el distrito de Santo Tomás, al este con el distrito Livitaca y la provincia de Espinar y al oeste con los distritos de Colquemarka y San Tomás. Geológicamente, el área de estudio se emplaza sobre la unidad Colquemarka, constituida por intrusiones subvolcánicas de diorita, tonalitas, granodioritas y depósitos cuaternarios. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:1500, sobre un área total de 0.065 km².

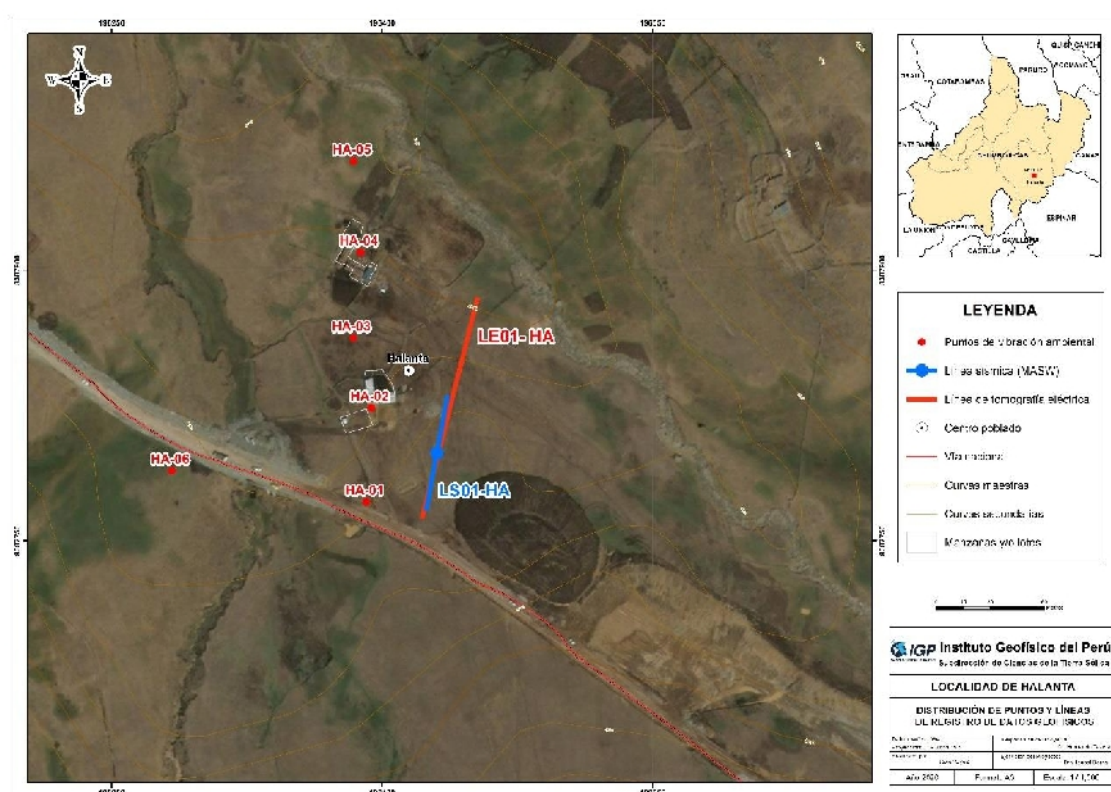


Figura 13. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Halanta.

a.) Adquisición de datos

En la Figura 13, se muestra la distribución de los puntos y líneas donde se adquirieron los registros de vibración ambiental, perfiles sísmicos y de eléctrica, todos distribuidos de manera relativamente homogénea en el área urbana. En la Tabla 6, se indica las coordenadas y características de estos puntos.

Tabla 6. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Halanta	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-HA	196424	8387766	4151	3	69
	196436	8387831	4147		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-HA	196422	8387762	4153	10	190
	196453	8387885	4139		
Puntos H/V					
HA-01	196391	8387771	4155	-	-
HA-02	196394	8387824	4154	-	-
HA-03	196384	8387862	4149	-	-
HA-04	196388	8387910	3899	-	-
HA-05	196384	8387960	4130	-	-
HA-06	196283	8387789	4143	-	-

a.) Resultados obtenidos

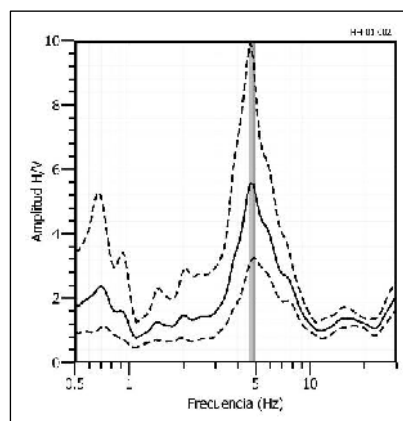
La aplicación de métodos geofísicos para el estudio de los suelos en la localidad de Halanta, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos HA-01, HA-03 y HA-05, distribuidos principalmente en la margen derecha de la vía principal o carretera (Figura 2), permiten identificar las frecuencias predominantes del suelo a 4.8, 5.6 y 12 Hz con amplificaciones de 5.5, 4.7 y 4.3 veces respectivamente (Figuras 14 y 15). Estos resultados, evidencian la presencia de suelos blandos próximos a la carretera y suelos más compactos conforme se tiende hacia el extremo NO del área urbana.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 16, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados, a distancias de 5, 100 y 200 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, el suelo responde a 4.8 y 12.0 Hz, que conforme se alejan de la carrera aumenta la frecuencia y disminuye la amplitud hasta ser nulo a mayores distancias.

Según el análisis frecuencial de la señal en el punto HA-01, ubicado a 5 metros de distancia de la carretera, se determina que estas vibraciones influyen ligeramente a frecuencias de 4.8 Hz (0.2 segundos). En este punto se obtuvo trazos de curvas correspondientes al paso de camiones con carga, sin carga y sin el paso de camiones, observándose que existe variaciones en el factor de amplificación del suelo de 0.8 veces, indicando que es un suelo moderadamente compacto y por lo tanto, afectaría a las viviendas cercanas a la carretera.

HA - 01



HA - 05

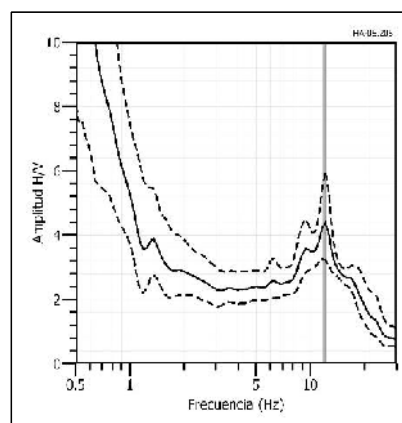
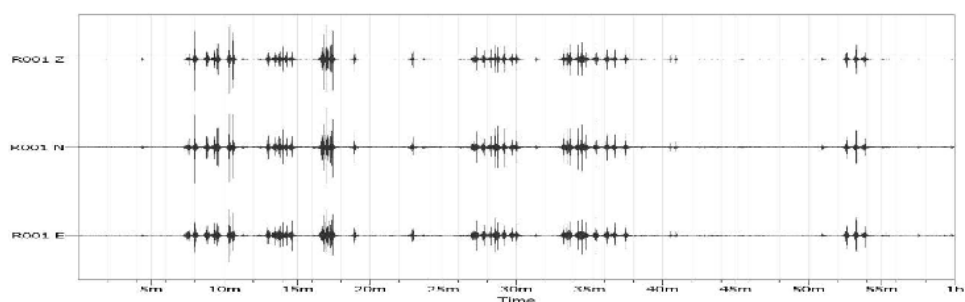
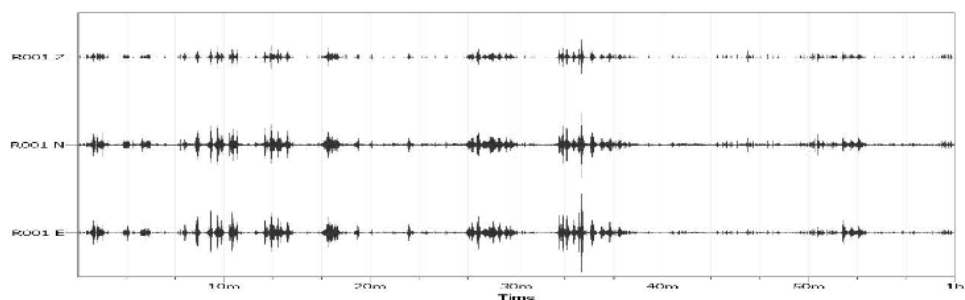


Figura 14. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos HA-01 y HA-05 ubicados en ambas márgenes de la carretera, en la localidad de Halanta. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

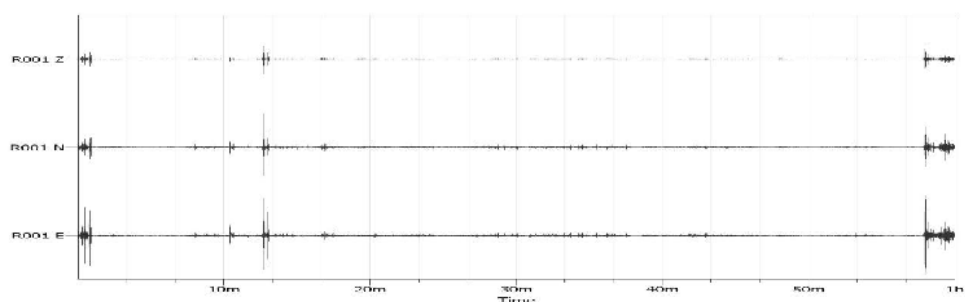
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HA-01 (5m)



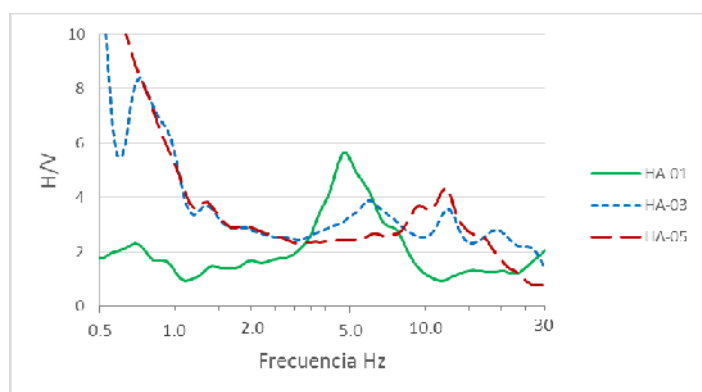
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HA-03 (100m)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HA-05 (200m)



Razones espectrales

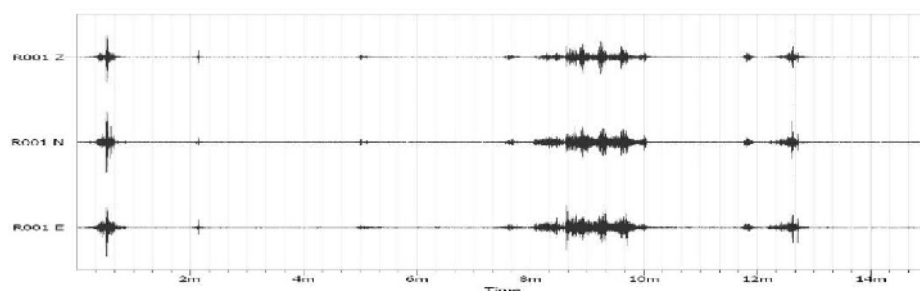


Resultados

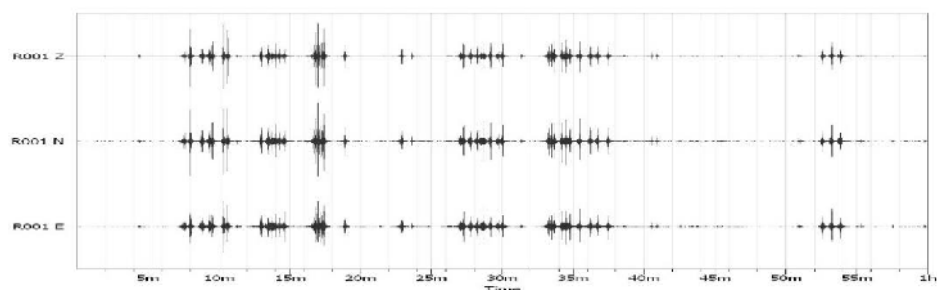
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
HA-01	4.89	0.2	5.53	0.2
HA-03	5.64	0.35	4.71	0.2
HA-05	12.00	0.30	4.36	0.1

Figura 15. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos HA-01, HA-03 y HA-05, ubicados a 5, 100 y 200 metros de la carretera respectivamente. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

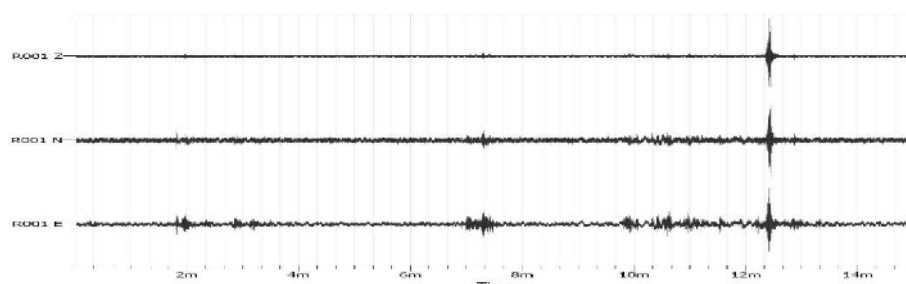
Registros del paso de vehículos cama baja vacíos en el punto HA-01



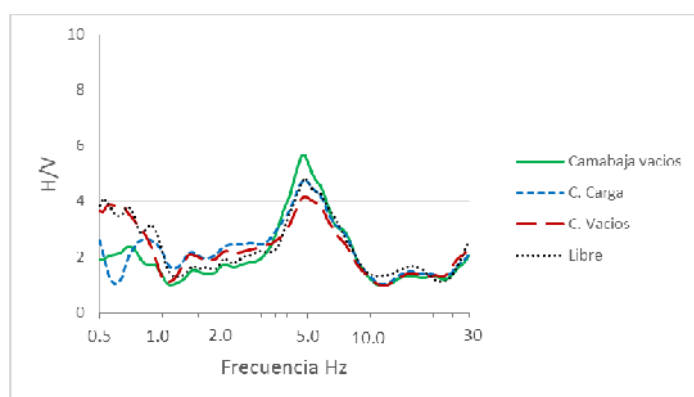
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HA-01



Registros sin el paso de vehículos en el punto HA-01



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
Cama baja	4.80	0.19	5.53	0.2
C. Carga	4.92	0.22	4.78	0.2
C. Vacíos	4.89	0.2	4.17	0.2
Libre	4.89	0.07	4.71	0.2

Figura 15. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de vehículos cama baja vacíos, camiones encapsulados con carga y el registro de la vibración natural del suelo, en el punto HA-01, ubicado a 5 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-HA fue realizada en la parte central de la localidad de Halanta, perpendicular a la vía principal o carretera, permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 7): la primera, de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 228 m/s, lo que sugiere la existencia de suelos blandos a moderadamente rígidos; la segunda capa de 9 metros de espesor con velocidades V_s de 359 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 690$ m/s indicando la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 16).

Tabla 7. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
Halanta	LS01-HA	228	2	359	9	690	-	426
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)								

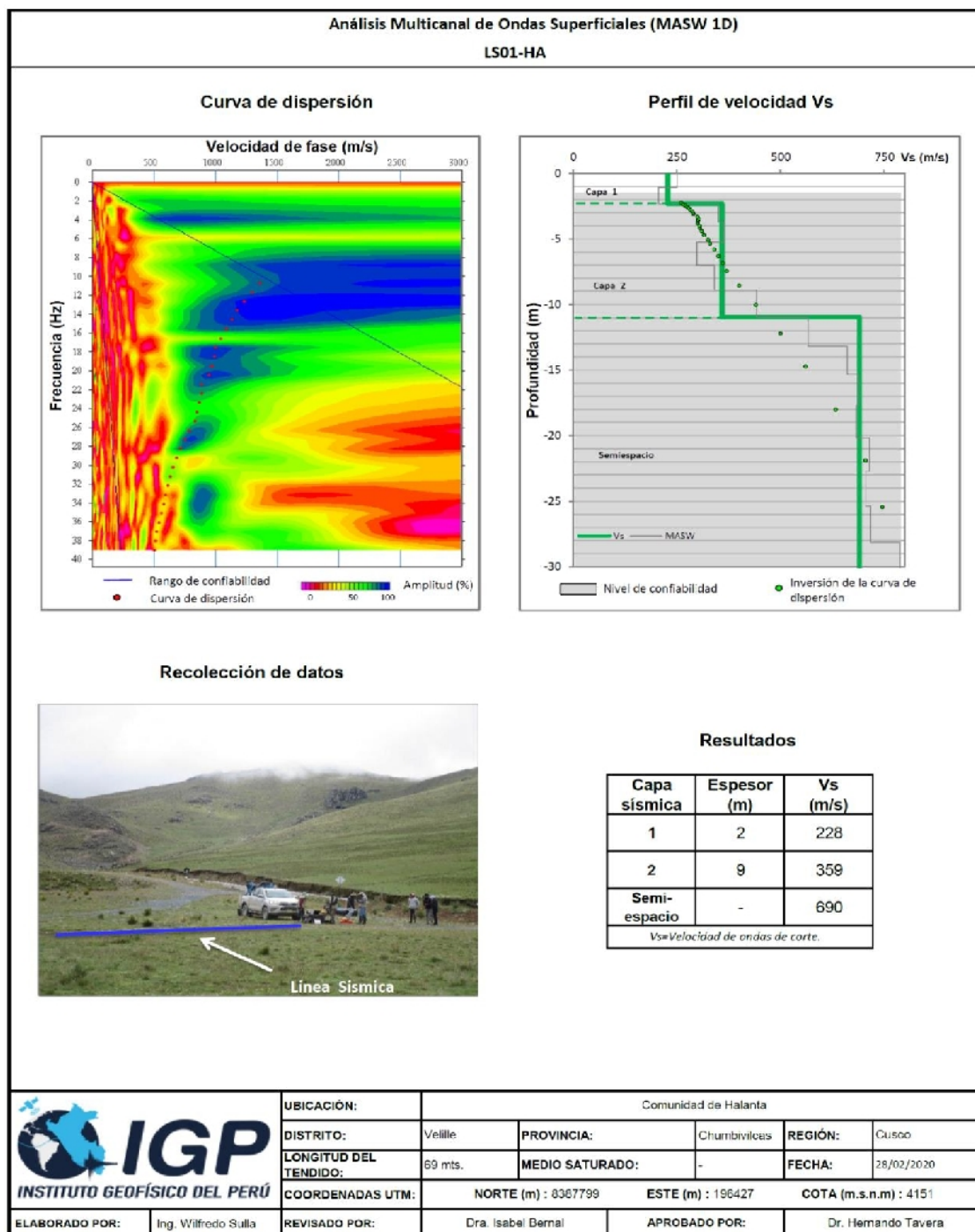


Figura 16. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-HA, realizado en la localidad de Halanta.

. - **Tomografía eléctrica:** La línea eléctrica **LE01-HA**, fue realizada perpendicular a la vía principal o carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 17. Según los resultados obtenidos en esta línea, los suelos de la localidad de Halanta, presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$); mientras que, hacia su extremo SO, se identifican valores bajos resistivos ($< 100 \Omega.m$) en la zona centro y parte de su extremo NE de la línea que corresponde a la cota más baja (Figura 18).

Estos resultados están asociados a la presencia de rocas y lentes de arenas que se encuentran saturados hasta profundidades de 20 metros (Figura 18). A mayor profundidad el grado de humedad disminuye hacia el extremo SO y supera los 30 metros de profundidad hacia el extremo NE del área de estudio, próximo a un bofedal y un riachuelo que discurre de SE-NO.

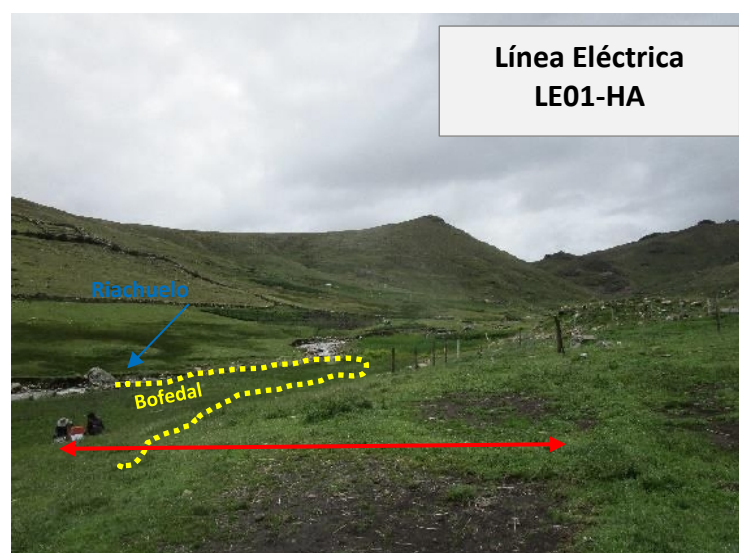


Figura 17. Vista de la línea eléctrica de Halanta (LE01-HA).

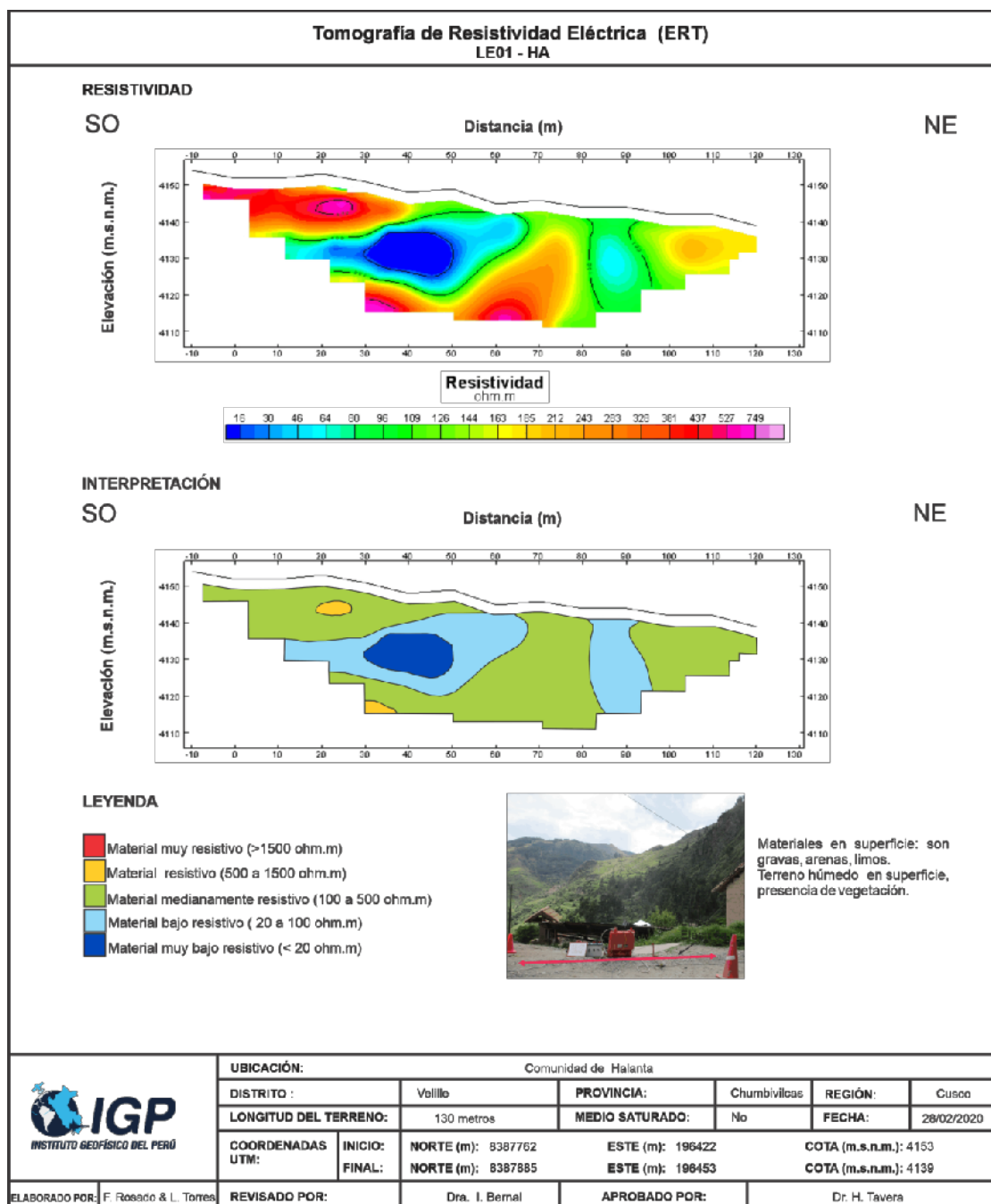


Figura 18. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-HA.

b.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 4.7 a 5.6 Hz (F_0) con altas amplificaciones, evidenciando la existencia de una capa sedimentaria de poco espesor, conformada por suelos blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 228$ y 360 m/s), seguida de otros muy rígidos. Asimismo, hay presencia de lentes de arenas saturados hasta los 20 metros de profundidad debido a la presencia de un bofedal y un riachuelo que discurre de SE-NO.



Figura 19. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 19, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este sobresalen los periodos a 0.2 segundos con amplificaciones de hasta 5 veces, lo cual evidencia que el estrato superficial del suelo, próximo a la carretera es poco

competente y que sumado a las constantes vibraciones que se genera durante el paso de camiones, contribuye a la generación de fisuras en las viviendas de adobe cercanas a la carretera.

c.) Conclusiones

- En la localidad de Halanta, los suelos, a nivel superficial, son blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 228$ y 359 m/s), pero saturados en la zona céntrica y NE de esta localidad.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, el suelo de esta localidad experimentará mayor amplificación.

- La vibración de los suelos generada por el paso de camiones de carga pesada, se incrementa en 0.8 veces con un pico fundamental de respuesta a 0.2 segundos, principalmente en las proximidades de la carretera. Por lo tanto, los suelos moderadamente rígidos, saturados y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE PATACSILO

4.3.- Localidad de Patacsillo

La localidad de Patacsillo, se ubica al norte de la plaza del distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 20). Se encuentra a una altitud promedio de 3738 m.s.n.m. y limita por el norte, con los distritos de Chamaca y Colquamarca y por el sur con la región Arequipa y el distrito de Santo Tomás; al este con el distrito Livitaca y la provincia de Espinar y al oeste con los distritos de Colquamarca y San Tomás. Geológicamente, el área de trabajo está sobre la formación Arcurquina (constituida por calizas) y depósitos aluviales. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.255 km².

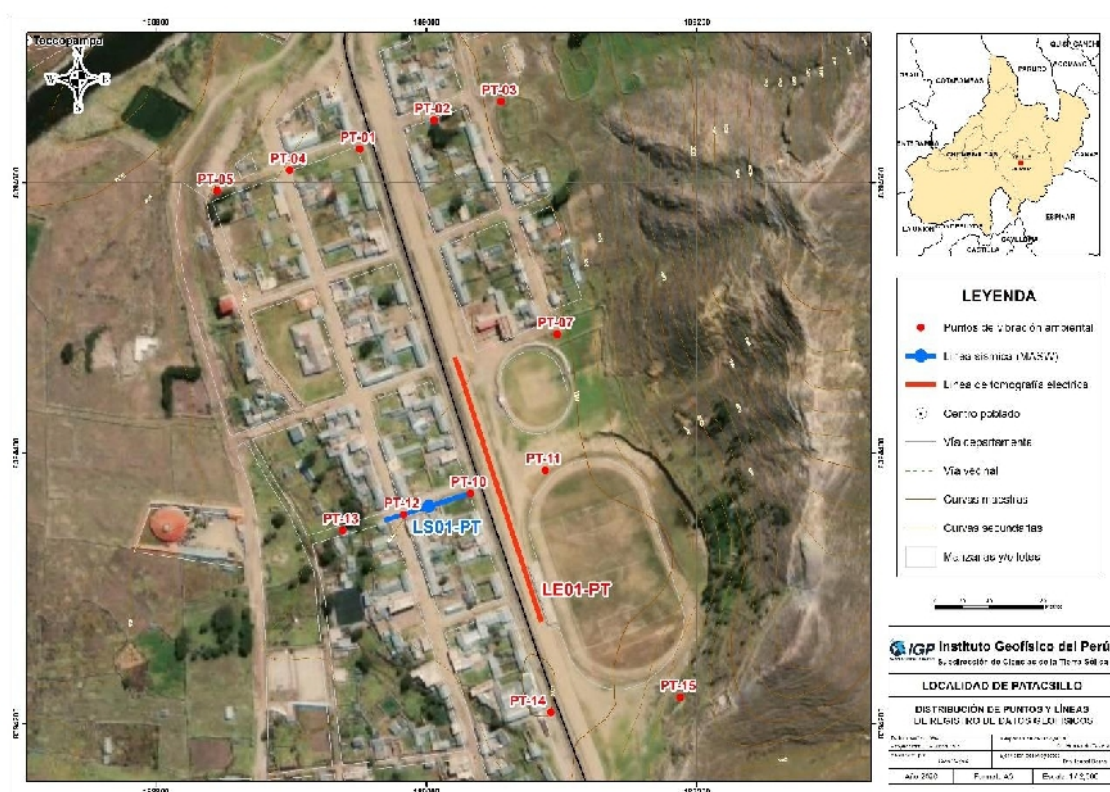


Figura 20. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Patacsillo.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizó la adquisición de datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en el área urbana, tal como se ve en la Figura 20 y Tabla 8. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 8. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Patacsillo	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-PT	189035	8394371	3768	3	69
	188969	8394350	3767		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-PT	189021	8394471	3761	10	140
	189085	8394275	3760		
Puntos H/V					
PT-01	188951	8394625	3755	-	-
PT-02	189006	8394646	3716	-	-
PT-03	189055	8394660	3768	-	-
PT-04	188899	8394609	3757	-	-
PT-05	188845	8394594	3755	-	-
PT-07	189097	8394488	3752	-	-
PT-10	189033	8394370	3759	-	-
PT-11	189088	8394387	3759	-	-
PT-12	188983	8394354	3761	-	-
PT-13	188938	8394343	3758	-	-
PT-14	189092	8394208	3613	-	-
PT-15	189188	8394219	3766	-	-

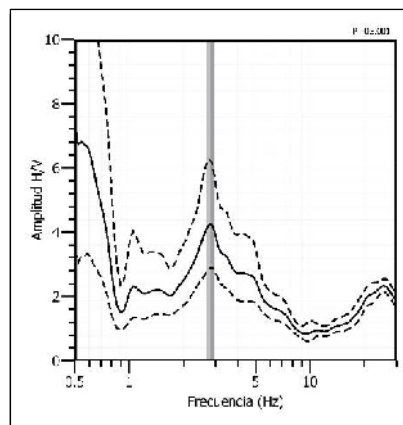
b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Patacsillo, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos PT-01, PT-04, PT-05 y PT-07 distribuidos en ambos márgenes de la vía principal o carretera (Figura 20), permiten identificar frecuencias predominantes del suelo a 3.0, 2.5, 2.9 y 5.8 Hz respectivamente, siendo los valores más bajos en el extremo noroeste de Patacsillo con amplificaciones de hasta 4.5 veces, disminuyendo cerca de carretera (Figuras 21 y 22). Esta tendencia evidencia, que la capa sedimentaria superficial sobre el cual se encuentra el área urbana de Patacsillo, presenta menor espesor hacia su extremo NE.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: De acuerdo con el análisis frecuencial, los suelos de la localidad de Patacsillo responden a frecuencias de 2.0 y 6.0 Hz, con amplificaciones de hasta 4 veces. En la Figura 22, los registros de vibraciones del suelo generadas por el paso de los camiones encapsulados vacíos muestran un incremento en la amplificación a frecuencias altas (25 Hz) cerca de la carretera y bajas (2.5 Hz) a mayor distancia, 120 metros en dirección SO. Para el punto PT-12, ubicado a 50 metros de distancia de la carretera, las vibraciones influyen ligeramente a frecuencias de 4.2 Hz (0.2 segundos). Las razones espectrales obtenidos para vibraciones generadas por el paso de camiones con carga y/o sin carga y ambiental, muestran variaciones en el factor de amplificación del suelo, de 1.1 veces. Al ser el suelo de la localidad de Patacsillo moderadamente compacto, las vibraciones generadas por el paso de camiones, afectaría a las viviendas cercanas a la carretera.

PT - 05



PT - 07

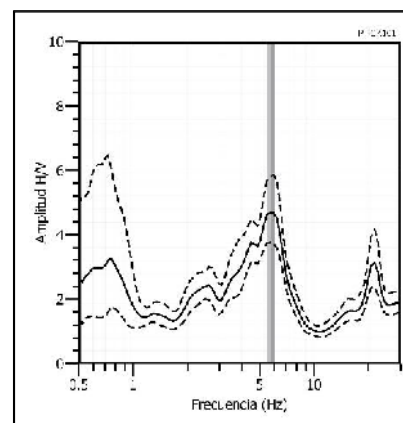
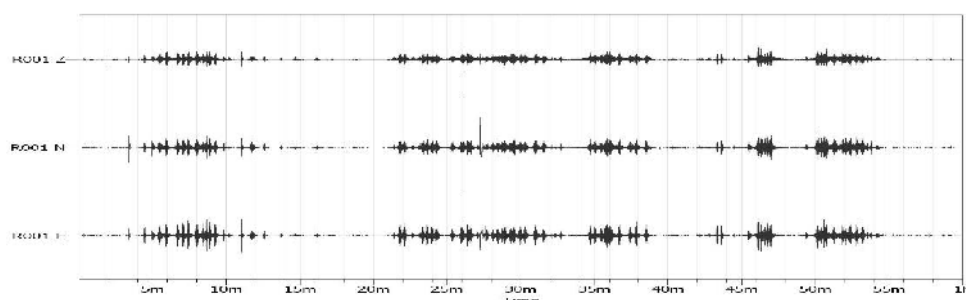
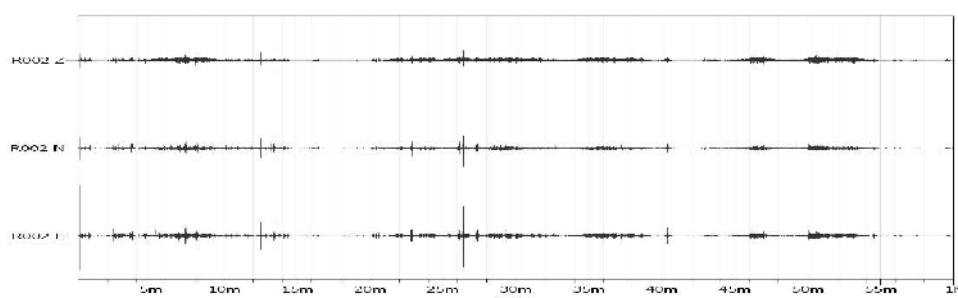


Figura 21. Ejemplos de razones espectrales (H/V)). Para los puntos PT-05 y PT-07, ubicados en ambas márgenes de la carretera, en la localidad Patacsillo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

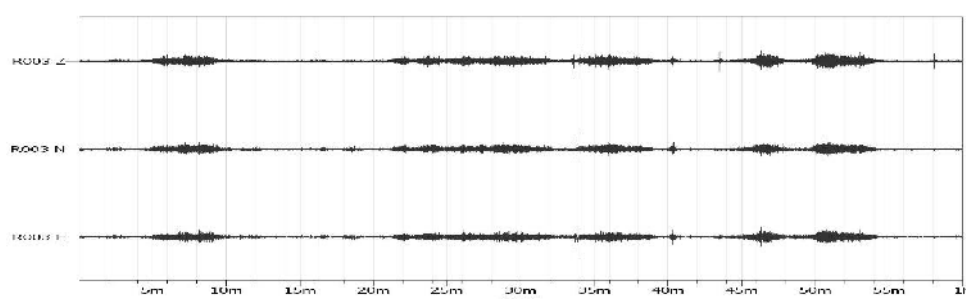
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto PT-01 (1m)



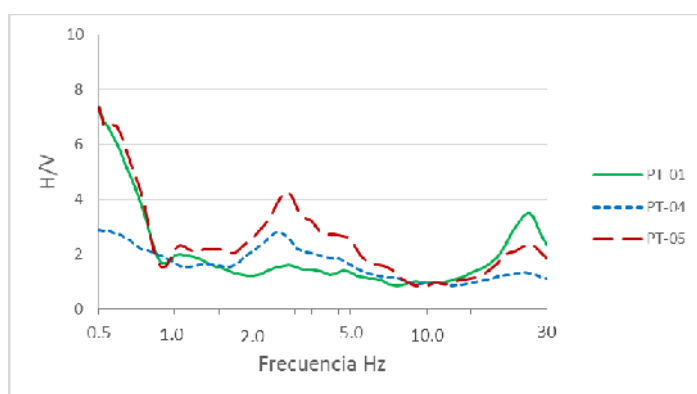
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto PT-04 (60m)



Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto PT-05 (120m)



Razones espectrales

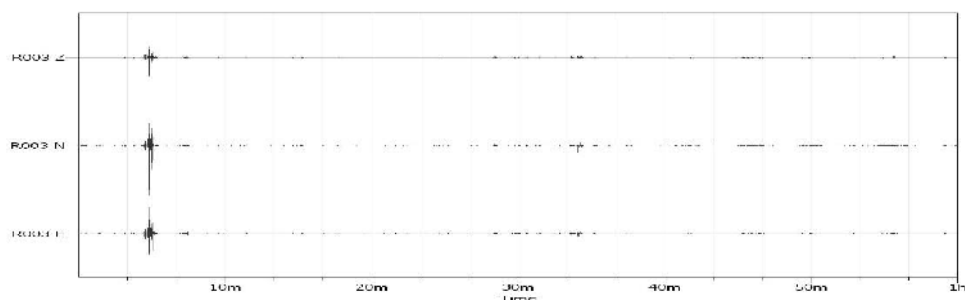


Resultados

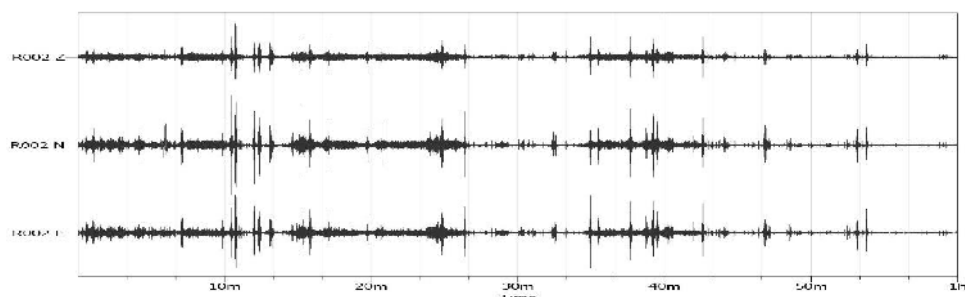
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
PT-01	2.95	0.09	1.63	0.3
PT-04	2.61	0.14	3.32	0.4
PT-05	2.81	0.15	4.24	0.4

Figura 22. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados vacíos en los puntos PT-01, PT-04 y PT-05, ubicados a 1, 60 y 120 metros de la carretera respectivamente. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

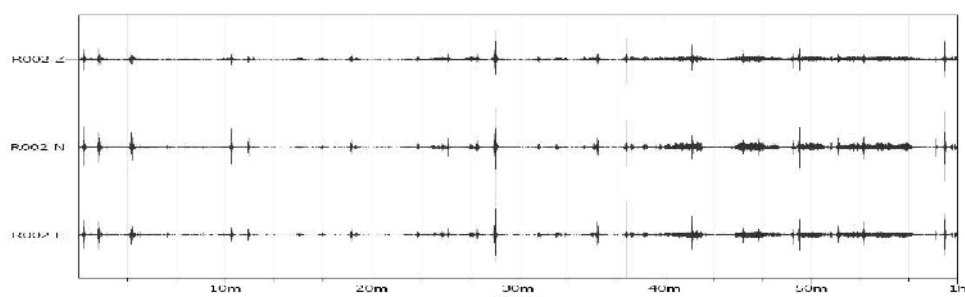
Registros sin paso de vehículos en el punto PT-12



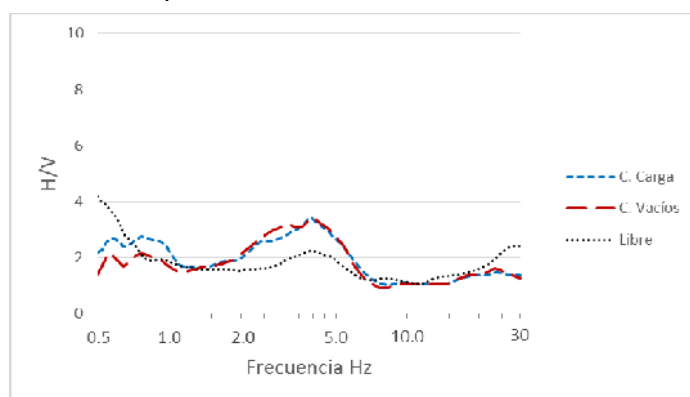
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto PT-12



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto PT-12



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	4.20	0.16	3.19	0.2
C. Vacíos	4.21	0.28	3.20	0.2
Libre	4.20	0.13	2.11	0.2

Figura 22. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de vehículos como baja vacíos, camiones encapsulados con carga y el registro de la vibración natural del suelo, en el punto PT-12, ubicado a 50 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-PT fue realizada en la zona central de la localidad de Patacsillo, con una orientación perpendicular a la vía principal o carretera. En ella se identifica la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 9): la primera, de 2 metros de espesor y velocidades Vs de 192 m/s, lo que sugiere la existencia de suelos blandos a moderadamente rígidos; la segunda capa, de 13 metros de espesor con velocidades Vs de 426 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades Vs > 570 m/s indicando la existencia de suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 23).

Tabla 9. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Patacsillo	LS01-PT	192	2	426	13	570	-	437
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

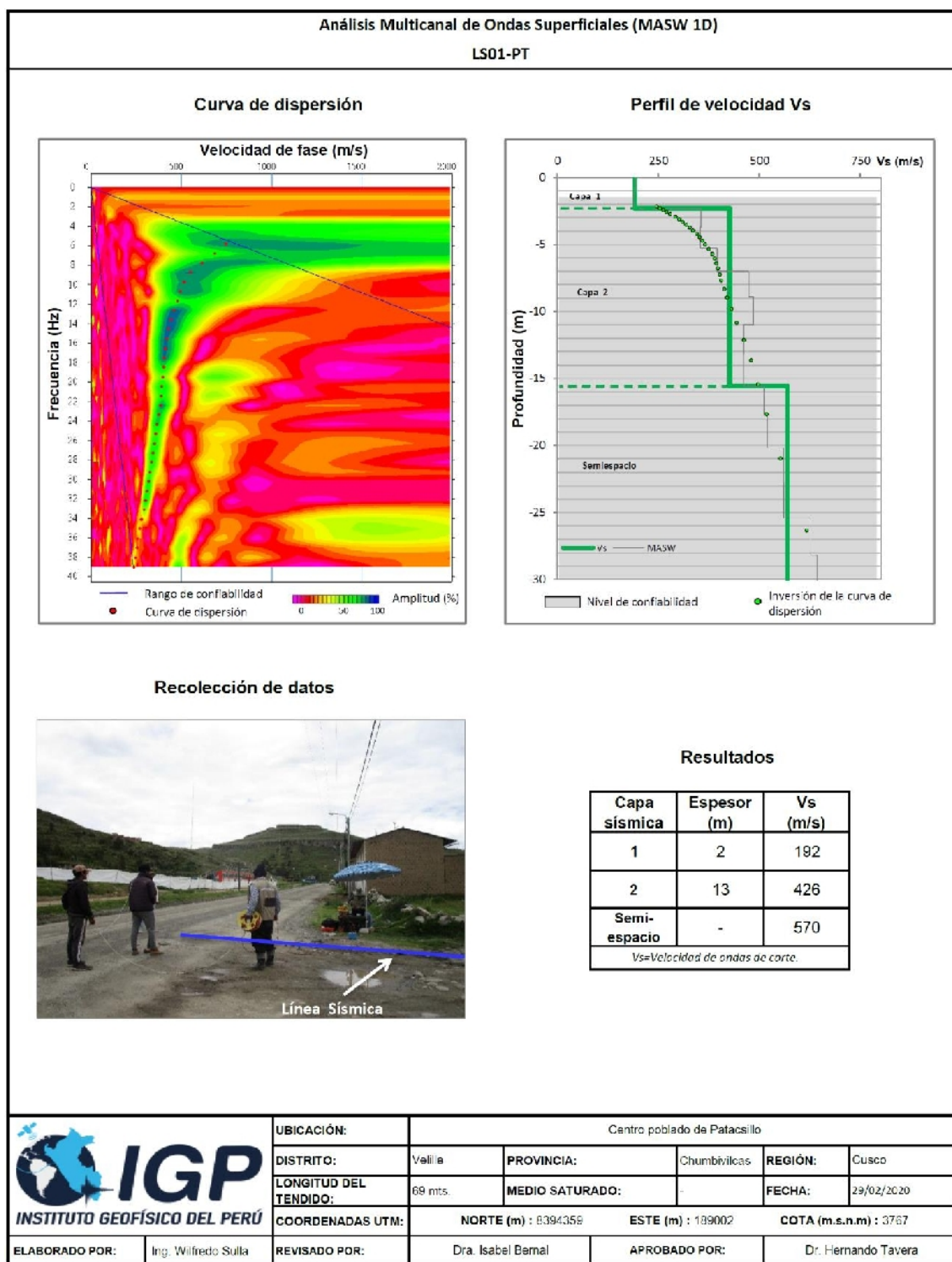


Figura 23. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-PT, realizado en la localidad de Patacsillo.

.- **Tomografía eléctrica:** La línea eléctrica **LE01-PT**, fue realizada paralela a la vía principal o carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 24. Según los resultados obtenidos en esta línea, los suelos de la localidad de Patacsillo, presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$) y en forma de lentes, se identifica valores resistivos ($> 500 \Omega.m.$). Estos resultados se asocian a la presencia de suelos más compactos en toda el área urbana (Figura 25).



Figura 24. Vista de la línea eléctrica de Patacsillo (LE01-PT).

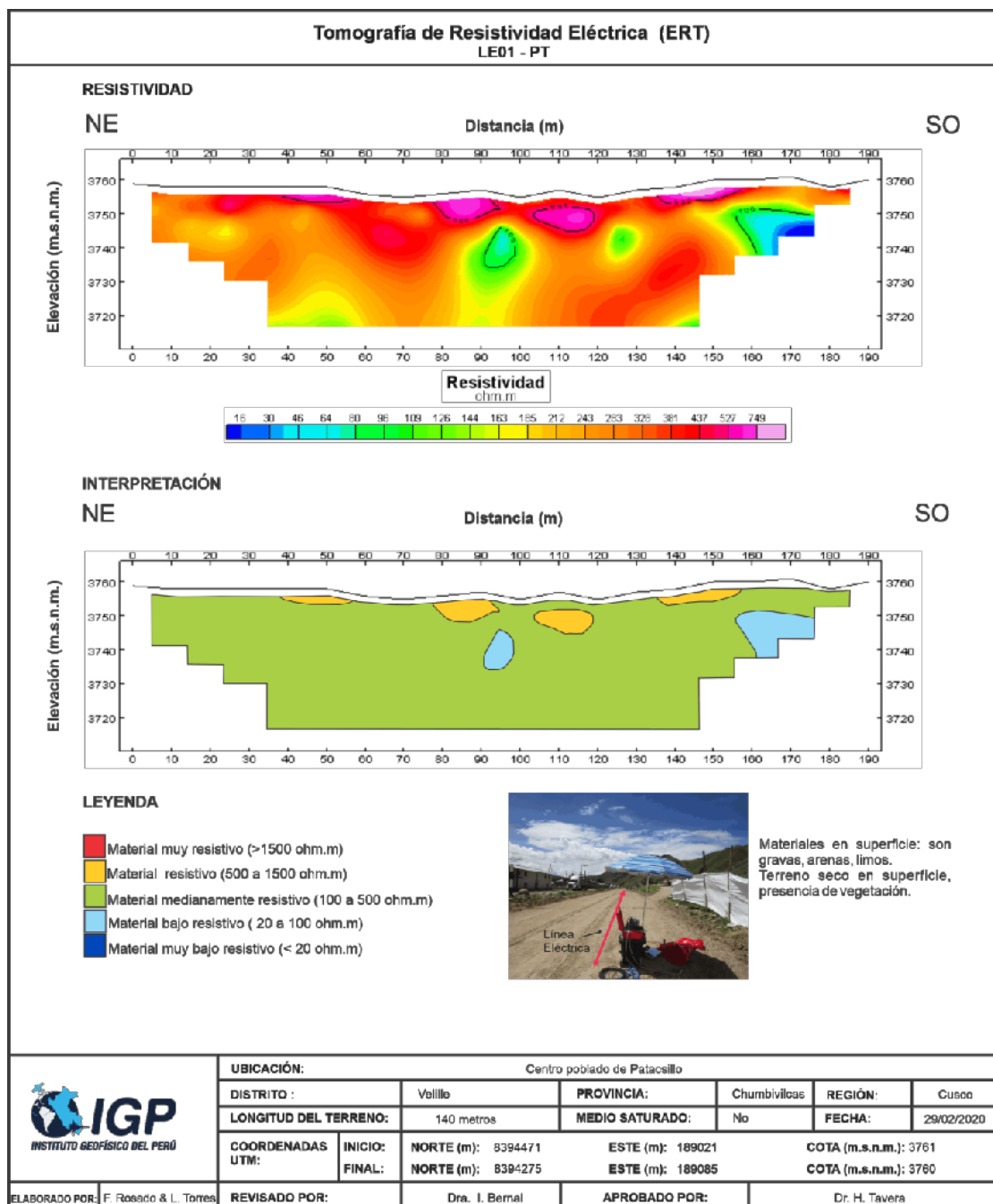


Figura 25. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-PT.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Patacsillo, los suelos a nivel superficial son blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 192$ y 426 m/s), sin presencia de humedad.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, el suelo de esta localidad experimentará mayor sacudimiento en su extremo norte.

-. La vibración de los suelos generada por el paso de camiones de carga pesada se incrementa en un 1.1 veces para un periodo dominante de 0.2 segundos en la proximidad de la carretera. Por lo tanto, los suelos blandos y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE SAN ROQUE

4.4.- Localidad de San Roque

La localidad de San Roque, se ubica al noreste de la plaza del distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 27). Se encuentra a una altitud promedio de 3738 m.s.n.m. y limita por el norte, con los distritos de Chamaca y Colquemarka; por el sur con la región Arequipa y el distrito de Santo Tomás; al este con el distrito Livitaca y la provincia de Espinar y al oeste, con los distritos de Colquemarka y San Tomás. Geológicamente, el área de estudio se emplaza sobre el grupo Barroso (constituida por fases volcánicas), el plutón Colquemarka y depósitos aluviales. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.098 km².

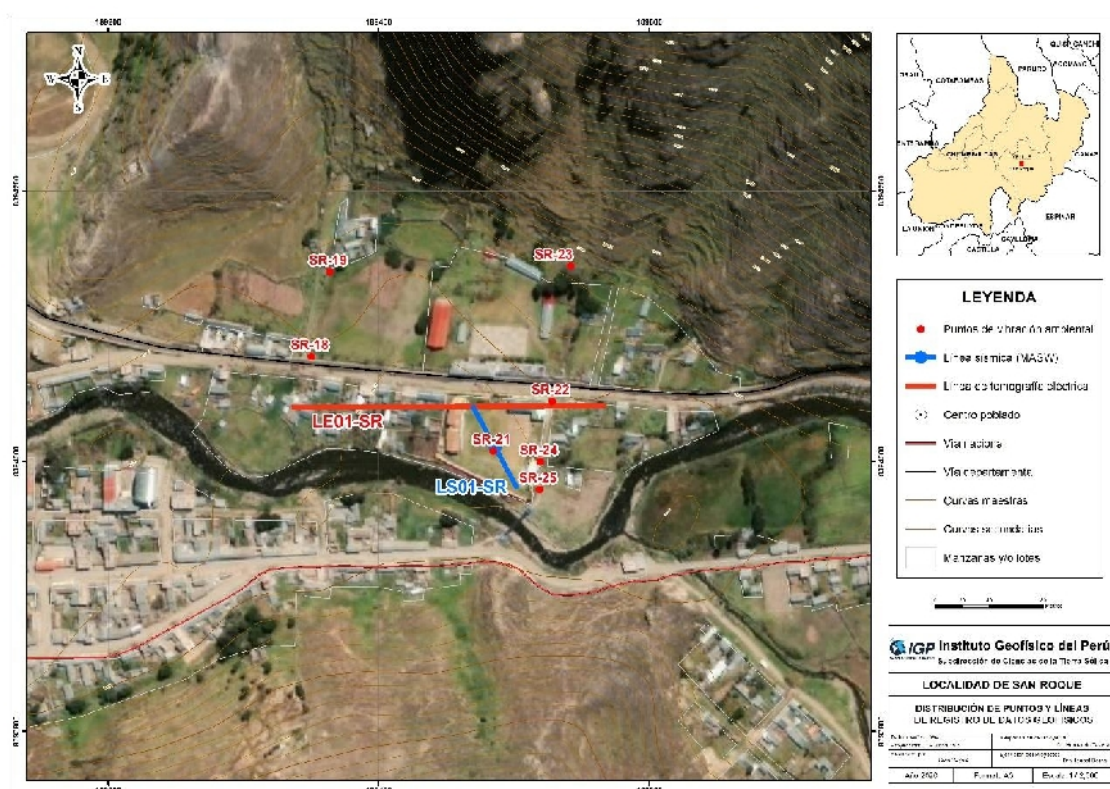


Figura 27. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de San Roque.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos como vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en el área de estudio (Figura 27 y Tabla 10). A continuación, se describen los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 10. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de San Roque	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-SR	189469	8394041	3757	3	69
	189503	8393980	3758		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-SR	189373	8394059	3757	10	190
	189568	8394041	3758		
Puntos H/V					
SR-18	189350	8394077	3757	-	-
SR-19	189364	8394140	3764	-	-
SR-21	189485	8394007	3760	-	-
SR-22	189528	8394044	3763	-	-
SR-23	189542	8394144	3770	-	-
SR-24	189520	8394000	3762	-	-
SR-25	189519	8393979	3762	-	-

b.) Resultados obtenidos

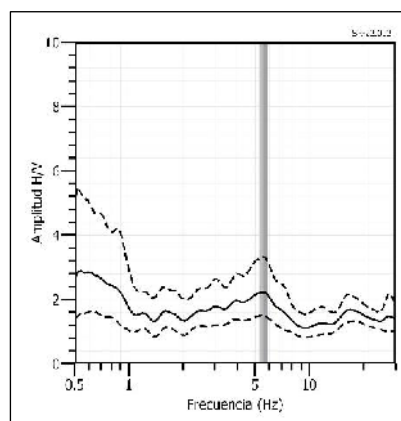
La aplicación de diversos métodos geofísicos para el estudio de los suelos en el área urbana de San Roque, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos SR-22, SR-23, SR-24 y SR-25, todos distribuidos en la localidad de San Roque, se ubican en ambas márgenes de la vía principal o carretera (Figura 27). Su análisis ha permitido identificar las frecuencias predominantes del suelo a 5.5, 10.4, 5.5 y 6.6 5Hz con amplificaciones de 2.2, 4.3, 3.0 y 3.5 veces respectivamente (Figuras 28 y 29). Estos resultados evidencian que el suelo superficial está conformado por una capa sedimentaria de poco espesor, presentando menor consistencia hacia los bordes del valle, siendo coherente con la topografía del lugar. Asimismo, los suelos presentan amplificaciones de hasta 4 veces cerca del río, a espaldas del Instituto de Educación Superior Técnico productivo de Velille, lo cual indica la presencia de suelos poco compactos.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 29, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados, a distancias de 1.0, 70 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde a 5.5 Hz, con amplificaciones de 2.2 veces y a distancias de 100 metros (en la zona baja del cerro), el suelo responde a 6.6 Hz con amplificaciones de 3.5 veces debido a efectos topográficos.

Según la señal registrada en el punto SR-25, ubicado a 25 metros de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo son mayores a frecuencias de 6.1-6.6 Hz (0.15 segundos). En este punto, las razones espectrales obtenidas de señales registradas por el paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, indican variaciones en la amplificación el suelo del orden de 1.4 veces. Esto sugiere que son suelos moderadamente compactos y las vibraciones del suelo solo afectaría a las viviendas cercanas a la carretera.

SR - 22



SR - 24

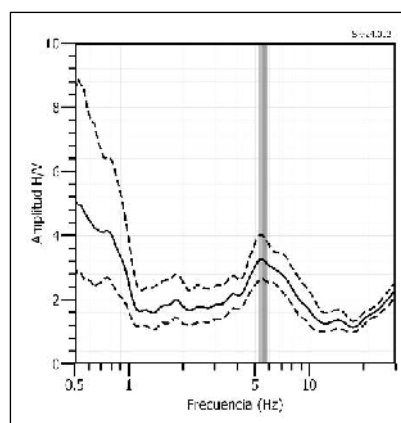
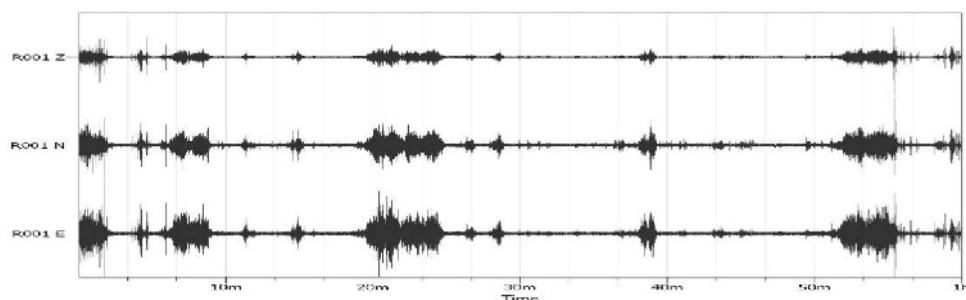
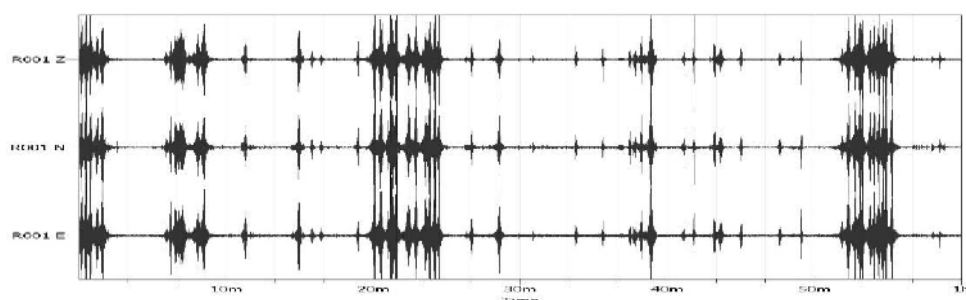


Figura 28. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos SR-22 y SR-24, ubicados en la margen derecha de la carretera, en la localidad de San Roque. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

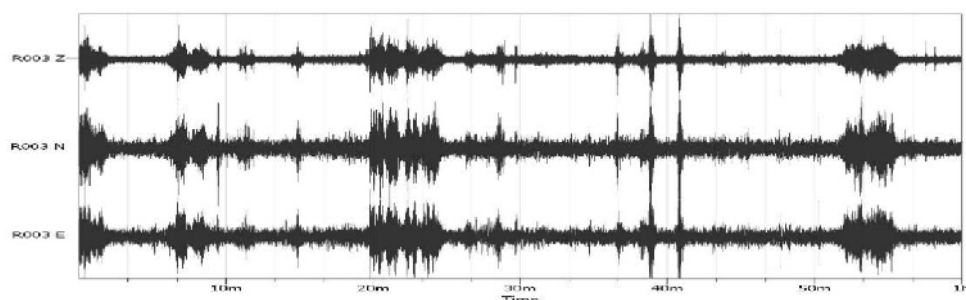
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SR-23 (100m)



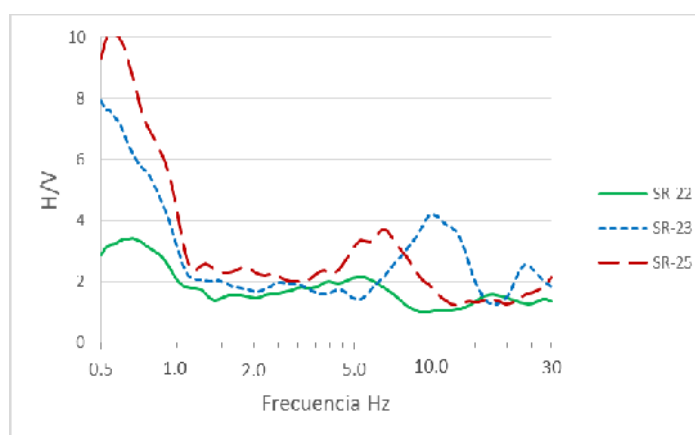
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SR-22 (1m)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SR-25 (70m)



Razones espectrales

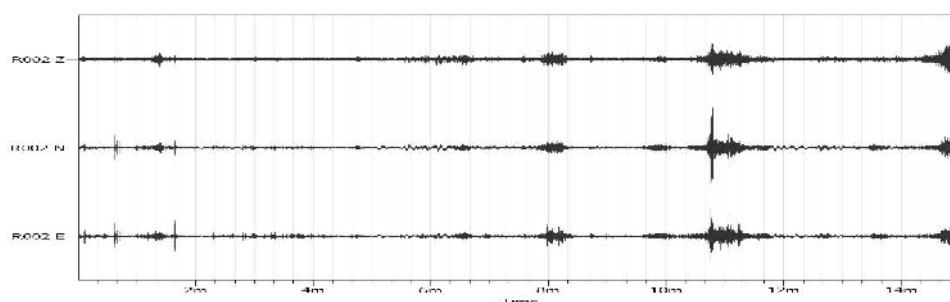


Resultados

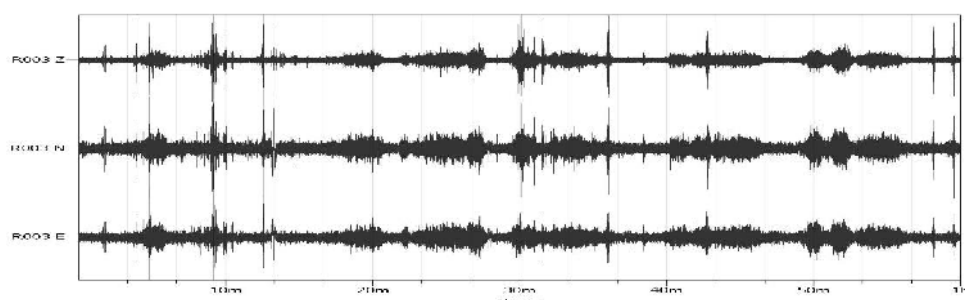
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
SR-22	5.56	0.31	2.22	0.2
SR-23	10.41	0.89	4.32	0.1
SR-25	6.6	0.26	3.57	0.2

Figura 29. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos SR-23, SR-22 y SR-25, ubicados el primero en la margen derecha a 100 metros de la carretera y el segundo y tercero en la margen izquierda a 1 y 70 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

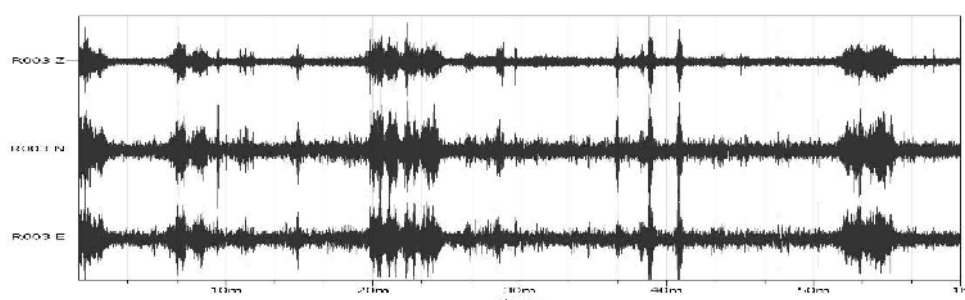
Registros sin paso de vehículos en el punto SR-25



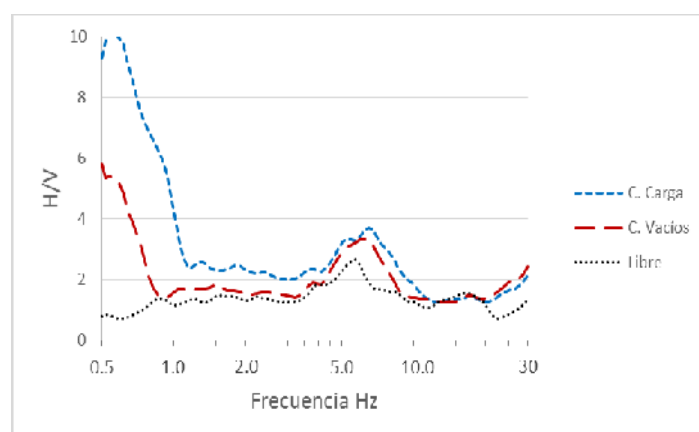
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto SR-25



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SR-25



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	6.60	0.26	3.57	0.2
C. Vacíos	6.10	0.85	3.37	0.2
Libre	5.70	0.24	2.18	0.2

Figura 29...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración sin el paso de vehículos, con el paso de camiones encapsulados vacíos y con el paso de camiones encapsulados con carga, en el punto SR-25, ubicado a 70 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-SR fue realizada en el extremo este de la localidad de San Roque, perpendicular a la carretera, y permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 11): La primera, de 2 metros de espesor y velocidades V_s de 252 m/s correspondiente a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, con velocidades de 437 m/s y espesores de 13 metros compuestos por suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 683$ m/s correspondiendo a la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 30).

Tabla 11. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie						Profundidad		
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
San Roque	LS01-SR	252	2	437	13	683	-	498
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

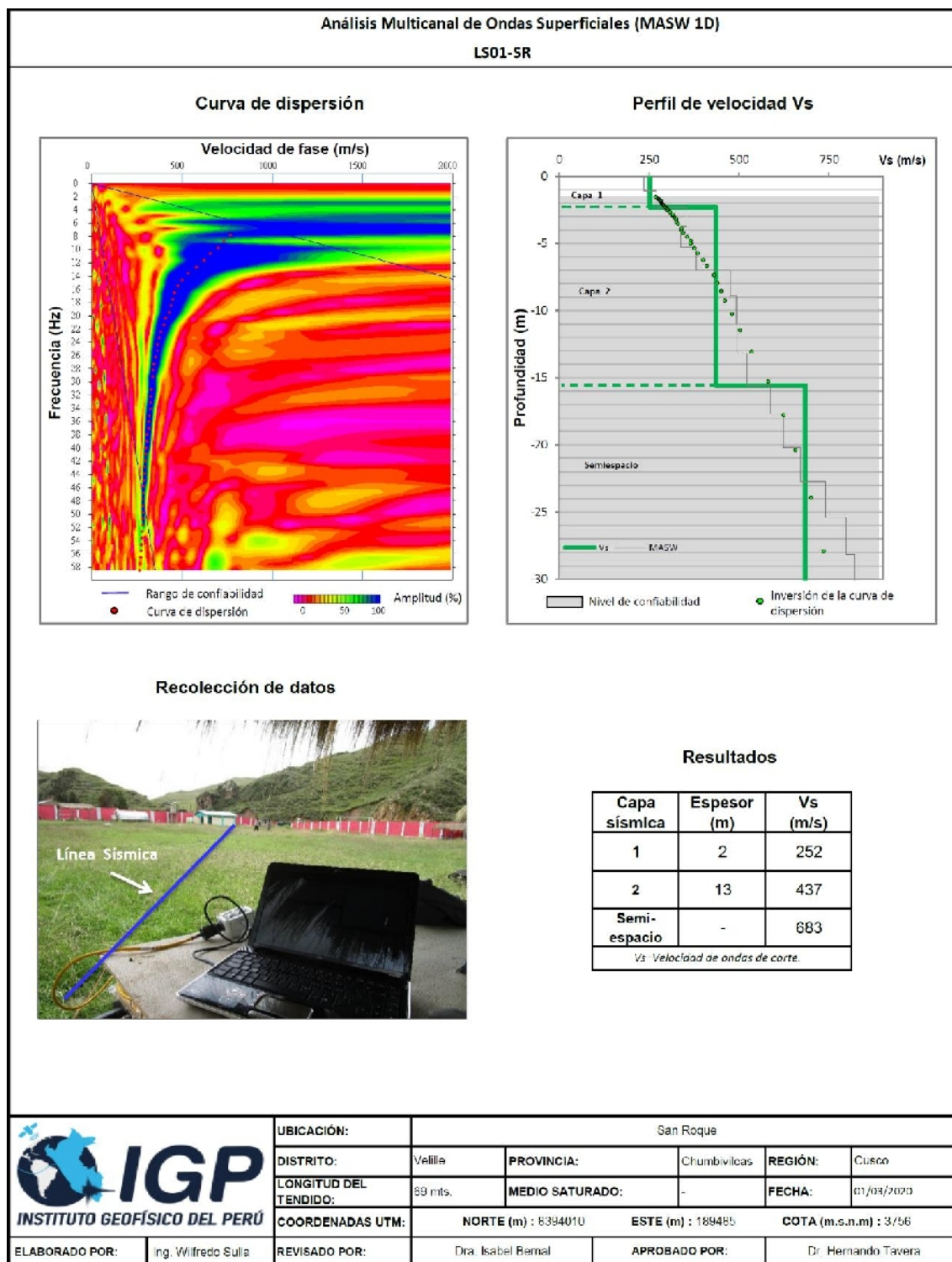


Figura 30. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-SR, realizado en la localidad de San Roque.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea eléctrica LE01-SR, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 31. Según los resultados obtenidos en esta línea, los suelos de la localidad de San Roque, presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$) asociados a la presencia de suelos compuestos por rocas volcánicas; además de la presencia de suelos en forma de lentes con valores más resistivos ($>500 \Omega.m.$), ver Figura 32.



Figura 31. Vista de la línea eléctrica de San Roque (LE01-SR).

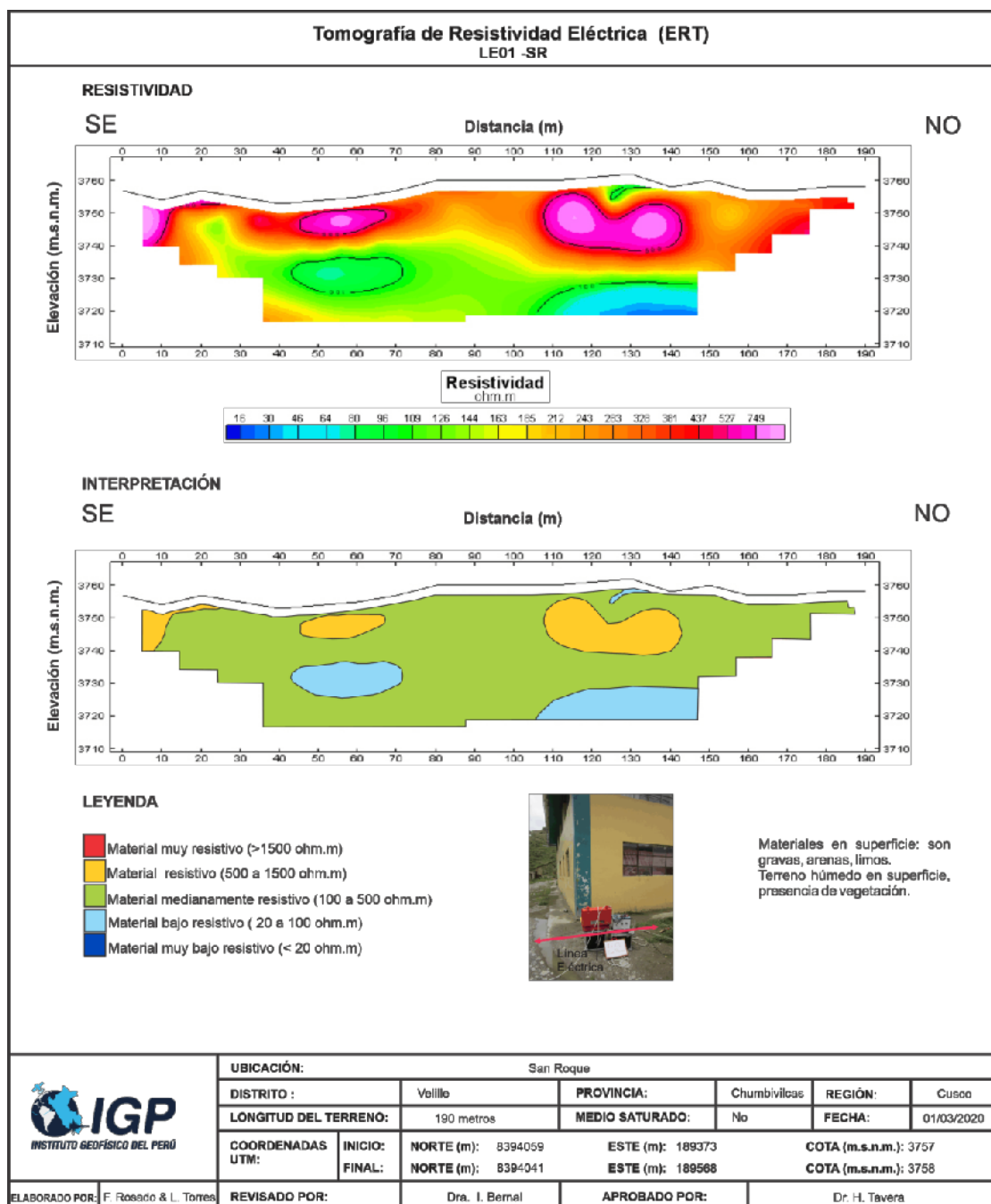


Figura 32. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-SR.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, se ha identificado la presencia de suelos que responden a frecuencias predominantes de 5.0 y 6.0 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor. En superficie, se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 252$ y 437 m/s), sin la presencia de niveles freáticos. Sin embargo, a profundidades del orden de 20 metros, la humedad se incrementa.



Figura 33. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 33, se observa la distribución de los periodos de vibración del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.2 segundos con amplificaciones de 3.5 veces, evidenciando la presencia, en esta localidad, de suelos competentes. Las viviendas que; presentan fisuras, probablemente sean por el tipo de material utilizado en su construcción (adobe) y por su antigüedad, factores que

contribuirían a ser susceptibles a las vibraciones transitorias generadas por los camiones.

d.) Conclusiones

-En la localidad de San Roque, los suelos se clasifican como moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 252$ y 437 m/s), sin presencia de niveles freáticos en el subsuelo.

- De acuerdo con el factor de amplificación, de ocurrir un sismo, los suelos de esta localidad sufrirán amplificación.

- La vibración de los suelos generada por el paso de camiones de carga pesada, se incrementa en un 1.4 veces para un periodo dominante de 0.2 segundos en la proximidad de la carretera. Por lo tanto, los suelos moderadamente rígidos y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE SOL DE ORO

4.5.- Localidad de Sol de Oro

La localidad de Sol de Oro, se ubica al este de la plaza del distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 34). Se encuentra a una altitud promedio de 3738 m.s.n.m. y limita por el norte, con los distritos de Chamaca y Colquemarka; por el sur con la región Arequipa y el distrito de Santo Tomás; al este con el distrito Livitaca y la provincia de Espinar, y al oeste con los distritos de Colquemarka y San Tomás. Geológicamente el área de estudio está ubicada sobre depósitos aluviales y la formación Murco (areniscas cuarzosas). El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.046 km².

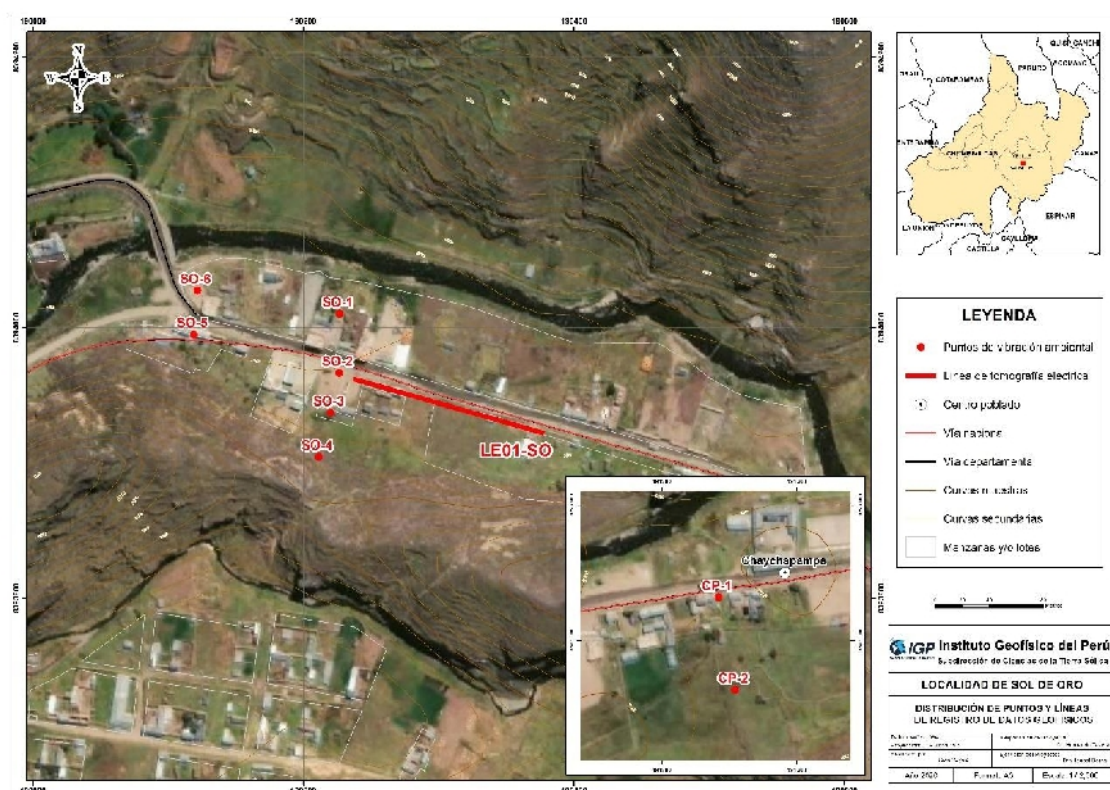


Figura 34. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en la localidad de Sol de Oro.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas en donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea sobre toda el área urbana, tal como se ve en la Figura 34 y Tabla 12. A continuación, se describe los resultados obtenidos con cada método

Tabla 12. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Sol de Oro/ Chaychapampa	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre electrodos (m)	Longitud total (m)
Línea Eléctrica					
LE01-SO	190378	8393922	3773	10	140
	190237	8393962	3776		
Puntos H/V					
SO-01	190227	8394010	3735	-	-
SO-02	190227	8393966	3769	-	-
SO-03	190220	8393937	3770	-	-
SO-04	190212	8393904	3773	-	-
SO-05	190119	8393995	3771	-	-
SO-06	190122	8394027	3773	-	-
CP-01	191242	8393732	3789	-	-
CP-02	191254	8393663	3723	-	-

b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Sol de Oro, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

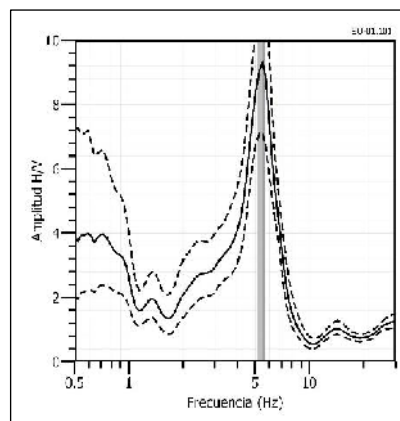
- **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos SO-01, SO-02, SO-04 y SO-06 distribuidos en la localidad de Sol de Oro, se ubican en ambas márgenes de la carretera (Figura 34), permiten identificar las frecuencias predominantes del

suelo a 5.4, 6.7, 11.0 y 5.0 Hz, con amplificaciones de 8.5, 4.6, 2.0 y 5.0 veces respectivamente (Figuras 35 y 36). Estos resultados evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor y baja consistencia y que generan en los suelos, amplificaciones de hasta 8.5 veces en zonas próximas al río. Por otro lado, en el Anexo de Chaychapampa, los suelos responden a frecuencias de 5.0 Hz, con amplificaciones de hasta 7 veces. Estos resultados, evidencian que los suelos superficiales presentan poco espesor y baja consistencia.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 36, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados, a distancias de 1, 35 y 70 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas el suelo responde a 5.4 y 6.7 Hz, con amplificaciones de 2.2 veces y a distancias de 100 metros (en la zona baja del cerro), el suelo responde a 6.6 Hz con amplificaciones de 4 a 7 veces.

Según el análisis frecuencial de la señal en el punto SO-01, ubicado a 35 metros de distancia de la carretera, se determina que estas vibraciones influyen a frecuencias de 5.4 Hz (0.18 segundos). En este punto se obtuvo trazos de curvas correspondientes al paso de camiones con carga, sin carga y sin el paso de camiones, observándose que existe variaciones en el factor de amplificación del suelo de 2.2 veces. Al considerar la existencia en la localidad de suelos blandos a moderadamente compactos, las vibraciones generadas por el paso de camiones, afectará a las viviendas cercanas a la carretera.

SO - 01



SO - 06

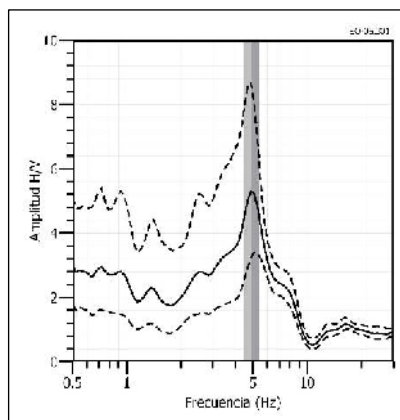
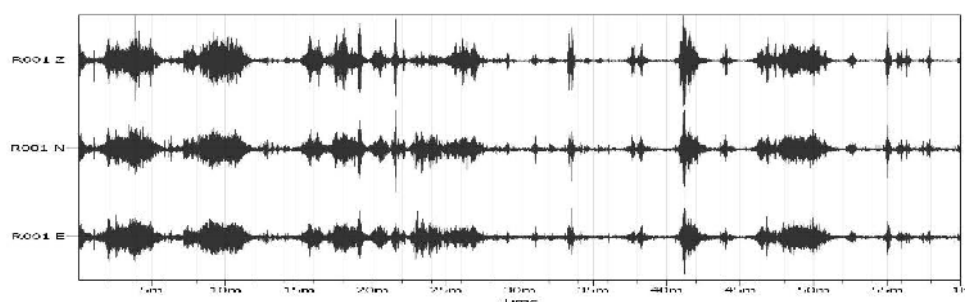
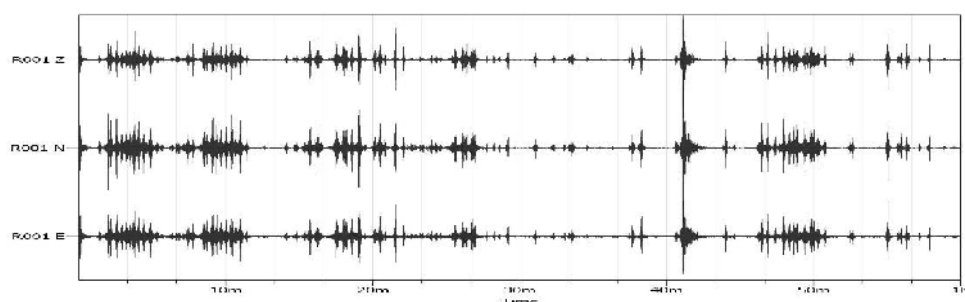


Figura 35. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos SO-01 y SO-06, ubicados en la margen derecha de la carretera, en la localidad de Sol de Oro. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

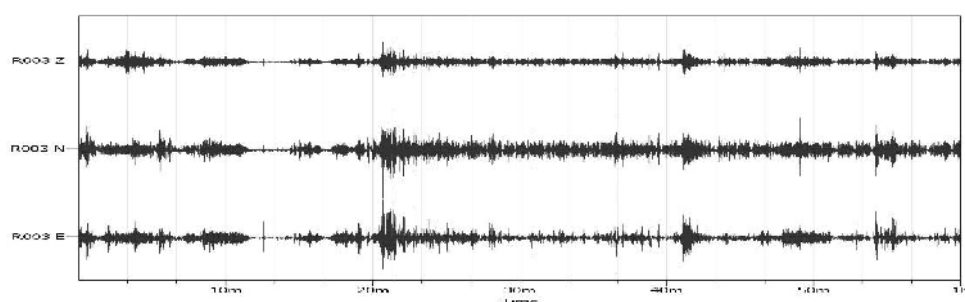
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SO-01 (35 m.)



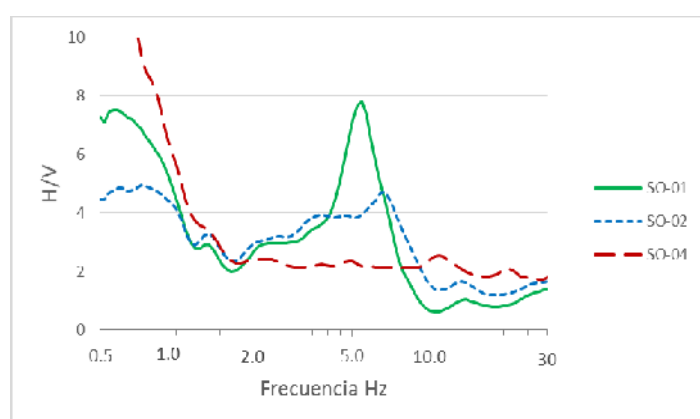
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SO-02 (1m)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SO-04 (70m)



Razones espectrales

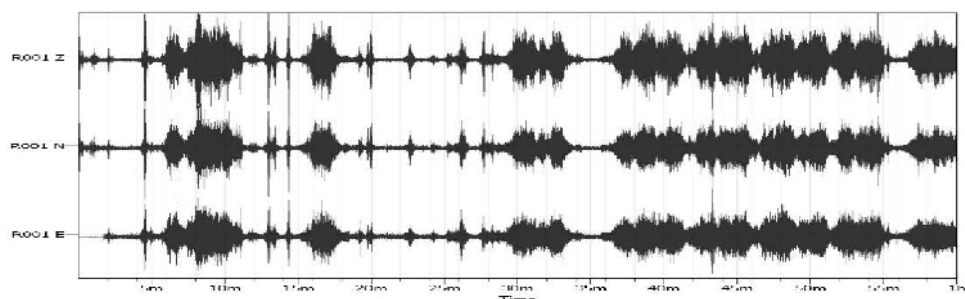


Resultados

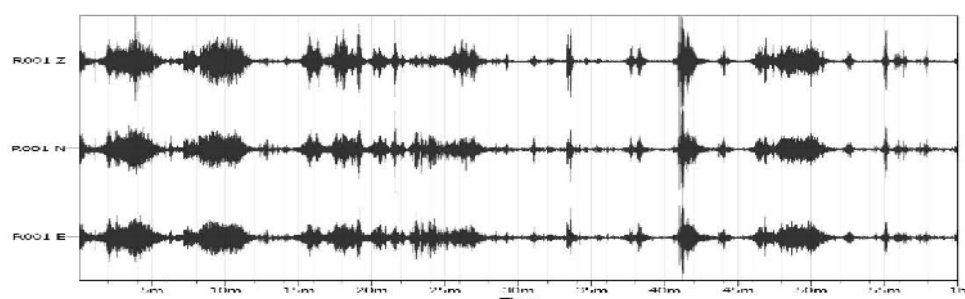
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
SO-01	5.40	0.24	7.03	0.2
SO-02	6.77	0.22	4.58	0.1
SO-04	11.09	0.79	2.55	0.1

Figura 36. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos SO-01, SO-02 y SO-04, ubicados en las márgenes de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

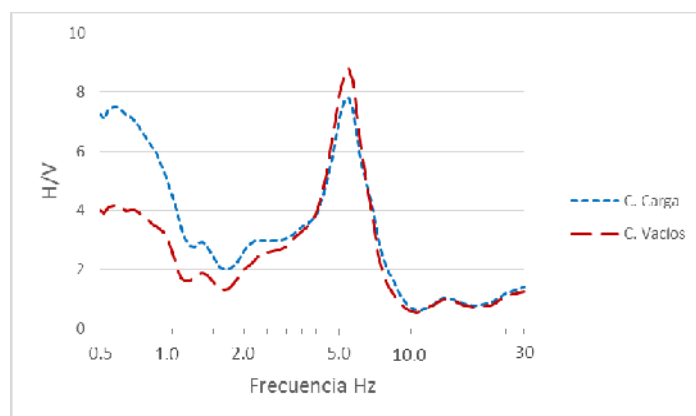
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto SO-01



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto SO-01



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	5.40	0.24	7.03	0.2
C. Vacíos	5.43	0.28	9.23	0.2

Figura 36. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de camiones encapsulados vacíos y con el paso de camiones encapsulados con carga en el punto SO-01, ubicado en la margen derecha de la carretera a 35 metros. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Tomografía eléctrica:** La línea eléctrica LE01-SO, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 37. Según los resultados obtenidos, en la localidad de Sol de Oro, los suelos presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($> 100 \Omega.m$) y valores resistivos ($> 500 \Omega.m$) por debajo de los 30 metros (Figura 38). En esta zona predominan suelos gravosos con bajo grado de humedad.



Figura 37. Vista de la línea eléctrica de Sol de Oro (LE01-SO).

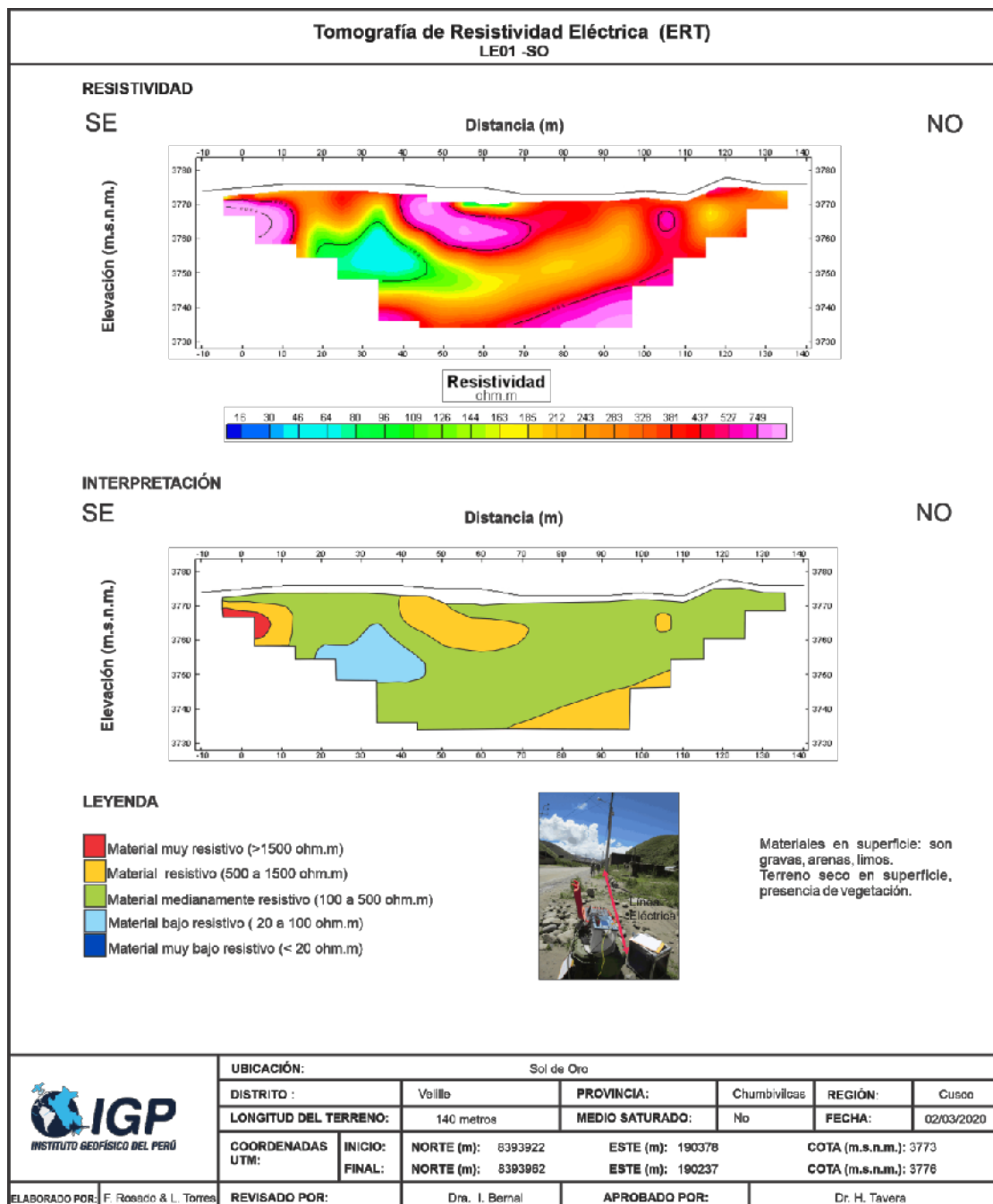


Figura 38. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-SO.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 5 a 6.7 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor y consistente. Asimismo, en el área de estudio no se ha identificado la presencia de niveles freáticos superficiales.

En la Figura 39, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.2 segundos; con amplificaciones de hasta 6.0 veces, afectando directamente a las viviendas de adobe ubicadas en este sector. Adicionalmente, los daños en este tipo de estructuras podrían asociarse al tipo de material usado para su construcción y la antigüedad de las viviendas.



Figura 9. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes y fotos de viviendas características de la zona.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Sol de Oro, a nivel superficial los suelos se clasifican como suelos blandos a moderadamente rígidos, sin evidencias de la presencia de nivel freáticos en el subsuelo.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo los suelos de esta localidad experimentarían mayor sacudimiento.

- La vibración generada, por el paso de camiones de carga pesada, provocan un incremento en el factor de la amplificación de 2.2 veces que queda enmascarada con las altas amplificaciones que experimentaría este suelo, sobre todo para suelos con periodos dominantes de 0.1 y 0.2 segundos. Por lo tanto, los suelos blandos a moderadamente rígidos y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE TUNTUMA

Figura 40. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Tuntuma.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Tuntuma, *ver* Figura 40 y Tabla 13. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método

Tabla 13. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Tuntuma	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-TM	184100	8398292	3843	3	69
	184143	8398239	3845		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-TM	184186	8398182	3847	10	190
	184014	8398377	3834		
Puntos H/V					
TM-01	184015	8398378	3835	-	-
TM-02	184008	8398350	3843	-	-
TM-05	184171	8398324	3770	-	-
TM-07	184217	8398272	3846	-	-
TM-09	184111	8398364	3833	-	-
TM-10	184131	8398246	3858	-	-
TM-11	184160	8398212	3858	-	-
TM-12	184194	8398170	3866	-	-
IE	183981	8398296	3859	-	-

b.) Resultados obtenidos

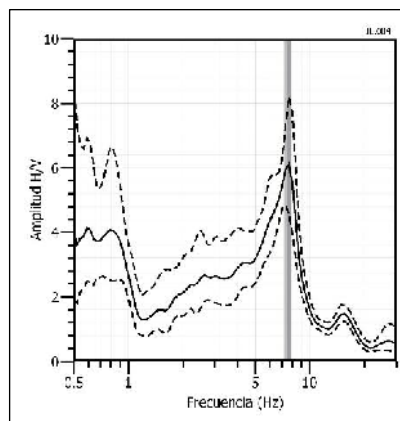
La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Tuntuma, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos TM-07, TM-09, TM-10, TM-11 y TM-IE, distribuidos en la localidad de Tuntuma, principalmente en la margen izquierda de la carretera (Figura 40), permitieron identificar las frecuencias predominantes del suelo a 10.3, 12.3, 8.0, 6.7 y 7.5 Hz, con amplificaciones de 4.4, 5.0, 4.5, 9.2 y 6 veces respectivamente (Figuras 41 y 42). Estos resultados evidencian la presencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor y baja consistencia, y que, además genera en los suelos amplificaciones de hasta 9 veces hacia el extremo SE del área de estudio.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 42, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados a distancias de 1, 50 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde a frecuencias de 6.7 y 12.0 Hz, con amplificaciones promedios de 6.5 veces.

Para el punto TM-07, ubicado a 50 metros de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo influyen a frecuencias de 10 Hz (0.1 segundos). Las razones espectrales obtenidas para registros correspondientes al paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, muestran variaciones en el factor de amplificación del suelo de 2.0 veces.

TM - IE



TM - 11

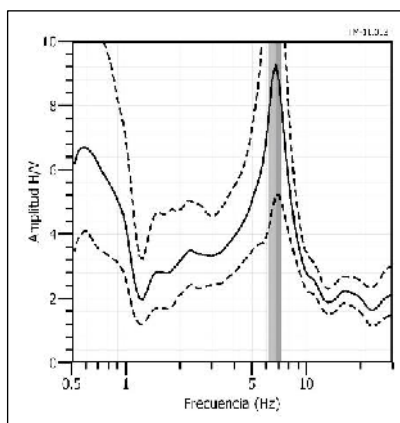
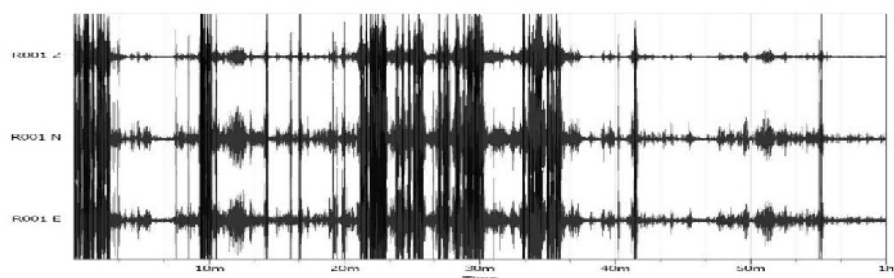
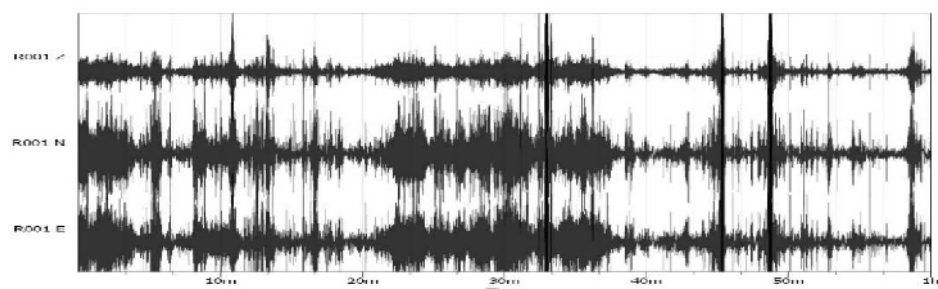


Figura 41. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos TM-IE y TM-11, ubicados en la margen izquierda de la carretera, en la localidad de Tuntuma. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto TM-09 (1 m.)



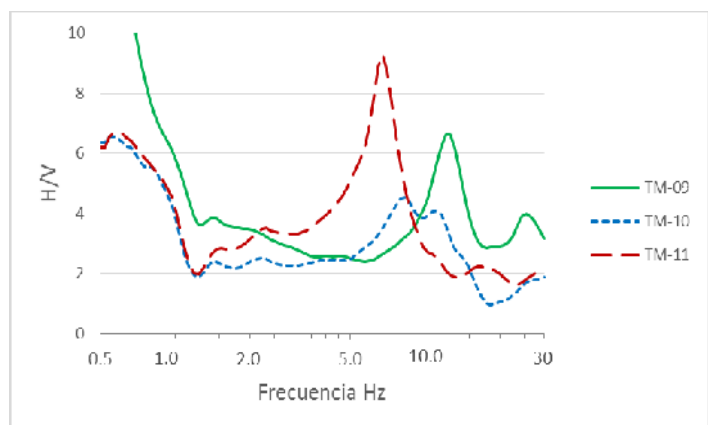
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto TM-10 (100m)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto TM-11 (50m)



Razones espectrales

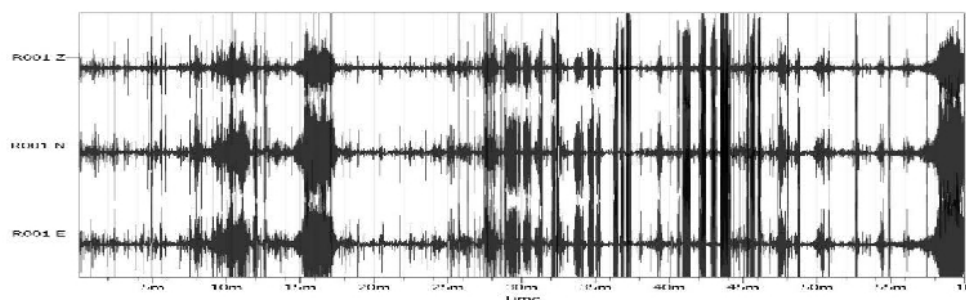


Resultados

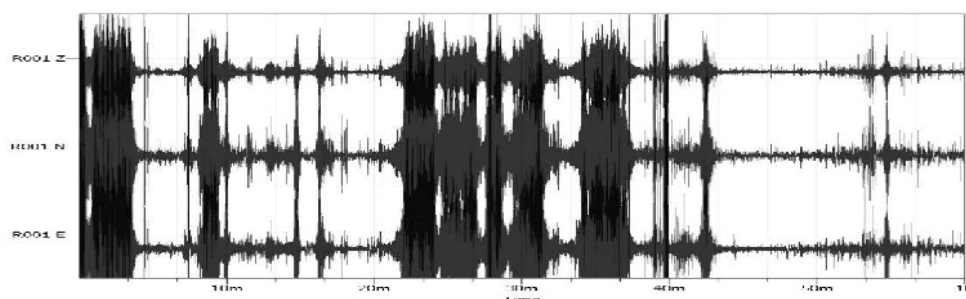
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
TM-09	12.35	0.93	6.60	0.1
TM-10	8.04	0.32	4.50	0.1
TM-11	6.72	0.56	9.20	0.1

Figura 42. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos TM-09, TM-10 y TM-11, ubicados el primero en la margen derecha a 1 metro de la carretera y el segundo y tercero en la margen izquierda a 100 y 50 metros de la carretera respectivamente. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

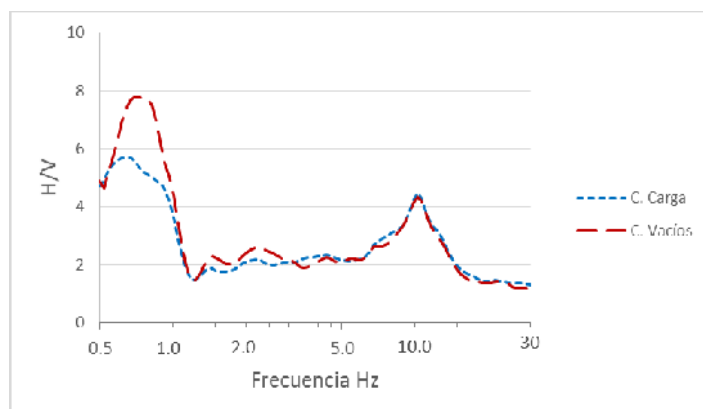
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto TM-07



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto TM-07



Razones espectrales



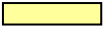
Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	10.34	0.44	4.42	0.1
C. Vacíos	10.17	0.66	4.32	0.1

Figura 42. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de camiones encapsulados vacíos y con el paso de camiones encapsulados con carga en el punto TM-11, ubicado en la margen izquierda de la carretera a 50 metros. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-TM fue realizada en la parte central de la localidad de Tuntuma, paralela a la carretera. Este perfil permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 14): la primera, de 4 metros de espesor y velocidades V_s de 235 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 5 metros de espesor con velocidades V_s de 366 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 775$ m/s que definen la presencia de suelos muy rígidos o roca blanda (Figura 43).

Tabla 14. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
Tuntuma	LS01-TM	235	4	366	5	775	-	518
 Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)  Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)  Suelo rígido (350 – 500 m/s)  Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)  Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)  Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)								

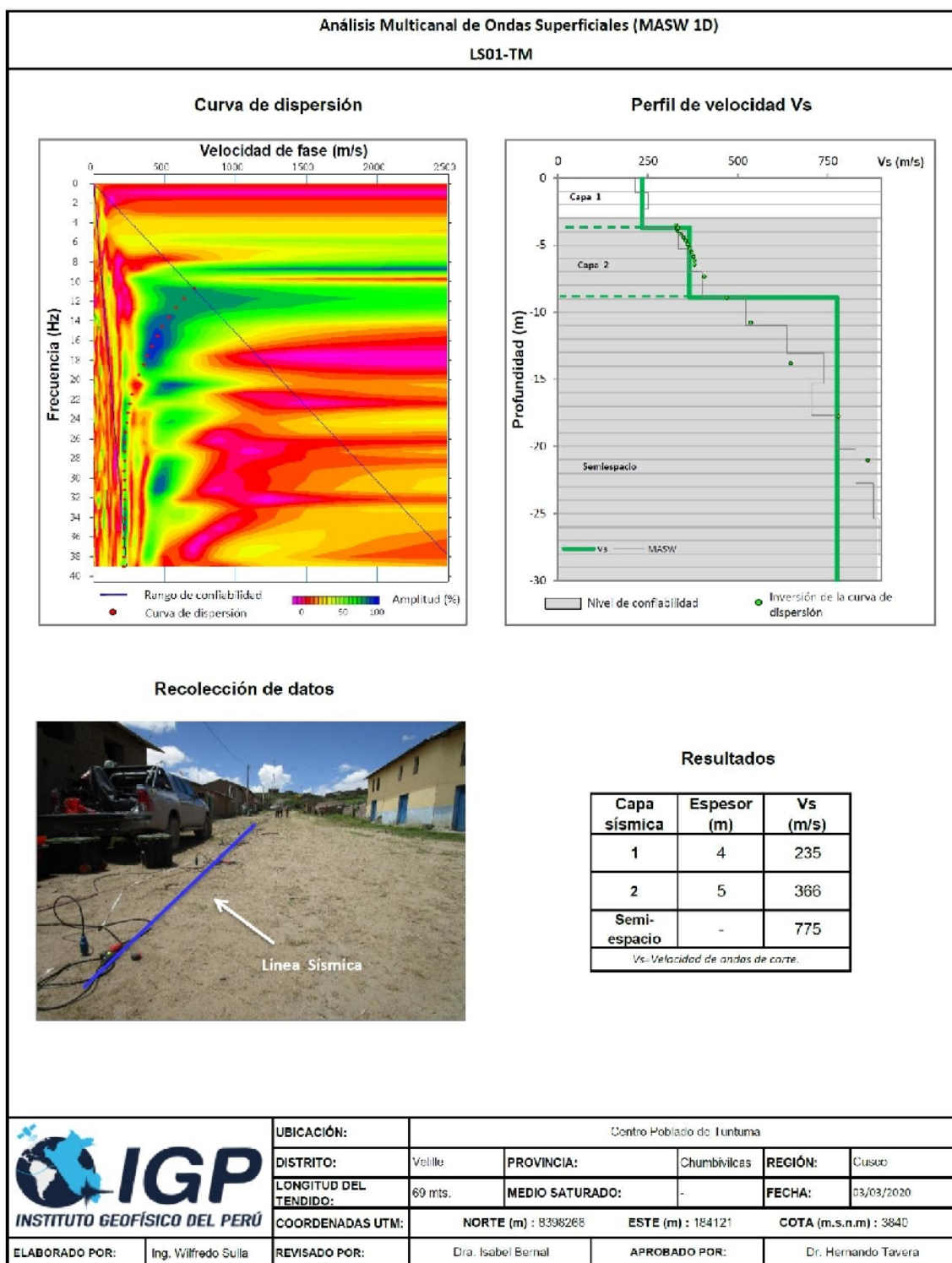


Figura 43. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-TM, realizado en la localidad de Tuntuma.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea eléctrica LE01-TM, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 44. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Tuntuma presentan el predominio de valores bajos resistivos ($< 100 \Omega.m.$) asociados a la presencia de bofedales (Figura 45). Asimismo, por debajo de los 20 metros se presentan valores medianamente resistivos ($> 100 \Omega.m.$) indicando la disminución del grado de saturación en los suelos.

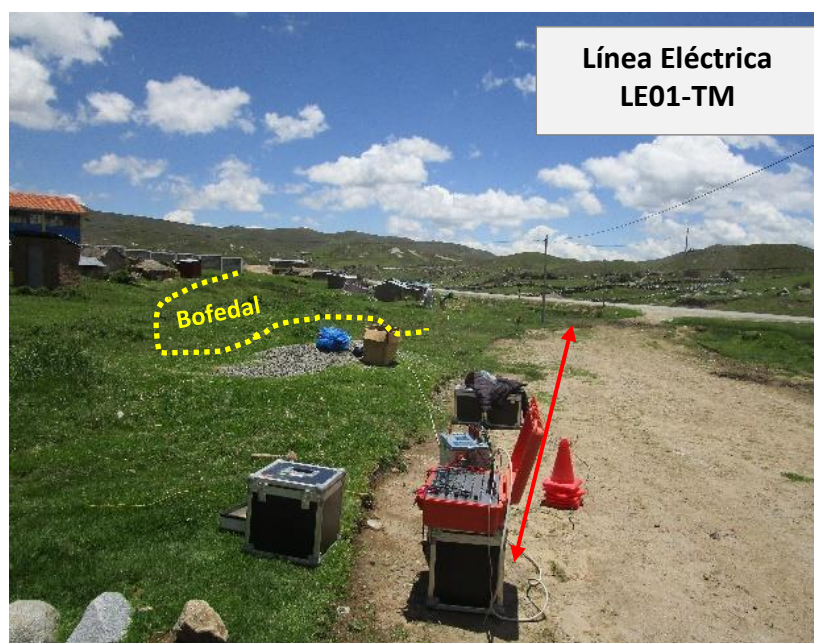


Figura 44. Vista de la línea eléctrica de Tuntuma (LE01-TM).

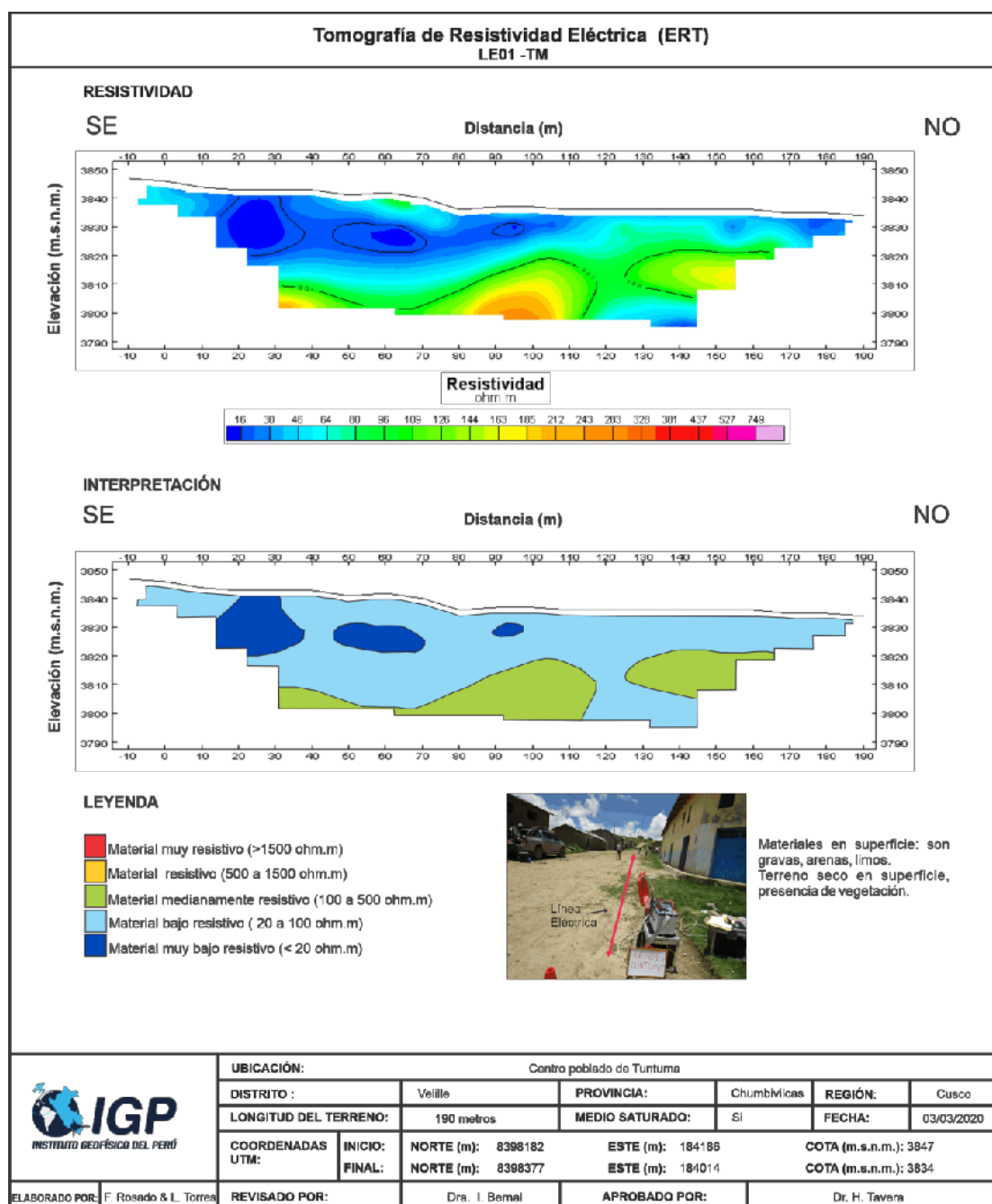


Figura 45. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-TM.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes mayores a 6.0 Hz (Fo), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor, correspondiente a suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 235$ y 366 m/s). Estos suelos presentan alto nivel freático debido a la presencia de bofedales.

En la Figura 46, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan periodos de 0.1 segundos con amplificaciones de hasta 6.5 veces. Estos factores influyen en la presencia de fisuras en las viviendas de adobe.



Figura 46. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

d.) Conclusiones

- En la localidad de Tuntuma, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 235$ y 366 m/s) y saturados debido a la presencia de bofedales que contribuyen a que el material constructivo predominante (adobe) se humedezca.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración del suelo generada por el paso de camiones de carga pesada, provocan un incremento en el factor de la amplificación de 2.0 veces que queda enmascarada con las altas amplificaciones que experimentaría este suelo, especialmente para periodos dominantes de 0.1 segundos. Esto suelos moderadamente rígidos y saturados de agua, más las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE HUALLPAMAYO

4.7.- Localidad de Huallpamayo

La localidad de Huallpamayo, se ubica al suroeste del distrito de Chamaca, en la provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 47). Se encuentra a una altitud promedio de 3900 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Colquemarka y la provincia de Acomayo; por el sur con el distrito de Velille; al este con el distrito de Livitaca y al oeste con los distritos de Santo Tomás y Colquemarka. Geológicamente, el área de estudio está sobre el plutón Colquemarka. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.059 km².

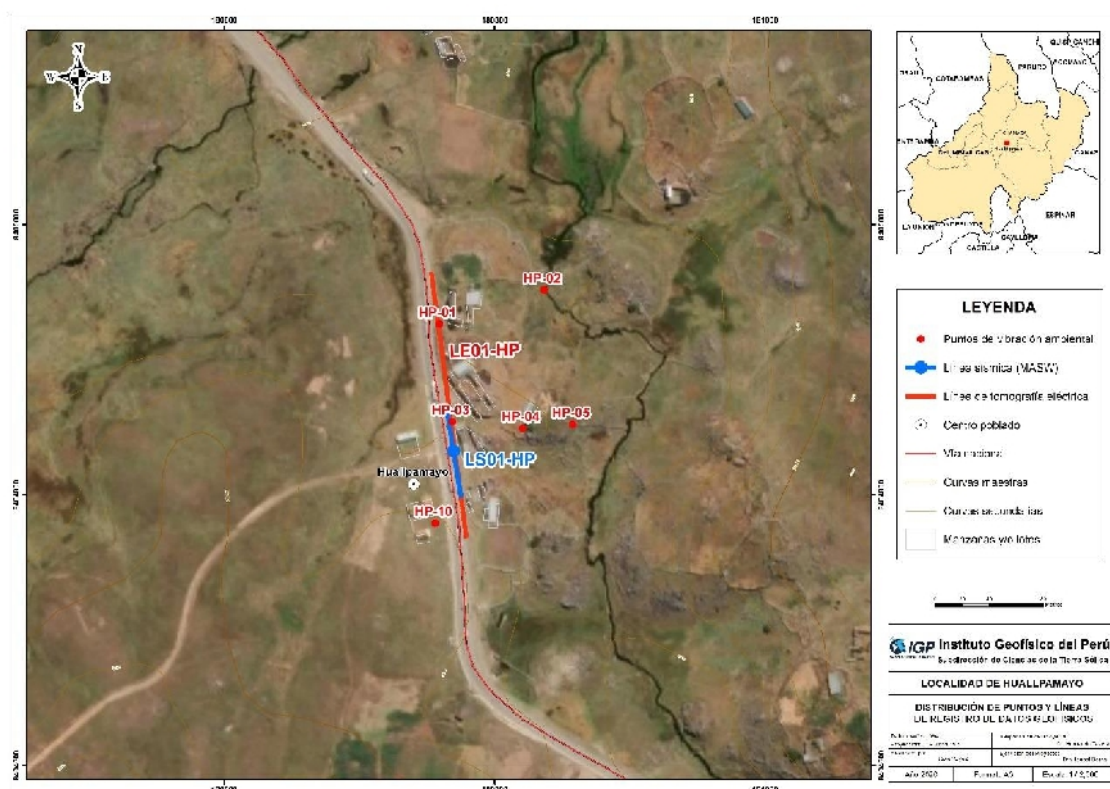


Figura 47. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Huallpamayo.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizó la adquisición de los datos vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea sobre el área urbana de la localidad de Huallpamayo (Figura 47 y Tabla 15). A continuación, se describe los resultados obtenidos con cada método

Tabla 15. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de vibración ambiental.

Localidad de Hualpamayo	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-HP	180764	8404867	3905	3	69
	180775	8404798	3907		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-HP	180753	8404965	3897	10	190
	180779	8404768	3904		
Puntos H/V					
HP-01	180759	8404926	3906	-	-
HP-02	180837	8404952	3894	-	-
HP-03	180769	8404854	3910	-	-
HP-04	180821	8404849	3909	-	-
HP-05	180858	8404852	3910	--	-
HP-10	180756	8404779	3918	-	-

b.) Resultados obtenidos

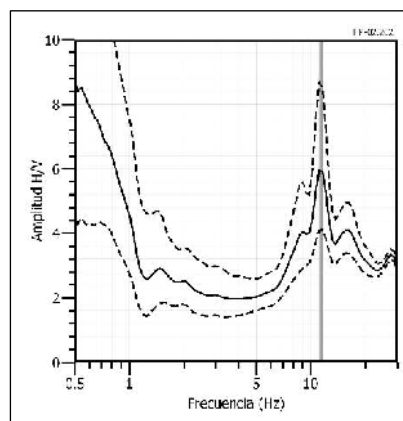
La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos de la localidad de Huallpamayo, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas en los puntos HP-01, HP-02, HP-03 y HP-10, corresponden a la localidad de Huallpamayo, específicamente para la margen derecha de la carretera (Figura 47). Estos datos han permitido identificar las frecuencias predominantes del suelo a 15.0, 11.0, 11.0 y 13.0 Hz, con amplificaciones de hasta 3.7, 5.8, 2.3 y 1.5 veces respectivamente (Figuras 48 y 49). Estos resultados evidencian que la capa superficial tiene poco espesor con suelos compactos, y que genera en el suelo amplificaciones mínimas de 2 veces en las proximidades de la carretera.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 49, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados obtenidos a distancias de 1, 5 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde a 11.6 y 13.2 Hz con amplificaciones de 2.3 veces y a distancias de 100 metros (próximos al río), el suelo responde a 11.6 Hz con amplificaciones de 5.8 veces.

Para el punto HP-01, ubicado a 5 metros de distancia de la carretera, las vibraciones del suelo influyen a frecuencias de 14.7 Hz (0.06 segundos). Las razones espectrales obtenidas de señales registradas en este punto, para el paso de camiones con carga, sin carga y vibraciones ambientales, han permitido observar que el factor de amplificación del suelo es con valores mínimos. Al existir un suelo moderadamente compacto, las vibraciones generadas por el paso de camiones, solo afectaría a viviendas ubicadas cerca de la carretera.

HP - 02



HP - 03

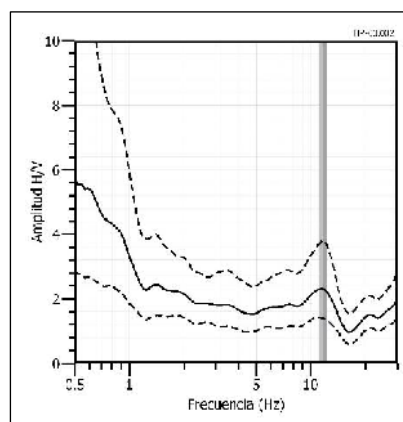
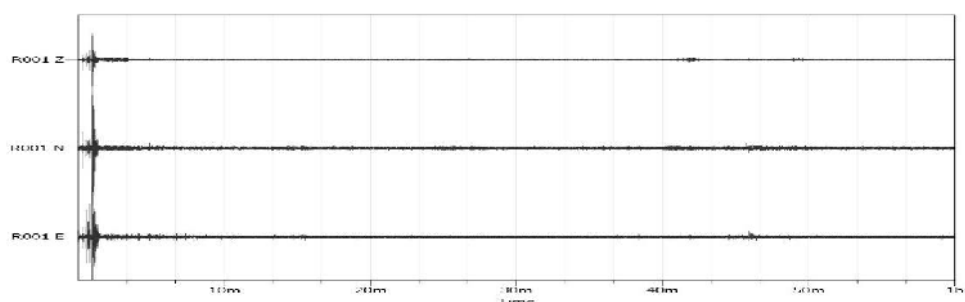
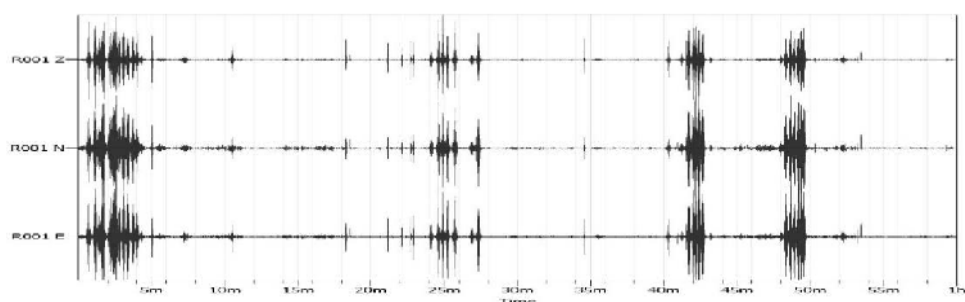


Figura 48 Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos HP-02 y HP-03, ubicados en la margen derecha de la carretera, en la localidad de Huallpamayo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

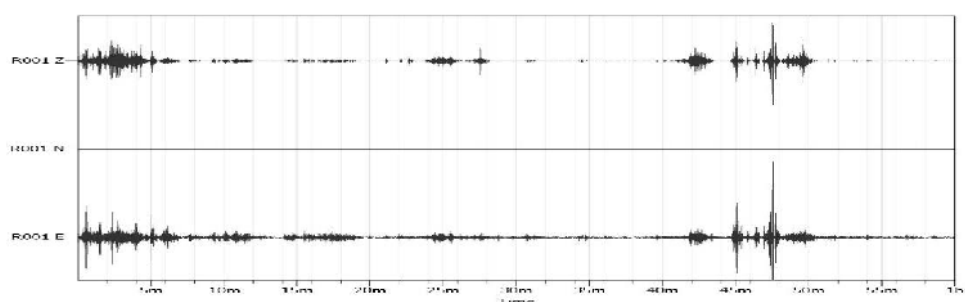
Registros del paso de camiones encapsulados con carga, punto HP-02 (100 m.)



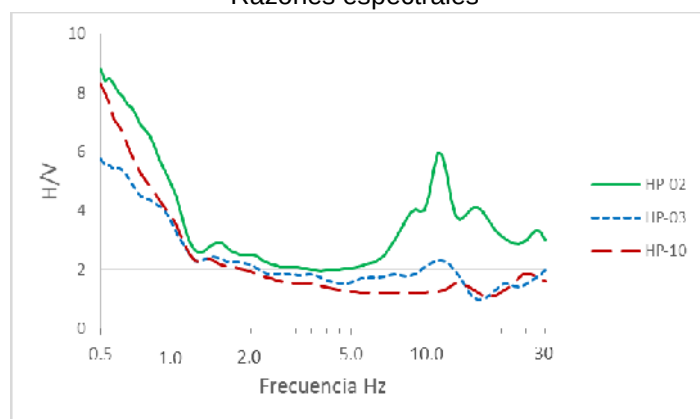
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HP-03 (1 m)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HP-10 (5 m)



Razones espectrales

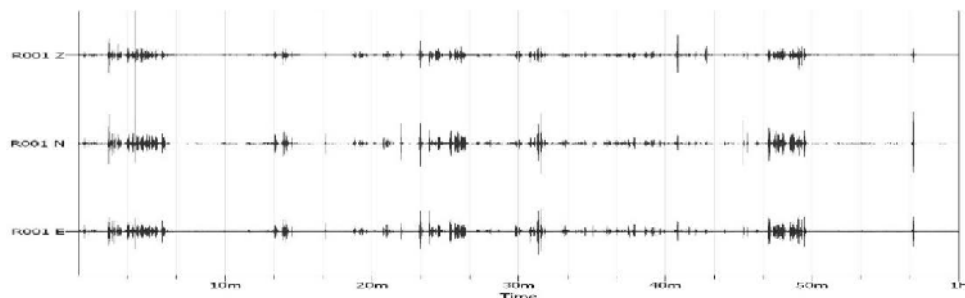


Resultados

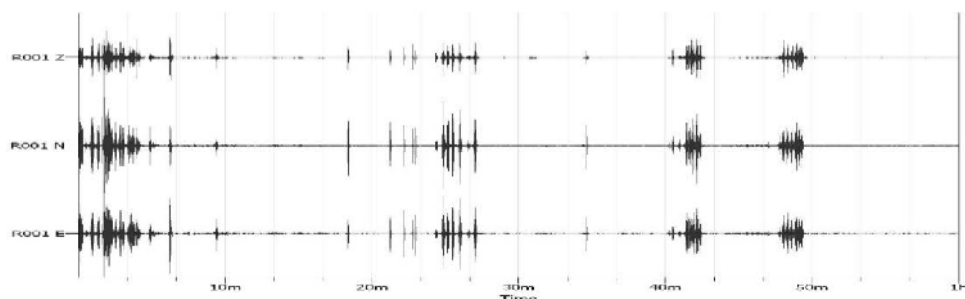
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
HP-02	11.36	0.34	5.85	0.1
HP-03	11.62	0.59	2.31	0.1
HP-10	13.22	0.35	1.51	0.1

Figura 49. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos HP-02, HP-03 y HP-10, ubicados el primero y el segundo en la margen derecha a 1 y 100 metros de la carretera y el tercero en la margen izquierda a 5 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

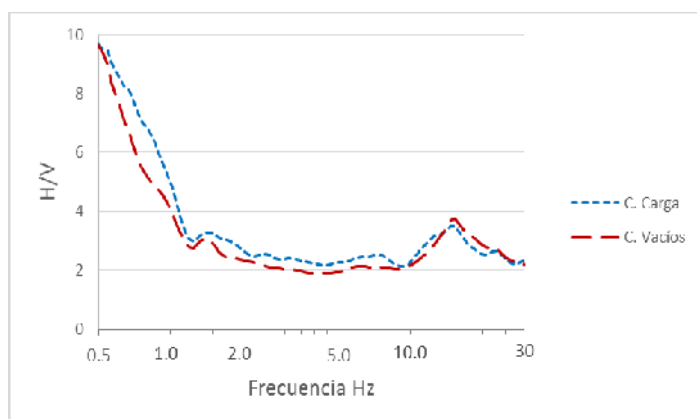
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto HP-01



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HP-01



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	14.78	0.68	3.50	0.1
C. Vacíos	15.29	1.84	3.72	0.1

Figura 49. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de camiones encapsulados vacíos y con el paso de camiones encapsulados con carga en el punto HP-01, ubicado en la margen derecha de la carretera a 5 metros. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-HP fue realizada en el extremo sur de la localidad de Huallpamayo, paralela a la carretera. Se ha identificado la presencia de suelos conformados por una capa sísmica (Tabla 16) de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 222 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos moderadamente rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 377$ m/s que definen la presencia de suelos rígidos (Figura 50).

Tabla 16. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		Semiespacio				VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Huallpamayo	LS01-HP	222	5	377	8	-	-	331
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

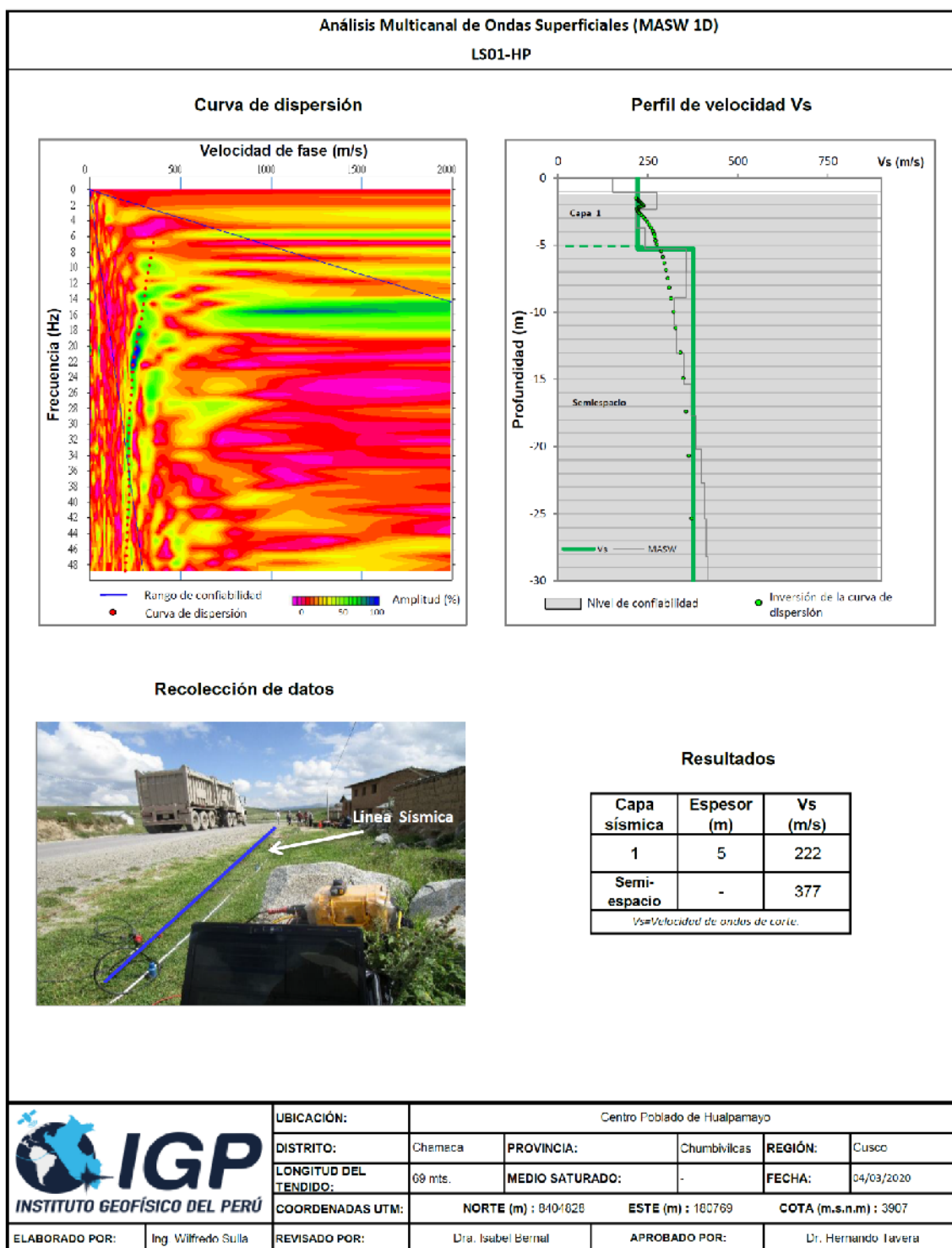


Figura 50. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-HP, realizado en la localidad de Hualpamayo.

. - **Tomografía eléctrica:** La línea **LE01-HP**, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 51. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Huallpamayo presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$) y en forma puntual, valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m.$). Los resultados se asocian a la presencia de suelos conglomerados y de material fino (Figura 52).

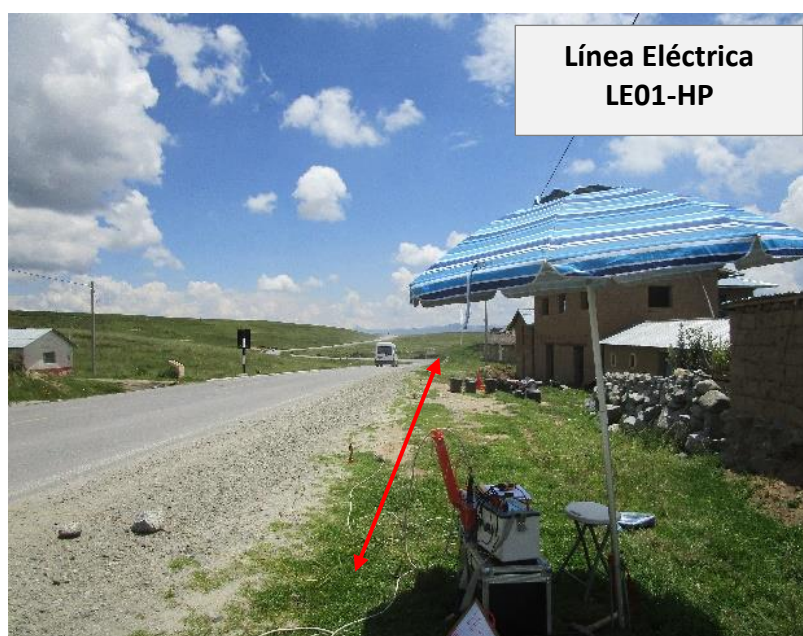


Figura 51. Vista de la línea eléctrica de Huallpamayo (LE01-HP).

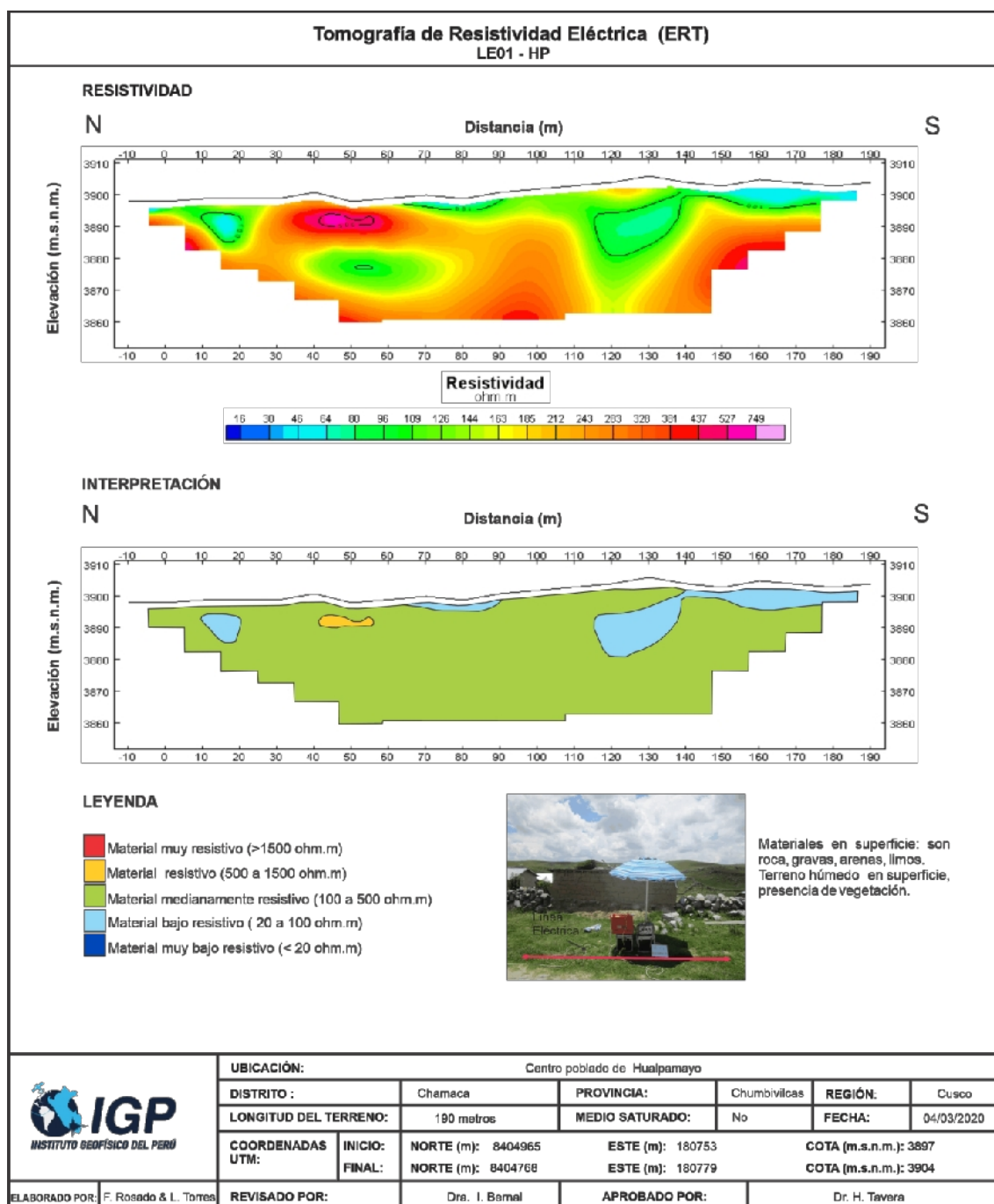


Figura 52. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-HP.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos compactos responden a frecuencias predominantes de 10 a 14 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor. Se identifica en superficie suelos moderadamente rígidos ($V_s = 222$ m/s) y sin la presencia de niveles freáticos. En la Figura 53, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.1 segundos con amplificaciones de 2 veces, evidenciando la presencia de suelos consistentes de poco espesor a nivel superficial. Las viviendas de adobe circundantes a la carretera, a pesar de asentarse sobre suelos consistentes, al exponerse a las constantes vibraciones del suelo, es posible que disminuyan el tiempo de vida útil de sus estructuras.



Figura 53. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Huallpamayo, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 222$ y 377 m/s) que responden a periodos de 0.1 segundos. Estos suelos presentan bajos niveles de saturación.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad no experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración del suelo generada, por el paso de camiones de carga pesada, contribuyen con vibraciones a frecuencias altas que no tendrían implicancias directas en las viviendas ubicadas próximas a la carretera. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el tipo de construcción, su antigüedad y las constantes vibraciones transitorias que, generadas por el paso de los camiones, contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE HUINCHO

4.8.- Localidad de Huincho

La localidad de Huincho, se ubica al suroeste del distrito de Chamaca en la provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 54). Se encuentra a una altitud promedio de 3910 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Colquemarka y la provincia de Acomayo; por el sur con el distrito de Velille; al este con el distrito de Livitaca y al oeste con los distritos de Santo Tomás y Colquemarka. Geológicamente, el área de estudio esta sobre el plutón Colquemarka y cuaternarios (depósitos glaciofluviales). El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.083 km².

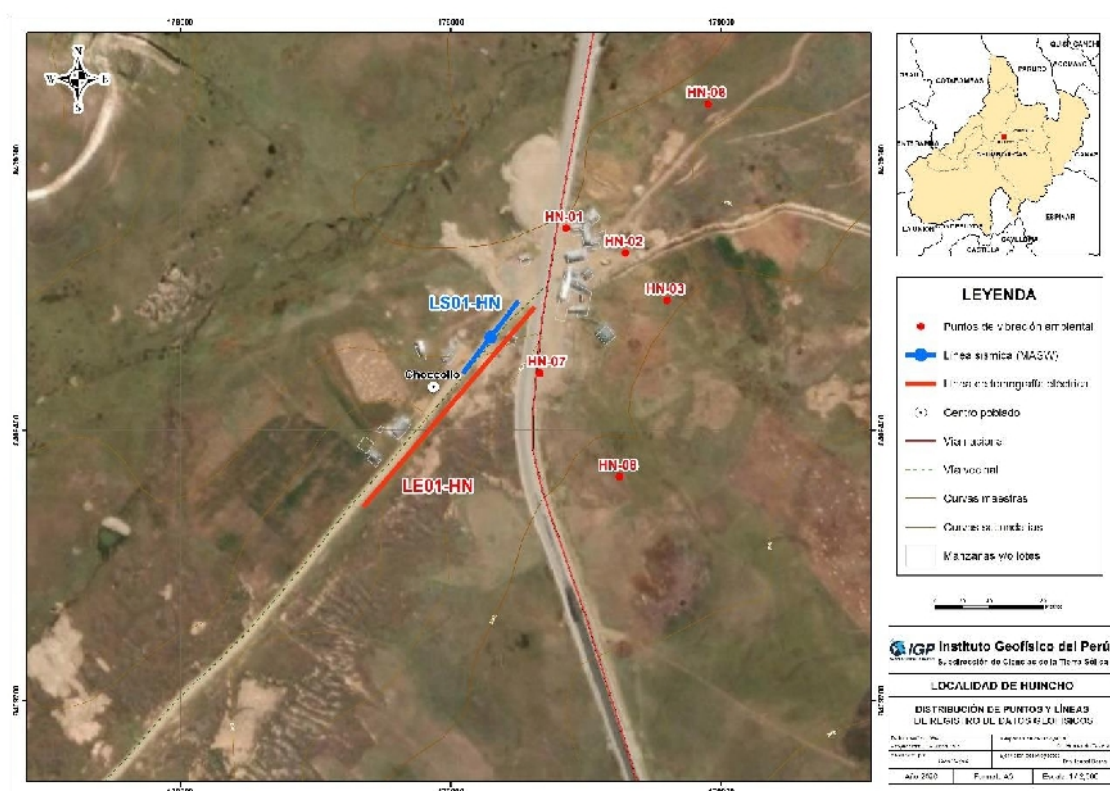


Figura 54. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Huincho.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizó la adquisición de los datos vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Huincho, *ver* Figura 54 y Tabla 17. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 17. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Huincho	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-HN	178850	8409495	3917	3	69
	178809	8409442	3921		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-HN	178862	8409491	3915	10	190
	178735	8409343	3923		
Puntos H/V					
HN-01	178885	8409549	3917	-	-
HN-02	178929	8409531	3919	-	-
HN-03	178960	8409496	3921	-	-
HN-06	178990	8409641	3915	-	-
HN-07	178866	8409442	3931	-	-
HN-08	178925	8409365	3912	-	-

b.) Resultados obtenidos

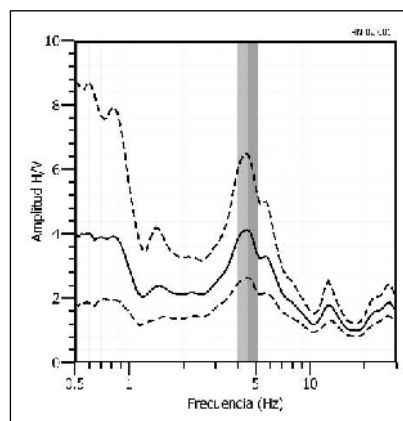
La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Huincho, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos HN-01, HN-02, HN-03 y HN-07 distribuidos en la localidad de Huincho, a la margen derecha de la carretera (Figura 54), permiten identificar las frecuencias predominantes del suelo a 8.5, 4.6, 4.5 y 5.5 Hz, con amplificaciones de 3.3, 3.4, 2.7 y 3.6 veces respectivamente (Figura 55 y 56). Estos resultados evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de moderado espesor y consistencia.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 56, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados a distancias de 1, 50 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas el suelo responde entre 4.6 y 8.5 Hz, con amplificaciones promedios de 3.4 veces.

Para el punto HM-07, ubicado a 1.0 metro de distancia de la carretera, las amplificaciones del suelo presentan vibraciones que influyen a frecuencias de 5.5 Hz (0.18 segundos). Las razones espectrales obtenidas para señales registradas en este punto, al paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, permiten observar que existe pequeñas variaciones en el factor de amplificación (0.3 veces) del suelo en las cercanías a la carretera.

HN - 02



HN - 03

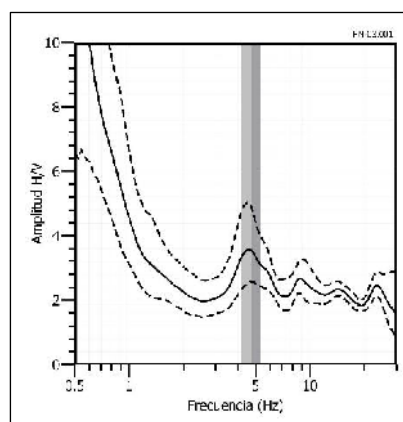


Figura 55. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos HN-02 y HN-03, ubicados en la margen derecha de la carretera, en la localidad de Huincho. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

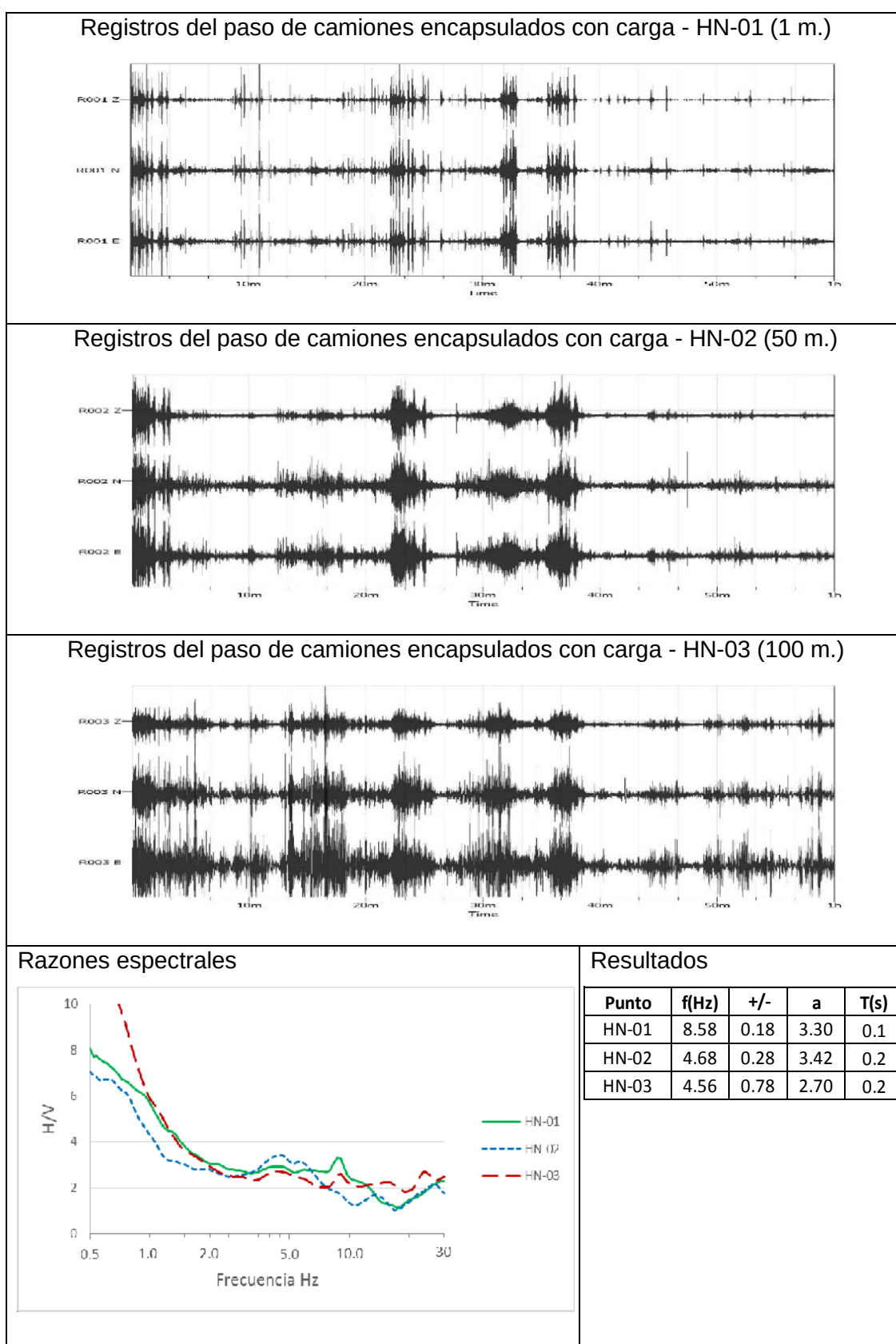
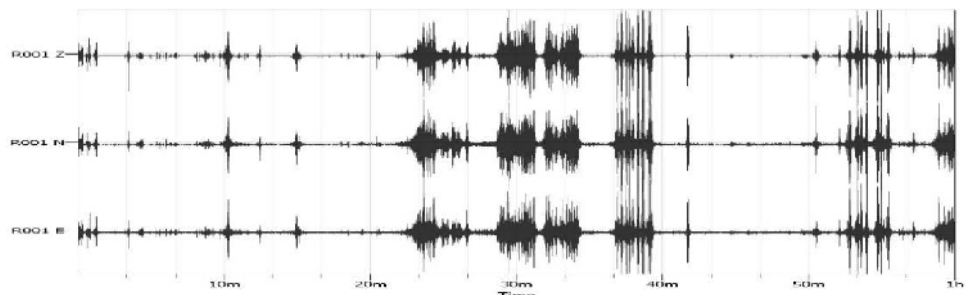
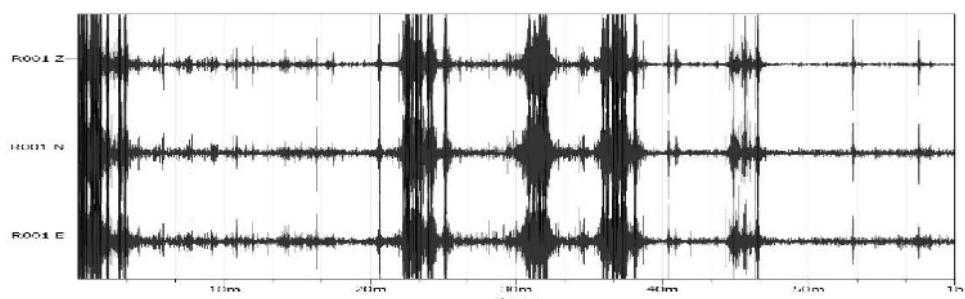


Figura 56. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos HN-01, HN-02 y HN-03, ubicados en la margen derecha a 1, 50 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

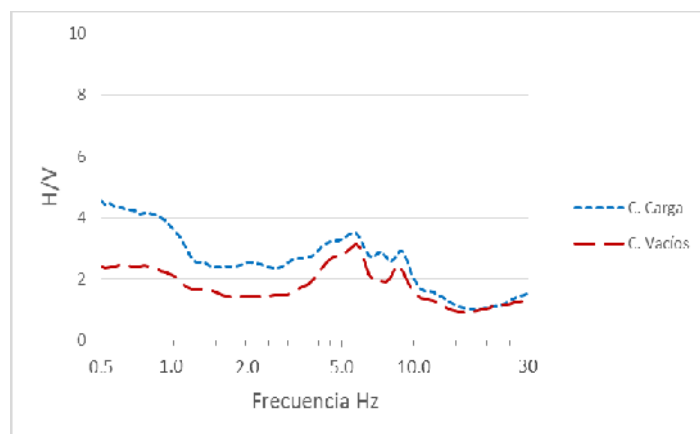
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto HN-07 (1 m.)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HN-07 (1 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	5.54	0.28	3.63	0.2
C. Vacíos	5.77	0.23	3.78	0.2

Figura 56. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de camiones encapsulados vacíos y con el paso de camiones encapsulados con carga en el punto HN-07, ubicado en la margen derecha a 1 metro de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales**: Línea sísmica LS01-HN fue realizada en el extremo suroeste de la localidad de Huincho, con una orientación perpendicular a la carretera. Esta línea permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 18): la primera, de 5 metros de espesor y velocidades de ondas de corte V_s de 300 m/s, que corresponde a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 8 metros de espesor con velocidades V_s de 465 m/s, que definen la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 784$ m/s correspondiendo a suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 57).

Tabla 18. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Huincho	LS01-HN	300	5	465	8	784	-	534

Suelo blando (Vs < 180 m/s)

Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)

Suelo rígido (350 – 500 m/s)

Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)

Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

Roca dura (Vs > 1500 m/s)

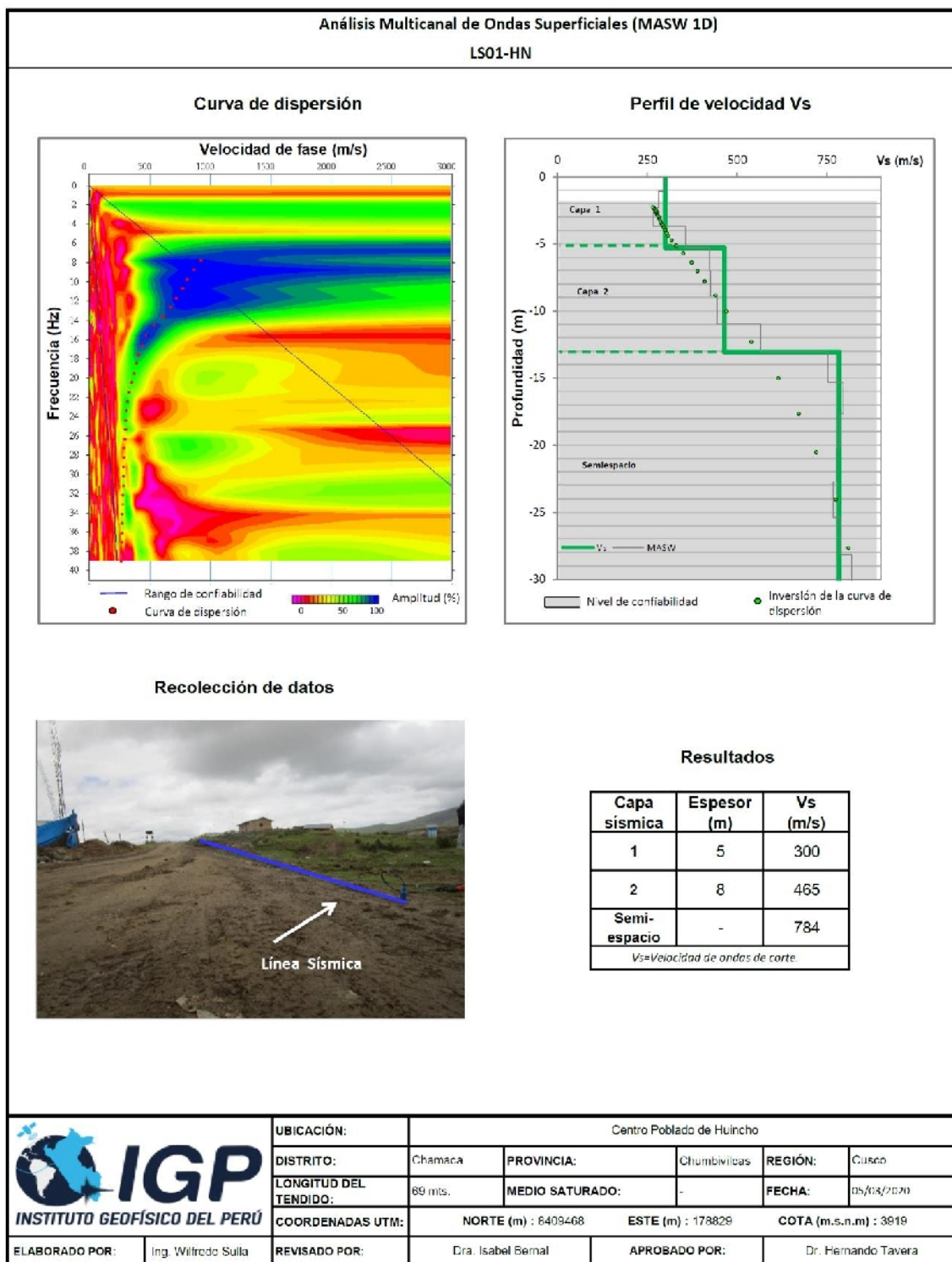


Figura 57. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-HN, realizado en la localidad de Huincho.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea eléctrica LE01-HN, fue realizada perpendicular a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 58. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Huincho presentan un predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m.$), asociados a la presencia de bofedales y suelos compuestos por limos y arcillas, que permite el almacenamiento de agua en el subsuelo (Figura 59).

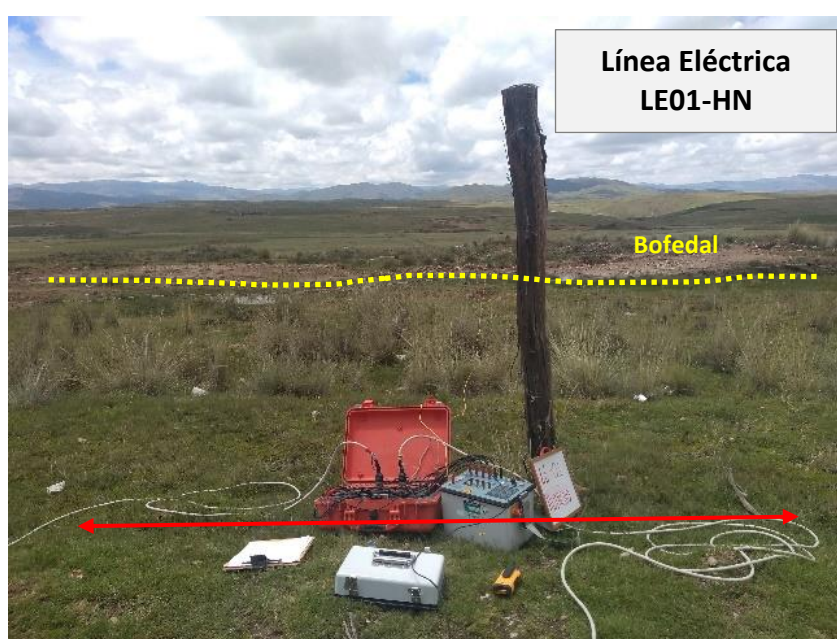


Figura 58. Vista de la línea eléctrica de Huincho (LE01-HN).

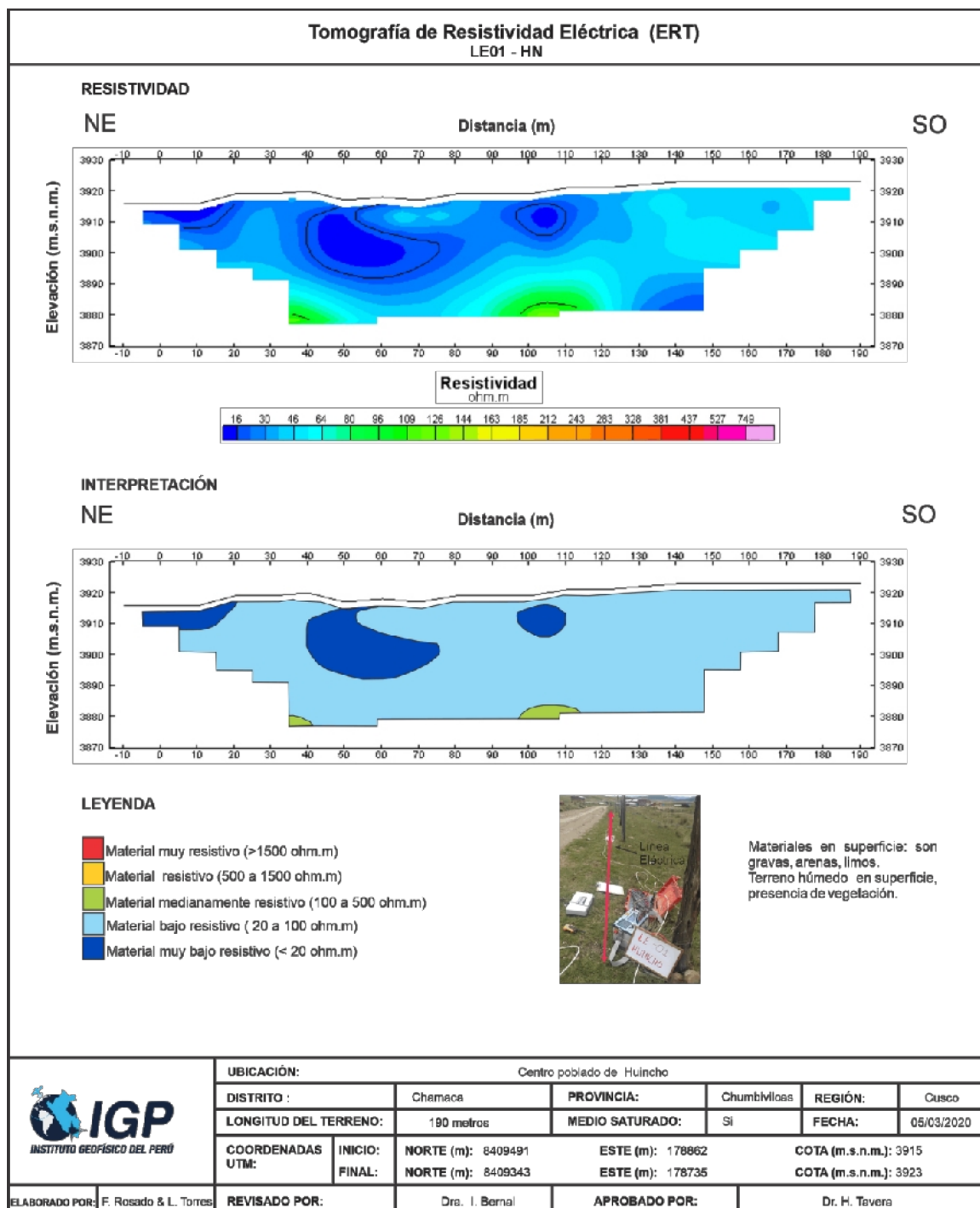


Figura 59. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-HN.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 4.0 a 5.0 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor compuesta por suelos moderadamente rígidos, seguida por suelos rígidos ($V_s = 300$ y 465 m/s). Asimismo, presenta suelos saturados en toda el área de estudio.



Figura 60. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 60, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso, se observa que en la localidad de Huincho predominan los periodos de 0.2 segundos con amplificaciones de 2 a 3 veces. Estos valores indican la presencia de suelos muy competentes; sin embargo, el alto grado de saturación del suelo y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, afectarían a las viviendas ubicadas próximas a la carretera.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Huincho, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 300$ y 465 m/s), los mismos que se encuentran saturados debido a la presencia de bofedales que contribuyen a que el material constructivo predominante (adobe) se humedezca.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad no experimentarían mayores niveles de amplificación; sin embargo, presentan las condiciones para experimentar asentamiento diferencial con potencial de licuación de suelos.

- La vibración generada, por el paso de camiones de carga pesada, provocan mínimas variaciones en la amplificación del suelo (0.3 veces) con un periodo fundamental de respuesta a 0.2 segundos. En esta localidad, los suelos saturados de agua es un factor determinante en los daños observados en las viviendas de adobe. Asimismo, las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, así como, el tipo de construcción y su antigüedad, contribuirían en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE HUININQUIRI

4.9.- Localidad de Huiniquiri

La localidad de Huiniquiri, se ubica al noroeste del distrito de Chamaca en la provincia de Chumbivilca, región Cusco (Figura 61). Se encuentra a una altitud promedio de 3915 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Colquamarca y la provincia de Acomayo; por el sur con el distrito de Velille; al este con el distrito de Livitaca y al oeste, con los distritos de Santo Tomás y Colquamarca. Geológicamente, el área de estudio está sobre el plutón Colquamarca (rocas intrusivas y subvolcánicas). El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.086 km².

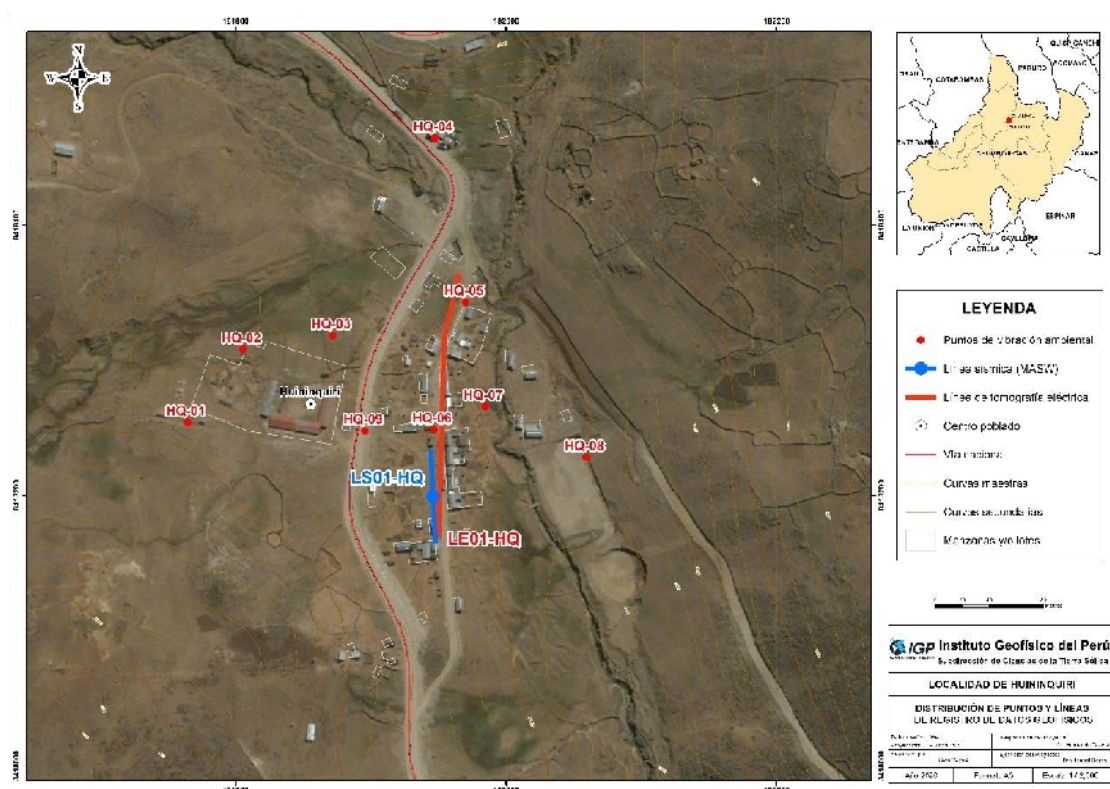


Figura 61. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Huiniquiri

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Huiniquiri, *ver* Figura 61 y Tabla 19. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 19. Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos de H/V.

Localidad de Huiniquiri	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento (m)	Longitud total (m)
Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-HQ	181944	8418234	3918	3	69
	181948	8418164	3920		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-HQ	181965	8418364	3916	10	190
	181950	8418168	3918		
Puntos H/V					
HQ-01	181765	8418254	3958		
HQ-02	181806	8418308	3932		
HQ-03	181872	8418318	3918		
HQ-04	181947	8418464	3926		
HQ-05	181970	8418343	3781		
HQ-06	181947	8418249	3916		
HQ-07	181984	8418266	3916		
HQ-08	182059	8418228	3909		
HQ-09	181896	8418248	3926		

b.) Resultados obtenidos

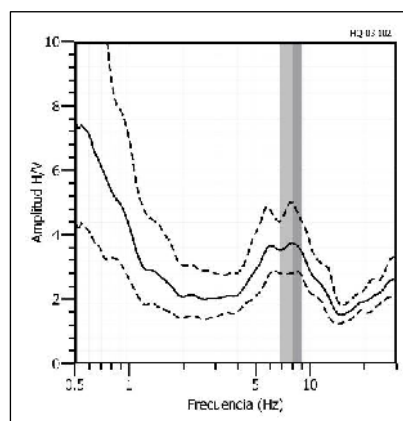
La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Huiniquiri, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos HQ-01, HQ-03, HQ-06 y HQ-09 distribuidos en la localidad de Huiniquiri, en ambas márgenes de la carretera (Figura 61), permiten identificar las frecuencias predominantes del suelo a 5.7, 8.0, 8.7 y 11.2 Hz, con amplificaciones de hasta 4.3, 2.8, 3.0 y 2.3 veces respectivamente (Figuras 62 y 63). Estos resultados evidencian que el suelo superficial de la localidad de Huiniquiri está conformado por una capa delgada de sedimentos, cuyo espesor se incrementa y su consistencia disminuye, conforme se tiende hacia el extremo oeste del área de estudio.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 63, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados, a distancias de 1, 50 y 120 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas el suelo responde entre 8.0 y 11 Hz, con amplificaciones de 3 veces y a distancias de 120 metros (extremo oeste), el suelo responde a 5.7 Hz con amplificaciones de 4.0 veces.

Para el punto HQ-03, ubicado a 30 metros de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo influyen a frecuencias de 6.0-7.7 Hz (0.16 segundos). Según las razones espectrales, al paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, la vibración del suelo es con un factor de amplificación de 2.2 veces, indicando que el suelo es moderadamente compacto y su vibración por el paso de camiones, solo contribuye con el deterioro de las viviendas de adobe cercanas a la carretera.

HQ - 03



HQ - 06

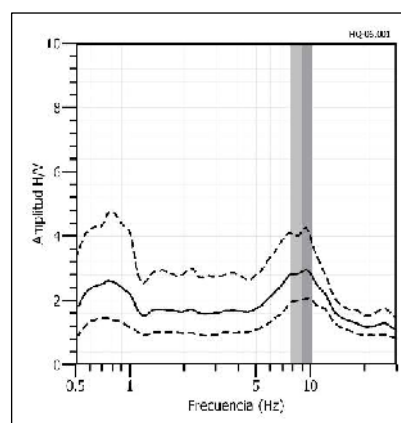
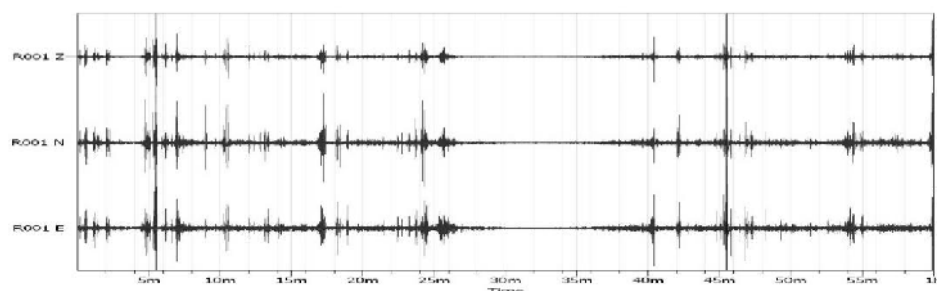
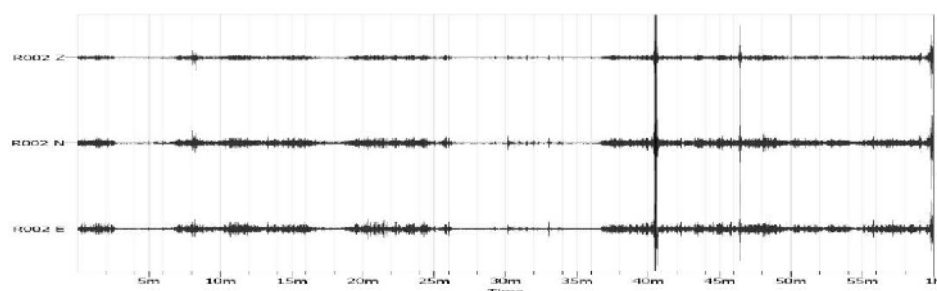


Figura 62: Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos HQ-03 y HQ-06, ubicados en ambas márgenes de la carretera, en la localidad de Huinquiri. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

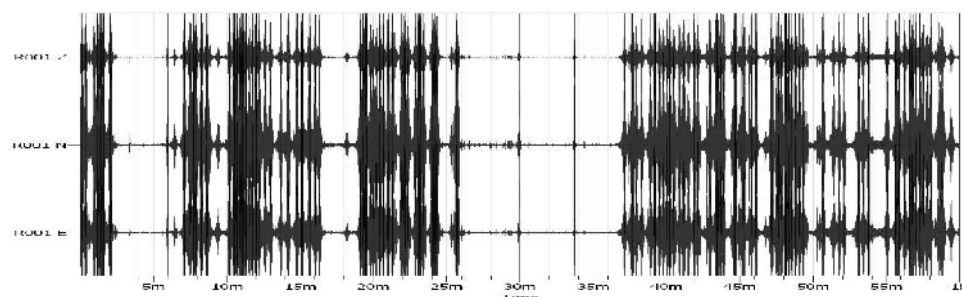
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HQ-01 (120 m.)



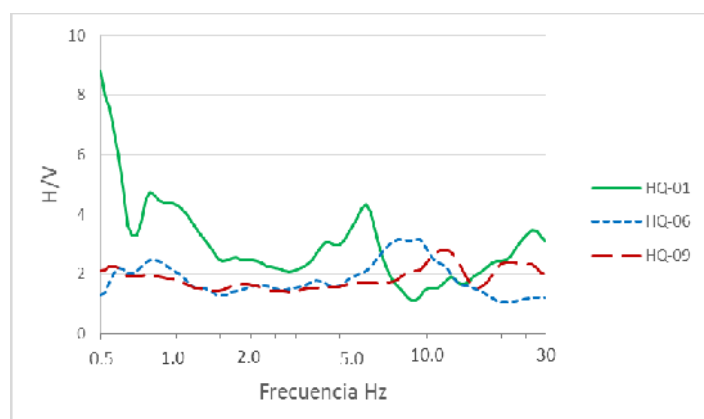
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HQ-06 (50 m.)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HQ-09 (1 m.)



Razones espectrales

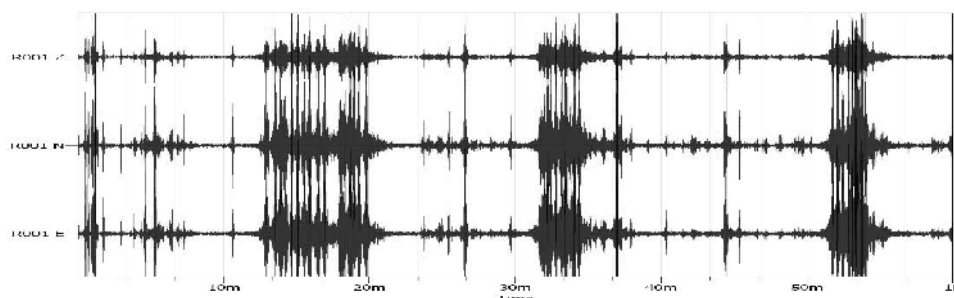


Resultados

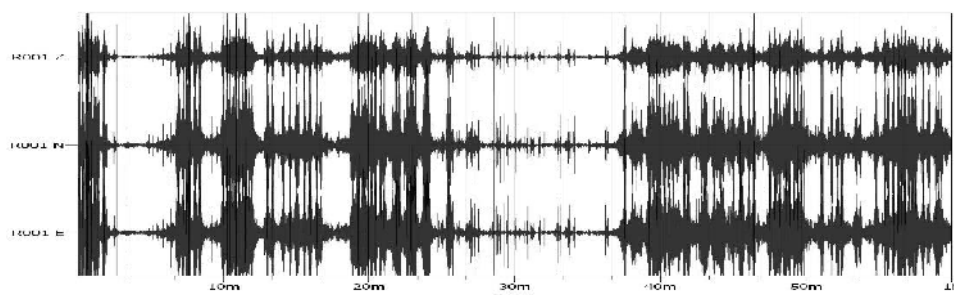
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
HQ-01	5.75	0.23	4.31	0.2
HQ-06	8.78	0.54	3.08	0.1
HQ-09	11.25	0.60	2.32	0.1

Figura 63. En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de los camiones encapsulados con carga en los puntos HQ-01, HQ-06 y HQ-09, ubicados en ambas márgenes de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

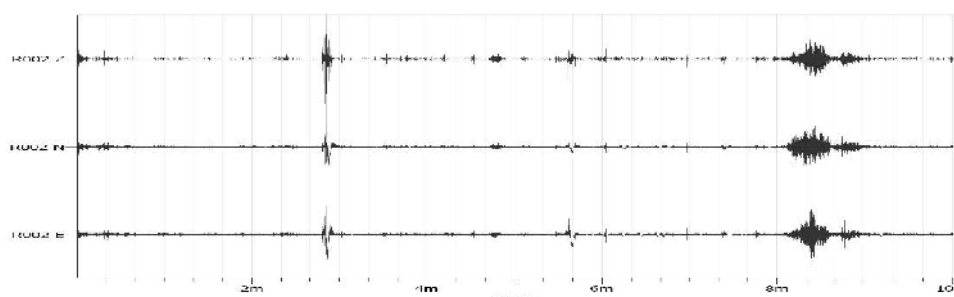
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto HQ-03 (30 m.)



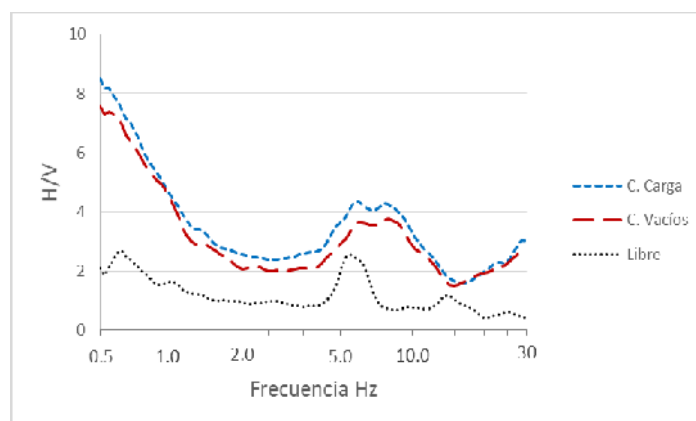
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto HQ-03 (30 m.)



Registros sin el paso de vehículos en el punto HQ-03 (30 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	7.71	0.22	4.26	0.1
C. Vacíos	7.98	1.12	3.74	0.1
Libre	5.98	0.40	1.98	0.2

Figura 63. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración con el paso de camiones encapsulados vacíos, con el paso de camiones encapsulados con carga y sin el paso de vehículos en el punto HQ-03, ubicado en la margen izquierda a 30 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para este punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-HQ realizada en el extremo este de la localidad de Huiniquiri, paralela a la carretera. Se identifica la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 20): la primera, de 5 metros de espesor y velocidades V_s de 153 m/s, sugiriendo la existencia de suelos blandos; la segunda capa, de 10 metros de espesor con velocidades V_s de 288 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos moderadamente rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 402$ m/s indicando la presencia de suelos rígidos (Figura 64).

Tabla 20. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
Huiniquiri	LS01-HQ	153	5	288	10	402	-	280
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)								

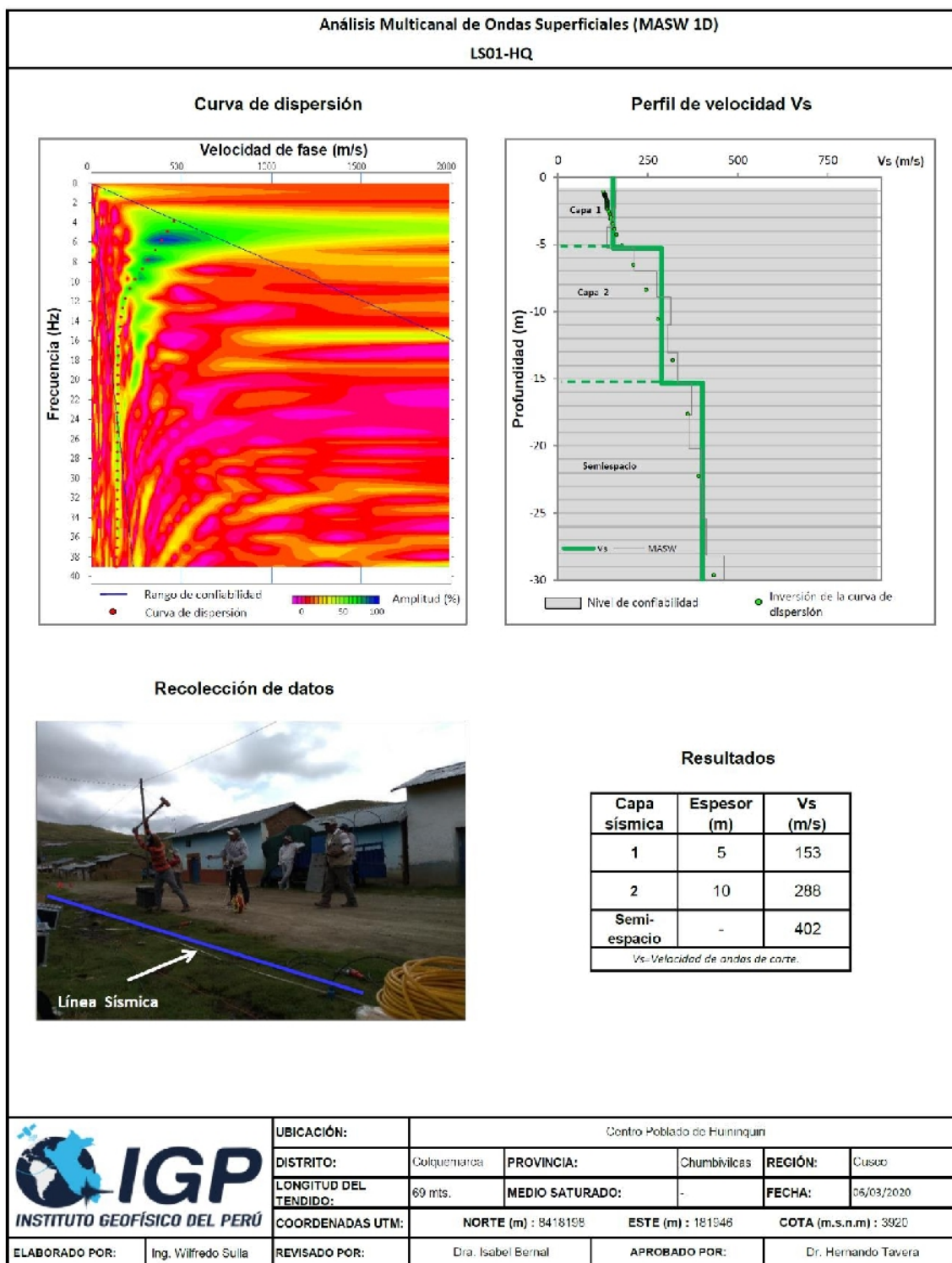


Figura 64. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-HQ, realizado en la localidad de Huinquiri.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea eléctrica LE01-HQ fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 65. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Huiniquiri presentan un predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m.$) y por debajo de estos, valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$), ver Figura 66. Estos resultados se asocian a la presencia de terrenos de cultivos y riachuelos, cuyos suelos permiten que se filtra el agua hasta los 10 a 15 metros de profundidad.

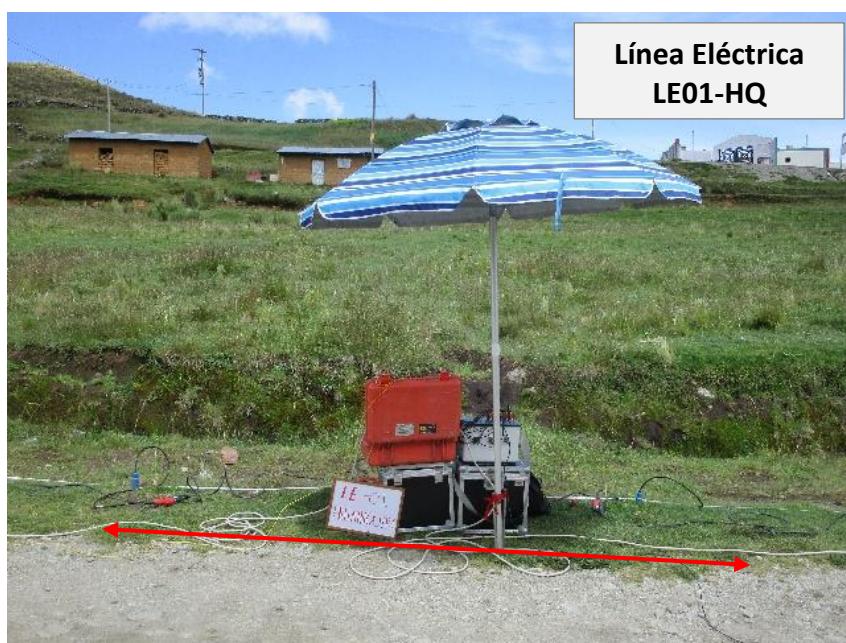


Figura 65. Vista de la línea eléctrica de Huiniquiri (LE01-HQ).

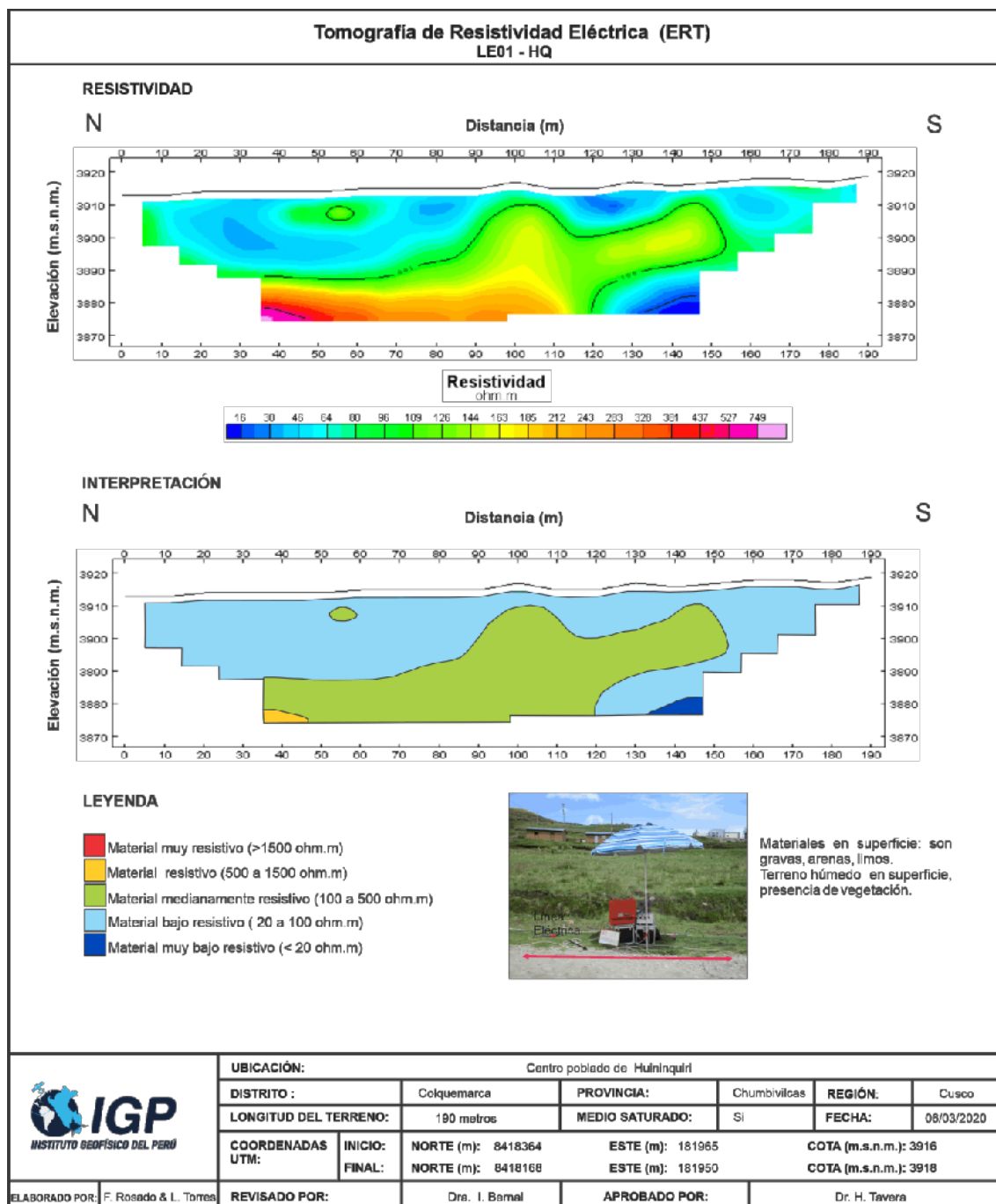


Figura 66. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-HQ.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, se ha identificado la presencia de suelos que responden a frecuencias predominantes de 5.0 y 10 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial, con espesores de 5 a 10 metros, compuesta por suelos blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 152$ y 288 m/s). Asimismo, a nivel superficial se identifica la presencia de suelos moderadamente saturados hasta los 10 y 20 metros de profundidad.



Figura 67. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 67, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.1 y 0.2 segundos con amplificaciones de hasta 3.5 veces. Estas características del suelo influyen en el deterioro de las viviendas de adobe; a lo cual, se suma el efecto de las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, pudiendo acelerar este proceso.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Huiniquiri, predominan suelos blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 152$ y 288 m/s), con saturación debido a la presencia de terrenos de cultivos y riachuelos, que contribuyen a que el material constructivo predominante (adobe) se humedezca.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración del suelo generada, por el paso de camiones de carga pesada, provocan un incremento en el factor de la amplificación de 2.2 veces que se enmascara con las altas amplificaciones que experimentaría este suelo al periodo de 0.2 segundos. En este escenario, los suelos blandos, saturados de agua y las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, serían factores que contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE PUMAPUQUIO

4.10.- Localidad de Pumapuquio

La localidad de Pumapuquio, se ubica en el distrito de Capacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 68). Se encuentra a una altitud promedio de 4301 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Ccapi; por el sur con el distrito de Colquemarca; al este con los distritos de Accha y Omacha y al oeste, con los distritos de Ccapi y Mara. Geológicamente, el área de estudio está sobre el grupo Puno, constituida por areniscas y conglomerados masivos con clastos volcánicos y de cuarcita. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:3000, sobre un área total de 0.60 km².

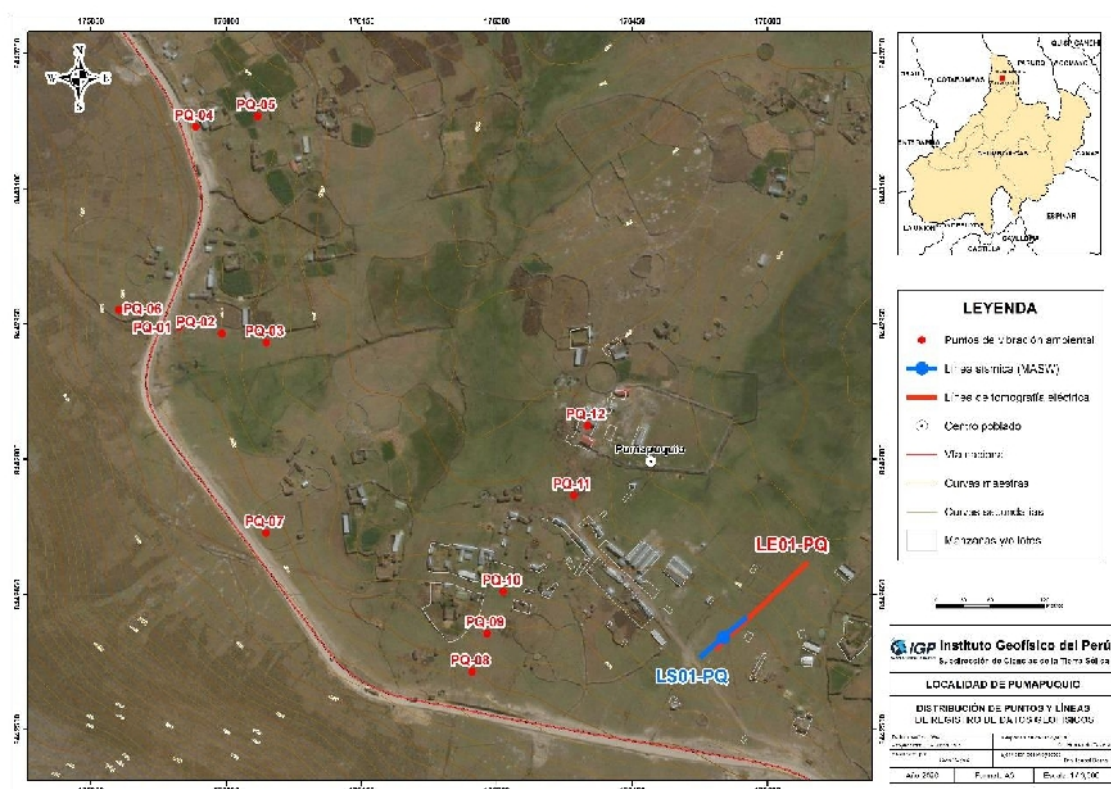


Figura 68. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Pumapuquio.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Pumapuquio, *ver* Figura 68 y Tabla 21. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método

Tabla 21: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Puma-puquio	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-PQ	176525	8442580	4297	3	69
	176577	8442625	4290		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-PQ	176645	8442686	4282	10	140
	176542	8442588	4292		
Puntos H/V					
PQ-01	175948	8442946	4312		
PQ-02	175995	8442939	4305		
PQ-03	176044	8442929	4300		
PQ-04	175966	8443168	4363		
PQ-05	176034	8443180	4300		
PQ-06	175881	8442965	4319		
PQ-07	176044	8442717	4316		
PQ-08	176272	8442563	4318		
PQ-09	176289	8442606	4310		
PQ-10	176307	8442652	4304		
PQ-11	176385	8442759	4030		
PQ-12	176400	8442837	4290		

b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Pumapuquio, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

. - **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos PQ-01, PQ-02, PQ-03, PQ-08, PQ-10, PQ-11 y PQ-12 distribuidos en la localidad de Pumapuquio, principalmente en la margen derecha de la carretera (Figura 68), permiten identificar las frecuencias predominantes del suelo a 11.0, 6.7, 5.4, 9.7, 6.8, 6.7 y 7.9 Hz, con amplificaciones de 2.9, 4.1, 2.9, 2.7, 2.2, 3.7 y 2.0 veces respectivamente (Figuras 69 y 70). Estos resultados evidencian la presencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor, que presenta moderada consistencia, y mayores amplificaciones hacia el extremo oeste del área de estudio.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 70, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados a distancias de 5, 50 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas el suelo responde entre 6.0 y 11 Hz con amplificaciones de 4 veces y a distancias de 100 metros, responde a 5.4 Hz con amplificaciones de 2.9 veces.

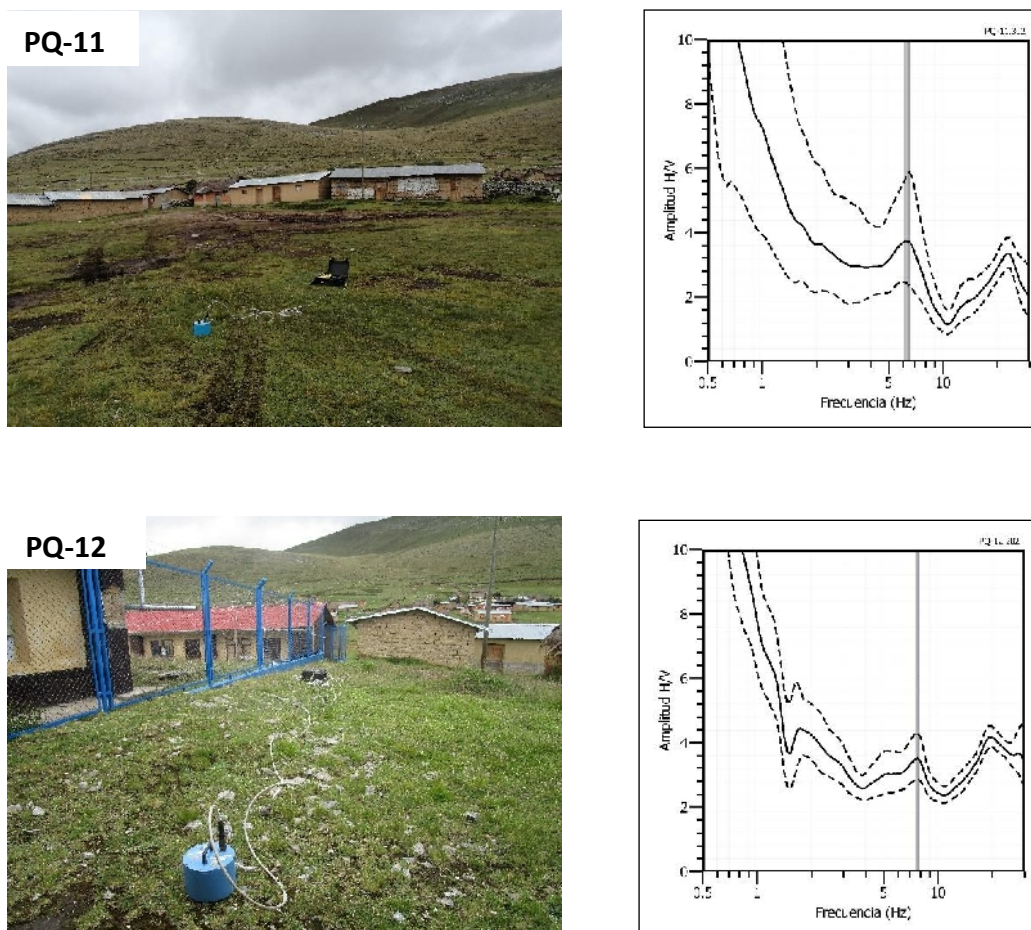
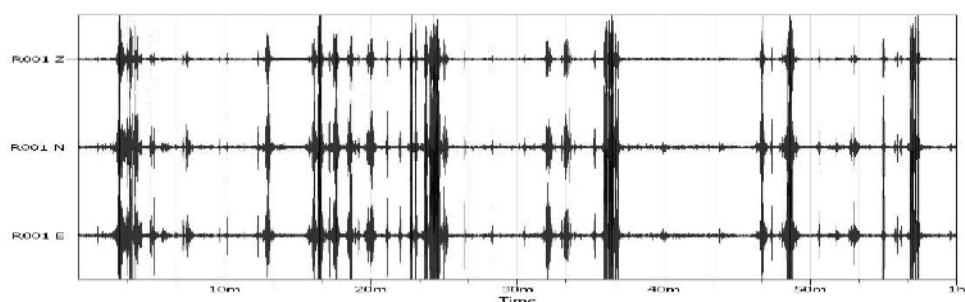
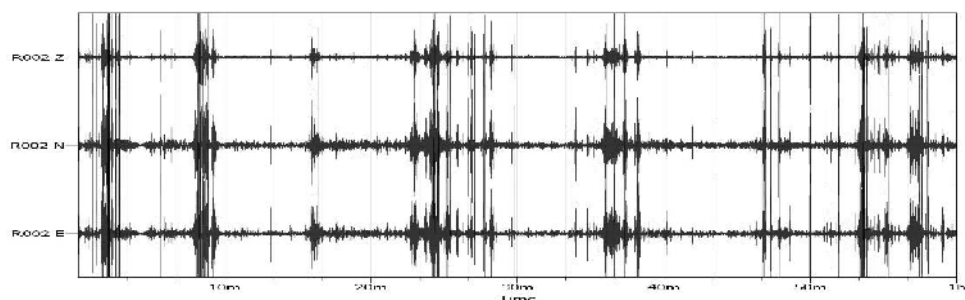


Figura 69. a) Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos PQ-11 y PQ-12, ubicados en la margen derecha del Corredor Vial del sur, en la localidad de Pumapuquio. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

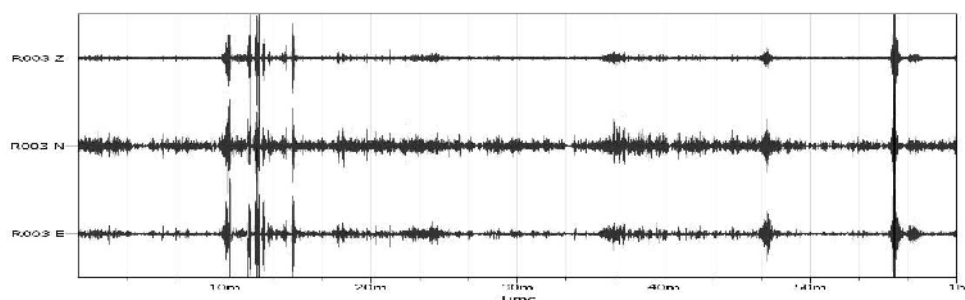
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto PQ-01 (5 m.)



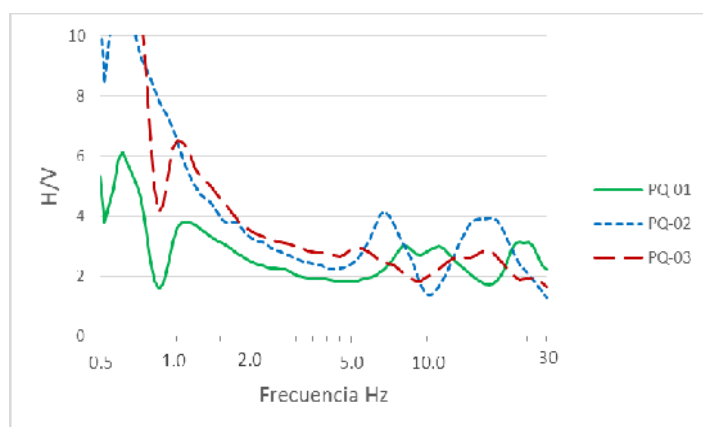
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto PQ-02 (50 m.)



Registro del paso de camiones encapsulados con carga en el punto PQ-03 (100 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
PQ-01	11.0	0.48	2.96	0.1
PQ-02	6.74	0.21	4.13	0.1
PQ-03	5.40	0.26	2.91	0.2

Figura 70: En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de los camiones encapsulados con carga (PQ-08, PQ-10 y PQ-11) obtenidos a 5, 50 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

. - **Análisis de ondas superficiales**: Línea sísmica LS01-PQ realizada en el extremo sureste de la localidad de Pumapuquio, perpendicular a la carretera, permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 22): la primera, de 7 metros de espesor y velocidades V_s de 146 m/s correspondiendo a suelos blandos; la segunda capa, de 16 metros de espesor con velocidades V_s de 376 m/s, indicando la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 577$ m/s sugiriendo la existencia de suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 71).

Tabla 22. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Pumapuquio	LS01-PQ	146	7	376	16	577	-	289

Suelo blando (Vs < 180 m/s)

Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)

Suelo rígido (350 – 500 m/s)

Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)

Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)

Roca dura (Vs > 1500 m/s)

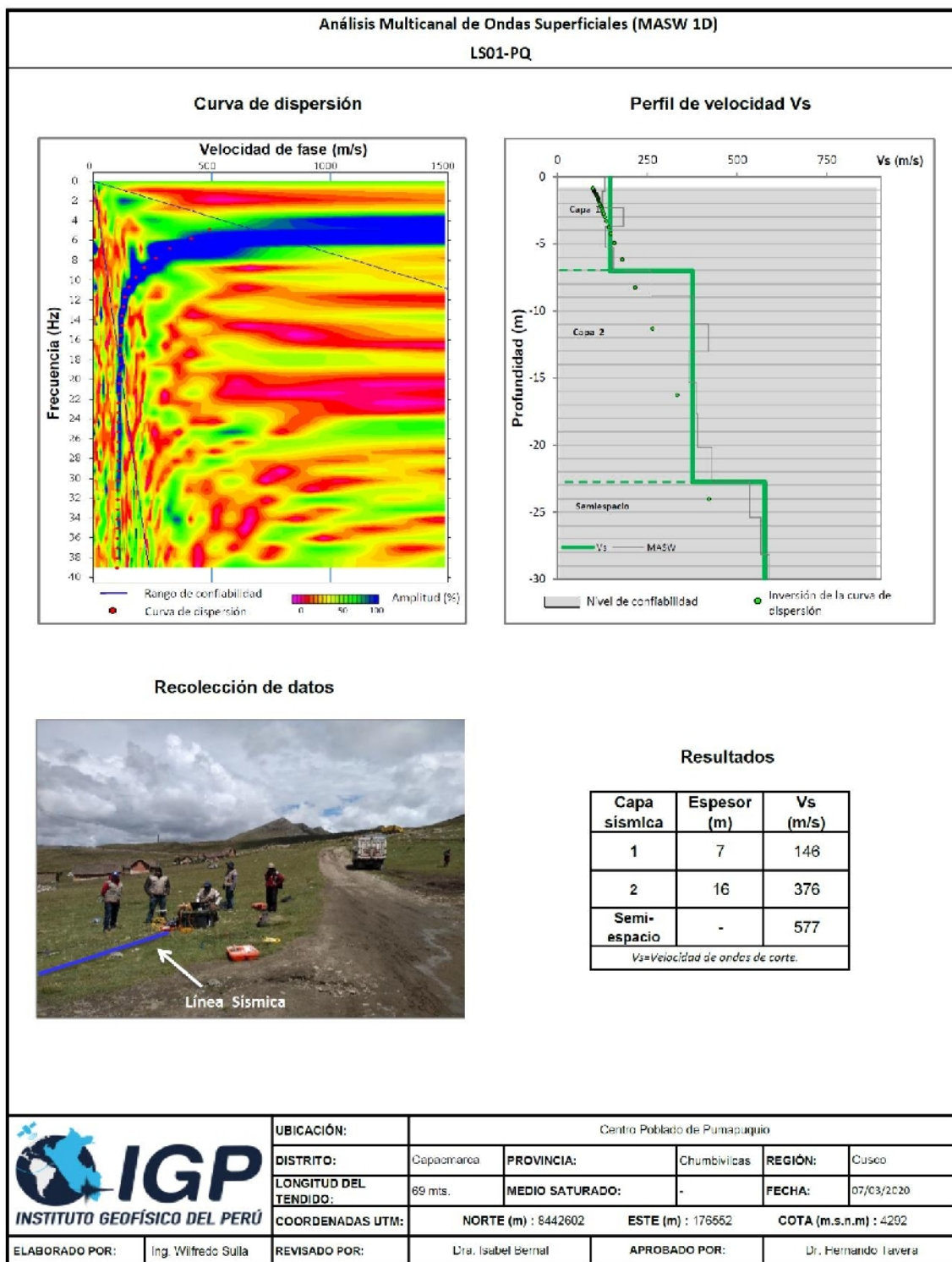


Figura 71. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-PQ realizado en la localidad de Pumapuquio.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea LE01-PQ fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 72. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Pumapuquio, presentan un predominio de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) y presencia de lentes con valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m$), y a más de los 15 metros de profundidad predominan suelos con valores altos resistivos (Figura 73). Estos resultados se deben a que los suelos están compuestos por areniscas, conglomerados masivos con clastos volcánicos (roca intrusiva y subvolcánica) y la presencia de bofedales.



Figura 72. Vista de la línea eléctrica de Pumapuquio (LE01-PQ).

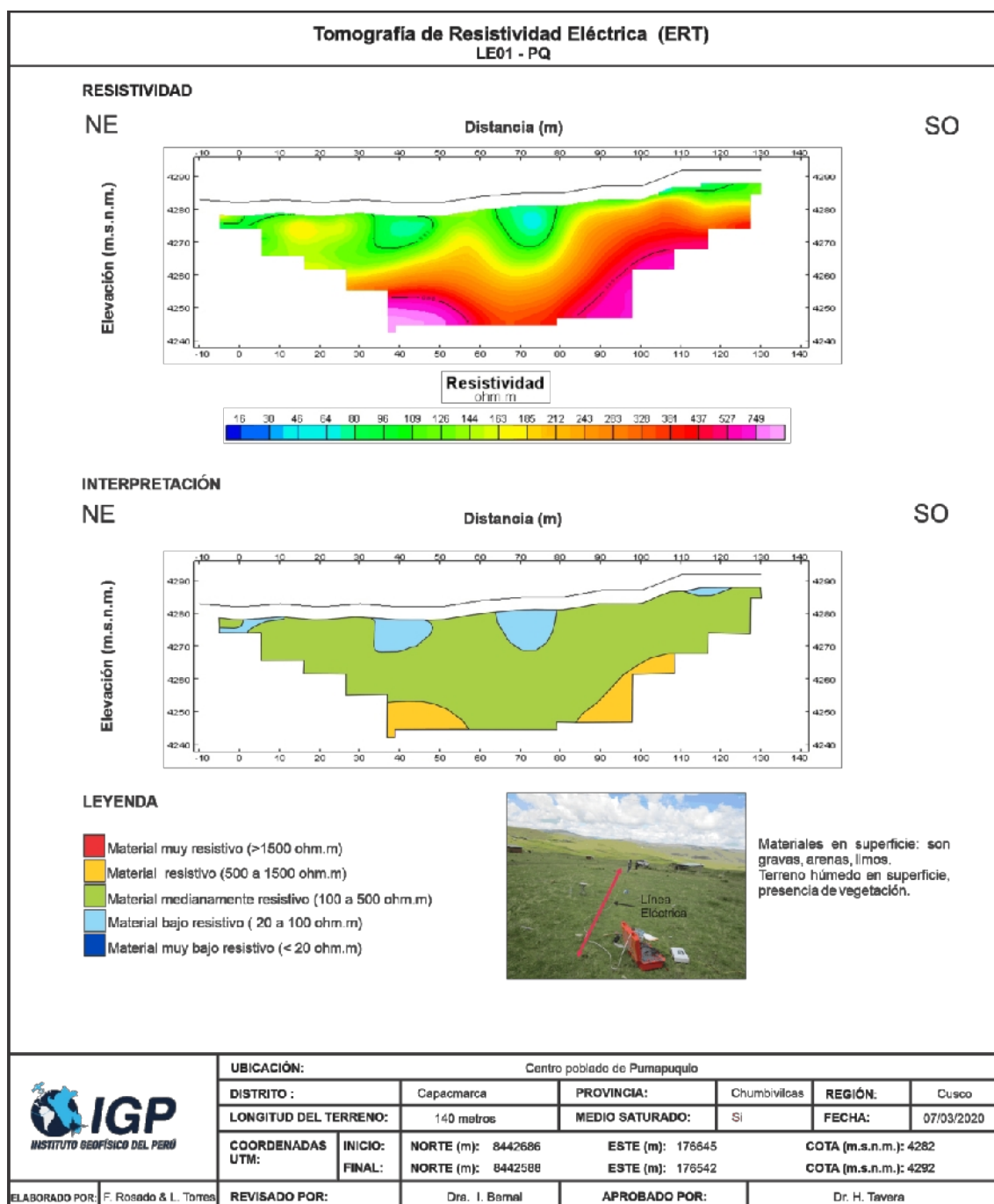


Figura 73. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-PQ.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes mayores a 5Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de 7 a 16 metros de espesor con suelos blandos a rígidos ($V_s = 146$ y 376 m/s), pero hacia su extremo sureste, el medio saturado se encuentra a nivel superficial por la presencia de bofedales.

En la Figura 74, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, con amplificaciones de 3 veces. Estas características del suelo influyen en el deterioro de las viviendas de adobe; a lo cual, se adiciona el efecto de las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones que probablemente acelere este proceso.



Figura 74. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Pumapuquio, predominan suelos blandos a moderadamente rígidos ($V_s = 146$ y 376 m/s), los mismos que se encuentran saturados debido a la presencia de terrenos de cultivos y bofedal, que contribuyen a que el material constructivo predominante (adobe) se humedezca.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones y posiblemente experimentarían asentamiento diferencial con potencial de licuación de suelos.

- La vibración generada, por el paso de camiones de carga pesada, provocan un incremento en el factor de la amplificación que queda enmascarada con las altas amplificaciones que experimentaría el suelo a un periodo de 0.1 segundos. En este escenario, los suelos blandos y la saturados de agua son los factores determinantes para los daños en las viviendas de adobe. Las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones también contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe ubicadas próximas a la carretera.

LOCALIDAD DE OCHO DE AGOSTO

4.11.- Localidad de Ocho de Agosto

La localidad de Ocho de Agosto, se ubica en el distrito de Capacmarca, provincia de Chumbivilcas, región Cusco (Figura 75). Se encuentra a una altitud promedio de 3340 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Ccapi; por el sur con el distrito de Colquemarka; al este con los distritos de Accha y Omacha y al oeste, con los distritos de Ccapi y Mara. Geológicamente, el área de trabajo está sobre depósitos cuaternarios. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:1500, sobre un área total de 0.04 km².

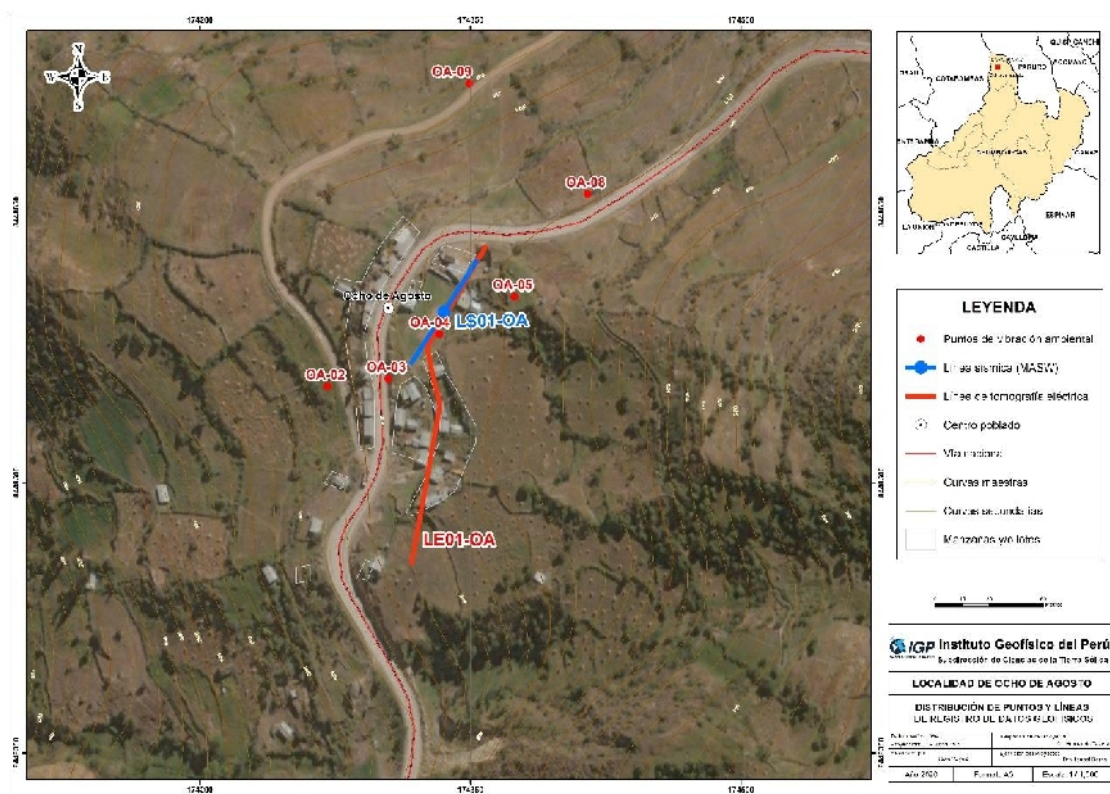


Figura 75. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Ocho de Agosto.

a.) **Adquisición de datos**

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Ocho de Agosto, ver Figura 75 y Tabla 23. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método

Tabla 23: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Ocho de Agosto	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-OA	822483	8448606	3362	3	69
	822522	8448663	3364		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-OA	822527	8448671	3358	10	190
	822481	8448495	3351		
Puntos H/V					
8A-02	822437	8448595	3337.00		
8A-03	822470	8448598	3352.44		
8A-04	822499	8448622	3359.79		
8A-05	822542	8448642	3376.21		
8A-08	822584	8448698	3181.00		
8A-09	822520	8448761	3334.00		

b.) **Resultados obtenidos**

La aplicación de diversos métodos geofísicos, en el estudio de suelos en la localidad de Ocho de Agosto, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

- **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos 8A-02, 8A-03, 8A-04, 8A-05 y 8A-08 distribuidos en la localidad de Ocho de Agosto, cerca de la margen derecha de la carretera (Figura 75), permiten identificar las frecuencias

predominantes del suelo a 6.7, 3.6, 3.4, 3.1 y 7.7 Hz, con amplificaciones máximas relativas de 5.0, 4.5, 2.9, 3.0 y 4.0 veces respectivamente (Figuras 76 y 77). Estos resultados evidencian la existencia de una capa sedimentaria superficial de espesor variable, el cual se incrementa conforme se tiende hacia el extremo SE del área de estudio. Asimismo, las mayores amplificaciones del suelo se presentan próximas a la carretera.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 77, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados, a distancias de 1 y 50 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde entre 3.5 y 6.7 Hz, con amplificaciones de 4.5 veces.

Para el punto 8A-08, ubicado a 1 metro de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo influyen a frecuencias de 7.7 Hz (0.12 segundos). Según las razones espectrales obtenidas en este punto, considerando señales del paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, la variación en el factor de amplificación del suelo es de 0.9 veces; es decir, corresponden a un suelo moderadamente compacto y las vibraciones al paso de camiones, solo contribuiría con el deterioro de las viviendas de adobe cercanas a la carretera.

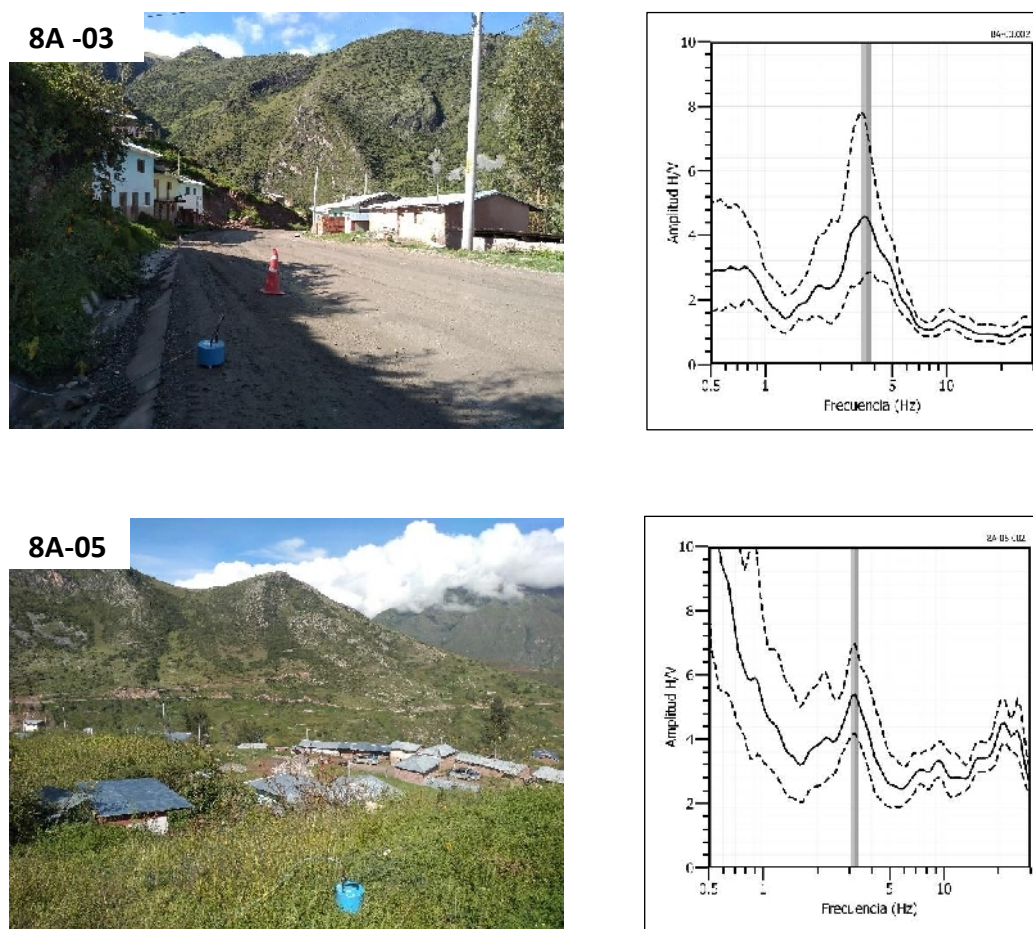
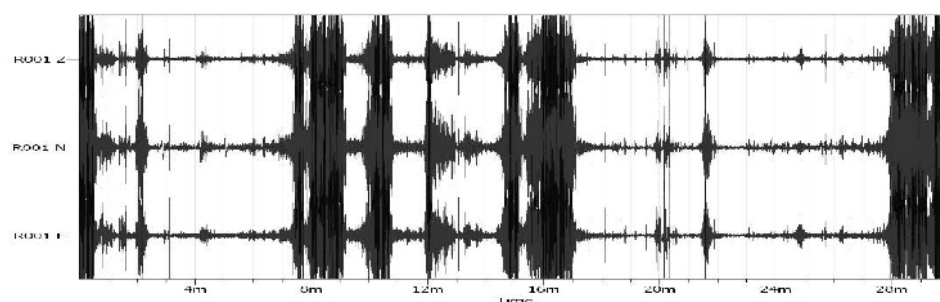
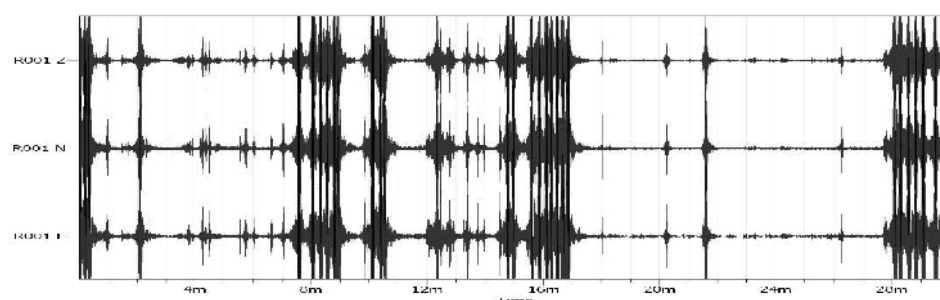


Figura 76: Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos 8A-03 y 8A-05, ubicados en la margen derecha del Corredor Vial del sur, en la localidad de Ocho de Agosto. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

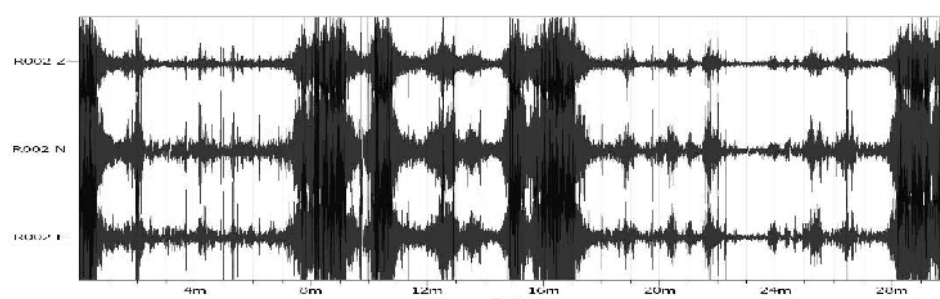
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto 8A-02 (50 m.)



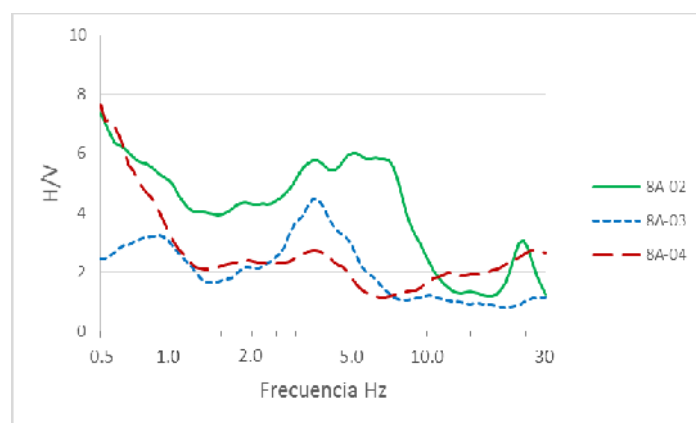
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto 8A-03 (1 m.)



Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto 8A-04 (50 m.)



Razones espectrales

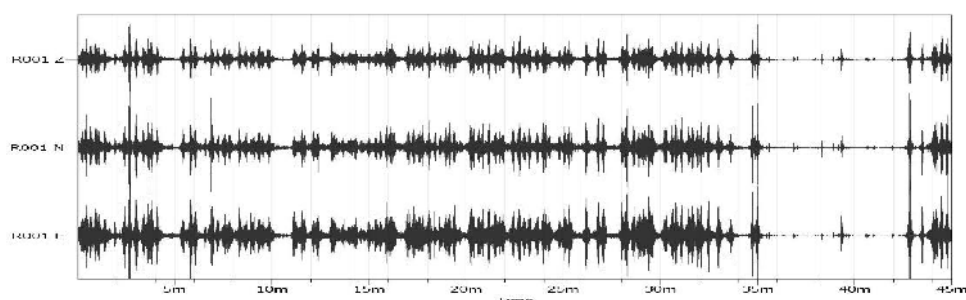


Resultados

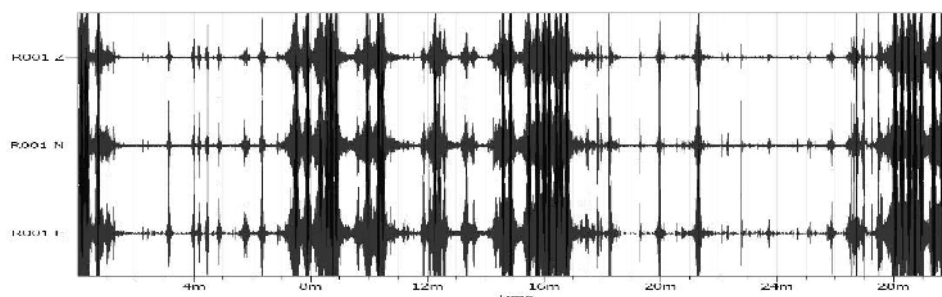
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
8A-02	6.72	0.43	5.17	0.1
8A-03	3.61	0.22	4.54	0.3
8A-04	3.45	0.29	2.93	0.3

Figura 77: En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de los camiones encapsulados con carga (8A-02, 8A-03 y 8A-04) obtenidos a 1 y 50 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

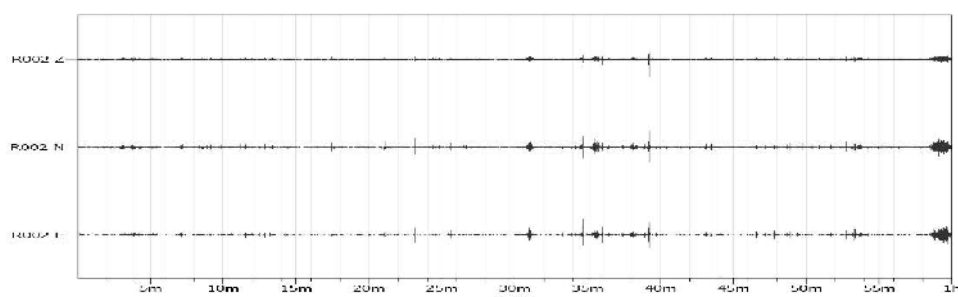
Registros del paso de camiones encapsulados vacíos en el punto 8A-08 (1 m.)



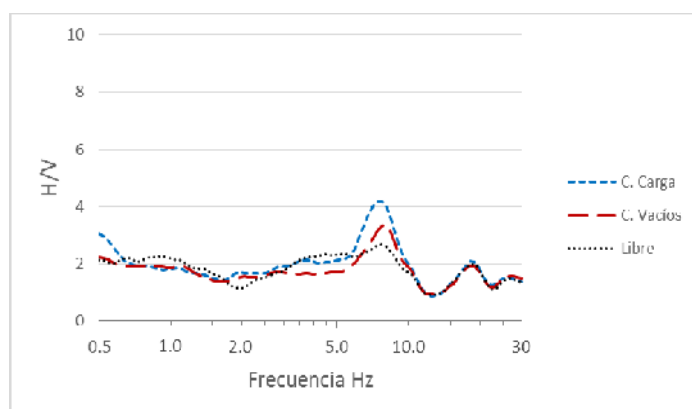
Registros del paso de camiones encapsulados con carga en el punto 8A-08 (1 m.)



Registros sin el paso de vehículos en el punto 8A-08 (1 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Carga	7.72	0.63	4.10	0.1
C. Vacíos	7.90	0.73	3.44	0.1
Libre	7.71	0.26	3.11	0.1

Figura 77: ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de camiones encapsulados vacíos, con el paso de camiones encapsulados con carga y sin el paso de vehículos (8A-08) obtenidos a 1 metro de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

- . - **Análisis de ondas superficiales**: Línea sísmica LS01-OA realizada en la zona central de la localidad de Ocho de Agosto, paralela a la carretera. Este perfil permite identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 24): la primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 265 m/s indicando la existencia de suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 14 metros de espesor con velocidades V_s de 426 m/s, sugieren la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 543$ m/s indicando la presencia de suelos muy rígidos (Figura 78).

Tabla 24. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Ocho de Agosto	LS01-OA	265	9	426	14	543	-	371
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

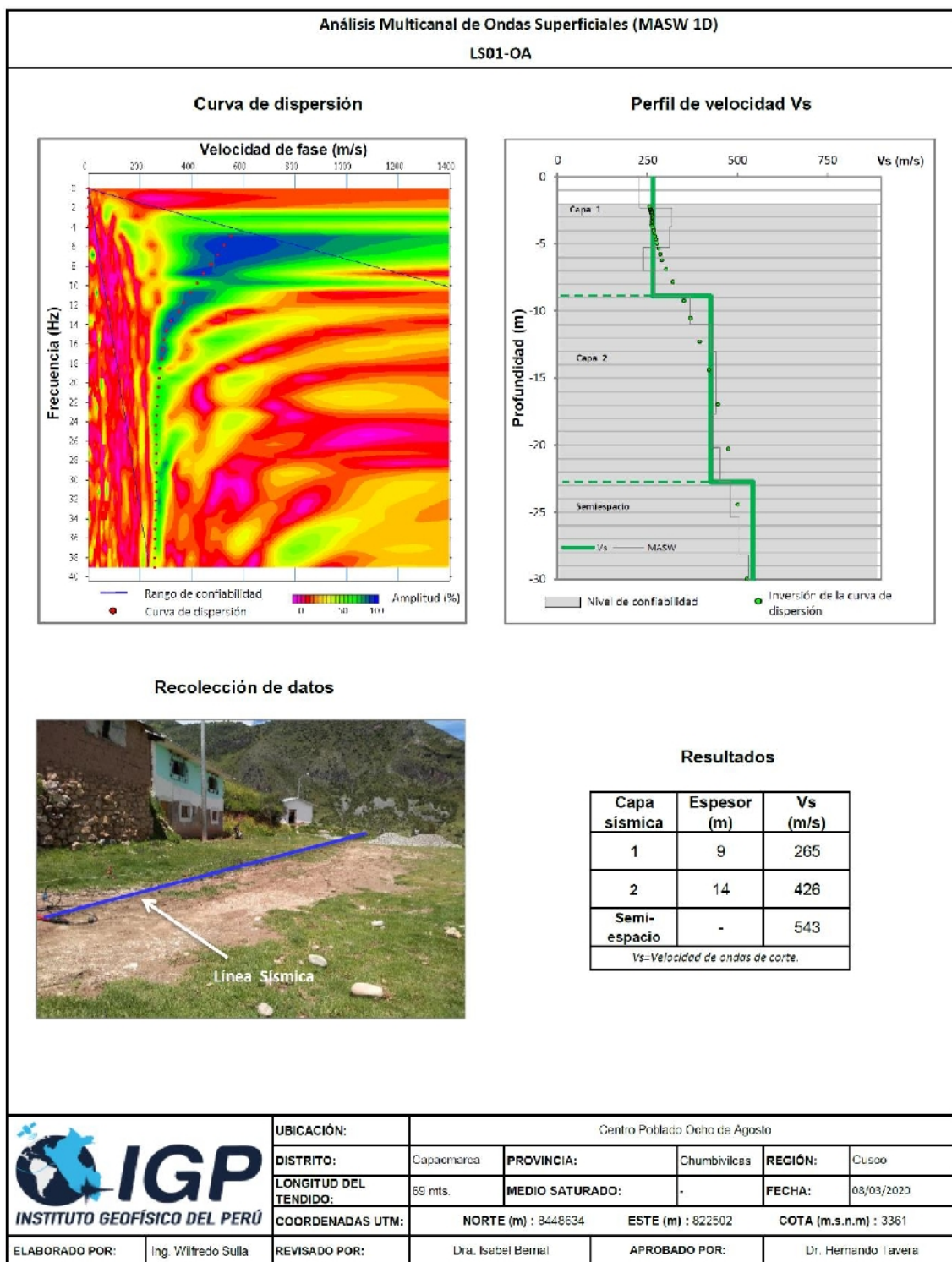


Figura 78. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-OA, realizado en la localidad de Ocho de Agosto.

. - **Tomografía eléctrica**: La línea LE01-OA, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 79. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Ocho de Agosto, presentan el predominio de valores bajo resistivos ($< 100 \Omega.m$), además de valores medianamente resistivos ($> 100 \Omega.m$) distribuidos de manera sectorizada a lo largo de la línea a niveles superficiales (Figura 80). Estos resultados evidencian que los suelos, gravosos con matriz areno limosa, presentan alto grado de saturación de agua.



Figura 79. Vista de la línea eléctrica de Ocho de Agosto (LE01-OA).

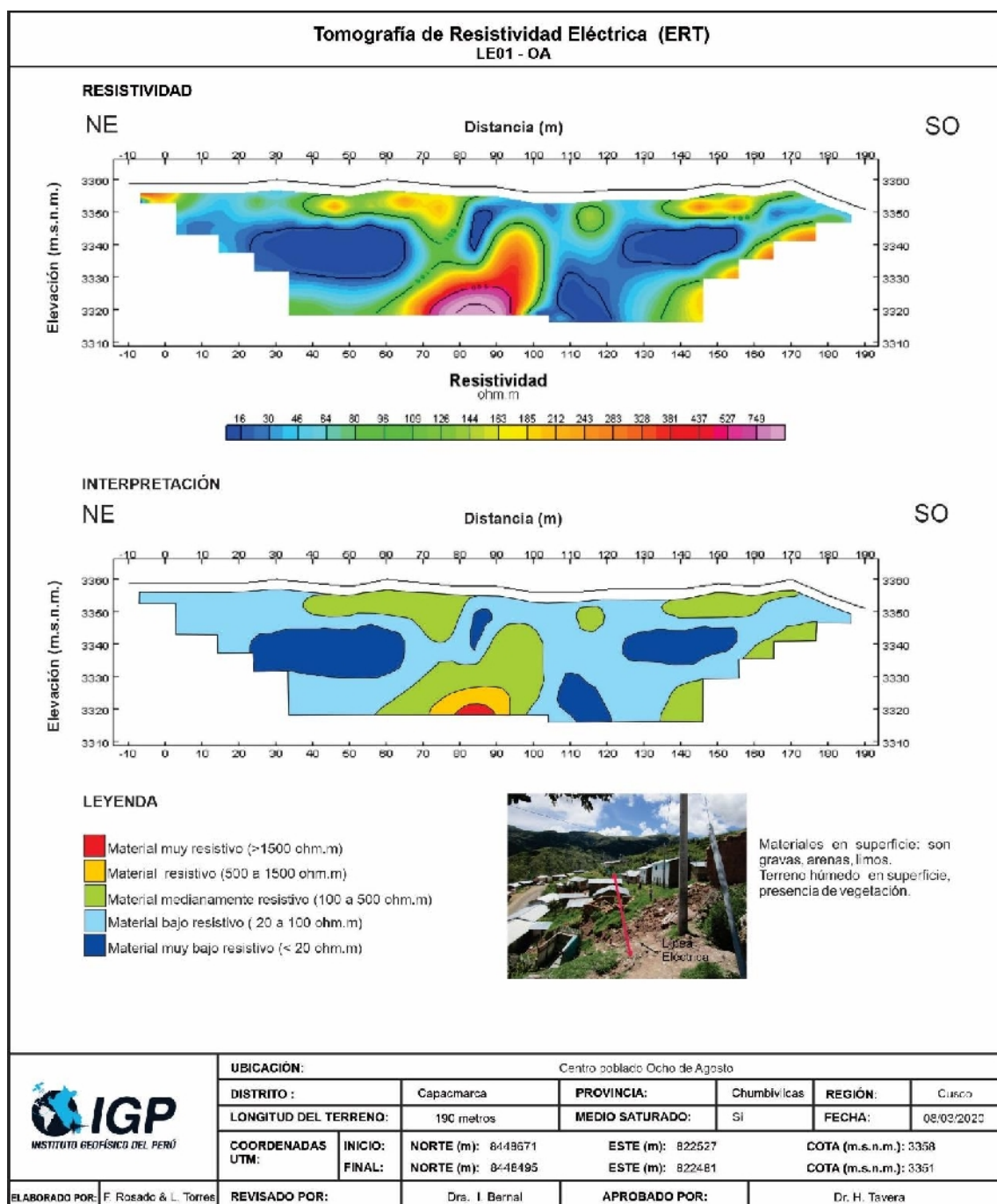


Figura 80. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-OA.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 3 a 7 Hz (F_0), indicando la existencia de una capa sedimentaria superficial de 9 a 14 metros de espesor, correspondiente a suelos moderadamente rígido a rígido ($V_s = 265$ y 426 m/s), pero con suelos saturados como producto del riego por gravedad y la existencia de puquiales, lo cual genera deslizamientos que han ocasionado daños a las viviendas.



Figura 81. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 81, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.1 y 0.3 segundos con amplificaciones de 4.0 veces lo que evidencia que los suelos no son homogéneos. Las viviendas de adobe asentadas sobre suelos en donde se observa las mayores amplificaciones, al

paso de camiones, serán más susceptibles a sufrir daños por el sacudimiento de suelo, a lo que se suma la antigüedad y tipo de construcción.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Ocho de Agosto, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 265$ y 426 m/s), pero saturados debido a la presencia de puquiales producto del riego, que contribuyen a que el material constructivo predominante de la zona de estudio (adobe) se humedezca.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración generada, por el paso de camiones de carga pesada, provocan el incremento en el factor de la amplificación del suelo en 0.9 veces, aunque queda enmascarada con las altas amplificaciones que experimentaría este suelo para periodos dominantes de 0.1 y 0.3 segundos. En este escenario, los suelos moderadamente rígidos, al estar saturados de agua y sometido a las constantes vibraciones generadas por el paso de camiones, contribuyen en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE CCOYABAMBA

4.12.- Localidad de Ccoyabamba

La localidad de Ccoyabamba, está ubicada en el distrito de Ccapi, provincia de Paruro, región Cuzco (Figura 82). Se encuentra a una altitud promedio de 3798 m.s.n.m. y limita por el norte con el distrito de Huanoquite; por el sur con el distrito de Capacmarca; al este con los distritos de Paccaritambo, Colcha y Accha y al oeste, con el departamento de Apurímac. Geológicamente, el área de estudio se establece sobre la formación Anta, constituida por conglomerados de conos aluviales con intercalaciones de dacitas. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:3000 sobre un área de 0.15 km².

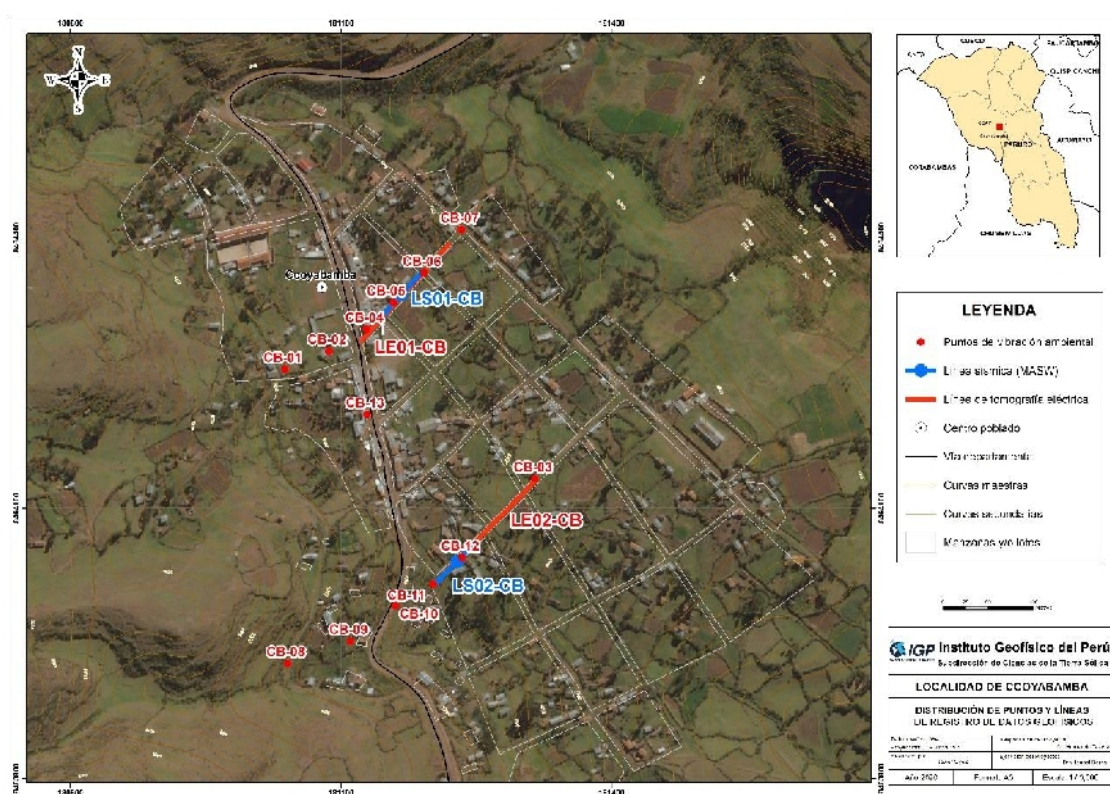


Figura 82. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Ccoyabamba.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Ccoyabamba, *ver* Figura 82 y Tabla 25. A continuación, se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 25: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Ccoya-bamba	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-CB	181144	8464311	3783	3	69
	181191	8464363	3775		
LS02-CB	181251	8464064	3774	3	69
	181206	8464017	3779		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-CB	181121	8464284	3786	10	140
	181221	8464394	3772		
Puntos H/V					
CB-01	181037	8464253	3800		
CB-02	181086	8464274	3796		
CB-03	181315	8464132	3763		
CB-04	181128	8464298	3789		
CB-05	181158	8464327	3786		
CB-06	181191	8464360	3782		
CB-07	181233	8464408	3762		
CB-08	181040	8463927	3815		
CB-09	181110	8463952	3549		
CB-10	181160	8463991	3795		
CB-11	181202	8464015	3781		
CB-12	181234	8464045	3779		
CB-13	181128	8464203	3787		

b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos para en el estudio de suelos en la localidad de Ccoyabamba, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) fueron obtenidas para los puntos CB-02, CB-05 y CB-07, ubicados en el extremo noreste del área de estudio; y CB-08, CB-10 y CB-12, en su extremo sureste, todos en ambas márgenes de la carretera. El análisis de los datos ha permitido identificar hacia el extremo NO del área de estudio, la presencia de frecuencias predominantes del suelo a 4.3, 4.5, 4.2 Hz con amplificaciones relativas de 3.2, 5.7 y 4.6 veces; y hacia el SE, frecuencias de 6.9 y 11.3 Hz, con amplificaciones de 1.7 veces (Figura 83).

Estos resultados sugieren que los suelos de la localidad de Ccoyabamba, hacia su extremo NO presentan menor consistencia y hacia su extremo SE, mayor consistencia.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 84, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de vehículos menores a distancias de 50 y 150 metros de la carretera. Según el análisis de las señales registradas, a distancias cortas, el suelo responde a frecuencias de 4.5 Hz con amplificaciones de 4.6 veces.

Durante el registro de datos en la vía principal o carretera, no cruzaron camiones con carga pesada.

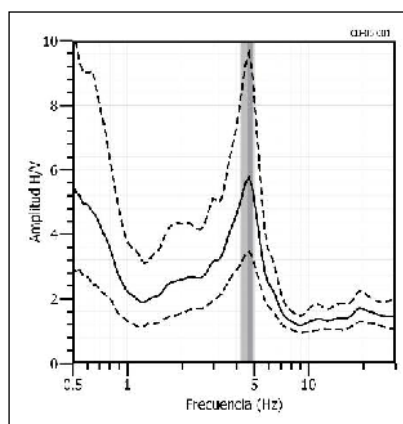
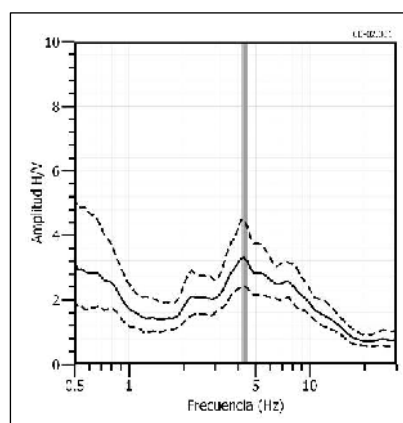
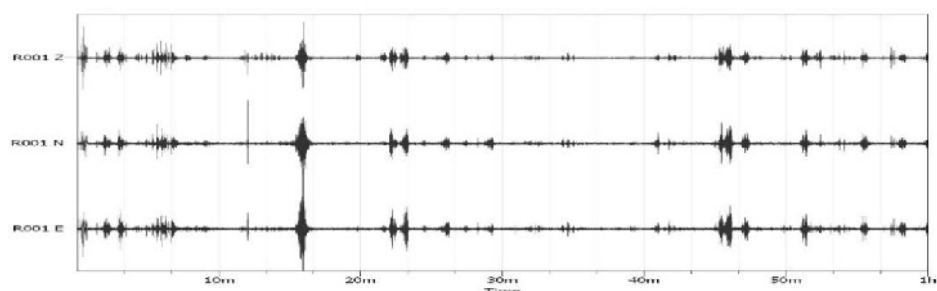
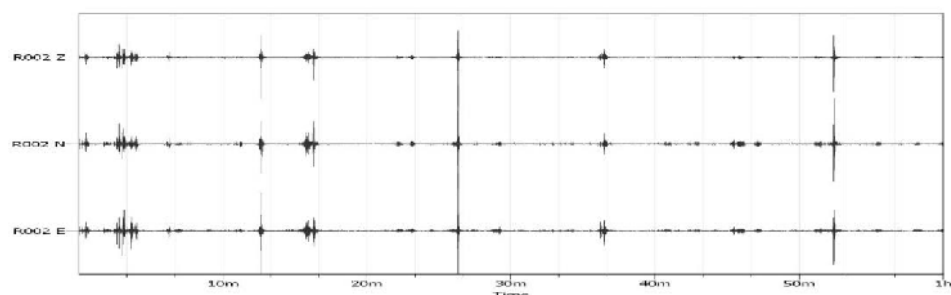


Figura 83. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CB-02 y CB-05, ubicados en ambas márgenes del Corredor Vial del sur, en la localidad de Ccoyabamba. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

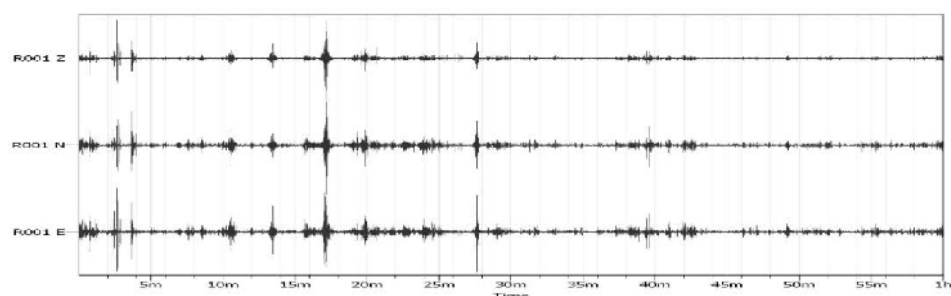
Registros de vibración ambiental en el punto CB-02 (50 m.)



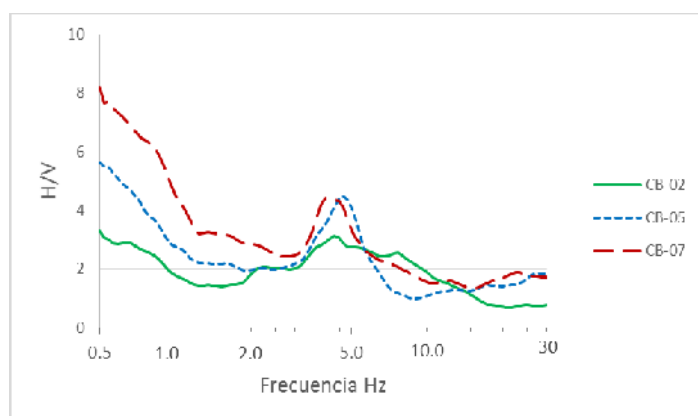
Registros de vibración ambiental en el punto CB-05 (50 m.)



Registros de vibración ambiental en el punto CB-07 (150 m.)



Razones espectrales

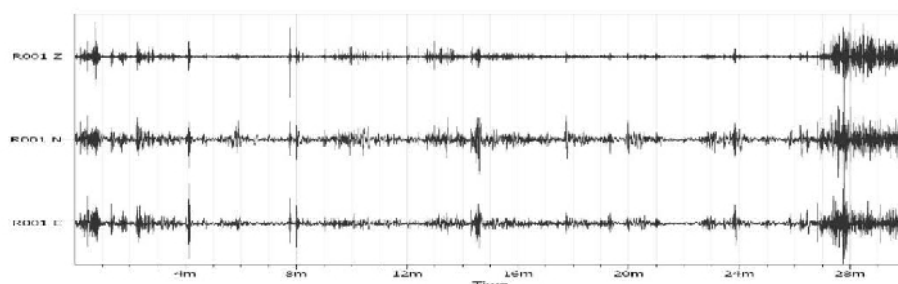


Resultados

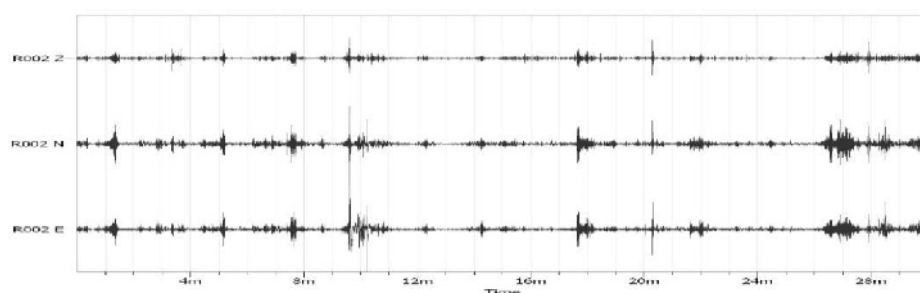
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
CB-02	4.32	0.15	3.28	0.2
CB-05	4.57	0.37	5.69	0.2
CB-07	4.24	0.42	4.64	0.2

Figura 84. En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de vehículos menores (CB-02, CB-05 y CB-07) obtenidos a 50 y 150 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

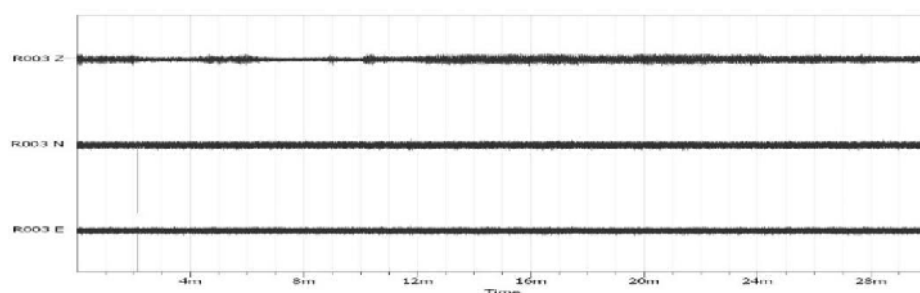
Registros de vibración ambiental en el punto CB-08 (100 m.)



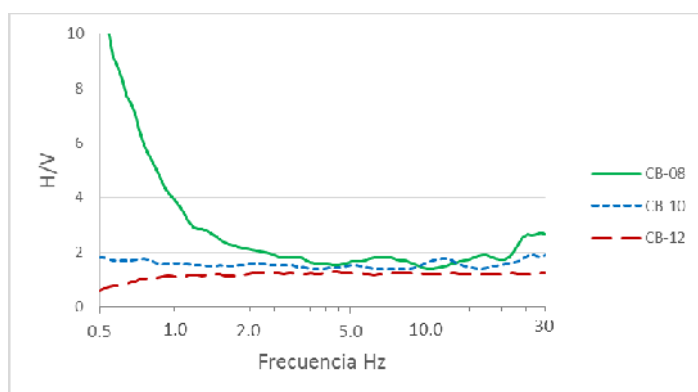
Registros de vibración ambiental en el punto CB-10 (1 m.)



Registros de vibración ambiental en el punto CB-12 (100 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
CB-08	6.93	0.29	1.81	0.1
CB-10	11.32	0.51	1.75	0.1
CB-12				

Figura 84. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de vehículos menores (CB-08, CB-10 y CB-12) obtenidos a 1 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

.- **Análisis de ondas superficiales:** Las líneas sísmicas LS01-CB y LS02-CB fueron realizadas en la zona norte y sur de la localidad de Ccoyabamba, perpendiculares a la carretera. Estos perfiles permiten identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 26): hacia la zona norte, la primera capa tiene 5 metros de espesor y velocidades V_s de 222 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 13 metros de espesor con velocidades V_s de 369 m/s, equivalente a la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 529$ m/s correspondiendo a suelos muy rígidos o rocas blandas. En dirección de la zona sur, la primera capa tiene 9 metros de espesor y velocidades V_s de 231 m/s correspondiendo a suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 17 metros de espesor con velocidades V_s de 469 m/s, define la presencia de suelos rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 637$ m/s correspondiendo a suelos muy rígidos o rocas blandas (Figura 85). Estos resultados sugieren que para la localidad de Ccoyabamba, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos.

Tabla 26. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
Ccoyabamba	LS01-CB	222	5	369	13	529	-	365
Ccoyabamba	LS02-CB	231	9	469	17	637	-	362
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)								

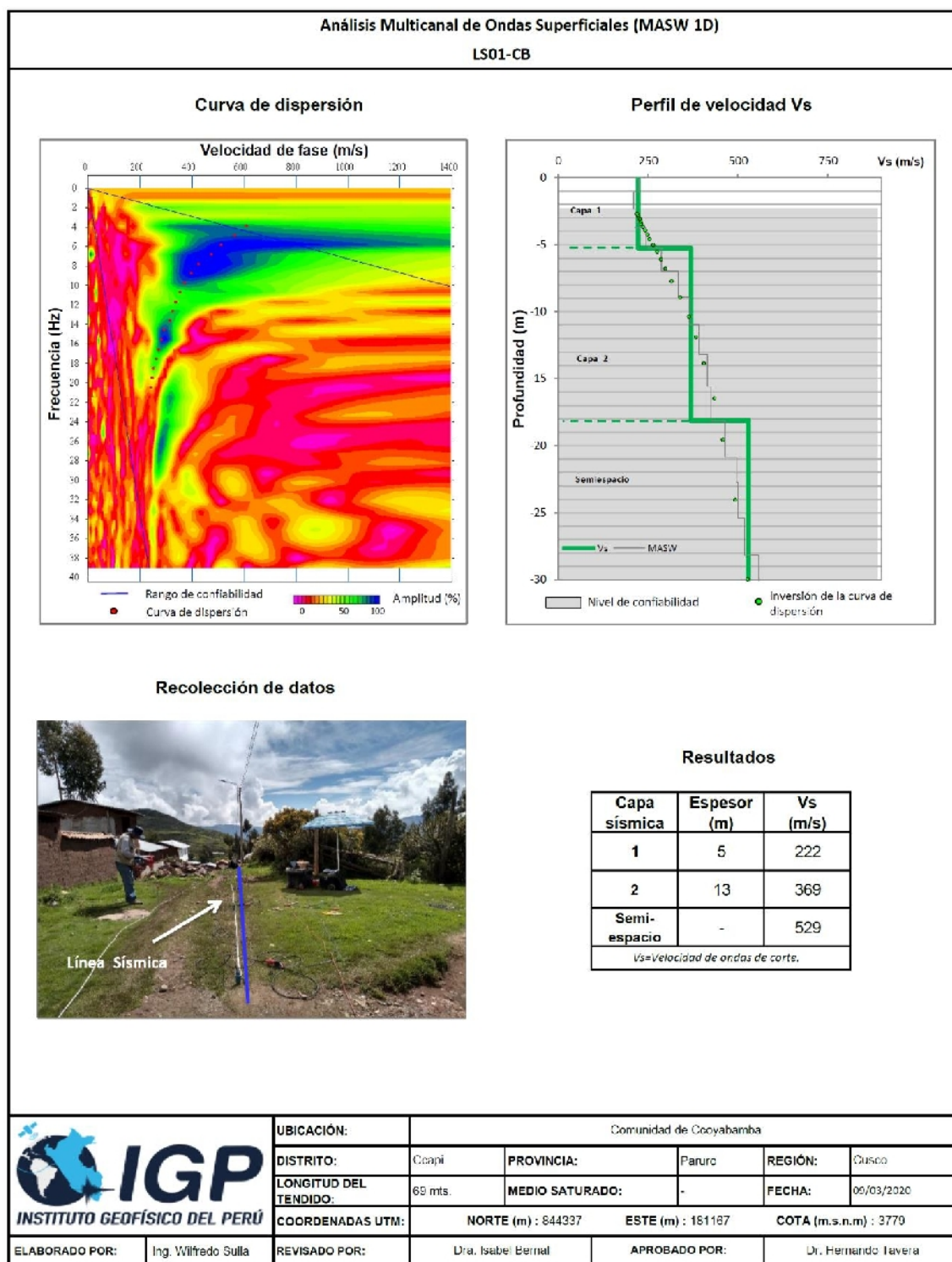


Figura 85. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-CB, realizado en la localidad de Ccoyabamba.

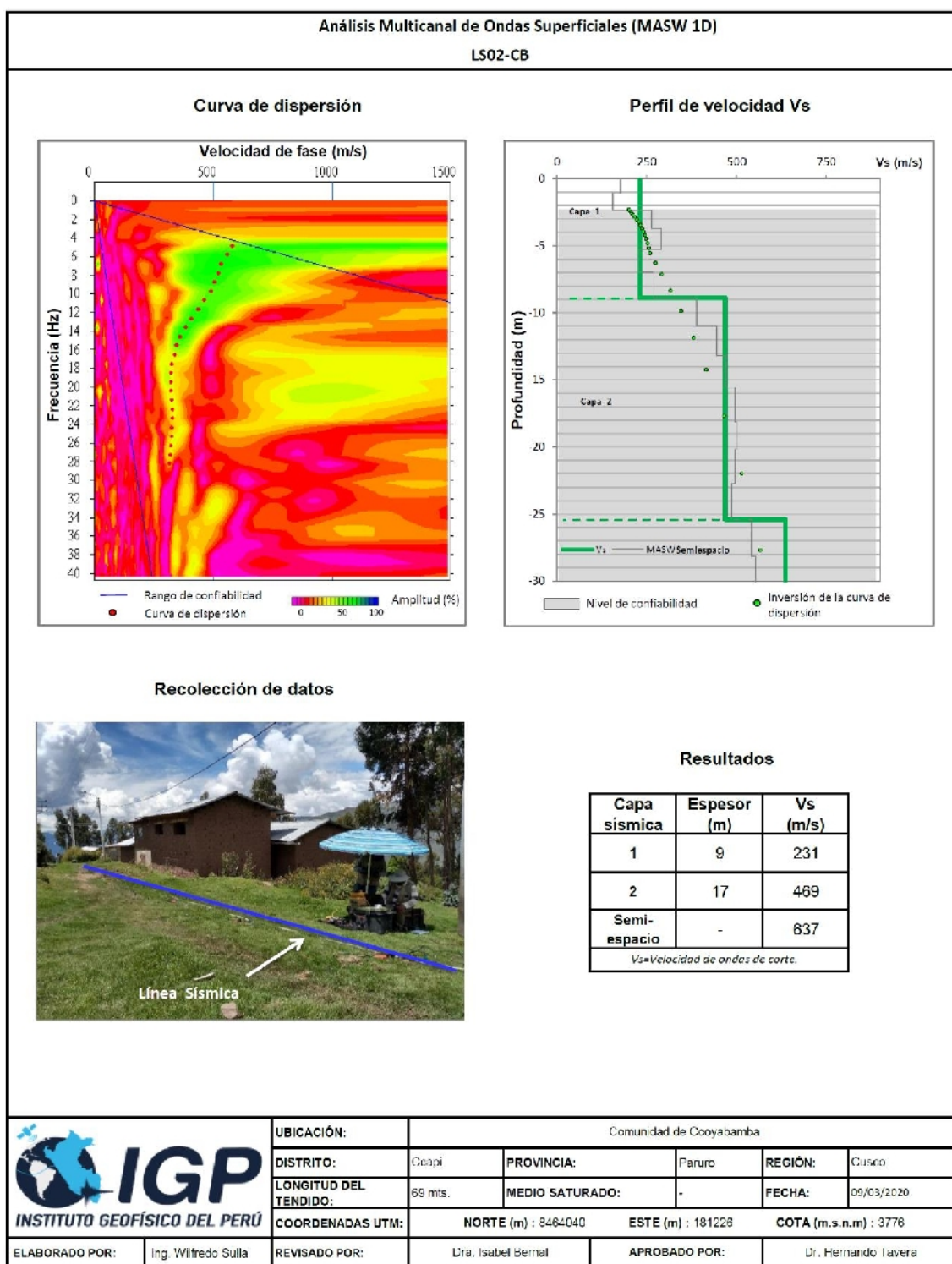


Figura 85. Continuación.../ Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS02-CB, realizado en la localidad de Cooyabamba.

.- **Tomografía eléctrica**: Las líneas LE01-CB y LE02-CB fueron realizadas perpendiculares a la carretera (Figura 86). Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Ccoyabamba, presentan el predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m.$) hasta profundidades de 10 y 20 metros y por debajo de esta profundidad, se identifica valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) que indican la presencia de suelos con baja humedad. Según estos resultados, los suelos están formados por conglomerados de conos aluviales y a mayor profundidad, por dacitas (Figura 87). Por debajo de los 30 metros se presentan valores resistivos altos ($>500 \Omega.m$) que sugieren la presencia de suelos en estado seco.



Figura 86. Vista de las líneas eléctricas de Ccoyabamba (LE01-CB, LE02-CB).

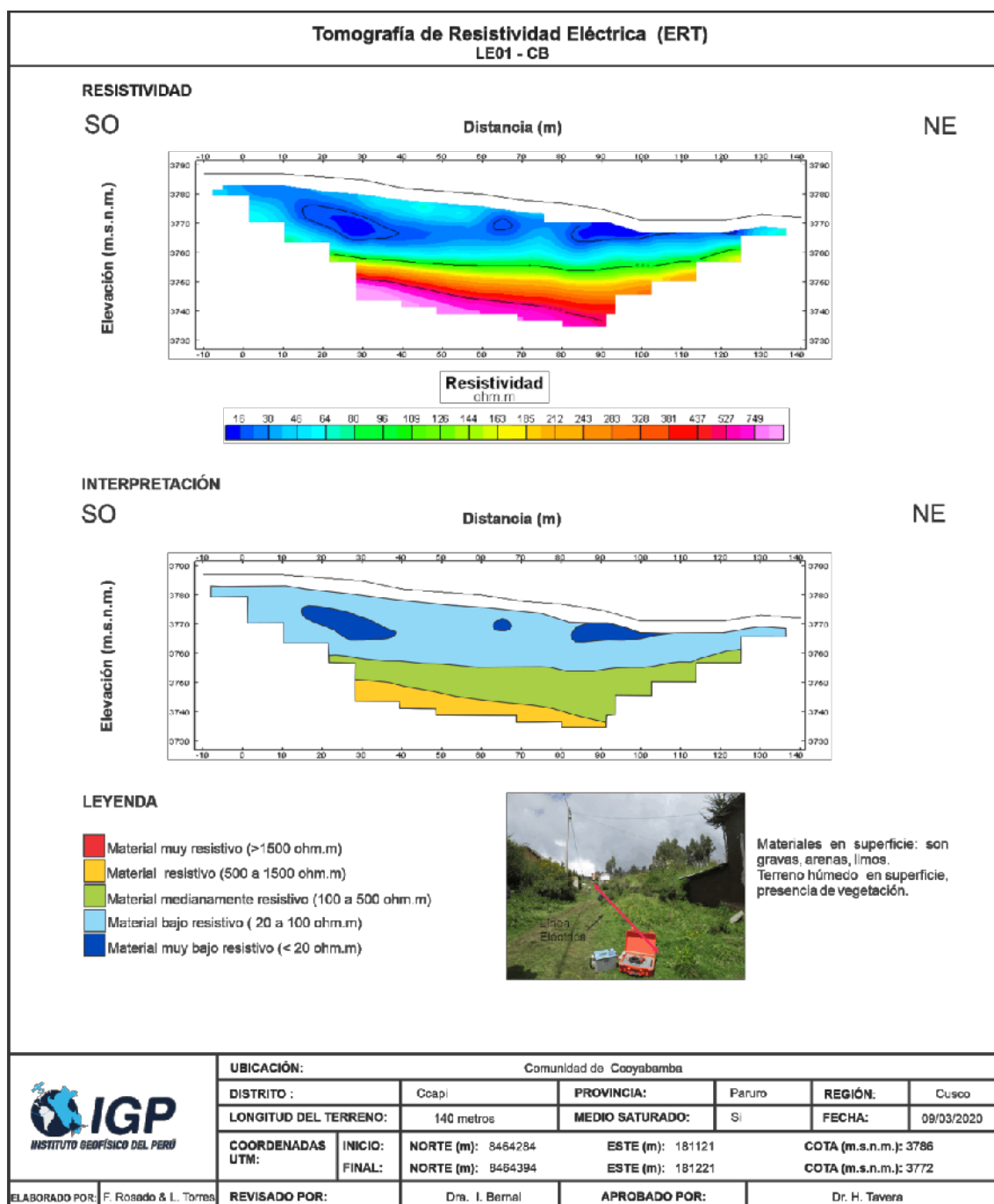


Figura 87. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CB.

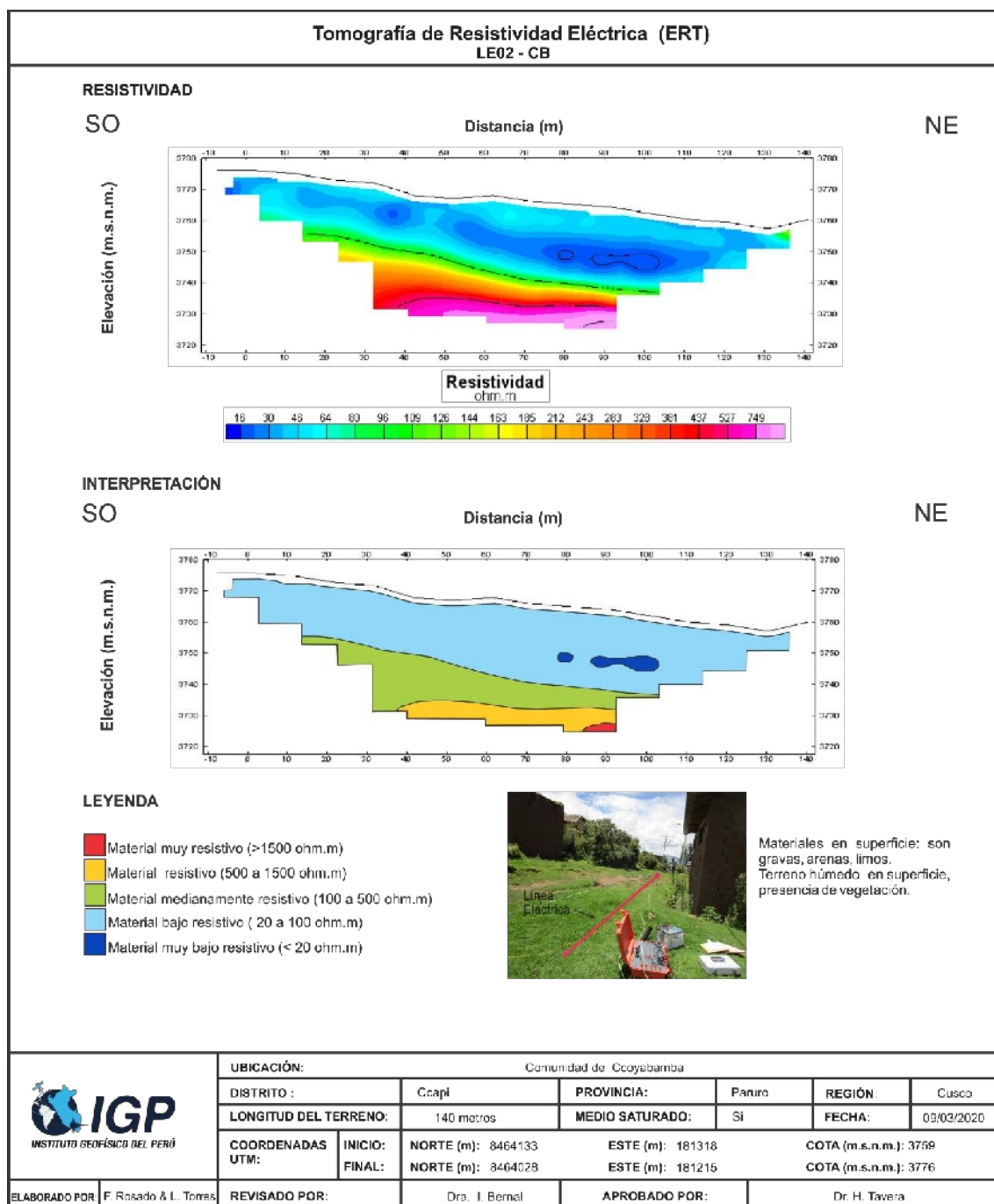


Figura 87. Continuación.../ Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-CB.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 4 a 12 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial con amplificaciones de hasta 4.5 veces para la zona norte. De acuerdo con la información sísmica, la primera capa con espesores de 5 a 10 metros y velocidades de V_s de 220 a 230 m/s, está compuesta por suelos moderadamente rígidos, asentados sobre otra capa de mayor consistencia ($V_s = 369\text{-}469$ m/s). Asimismo, estos suelos se encuentran saturados hasta una profundidad de 20 metros.



Figura 88. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 88, se observa la distribución de los periodos fundamentales del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan los periodos de 0.1 y 0.2 segundos, lo que evidencia

la presencia de una capa superficial con suelos de moderada consistencia asentada sobre otra capa de suelos competentes. La capa superficial y su alto grado de saturación influyen en la formación de las fisuras observadas en las viviendas de adobe. A esto se suma el deterioro de las propias viviendas.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Ccoyabamba, predominan suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 220$ y 460 m/s) con saturación hasta una profundidad de 20 metros, factor que contribuyen a que el material constructivo predominante (adobe) se humedezca.

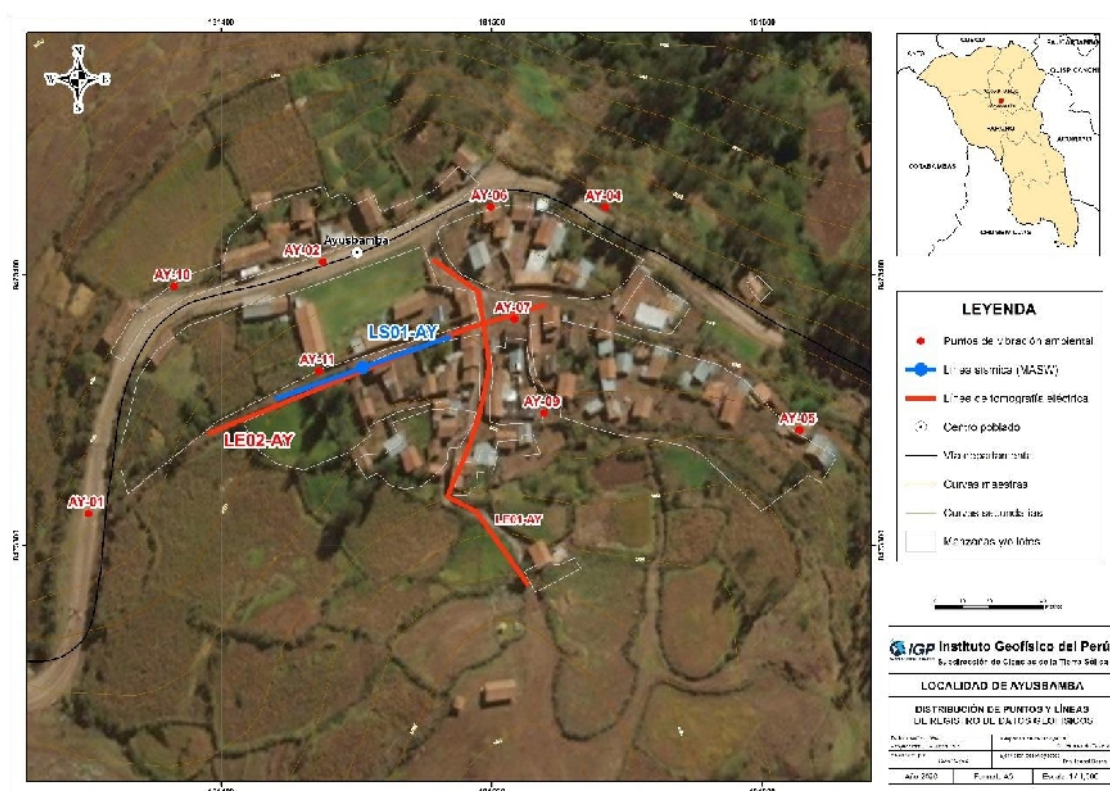
- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, los suelos del extremo norte de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración generada, por el paso de vehículos menores no influye en la amplificación del suelo que responde a periodos de 0.1 y 0.2 segundos. Los suelos moderadamente rígidos se encuentran saturados, siendo este factor el que produce la amplificación del suelo hasta 4.5 veces contribuyendo en el deterioro de las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE AYUSBAMBA

4.13.- Localidad de Ayusbamba

La localidad de Ayusbamba está ubicada en el distrito de Paccaritambo, provincia de Paruro, región de Cuzco (Figura 89). Se encuentra a una altitud promedio de 3423 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Yaurisque; por el sur con los distritos de Ccapi y Colcha; al este con los distritos de Paruro y al oeste, con los distritos de Huanquite y Ccapi. Geológicamente, el área de estudio está sobre la formación Paruro, constituida por conglomerados fluviales gruesos. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:1000, sobre un área total de 0.25 km².



a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizó la adquisición de datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Ayusbamba, ver Figura 89 y Tabla 27. A continuación, se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 27: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Ayus-bamba	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-AY	181485	8473377	3423	3	69
	181420	8473354	3415		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-AY	181514	8473284	3434	10	140
	181479	8473405	3404		
LS02-AY	181394	8473342	3406	10	140
	181520	8473389	3409		
Puntos H/V					
AY-01	181350	8473311	3404		
AY-02	181437	8473404	3415		
AY-03	181542	8473425	3340		
AY-04	181613	8473342	3408		
AY-05	181499	8473425	3409		
AY-06	181508	8473383	3415		
AY-07	181519	8473348	3423		
AY-08	181500	8473343	3418		
AY-09	181382	8473395	3400		
AY-10	181436	8473364	3449		

b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos para el estudio de suelos en la localidad de Ayusbamba, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- **Parámetros dinámicos del suelo:** Las razones (H/V) obtenidas para los puntos AY-06, AY-07, AY-09, AY-10 y AY-11, están distribuidos en la margen derecha de la carretera en la localidad de Ayusbamba. Los resultados indican la presencia de suelos con frecuencias predominantes de 2.4, 2.3, 1.7, 2.5 y 1.5 Hz con amplificaciones de 3.5, 2.3, 2.8, 3.3 y 1.5 veces (Figuras 90 y 91). Estos resultados sugieren la presencia de una capa sedimentaria de gran espesor con amplificaciones de hasta 3.5 veces.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 91, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados a distancias de 1, 40 y 80 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas el suelo responde a 2.4 Hz, con amplificaciones de 2.5 veces y a distancias de 80 metros (extremo sur), el suelo responde a 1.7 Hz con amplificaciones de 2.8 veces.

Para el punto AY-10, ubicado a 1 metro de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo responden a frecuencias de 2.5 Hz (0.4 segundos). En este punto, las razones espectrales obtenidas para las señales registradas al paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental, indican que existe una mínima variación en el factor de amplificación del suelo. De acuerdo con esto, el suelo es compacto y por ello, las vibraciones generadas por el paso de camiones se atenúan rápidamente, sin causar mayor daño en las viviendas de adobe. Sin embargo, a largo plazo podría contribuir en el deterioro de las viviendas de adobe, cercanas a la carretera.

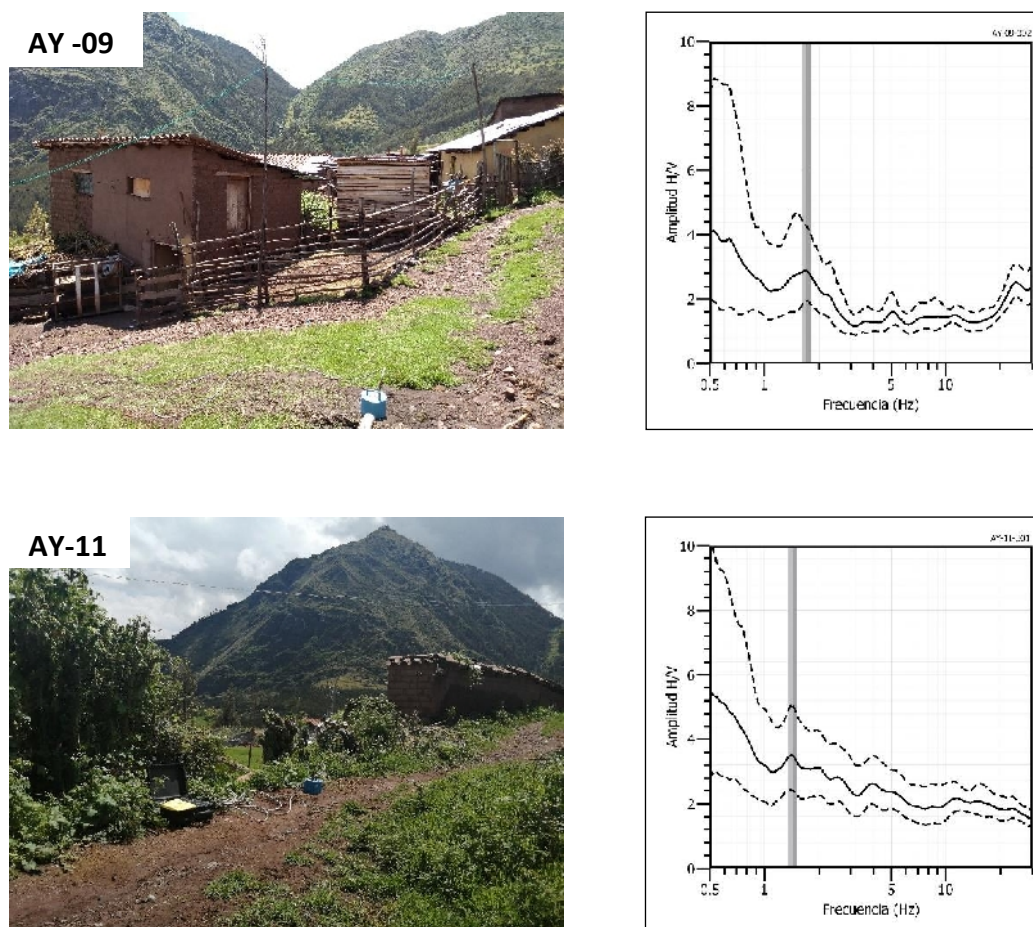
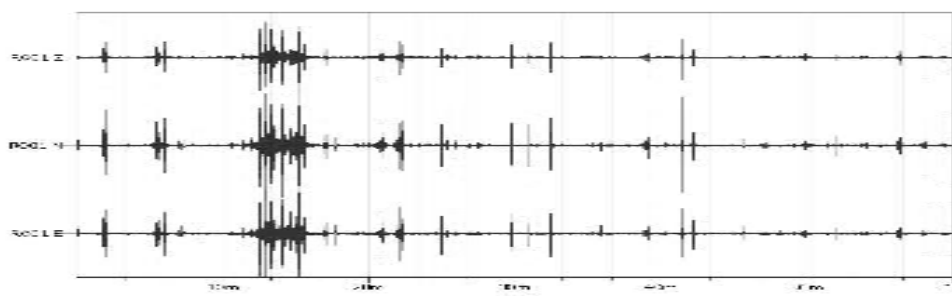
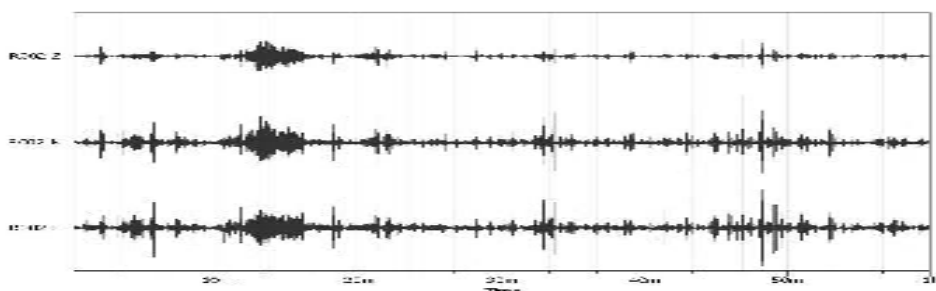


Figura 90. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos AY-09 y AY-11, ubicados a la margen derecha del Corredor Vial del sur, en la localidad de Ayusbamba. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

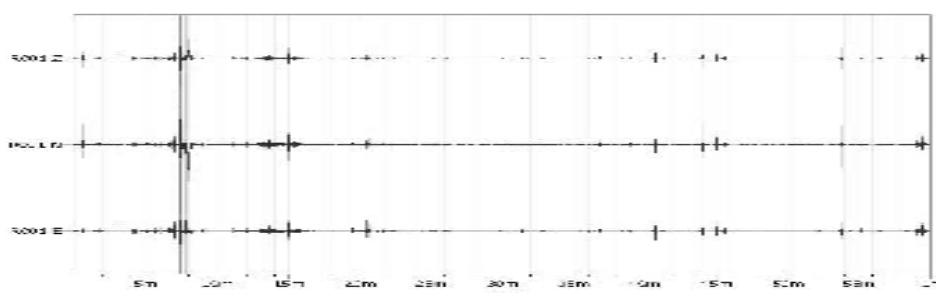
Registros del paso de vehículos con carga ancha en el punto AY-06 (1 m.)



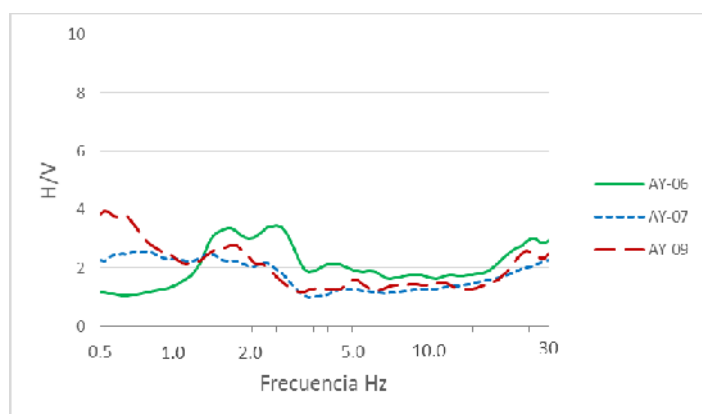
Registros del paso de vehículos con carga ancha en el punto AY-07 (40 m.)



Registros del paso de vehículos con carga ancha en el punto AY-09 (80 m.)



Razones espectrales

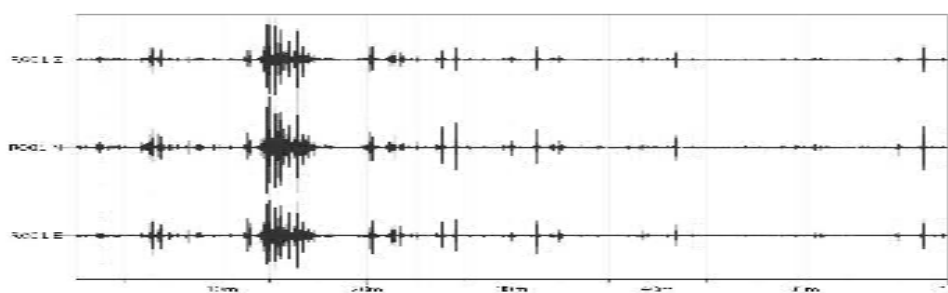


Resultados

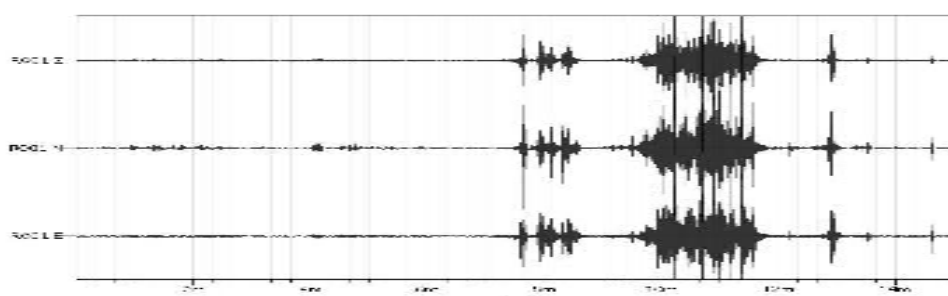
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
AY-06	2.46	0.21	3.51	0.4
AY-07	2.31	0.11	2.34	0.4
AY-09	1.71	0.09	2.86	0.6

Figura 91. En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de vehículos de carga ancha (AY-06, AY-07 y AY-09) obtenidos a 0, 40 y 80 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

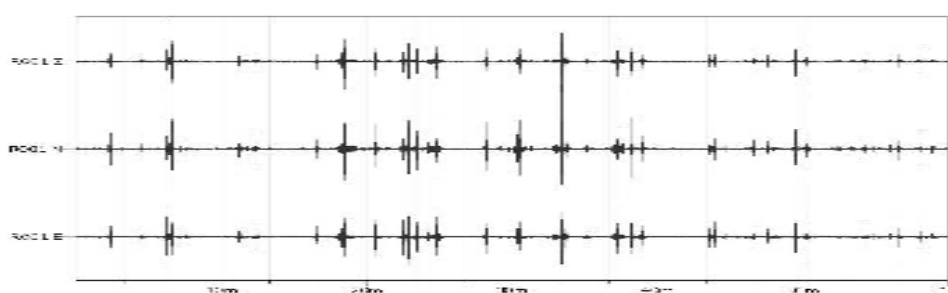
Registros del paso de vehículos con carga ancha en el punto AY-10 (1 m.)



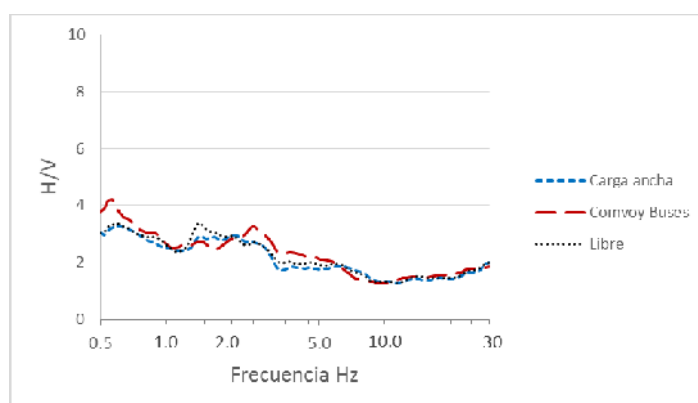
Registros del paso de convoy de buses en el punto AY-10 (1 m.)



Registros sin el paso de vehículos en el punto AY-10 (1 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
C. Ancha	2.52	0.25	2.88	0.4
C. Buses	2.55	0.17	3.33	0.4
Libre	2.44	0.09	3.23	0.4

Figura 91. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, con el paso de vehículos de carga ancha, con el paso de un convoy de buses de transporte de personal y sin el paso de vehículos (AY-10) obtenidos a 1 metro de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

.- **Análisis de ondas superficiales**: La línea sísmica LS01-AY fue realizada en la zona sur de la localidad de Ayusbamba, y sus resultados han permitido identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 28): la primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 320 m/s sugiriendo la existencia de suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 17 metros de espesor con velocidades V_s de 521 m/s, indicando la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 620$ m/s que sugieren la presencia de suelos muy rígidos (Figura 92).

Tabla 28. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie		Profundidad						
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	V_s (m/s)	Esp. (m)	
Ayusbamba	LS01-AY	320	9	521	17	620	-	441
Suelo blando ($V_s < 180$ m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)								

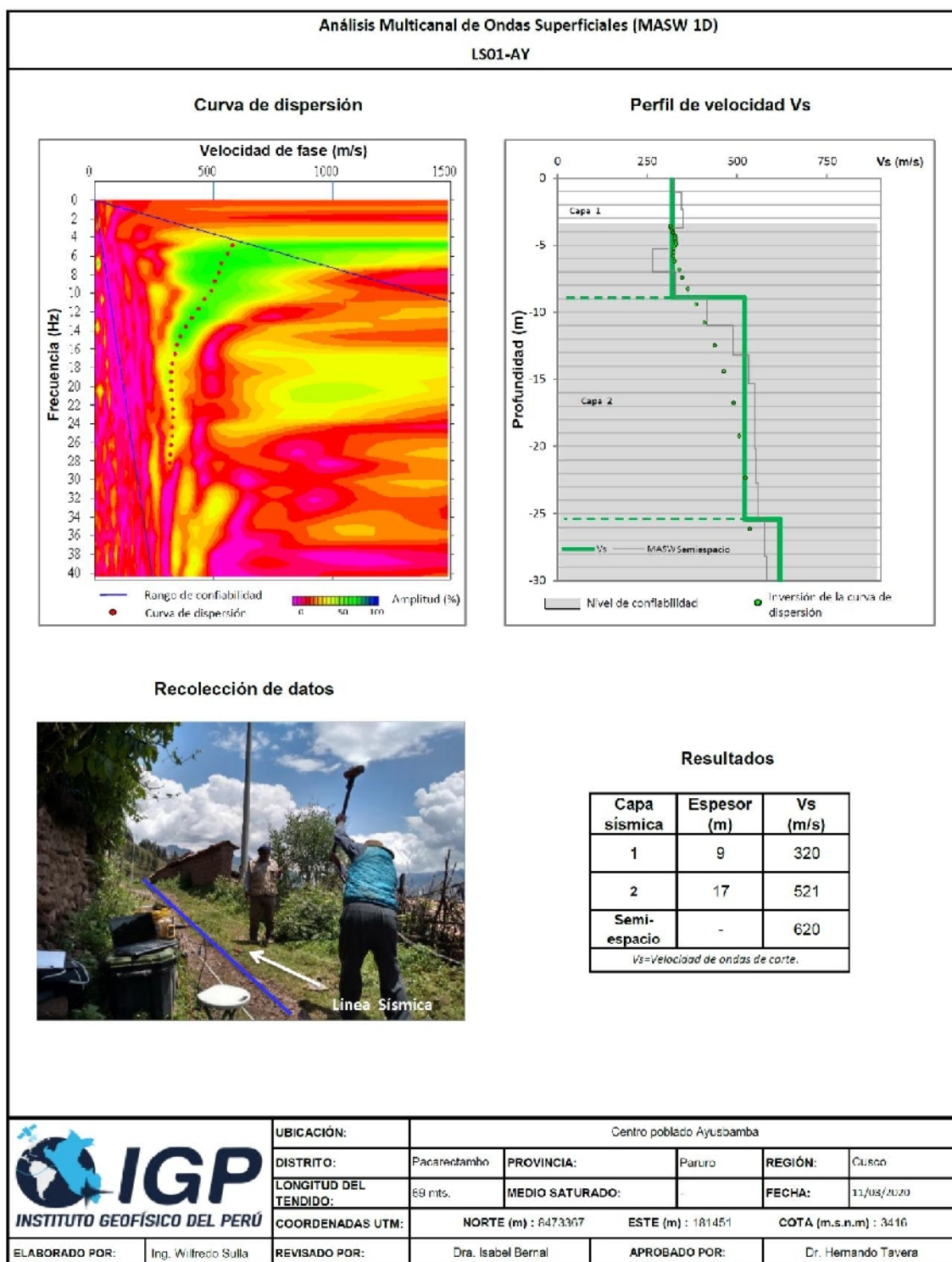


Figura 92. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-AY, realizado en la localidad de Ayusbamba.

.- **Tomografía eléctrica:** Las líneas LE01-AY y LE02-AY, fueron realizadas perpendicular y paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 93. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Ayusbamba presentan un predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m$) y por debajo, se identifica la presencia de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), ver Figura 94. Estos resultados indican la presencia de suelos saturados con espesores de hasta 20 metros por debajo de la zona céntrica del área urbana y conforme se tiende a la periferia (Sur y SO), el espesor disminuye sugiriendo la presencia de una microcuenca que atrapa el agua subterránea.



Figura 93. Vistas de las líneas eléctricas de Ayusbamba (LE01-AY y LE02-AY).

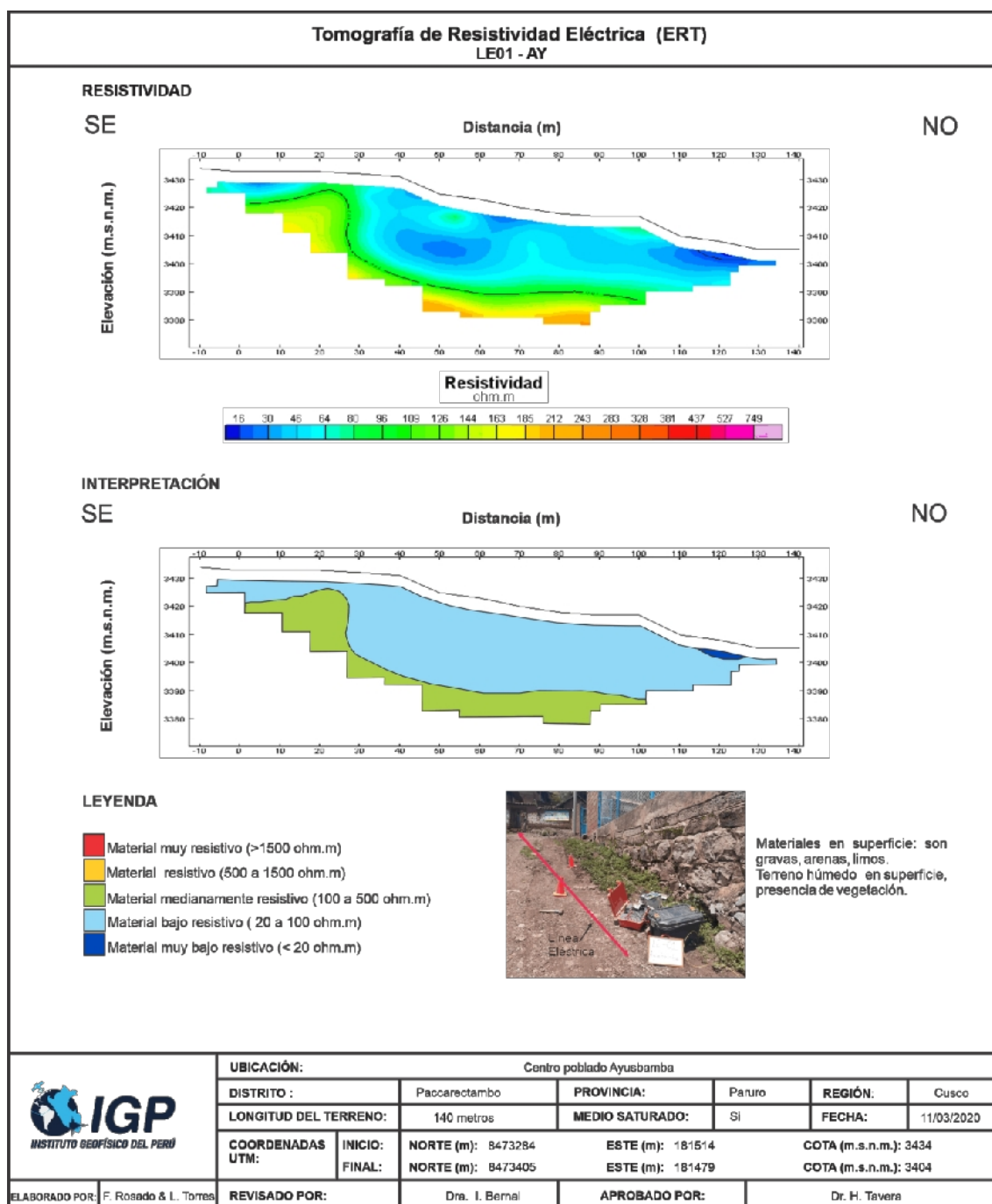


Figura 94. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-AY.

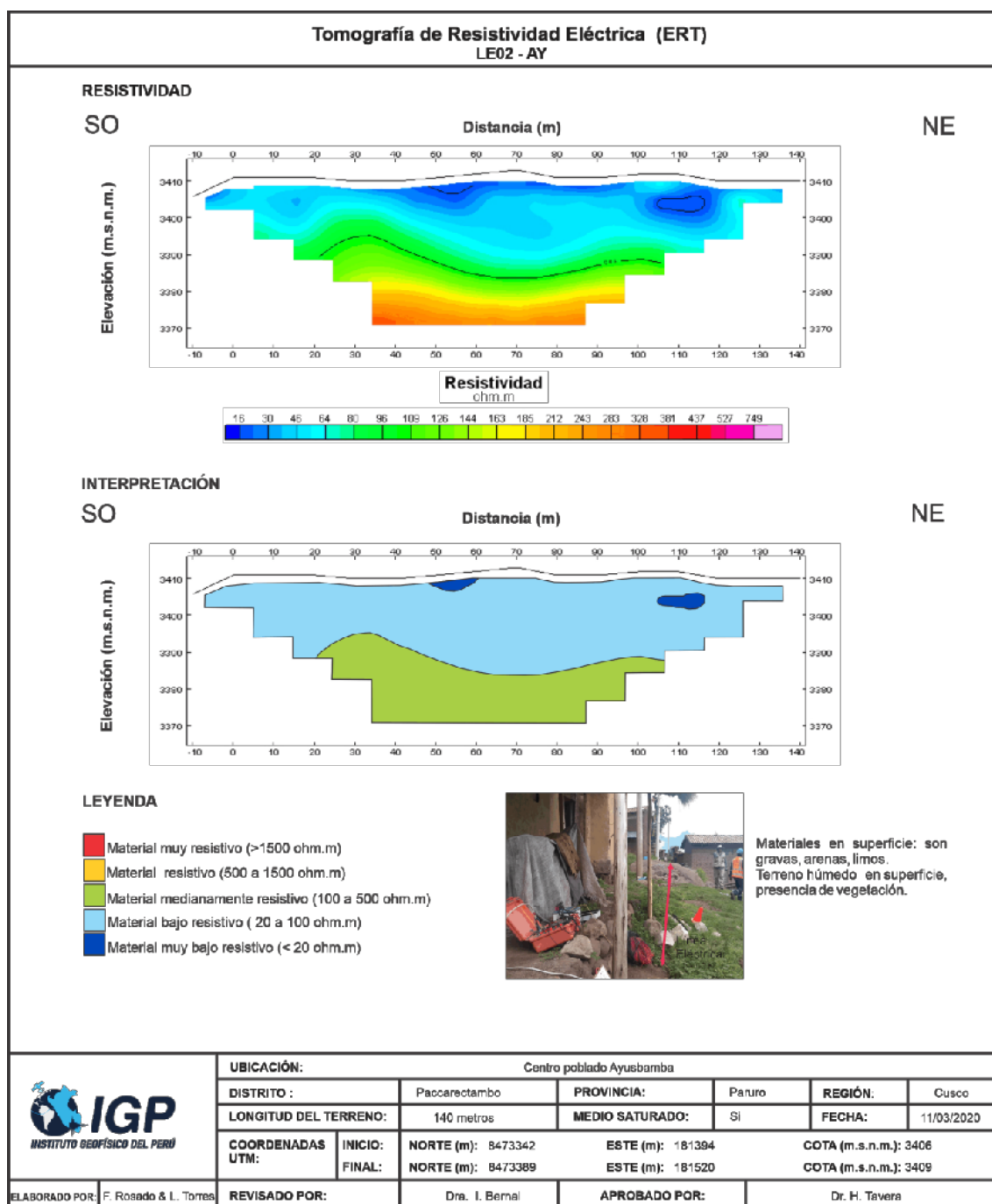


Figura 94. Continuación.../ Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-AY.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 1.5 a 3.5 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de moderado espesor que presenta amplificaciones del orden de 2.5 veces. Según el perfil sísmico se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos a muy rígidos ($V_s = 320$ y 521 m/s). Asimismo, en toda el área de estudio, por la temporada de lluvias se evidencia la presencia de suelos saturados hasta la profundidad de 15 a 20 metros.



Figura 95. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 95, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso predominan periodos de 0.4 y 0.6 segundos que evidencian la presencia de suelos de consistencia media con espesores que se incrementa en dirección

Oeste. De acuerdo con la respuesta dinámica del suelo y el tipo de construcciones que predominan en esta localidad, no debiera producirse ningún efecto de resonancia que podría dañar las viviendas de adobe; sin embargo, el alto nivel de saturación del suelo afectaría directamente a las cimentaciones de las construcciones y/o viviendas.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Ayusbamba, existen suelos moderadamente rígidos a muy rígidos ($V_s = 320$ y 521 m/s) que responden a periodos de 0.4 y 0.6 segundos. El estrato superficial presenta un alto grado de saturación, desde el nivel superficial hasta aproximadamente los 15 a 20 metros de profundidad.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad no experimentarían mayores amplificaciones.

- La vibración generada, por el paso de vehículos con y sin carga no influye en la amplificación del suelo; sin embargo, la presencia de suelos con alto grado de saturación sería un factor que contribuye en la generación de fisuras en las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE CCOYPA

4.14.- Localidad de Ccoypa

La localidad de Ccoypa está ubicada en el distrito de Paccaritambo, provincia de Paruro, región Cuzco (Figura 96). Se encuentra a una altitud promedio de 3324 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Yaurisque; por el sur con los distritos de Ccapi y Colcha; al este con el distrito de Paruro y al oeste con los distritos de Huanoquite y Ccapi. Geológicamente, el área de estudio está sobre la formación Soncco, constituida por conglomerados y areniscas fluviales. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, sobre un área total de 0.03 km².

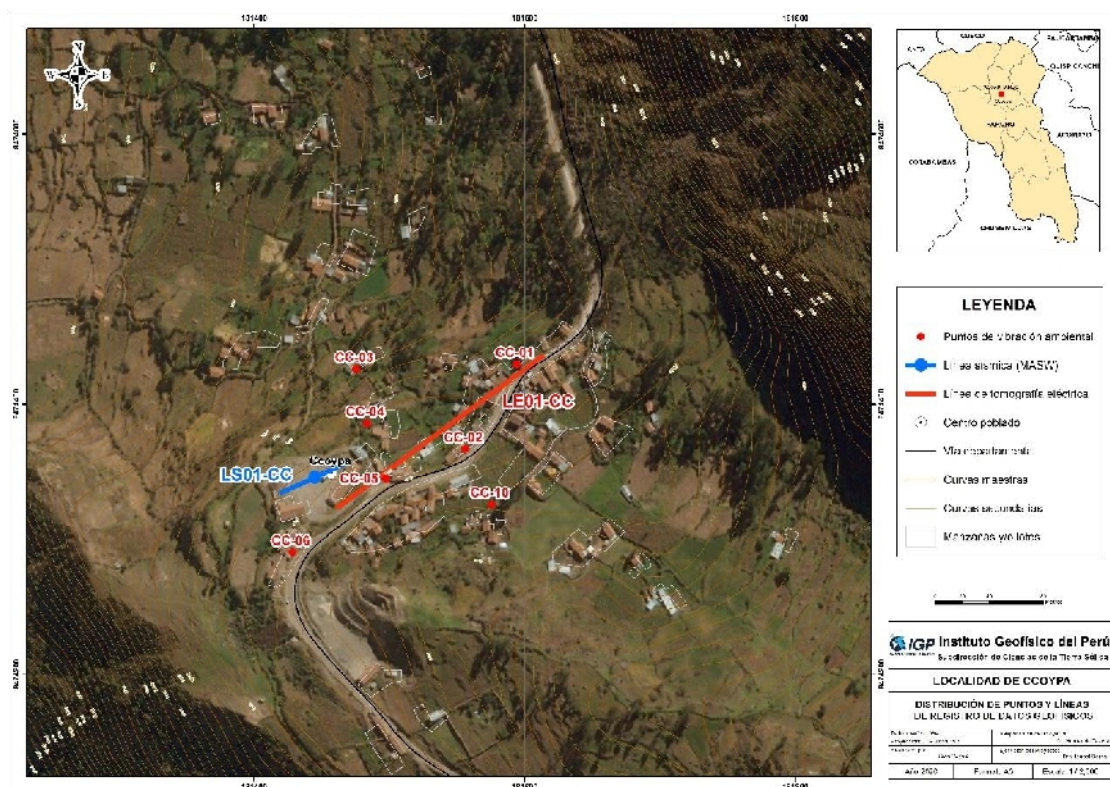


Figura 96. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Ccoypa.

a.) **Adquisición de datos**

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Ccoypa, ver Figura 96 y Tabla 29. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 29: Coordenadas y características de las líneas sísmica, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Ccoypa	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica				Geófonos	
LS01-CC	181471	8474358	3307	2.5	57.5
	181419	8474334	3307		
Línea Eléctrica				Electrodos	
LE01-CC	181614	8474436	3297	10	170
	181461	8474323	3297		
Puntos H/V					
CC-01	181594	8474429	3301		
CC-02	181556	8474366	3300		
CC-03	181475	8474425	3271		
CC-04	181483	8474385	3286		
CC-05	181497	8474344	3297		
CC-06	181428	8474290	3283		

b.) **Resultados obtenidos**

La aplicación de diversos métodos geofísicos para el estudio de suelos en la localidad de Ccoypa, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- **Parámetros dinámicos del suelo**: Las razones (H/V) obtenidas para los puntos CC-01, CC-02, CC-03, CC-04, CC-05, CC-06 y CC-10, distribuidos en ambas márgenes de la carretera (Figuras 97 y 98), muestran que los suelos responden a frecuencias predominantes de 5.6, 6.6, 4.4, 4.3, 3.5, 3.9 y 4.0 Hz con amplificaciones relativas que varían entre 2 a 4 veces. Los mayores valores en frecuencia y amplitud fueron observados principalmente hacia el extremo sur del área de

estudio, sugiriendo la existencia de suelos conformados por una capa sedimentaria superficial de menor espesor y baja consistencia. Contrariamente, hacia su extremo norte predominan suelos de mayor consistencia.

Con estos resultados se concluye que los suelos muestran sensibilidad en una banda de frecuencias que varía entre 4.0 y 6.0 Hz, lo cual evidencia la complejidad en la respuesta dinámica de los suelos ante la ocurrencia de un sismo.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 98, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de camiones encapsulados a distancias de 1, 50 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde a frecuencias entre 3.5 y 4.3 Hz, con amplificaciones de 3 veces y a distancias de 100 metros (extremo oeste) el suelo responde en una banda de 4-6 Hz con amplificaciones de 4.0 veces.

Para el punto CC-01, ubicado a 1 metro de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo influyen en su comportamiento dinámico a frecuencias de 3.5 y 6.0 Hz (0.16 y 0.3 segundos). En este punto, las razones espectrales obtenidas para señales registradas al paso de camiones con carga, sin carga y vibración ambiental muestra amplificaciones del suelo de 2 a 3 veces para frecuencias de 4 a 6 Hz. Por lo tanto, las vibraciones generadas por el paso de camiones se enmascaran en la respuesta dinámica del suelo. Estos factores de amplificación contribuyen a los daños en las viviendas de adobe.

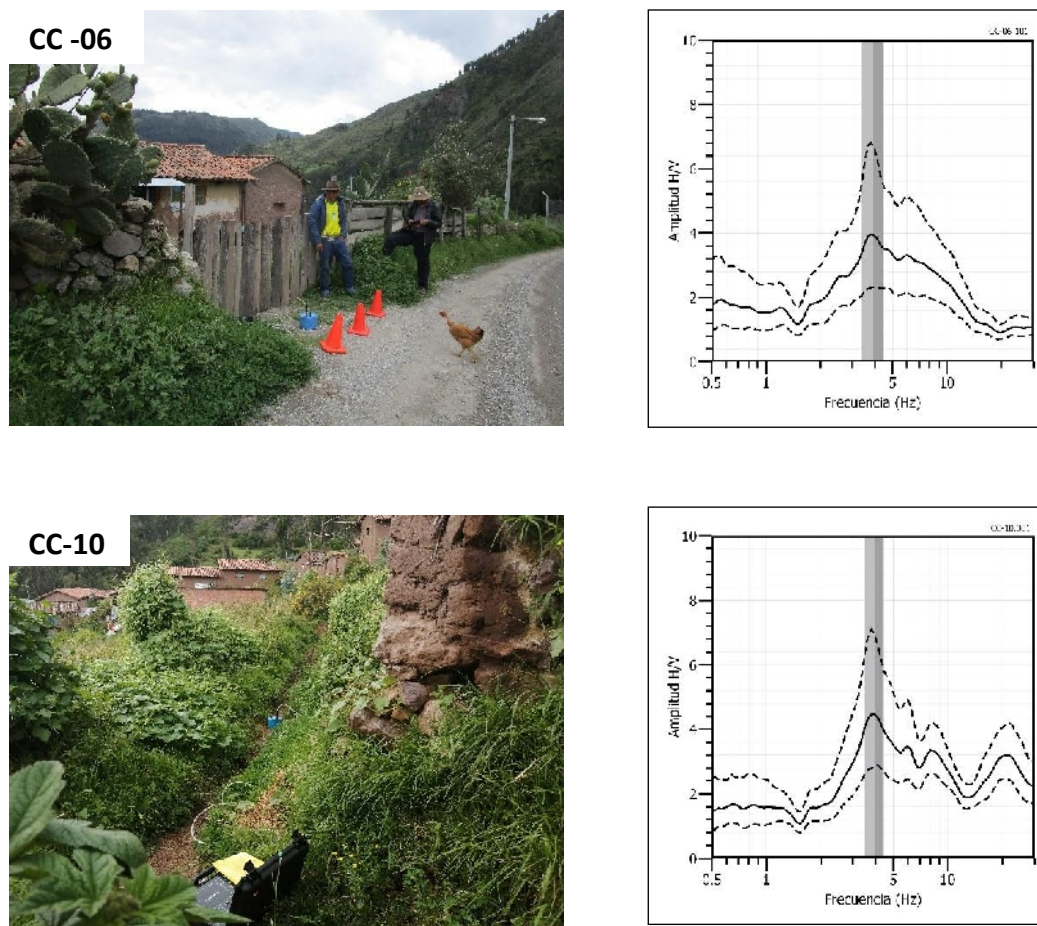
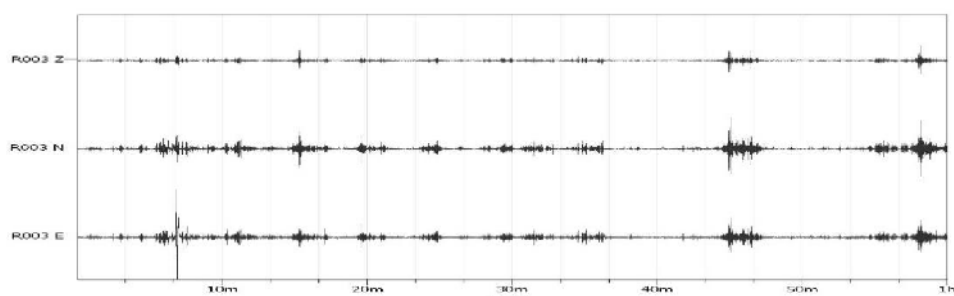
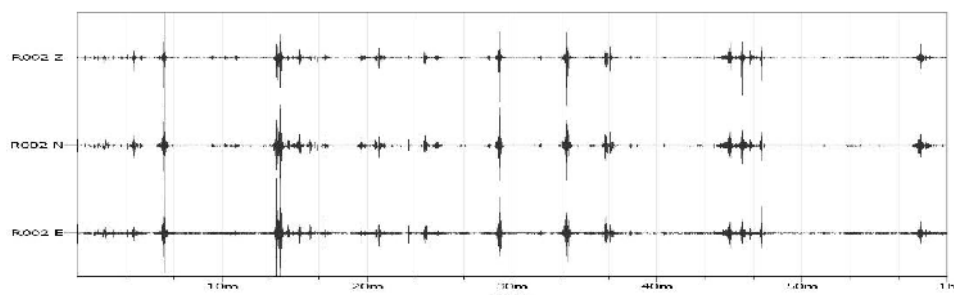


Figura 97. Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos CC-06 y CC-10, ubicados en ambas márgenes del Corredor Vial del sur, en la localidad de Ccoypa. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

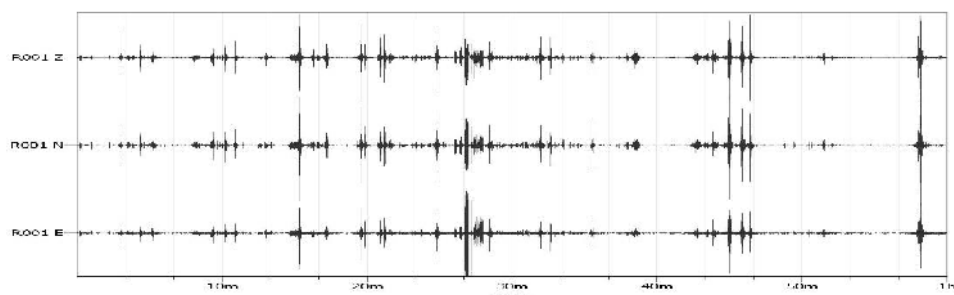
Registros obtenidos en el punto CC-03 (100 m.)



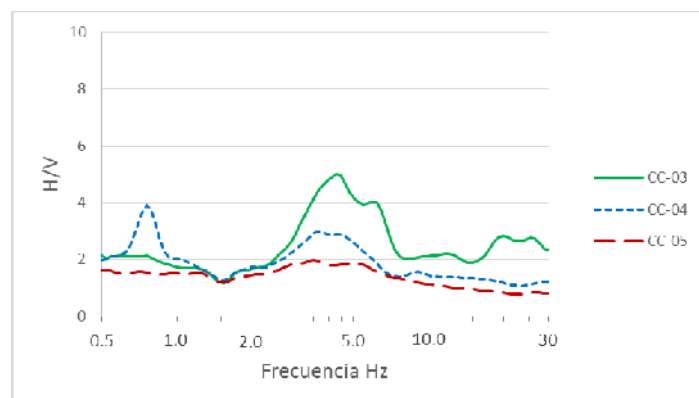
Registros obtenidos en el punto CC-04 (50 m.)



Registros obtenidos en el punto CC-05 (1 m.)



Razones espectrales

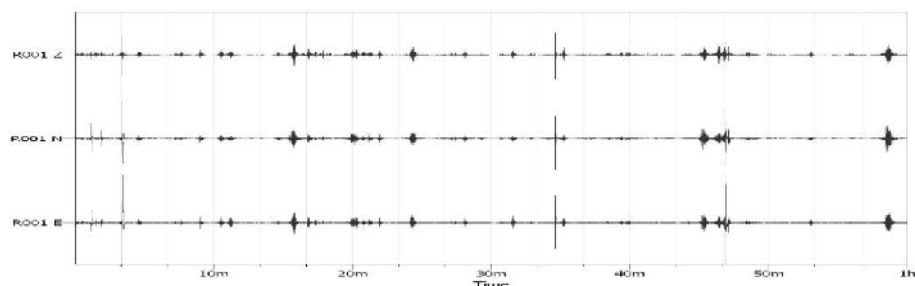


Resultados

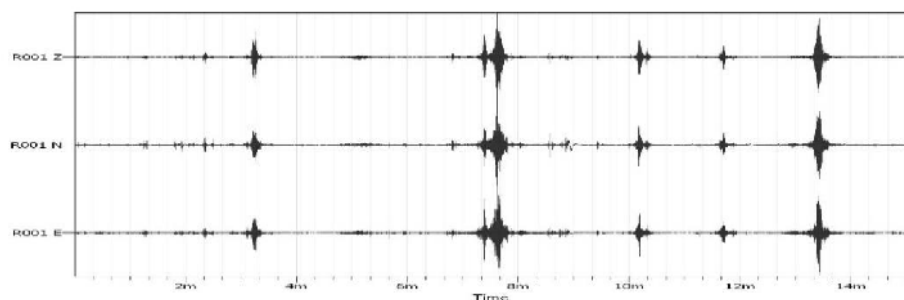
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
CC-03	4.43	0.21	4.97	0.2
CC-04	4.34	0.11	4.08	0.2
CC-05	3.52	0.68	2.00	0.3

Figura 98. En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental (CC-03, CC-04 y CC-05) obtenidos a 100, 50 y 1 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

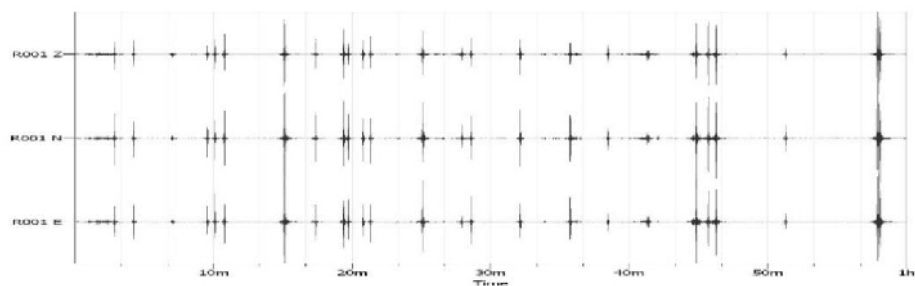
Registros obtenidos en el punto CC-01 (1 m.)



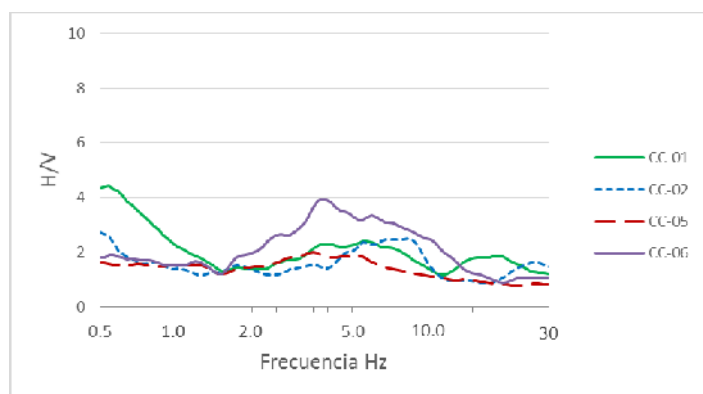
Registros obtenidos en el punto CC-02 (1 m.)



Registros obtenidos en el punto CC-06 (1 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
CC-01	5.61	0.25	2.39	0.2
CC-02	6.65	0.83	2.40	0.2
CC-05	3.52	0.68	2.00	0.3
CC-06	3.89	0.51	3.94	0.3

Figura 98. ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental (CC-01, CC-02 y CC-06) obtenidos a 1 metro de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

.- **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-CC realizada en la zona oeste de la localidad de Ccoypa, paralela a la carretera, y los resultados obtenidos permiten identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 30): la primera, de 9 metros de espesor y velocidades de Vs de 295 m/s, sugiriendo la existencia de suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 14 metros de espesor con velocidades Vs de 529 m/s, indicando la presencia de suelos muy rígidos o rocas blandas. El semiespacio presenta velocidades Vs > 723 m/s correspondiendo a suelos muy rígidos (Figura 99).

Tabla 30. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea	N° DE CAPA						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Ccoypa	LS01-CC	295	9	529	14	723	-	441
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

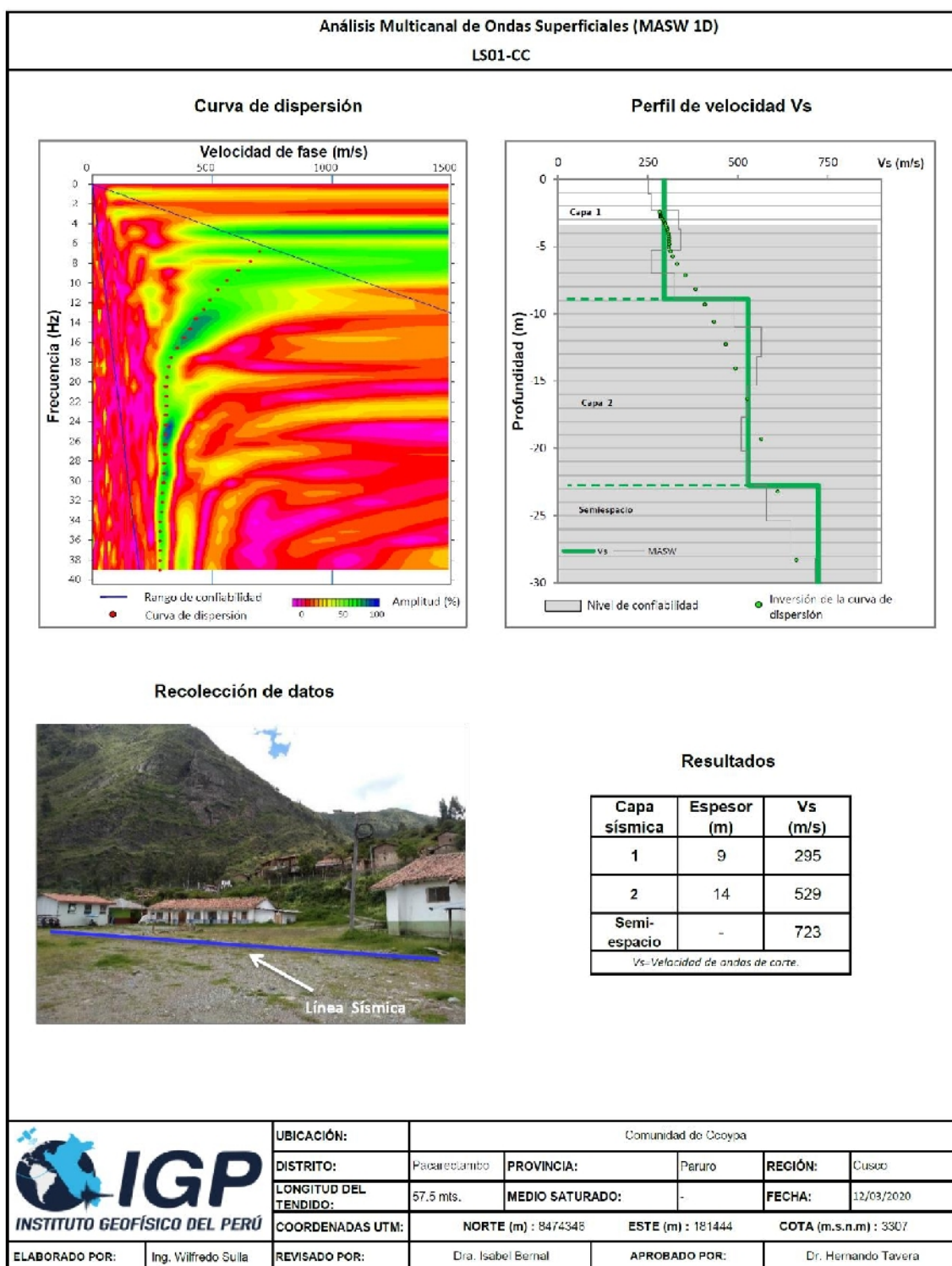


Figura 99. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-CC, realizado en la localidad de Ccoypa.

.- **Tomografía eléctrica**: La línea **LE01-CC**, fue realizada paralela a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 100. Según los resultados obtenidos, los suelos de la localidad de Ccoypa, presentan el predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m.$) hasta profundidades de 20 metros, bajo este horizonte predominan valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m.$). Asimismo, hacia el extremo SO y a niveles superficiales, se muestra una elipse con valores altamente resistivos (Figura 101). Estos resultados sugieren la presencia de suelos fluviales y conglomerados altamente saturados.



Figura 100. Vista de la línea eléctrica de Ccoypa (LE01-CC).

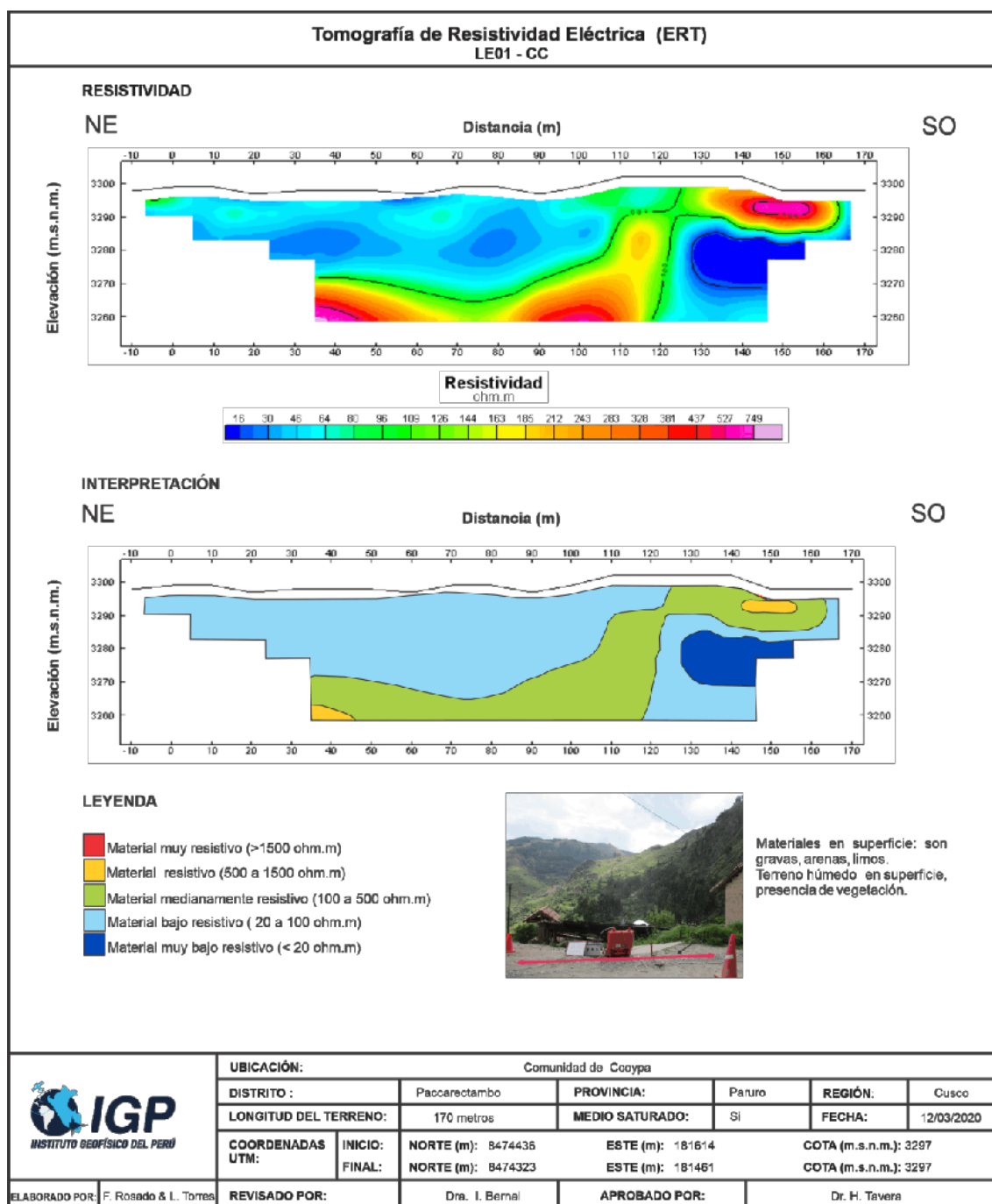


Figura 101. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-CC.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes entre 3.5 a 6.0 Hz (F_0), evidenciando en su extremo sur, la existencia de una capa delgada de sedimentos superficiales y de mayor amplificación (de hasta 5 veces). Hacia el centro y extremo norte, los suelos presentan mayor consistencia. Según los resultados obtenidos, en la zona céntrica se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos a muy rígidos ($V_s = 295$ y 529 m/s) con espesores de 10 y 14 metros. Sin embargo, los suelos presentan un alto predominio de suelos saturados.



Figura 102. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 102, se observa la distribución de los periodos dominantes del suelo y sus factores de amplificación para cada punto. En esta localidad dominan periodos de 0.2 y 0.3 segundos, evidenciando la

presencia de suelos de consistencia media y espesores que se incrementan hacia su extremo sur. De acuerdo con la respuesta dinámica del suelo y su alto nivel de saturación, afectarían a la cimentación de las viviendas y por ende, producen daños en las viviendas.

d.) Conclusiones

- En la localidad de Ccoypa, los suelos están conformadas por una capa sedimentaria superficial de 10 a 15 metros de espesor y consistencia media a alta, que responden a periodos de 0.2 y 0.3 segundos. Estos suelos presentan alto grado de humedad.

- De acuerdo con el factor de amplificación, a la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad experimentarían mayores amplificaciones principalmente en los extremos NO y Sur del área de estudio.

- La vibración generada, por el paso de vehículos menores, no muestran mayor efecto en el suelo; sin embargo, la presencia de altos niveles de saturación contribuye a la presencia de fisuras en las viviendas de adobe.

LOCALIDAD DE PACCARECTAMBO

4.15.- Localidad de Paccarectambo

La localidad de Paccarectambo está ubicada en el distrito de Paccaritambo, provincia de Paruro, región Cuzco (Figura 103). Se encuentra a una altitud promedio de 3324 m.s.n.m. y limita por el norte, con el distrito de Yaurisque; por el sur con los distritos de Ccapi y Colcha; al este con el distrito de Paruro y al oeste con los distritos de Huanoquite y Ccapi. Geológicamente, el área de estudio está sobre la formación Paruro, constituida por conglomerados. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:3000, sobre un área total de 0.15 km².

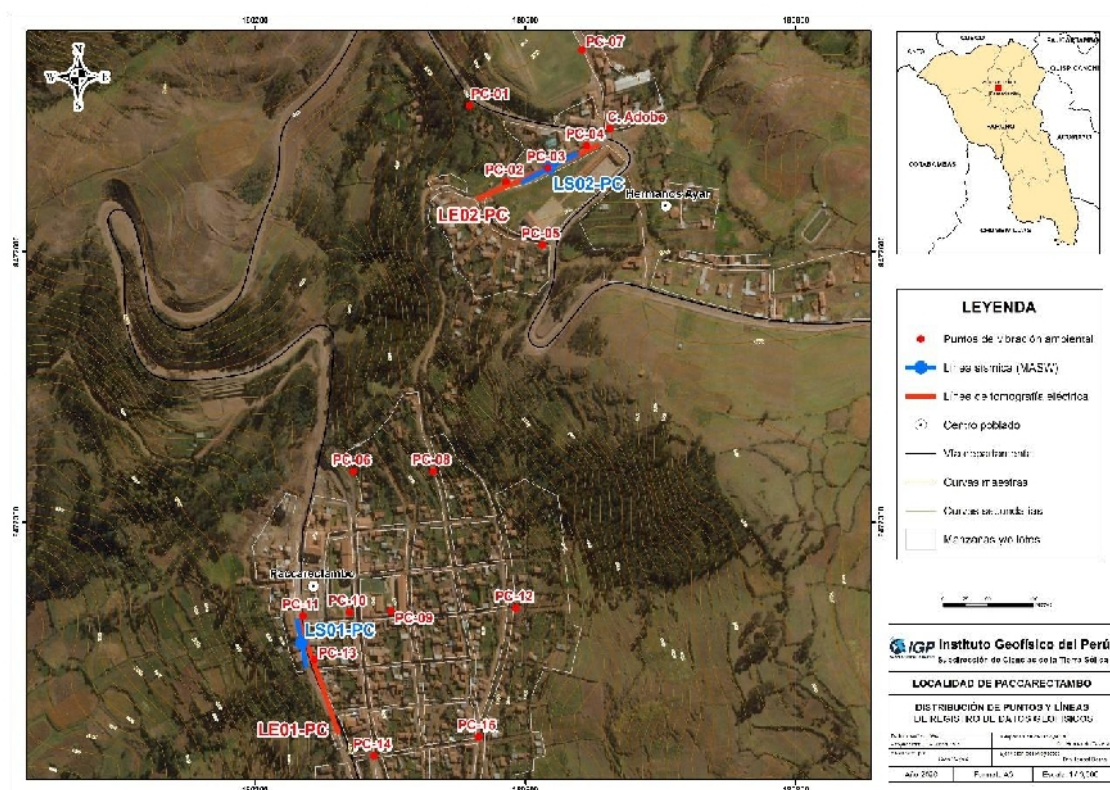


Figura 103. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana Paccarectambo.

a.-) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Paccarectambo, ver Figura 103 y Tabla 31. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 31: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Paccarectambo	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica			Geófonos		
LS01-PC	180257	8477138	3600	2.5	57.5
	180247	8477193	3601		
LS02-PC	180558	8477709	3699	3	69
	180495	8477676	3695		
Línea Eléctrica			Electrodos		
LE01-PC	180248	8477193	3592	10	140
	180293	8477065	3594		
LE02-PC	180582	8477718	3686	10	140
	180446	8477658	3679		
Puntos H/V					
PC-01	180437	8477761	3679		
PC-02	180478	8477677	3688		
PC-03	180525	8477692	3691		
PC-04	180568	8477717	3692		
PC-05	180518	8477607	3669		
PC-06	180309	8477355	3601		
PC-07	180562	8477823	3659		
PC-08	180397	8477356	3640		
PC-09	180351	8477200	3614		
PC-10	180305	8477199	3605		
PC-11	180253	8477195	3597		
PC-12	180489	8477204	3649		
PC-13	180266	8477147	3520		
PC-14	180332	8477040	3459		
PC-15	180448	8477061	3628		

b.) Resultados obtenidos

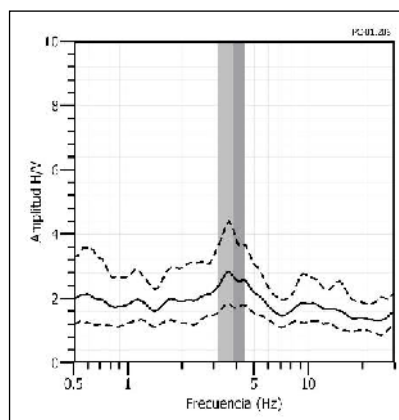
La aplicación de diversos métodos geofísicos para el estudio de suelos en la localidad de Paccarectambo, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- Parámetros dinámicos del suelo: Las razones (H/V) obtenidas para los puntos PC-01, PC-04, PC-05, PC-08, PC-09, PC-10, PC-11 y PC-13, distribuidos en ambas márgenes de la carretera (Figuras 104 y 105), han permitido identificar las frecuencias predominantes del suelo a 3.8, 4.0, 4.0, 2.8, 4.0, 3.8, 4.5 y 3.2 Hz con amplificaciones de hasta 2 veces. Estos resultados, sugieren la presencia de suelos superficiales de moderado espesor y alta compactación.

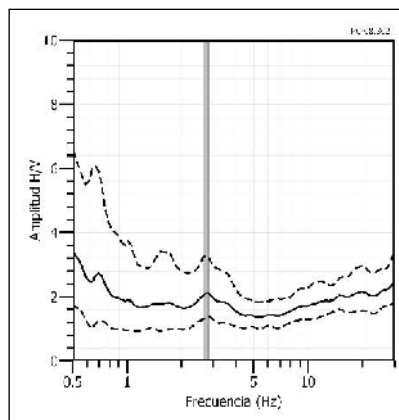
Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 105, se muestra el registro de vibraciones generadas por el paso de vehículos ligeros (durante la toma de datos no transitaron camiones con carga pesada) y a distancias de 1, 50 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde en promedio a 4.0 Hz, con mínimas amplificaciones.

Para las señales obtenidas en los puntos PC-01, PC-04 y PC-05, a 1 metro de distancia de la carretera, se determina que las vibraciones del suelo influyen a frecuencias de 4.0-5.0 Hz (0.25 y 0.2 segundos). Para estos puntos se obtuvieron las razones espectrales para señales registradas durante el paso de camiones de carga ligera y vibración ambiental, observándose que no hay variaciones en el factor de amplificación del suelo debido al grado de compactación del suelo.

PC -01



PC-08



PC-13

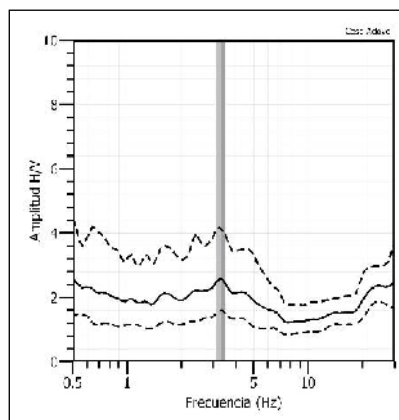
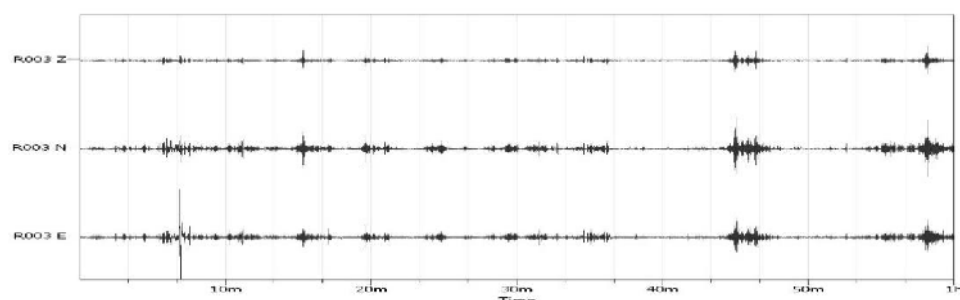
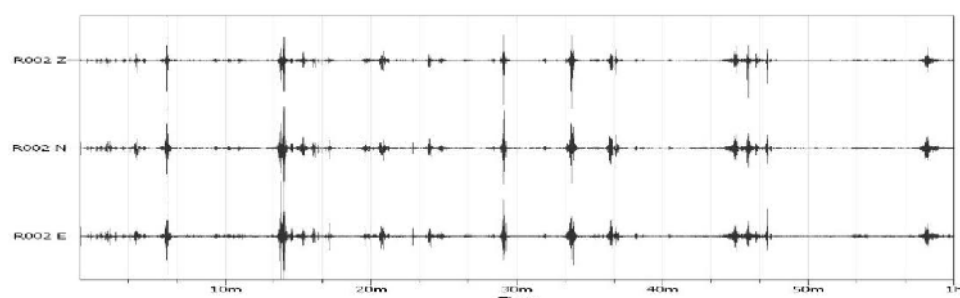


Figura 104: Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos PC-01, PC-08 y PC-13, ubicados sobre y hacia la margen derecha del Corredor Vial del sur el primero en el Anexo Hermanos Ayar y en la localidad de Paccarectambo. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

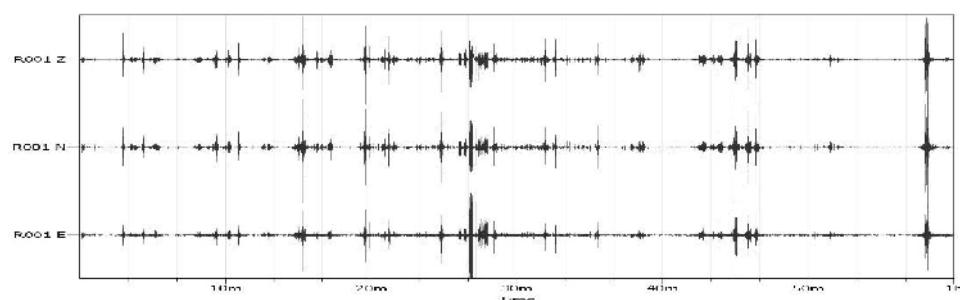
Registros obtenidos en el punto PC-09 (1 m.)



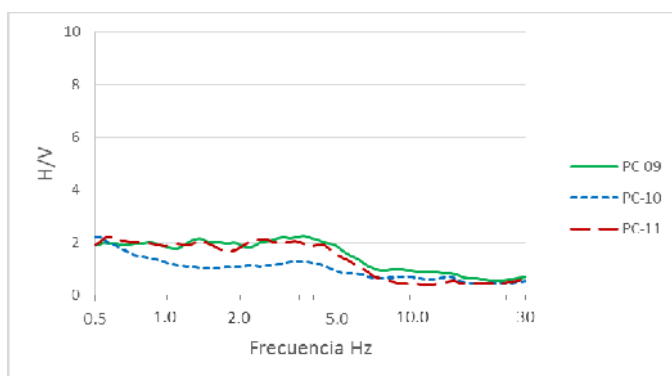
Registros obtenidos en el punto PC-10 (50 m.)



Registros obtenidos en el punto PC-11 (100 m.)



Razones espectrales

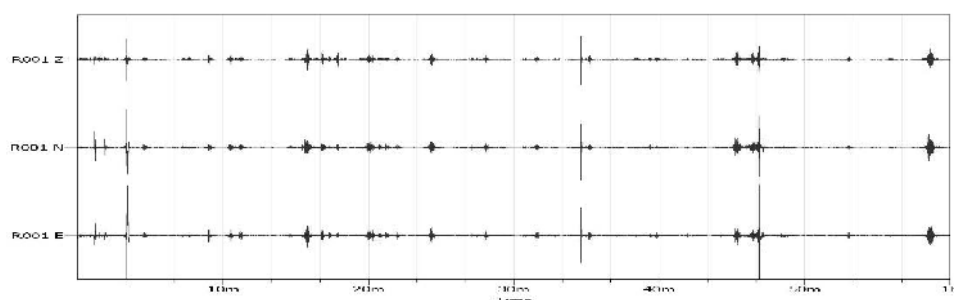


Resultados

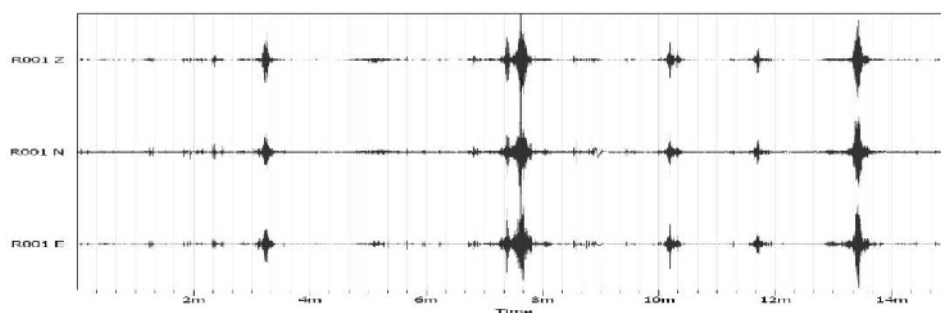
Punto	F(Hz)	+/-	Ao	T(s)
PC-09	4.00	0.47	-	0.3
PC-10	3.80	0.31	-	0.3
PC-11	4.50	0.22	-	0.2

Figura 105: En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, sin el paso de vehículos (PC-09, PC-10 y PC-11) obtenidos a 1, 50 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

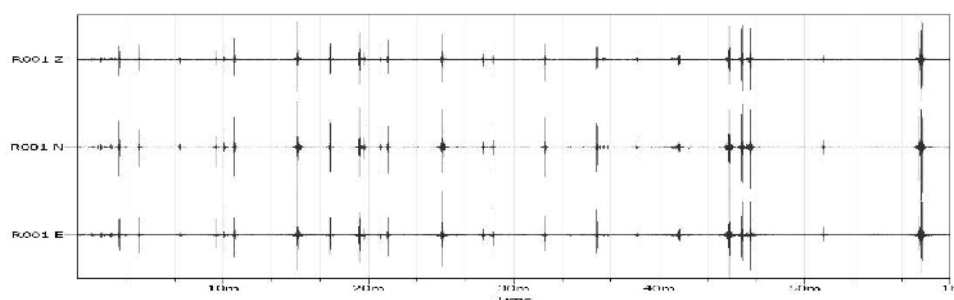
Registros obtenidos en el punto PC-01 (1 m.)



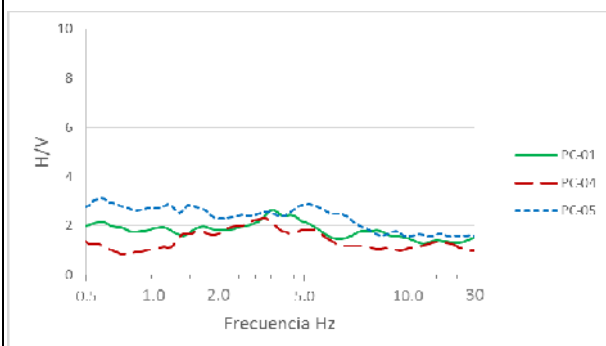
Registros obtenidos en el punto PC-04 (1 m.)



Registros obtenidos en el punto PC-05 (1 m.)



Razones espectrales

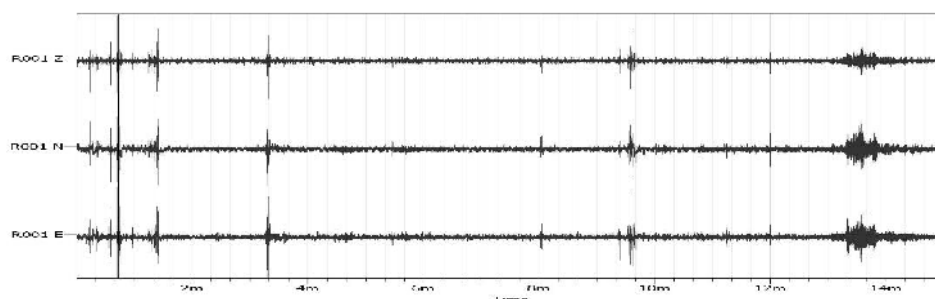


Resultados

Punto	F(Hz)	+/-	Ao	T(s)
PC-01	3.50	0.47	-	0.3
PC-04	3.20	0.31	-	0.3
PC-05	5.20	0.22	-	0.2

Figura 105: ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, sin el paso de vehículos (PC-01, PC-04 y PC-05) obtenidos a 1 metro de la carretera, en el Anexo Hermanos Ayar. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

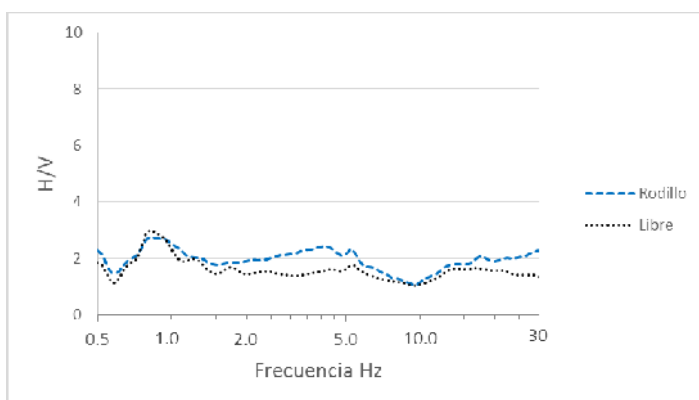
Registros obtenidos en el punto PC-07 (100 m.)



Registros obtenidos durante el pase de maquinaria en el punto PC-07 (100 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	F(Hz)	+/-	Ao	T(s)
Rodillo	4.0	0.14	2.2	0.25
Libre	4.0	0.21	1.7	0.25

Figura 105: ...Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental, sin el paso de vehículos y con el paso de maquinaria pesada haciendo mantenimiento de las vías (PC-07) obtenidos a 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

.- **Análisis de ondas superficiales:** Línea sísmica LS01-PC realizada en el extremo sur de la localidad Paccarectambo y paralela a la carretera. Los resultados permiten identificar la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas (Tabla 32): la primera, de 9 metros de espesor y velocidades V_s de 264 m/s lo que sugiere la existencia de suelos moderadamente rígidos; la segunda capa, de 17 metros de espesor con velocidades V_s de 427 m/s, correspondiendo a la presencia de suelos rígidos o rocas blandas. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 537$ m/s que indica la presencia de suelos muy rígidos (Figura 106a).

Asimismo, la línea sísmica LS02-PC fue realizada en el extremo norte del Anexo Hermanos Ayar (Paccarectambo), perpendicular al Corredor Vial. Los resultados obtenidos permiten identificar la presencia de suelos conformados por una capa sísmica (Tabla 32), de 11 metros de espesor y velocidades V_s de 242 m/s indicando la presencia de suelos moderadamente rígidos. El semiespacio presenta velocidades $V_s > 513$ m/s correspondiendo a suelos muy rígidos (Figura 106b).

Tabla 32. Valores de espesor y V_s de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Paccarectambo	LS01-PC	264	9	427	17	537	-	369
Paccarectambo	LS02-PC	242	11	513	-	-	-	359
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

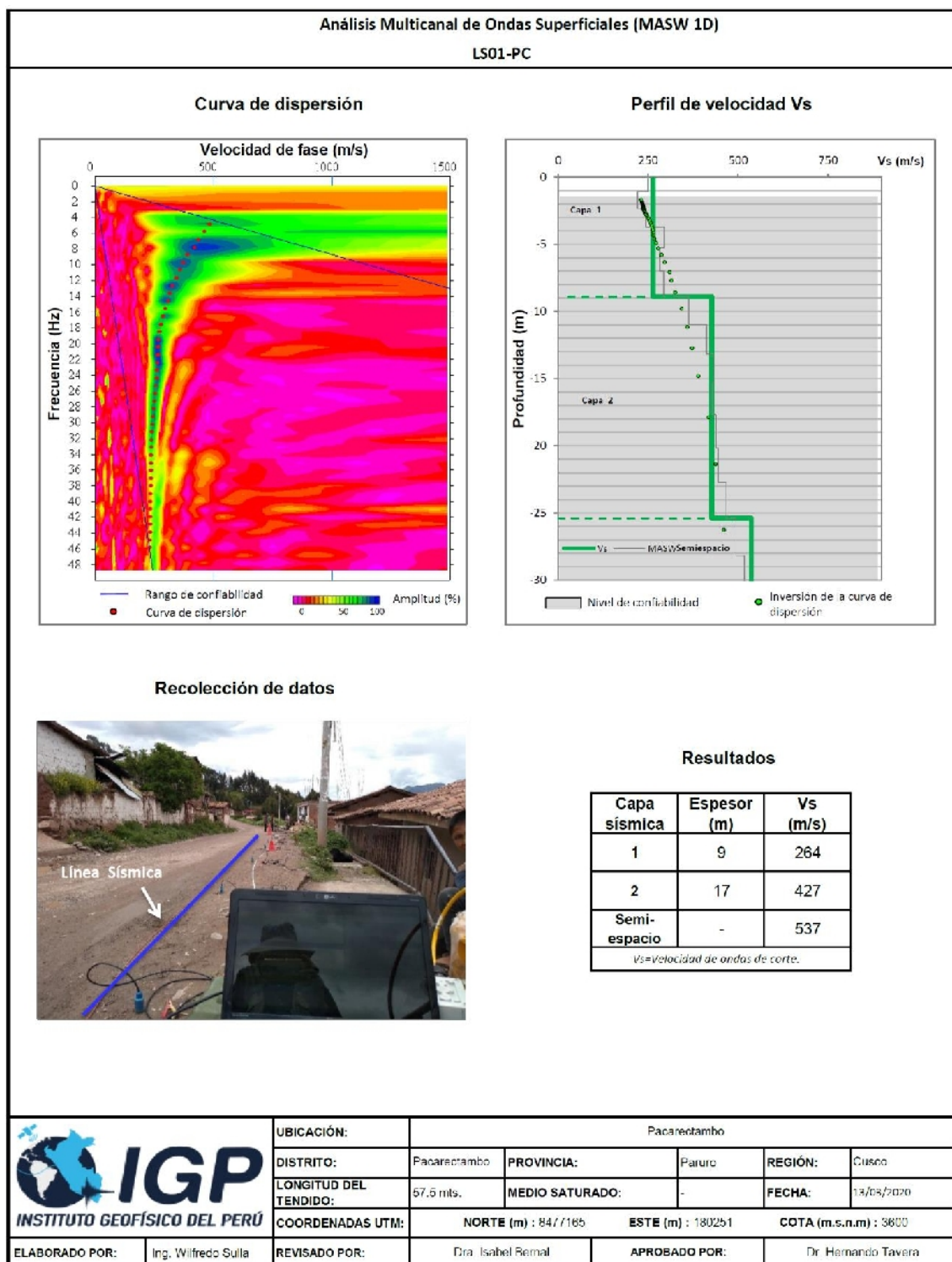


Figura 106. a) Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-PC, realizado en la localidad de Pacarectambo.

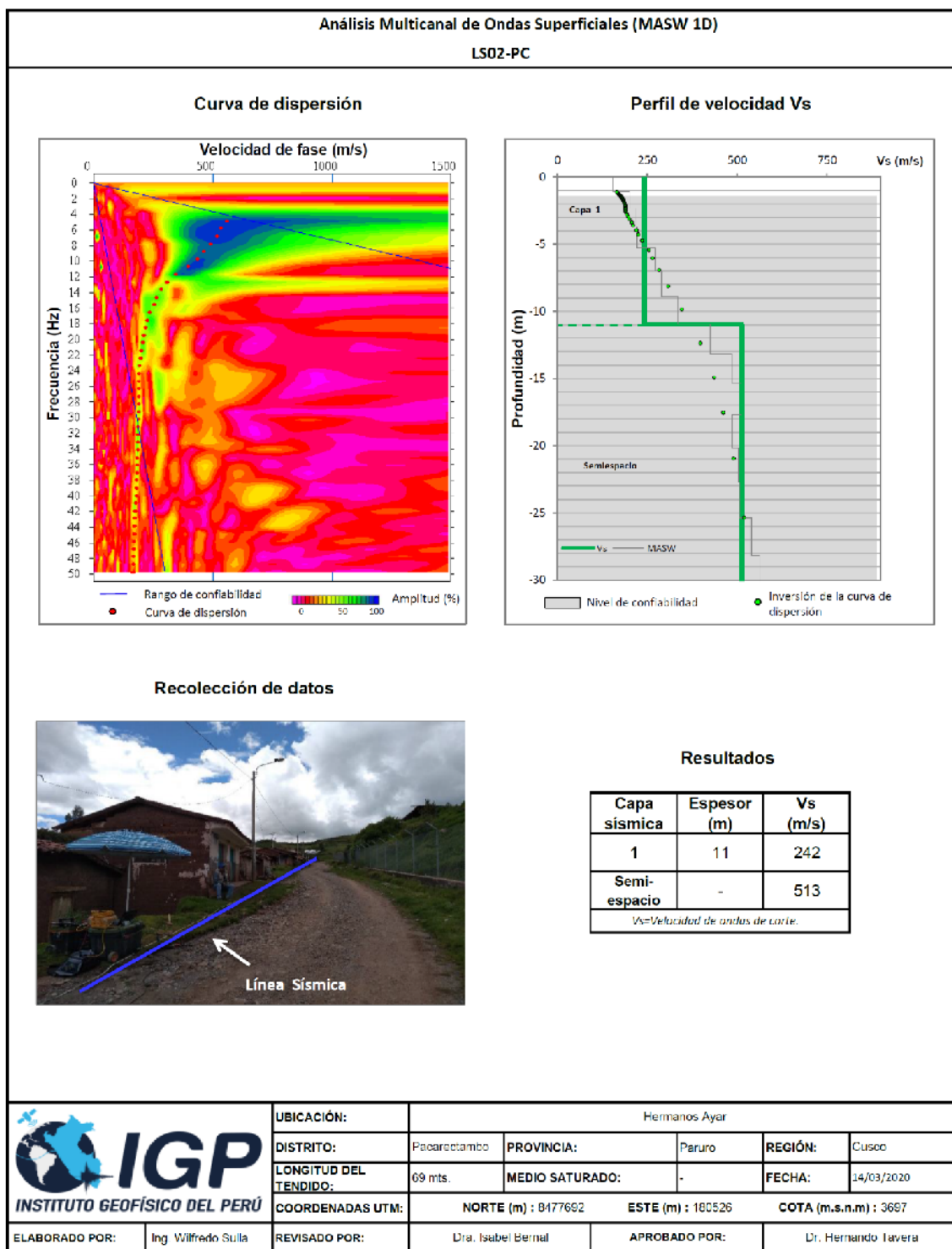


Figura 106. Continuación.../ b) Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS02-PC, realizado en el Anexo Hermanos Ayar (Paccarectambo).

.- **Tomografía eléctrica:** En esta localidad se realizaron dos líneas eléctricas: LE01-PC y LE02-PC, con orientación paralela y perpendicular a la carretera y su disposición en el campo se muestra en la Figura 107. A continuación, se describen los resultados obtenidos:

La línea LE01-PC, fue realizada en la localidad Paccarectambo. Los resultados indican que los suelos tienen el predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m$) hasta los 20 metros de profundidad y subyaciendo a esta, hacia el extremo SE los suelos presentan valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$) a niveles superficiales. Estos resultados evidencian la presencia de suelos saturados a nivel superficial (Figura 108a).

Asimismo, la línea LE02-PC fue realizada en el Anexo Hermanos Ayar (Paccarectambo). En toda la línea se identifica que los suelos tienen el predominio de valores muy bajos resistivos ($<20 \Omega.m$) hasta los 10 metros de profundidad y subyacen a esta, estratos bajos resistivos ($<100 \Omega.m$) y valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$). Estos resultados sugieren la presencia de suelos altamente saturados a nivel superficial (Figura 108b).



Figura 107. Vista de las líneas eléctricas en Paccarectambo (LE01-PC y LE02-PC).

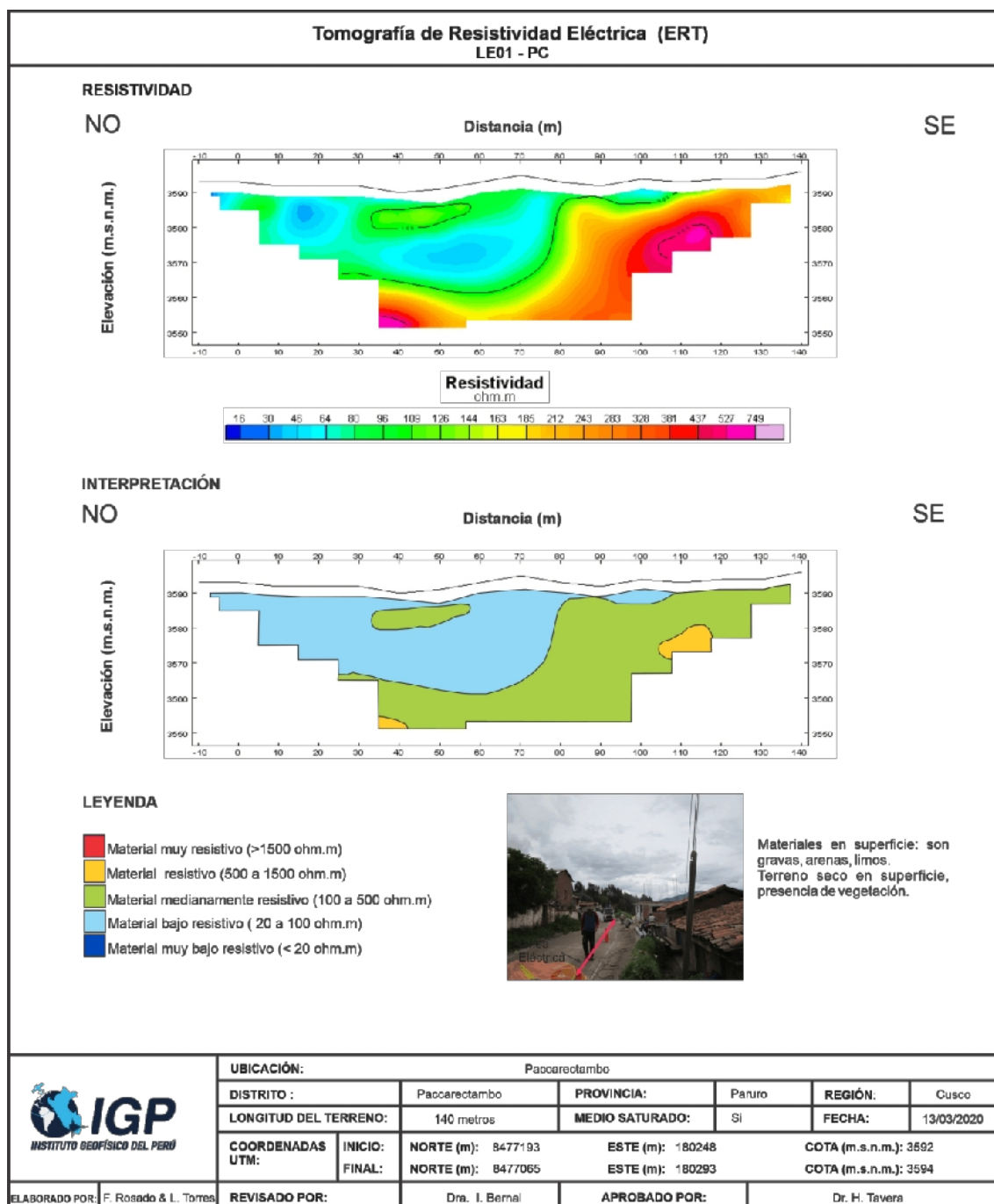


Figura 108. a) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-PC, realizado en la localidad de Paccarectambo.

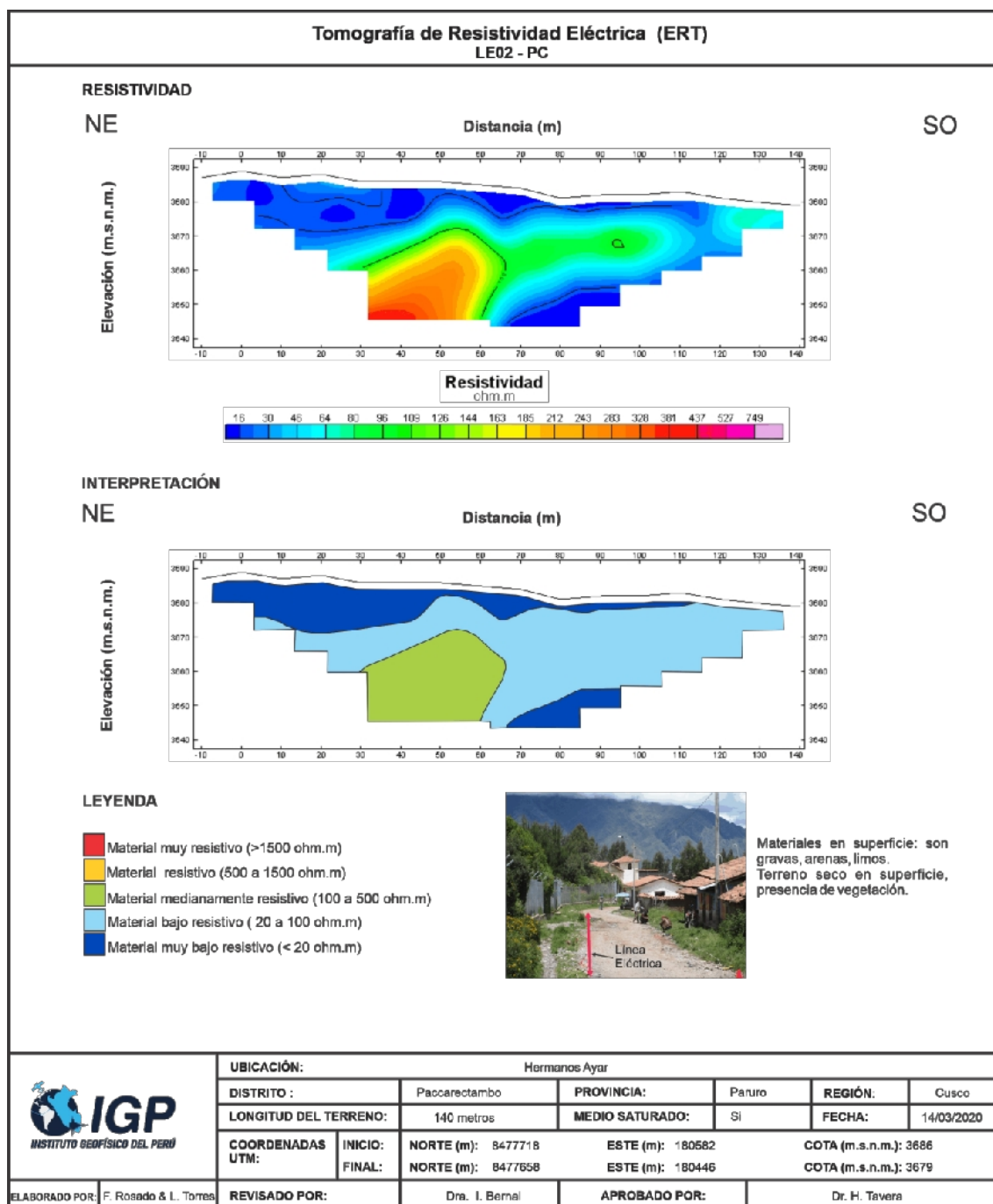


Figura 108. ...Continuación.../ b) Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-PC, realizado en el Anexo Hermanos Ayar (Paccarectambo).

c.) Integración de los resultados

En la localidad de Paccarectambo, los suelos responden a frecuencias predominantes de 2.8 a 5.0 Hz (F_0), evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor que presenta amplificaciones de 2 veces. Según el perfil del suelo, se define la existencia de suelos moderadamente rígidos a rígidos ($V_s = 264$ y 427 m/s) en la localidad de Paccarectambo y suelos moderadamente rígidos ($V_s = 242$ m/s) en el Anexo Hermanos Ayar (Paccarectambo). Asimismo, a nivel superficial, en ambas localidades, el suelo presenta de medio a alto grado de saturación a nivel superficial.



Figura 109. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 109, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En el distrito de Paccarectambo predominan los periodos de 0.3 y 0.4 segundos; y en el

Anexo Hermanos Ayar, periodos de 0.2 y 0.3 segundos, con bajas amplificaciones, lo que evidencia que los suelos son competentes; sin embargo, presentan alto grado de saturación que influye en el comportamiento dinámico de los suelos y el deterioro de las viviendas de adobe.

d.) Conclusiones

- En la localidad de Paccarectambo, se presentan suelos moderadamente rígidos a muy rígidos que responden a periodos de 0.2 y 0.4 segundos. En Paccarectambo, el estrato superficial presenta un moderado grado de saturación y en el Anexo Hermanos Ayar un alto grado de saturación hasta una profundidad de 20 metros.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, los suelos de estas localidades no debieran experimentar mayor amplificación; sin embargo, por el alto grado de saturación, el suelo podría experimentar asentamiento diferencial con potencial de licuación de suelos

- La vibración del suelo generada por el paso de camiones de carga ligera, no influye en el factor de la amplificación del suelo; sin embargo, al paso de maquinaria pesada (compactadora rodillo), este se incrementa en 0.5 veces a una distancia de 100 metros de la carretera en el periodo fundamental de respuesta del suelo (0.25 segundos). En este escenario, los suelos saturados de agua y las constantes vibraciones generadas por el paso de maquinaria pesada serían factores que contribuyen al deterioro de las viviendas de adobe, principalmente las que se encuentran próximas a la carretera.

LOCALIDAD DE RANRRACCASA

4.16.- Localidad de Ranrraccasa

La localidad de Ranrraccasa está ubicada en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, región del Cuzco (Figura 110). Se encuentra a una altitud promedio de 3768 m.s.n.m. y limita por el norte, con la provincia de Cuzco; por el sur con el distrito de Paccaritambo; al este con el distrito de Paruro y al oeste con el distrito de Huanoquite. Geológicamente, el área de estudio se encuentra sobre la formación Soncco, constituida por conglomerados fluviales. El cartografiado y mapa base para este estudio es de 1:2000, tiene un área total de 0.12 km².

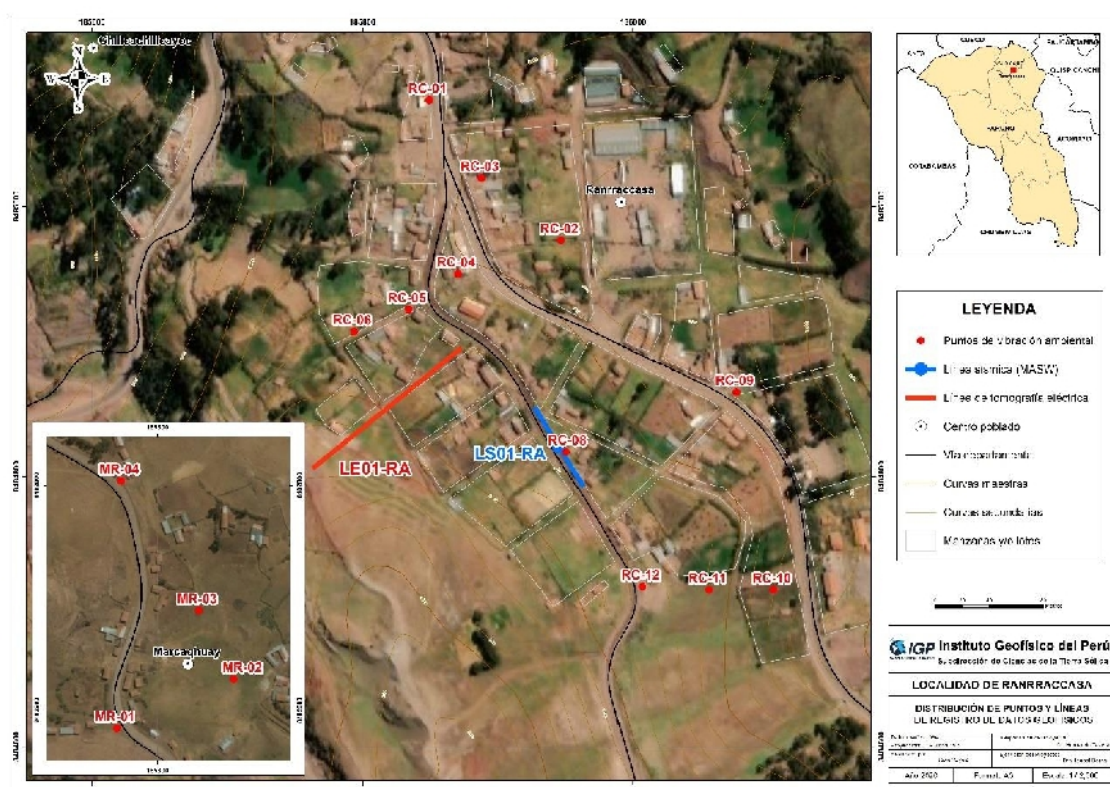


Figura 110. Ubicación de los puntos y líneas consideradas para la toma de datos en el área urbana de Ranrraccasa.

a.) Adquisición de datos

Los puntos y líneas donde se realizaron la adquisición de los datos de vibración ambiental, sísmicos y de eléctrica, se distribuyen de manera relativamente homogénea en la localidad de Ranraccasa, ver Figura 110 y Tabla 33. A continuación se describe los resultados obtenidos con cada método.

Tabla 33: Coordenadas y características de las líneas sísmicas, eléctricas y puntos H/V.

Localidad de Ranraccasa	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)	Espaciamiento entre geófonos (m)	Longitud total (m)
..Línea Sísmica				Geófonos	
LS01-RA	185927	8484851	3800	3	69
	185963	8484792	3804		
Línea Eléctrica				Electrodos	
LE01-RA	185763	8484806	3833	10	140
	185873	8484895	3794		
Puntos H/V					
RC-01	185849	8485078	3790		
RC-02	185946	8484974	3661		
RC-04	185870	8484949	3784		
RC-05	185834	8484923	3794		
RC-06	185793	8484907	3799		
RC-08	185994	8484753	3764		
RC-09	186076	8484862	3778		
RC-10	186104	8484716	3779		
RC-11	186056	8484715	3794		
RC-12	186007	8484718	3807		
MR-01	185764	8482584	3783		
MR-02	185868	8482628	3790		
MR-04	185768	8482804	3791		

b.) Resultados obtenidos

La aplicación de diversos métodos geofísicos para el estudio de suelos en la localidad de Ranraccasa, ha permitido llegar a los siguientes resultados:

.- **Parámetros dinámicos del suelo**: Las razones (H/V) obtenidas para los puntos RC-02, RC-04, RC-05, RC-06, RC-10, RC-11, RC-12, MR-02 y MR-03, todas distribuidos en la localidad de Ranrraccasa y en el anexo de Marcahuay y a ambas márgenes de la carretera (Figuras 111 y 112), permiten observar que en la localidad de Ranrraccasa la frecuencia predominante del suelo fluctúa entre 7.5 y 8.5 Hz con amplificaciones de 2.5 veces y hacia los extremos NE y SE, la amplificación se incrementa hasta 3.5 veces. En Marcahuay los suelos responden a 2.2 y 2.8 Hz con amplificaciones de 3 veces. Estos resultados sugieren, la presencia de una capa sedimentaria superficial cuyos suelos presentan mayor consistencia hacia la zona céntrica del área de estudio y a lo largo de la carretera. Los suelos de menor consistencia se encuentran hacia los extremo NE y SE del área de estudio, puesto en evidencia por las mayores amplificaciones registradas en esta zona.

Vibraciones generadas durante el paso de vehículos: En la Figura 112, se muestra el registro de vibraciones del suelo generadas por el paso de camiones sin carga pesada y obtenidas en el extremo norte del área de estudio, a distancias de 20, 60 y 100 metros de la carretera. Según el análisis frecuencial, a distancias cortas, el suelo responde a frecuencias entre 7.0 y 8.5 Hz con amplificaciones de 3.8 veces. Hacia el extremo sur, a distancia de 1, 50 y 100 metros de la carretera, la mayor contribución de las vibraciones del suelo, generadas por el paso de camiones, es a altas frecuencias (15 y 20 Hz) con amplificaciones de 3 veces.

En general, al paso de vehículos los suelos presentan amplificaciones moderadas y cerca de la carretera, la mayor sensibilidad se da a frecuencias altas de 10 a 20 Hz.

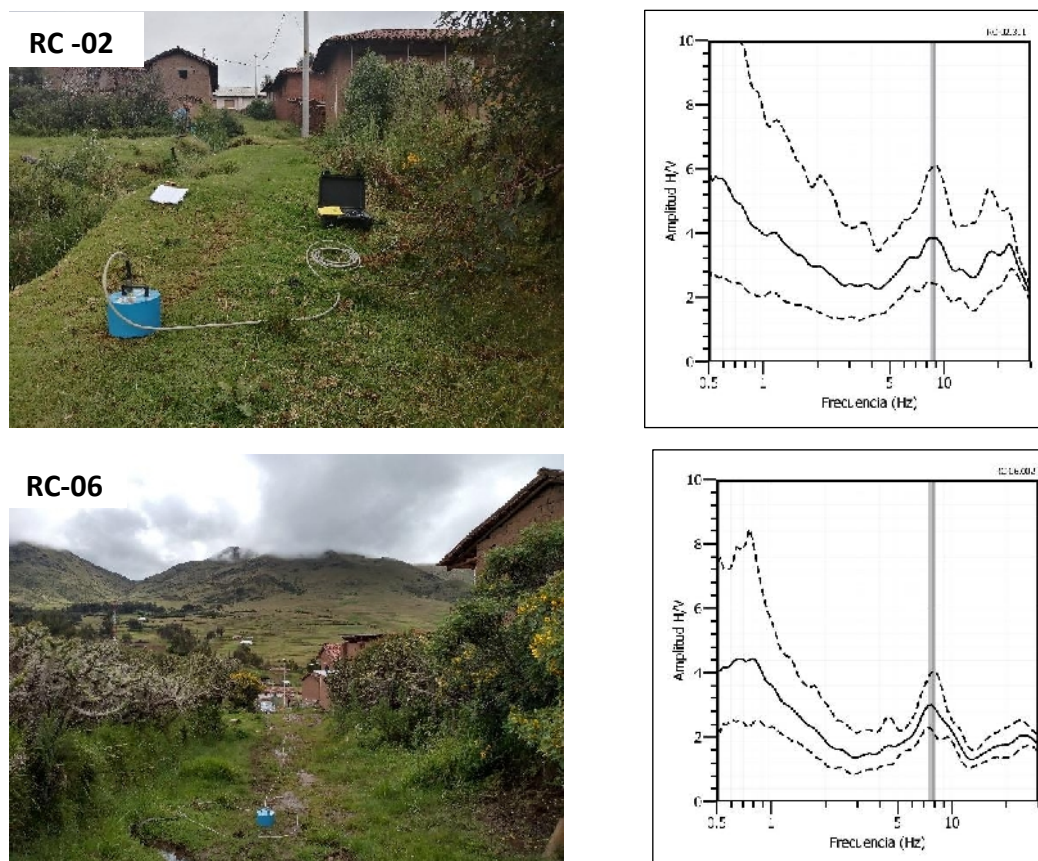


Figura 111: Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los puntos RC-02 y RC-06, ubicados en ambas márgenes del Corredor Vial del sur, en la localidad de Ranraccasa. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

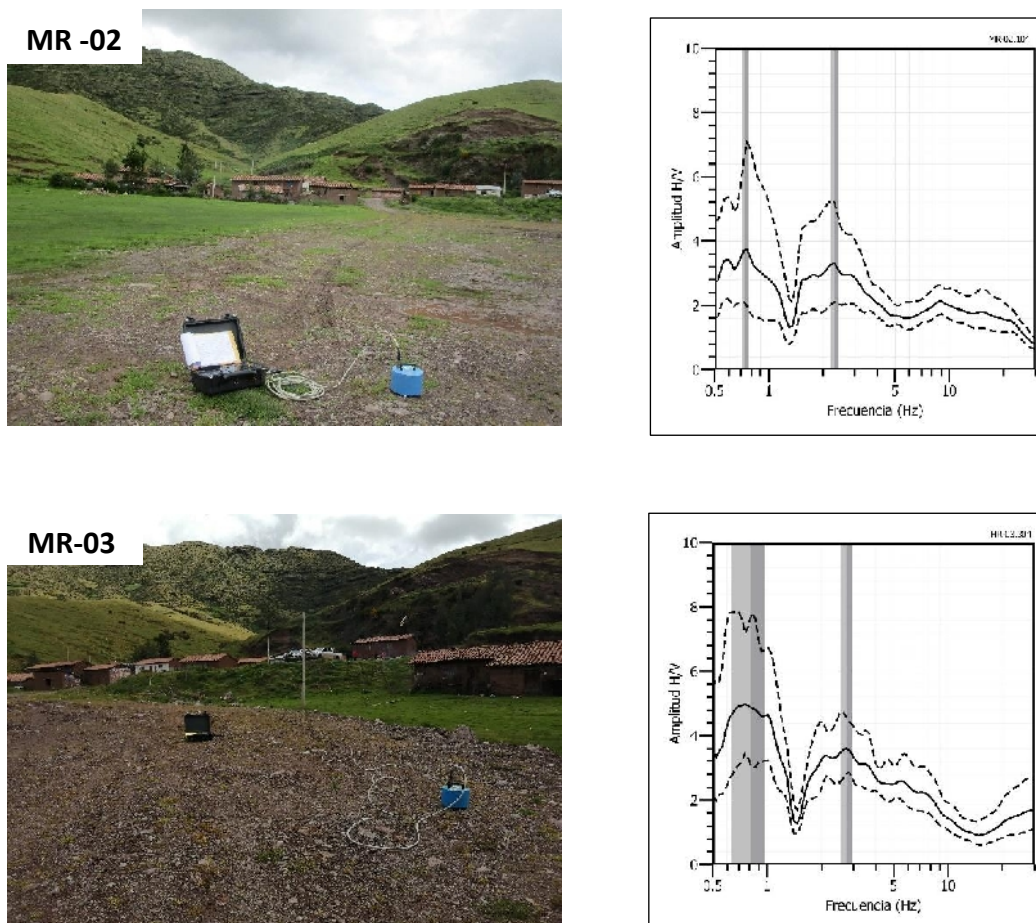
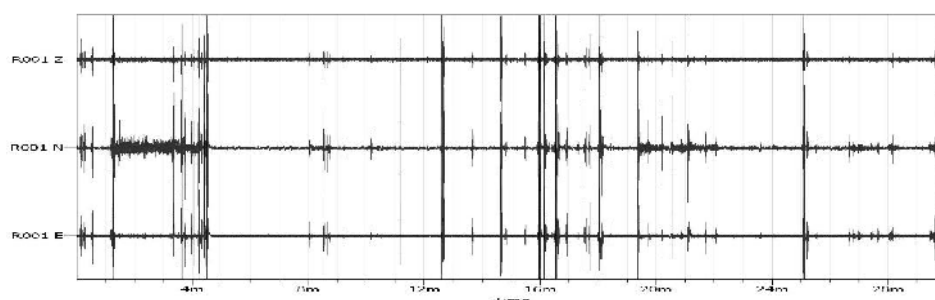
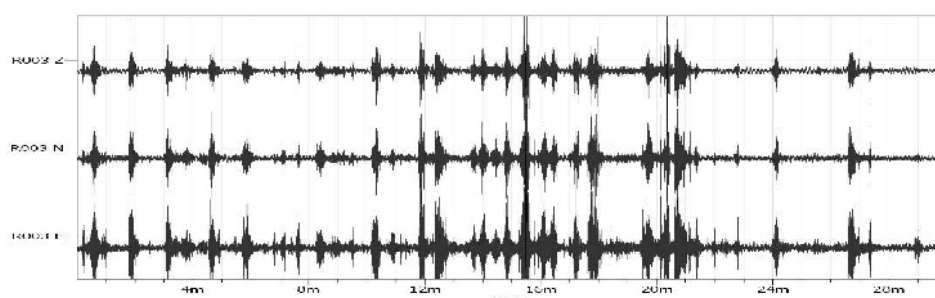


Figura 111: ...Continuación.../ Ejemplos de razones espectrales (H/V). Para los MR-02 y MR-03, ubicados hacia la margen derecha del Corredor Vial del sur, en el anexo de Marcahuay. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante.

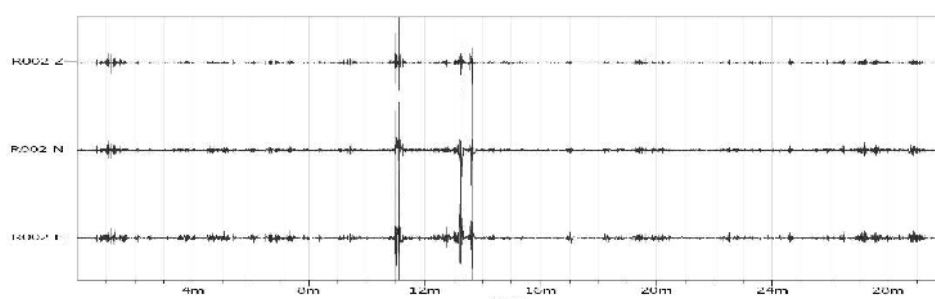
Registros obtenidos en el punto RC-02 (100 m.)



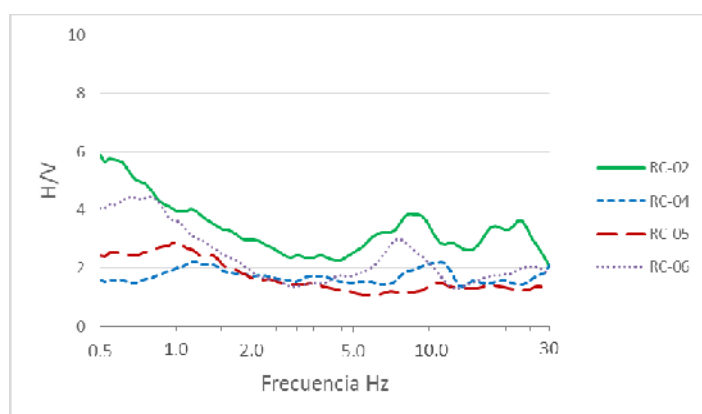
Registros obtenidos en el punto RC-04 (20 m.)



Registros obtenidos en el punto RC-06 (60 m.)



Razones espectrales

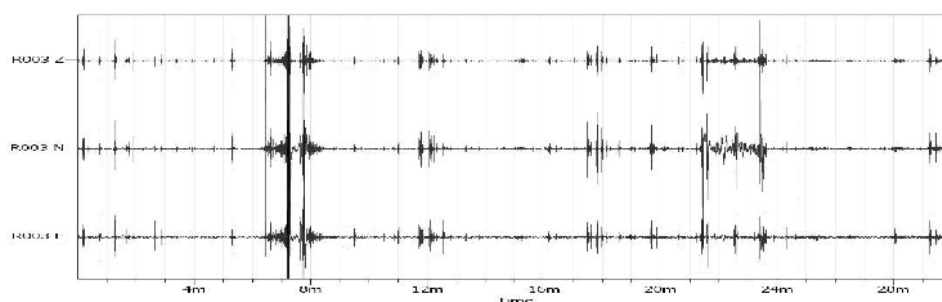


Resultados

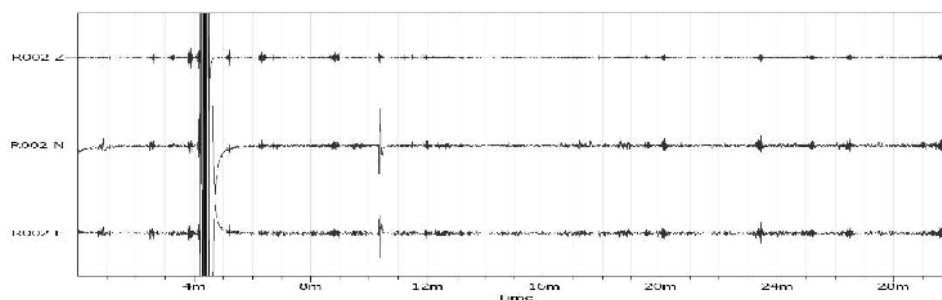
Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
RC-02	8.64	0.31	3.84	0.1
RC-04	10.23	0.67	2.17	0.1
RC-05	10.93	0.45	1.48	0.1
RC-06	7.73	0.33	2.99	0.1

Figura 112: En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental para los puntos RC-02, RC-04 y RC-06, obtenidos a 20, 60 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

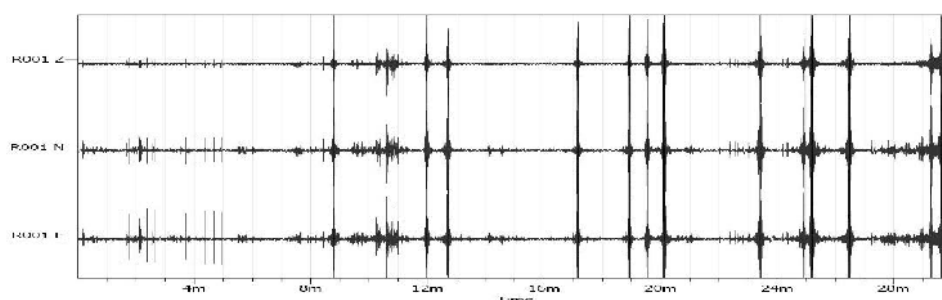
Registros obtenidos en el punto RC-10 (100 m.)



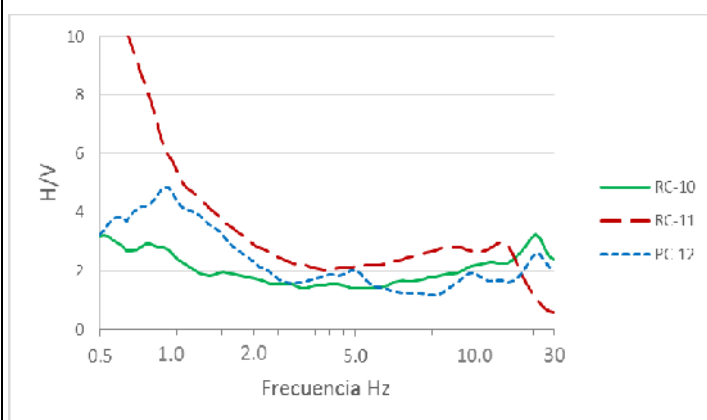
Registros obtenidos en el punto RC-11 (50 m.)



Registros obtenidos en el punto RC-12 (1 m.)



Razones espectrales



Resultados

Punto	f(Hz)	+/-	a	T(s)
RC-10	20.25	1.11	3.19	0.1
RC-11	19.00	1.65	3.06	0.1
RC-12	14.35	0.47	1.91	0.1

Figura 112: Continuación.../ En el extremo superior se presenta registros de vibración ambiental (RC-10, RC-11 y RC-12) obtenidos a 1, 50 y 100 metros de la carretera. En el extremo inferior se presenta las curvas de razones espectrales obtenidas para cada punto y los resultados obtenidos.

.- **Análisis de ondas superficiales**: La línea sísmica LS01-RC fue realizada en la zona céntrica de la localidad de Ranraccasa con orientación paralela a la carretera. Según los resultados, se ha identificado la presencia de suelos conformados por una capa sísmica (Tabla 34) de 13 metros de espesor y velocidades de ondas de corte Vs de 300 m/s indicando la presencia de suelos moderadamente rígidos. El semiespacio presenta velocidades Vs > 507 m/s correspondiendo a suelos muy rígidos (Figura 113).

Tabla 34. Valores de espesor y Vs de los perfiles sísmicos obtenidos para el área de estudio.

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea Sísmica (MASW)	N° DE CAPA						
		1		2		Semiespacio		VS30 (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Ranrraccasa	LS01-RA	300	13	507	-	-	-	387
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

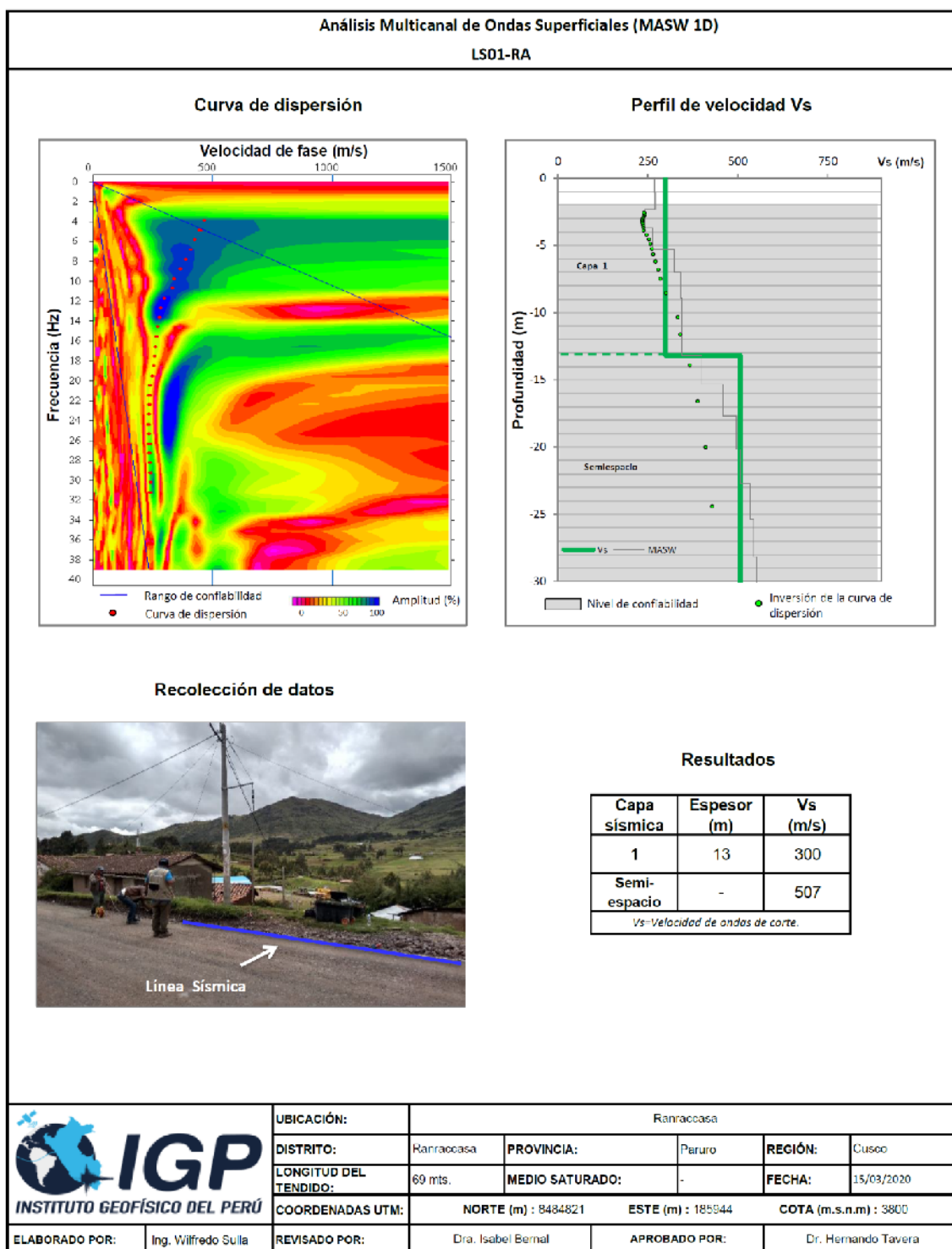


Figura 113. Resultados obtenidos con el ensayo MASW para la línea sísmica LS01-RA, realizado en la localidad de Ranraccasa.

.- **Tomografía eléctrica**: La línea LE01-RA fue realizada de manera perpendicular a la carretera o vía principal (Figura 114). En toda la línea se identifica que los suelos tienen el predominio de valores bajos resistivos ($<100 \Omega.m$) ver Figura 115; es decir, suelos altamente saturados hasta los 30 metros de profundidad.



Figura 114. Vista de las líneas eléctricas de Ranrraccasa (LE01-RA).

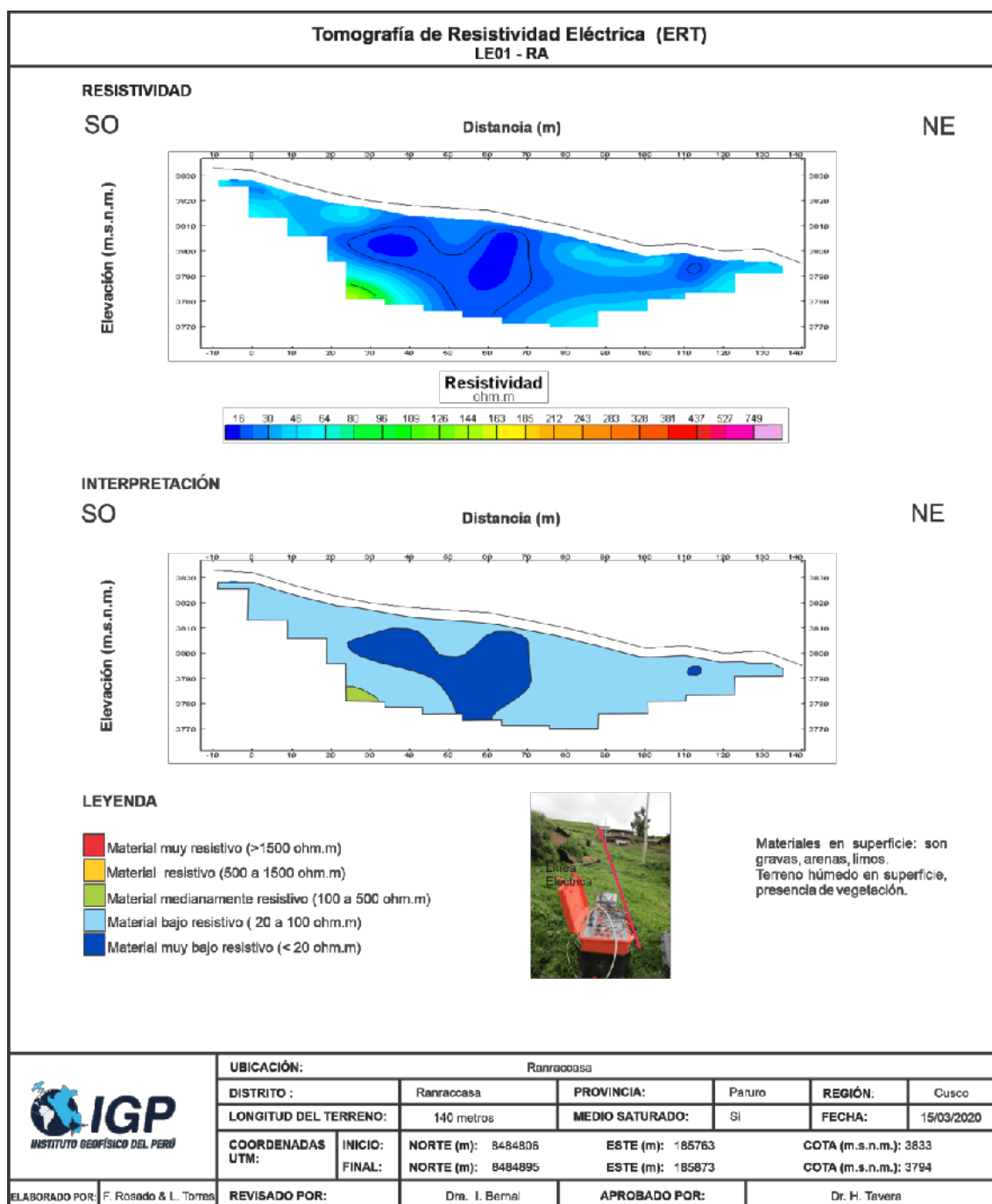


Figura 115. Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE01-RA.

c.) Integración de los resultados

En el área de estudio, los suelos responden a frecuencias predominantes de 7.5 a 8.5 Hz (F_0) evidenciando la existencia de una capa sedimentaria superficial de poco espesor compuesta por suelos de moderada consistencia. De acuerdo con el análisis sísmico, en superficie se identifica la presencia de suelos moderadamente rígidos ($V_s = 300$ m/s) asentados sobre suelos rígidos. Es importante indicar que, en toda el área de estudio, el nivel freático se encuentra, desde la superficie hasta profundidades de 30 metros.



Figura 116. Distribución espacial de los valores de periodos dominantes que corresponden a la respuesta dinámica del suelo y fotos de viviendas características de la zona.

En la Figura 116, se observa la distribución de los periodos del suelo y los factores de amplificación para cada punto. En este caso, en la localidad de Ranrraccasa predominan los periodos de 0.1 segundos, con amplificaciones de 2.5 veces y hacia los extremos NE y SE de hasta 3.5 veces. Estos resultados indican el predominio de suelos consistentes en su

zona céntrica, con tendencia a disminuir hacia sus extremos norte y sur. En el Anexo Marcahuay, los suelos responden a periodos de 0.4 y 0.5 segundos, con amplificaciones de 3.5 veces, evidenciando la menor consistencia de los suelos con respecto a lo observado en Ranraccasa.

d.) Conclusiones

-En la localidad de Ranraccasa se presentan suelos moderadamente rígidos a muy rígidos y que responden a periodos de 0.1 segundos. El estrato superficial presenta un alto grado de saturación, desde el nivel superficial hasta los 30 metros de profundidad.

- De acuerdo con el factor de amplificación, ante la ocurrencia de un sismo, los suelos de esta localidad no debieran experimentar mayores amplificaciones (excepto hacia sus extremos norte y sur), pero debido a su alto grado de saturación, el suelo podría experimentar asentamiento diferencial con potencial de licuación de suelos

- La vibración del suelo generada, por el paso de camiones menores producen bajos niveles de amplificación, pero el alto nivel freático del suelo sería un factor importante que contribuye en la generación de fisuras en las viviendas de adobe.

CONCLUSIONES GENERALES

El estudio sobre el comportamiento dinámico de los suelos debido al paso de vehículos pesados provenientes del Corredor Vial Apurímac, Cusco y Arequipa, en 16 localidades ubicadas en las vías de tránsito o carreteras de las provincias de Chumbivilcas y Paruro (Región Cusco), ha permitido llegar a los siguientes resultados finales:

-En las localidades de Huaylla Huaylla, Halanta, Patacsillo, San Roque, Sol de Oro, Tuntuma, Huallpamayo, Huincho, Huiniquiri, Pumapuquio, Ocho de Agosto, Ccoyabamba, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranraccasa, se han identificado la existencia de suelos con diferentes grados de rigidez, variando de suelos blandos a moderadamente rígidos y muy rígidos; tal como se observa en la Tabla 35. Los suelos blandos predominan en las localidades de Patacsillo, Sol de Oro, Huincho y Huiniquiri (V_s menor a 200m/s) con espesores que alcanzan los 7 metros; suelos moderadamente rígidos en el resto de las localidades (V_s entre 200 y 350m/s) con capas cuyos espesores varían de 2 a 13 metros. Bajo estos estratos, en las localidades de Huaylla Huaylla, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranraccasa, la rigidez del suelo se incrementa rápidamente hasta superar los 500 m/s, lo cual evidencia la presencia de suelos compuestos por material muy rígido o roca blanda. La rigidez de los suelos y su comportamiento dinámico se ven alteradas por efectos de erosión y filtración de agua, ante la ocurrencia de sismos o vibraciones inducidas.

-El 75% de las localidades estudiadas presentan suelos con alto grado de saturación o alto nivel freático (Tabla 36). Las localidades de Huaylla Huaylla, Halanta, Tuntuma, Huallpamayo, Huincho, Huiniquiri, Pumapuquio, presentan niveles freáticos a nivel superficial; y las localidades

de Ocho de Agosto, Ccoyabamba, Ayusbamba, Ccoypa, Paccarectambo y Ranrraccasa, presentan alto grado de saturación a mayor profundidad. Los suelos de las localidades Patacsillo, San Roque y Sol de Oro, no presentan saturación.

-En la mayoría de las localidades estudiadas, los suelos responden principalmente a periodos de 0.1 y 0.2 segundos, excepto en las localidades de Ayusbamba, Ccoypa y Paccarectambo que responden a periodos mayores. Los suelos con mayores amplificaciones (igual o más de 4 veces), se encuentran en las localidades de Halanta, Patacsillo, Sol de Oro, Tumtuma, Ocho de Agosto, Ccoyabamba y Ccoypa, lo cual evidencia su menor consistencia.

-De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, las vibraciones del suelo generadas por el paso de camiones, en localidades como Sol de Oro, Tumtuma, Huiniquiri se amplificó hasta 2.2 veces y en las localidades de Halanta, Patacsillo, San Roque, Huincho, Ocho de Agosto, Paccarectambo, varía entre 0.5 y 1.4 veces. En el resto de las localidades, las vibraciones influyen a altas frecuencias (mayores a 10 Hz), no siendo interés de este estudio.

-Los resultados indican que los camiones de carga pesada que transitan por la carretera o vía principal de las provincias de Chumbivilcas y Paruro, generan vibraciones que “contribuyen” al deterioro de las viviendas de adobe ubicadas en ambos márgenes de esta vía; sin embargo, no son determinantes como los efectos generados por la presencia de suelos blandos con altos niveles de saturación y/o nivel freático, que dañan a sus estructuras. En este escenario, se debe considerar que el adobe utilizado en la construcción de viviendas, es un material higrófilo que tiende a absorber la humedad del subsuelo y/o atmosférica para perder resistencia a la presencia de esfuerzos de tracción, aún los de su propio peso. Asimismo,

disminuyen su estabilidad frente a cualquier agente externo derivado de fuentes naturales (sismos) y/o antrópicas (paso de vehículos).

Tabla 35. Valores de espesor de capas y velocidades de ondas de corte (Vs).

Superficie				Profundidad				
Lugar	Línea	N° DE CAPAS						
	Sísmica (MASW)	1		2		Semiespacio		VS ₃₀ (m/s)
		Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	
Huaylla Huaylla	LS01-HH	432	5	813	8	1066	-	794
Halanta	LS01-HA	228	2	359	9	690	-	481
Patacsillo	LS01-PT	192	2	426	13	570	-	437
San Roque	LS01-SR	252	2	437	13	683	-	498
Tuntuma	LS01-TM	235	4	366	5	775	-	518
Huallpamayo	LS01-HP	222	5	377	-	-	-	331
Huincho	LS01-HN	300	5	465	8	785	-	534
Huinqinquiri	LS01-HQ	153	5	288	10	402	-	280
Pumapuquio	LS01-PQ	146	7	376	16	577	-	289
Ocho de Agosto	LS01-OA	265	9	426	14	543	-	371
Ccoyabamba	LS01-CB	222	5	369	13	529	-	365
Ccoyabamba	LS02-CB	231	9	469	17	637	-	362
Ayusbamba	LS01-AY	320	9	521	17	620	-	441
Ccoypa	LS01-CC	295	9	529	14	723	-	441
Paccarectambo	LS01-PC	264	9	427	17	537	-	369
Paccarectambo	LS02-PC	242	11	513	-	-	-	359
Ranrraccasa	LS01-RA	300	13	507	-	-	-	387
Suelo blando (Vs < 180 m/s) Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s) Suelo rígido (350 – 500 m/s) Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s) Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s) Roca dura (Vs > 1500 m/s)								

Tabla 36: *Para cada localidad se indica el tipo de vehículos que transitaron durante la adquisición de datos, así como los parámetros físicos y dinámicos del suelo. NF, Nivel freático superficial; To, periodo de respuesta del suelo y Ar el factor de amplificación*

Localidad	NF	Saturación	Vibrac. Superficial	To (seg)	Ar (veces)	Camiones Encapsulados.	Camiones Carga ancha	Vibraciones que contribuyen al deterioro de las Viviendas de adobe
Huaylla Huaylla	SI	SI	NO	--	--	SI	SI	frec altas
Halanta	SI	SI	NO	0.2	5.0	SI	SI	0.8 veces
Patacsillo	NO	NO	SI	0.2	4.0	SI	SI	1.1 veces
San Roque	NO	NO	SI	0.2	3.5	SI	SI	1.4 veces
Sol de Oro	NO	NO	SI	0.1-0.2	6.0	SI	SI	2.2 veces
Tumtuma	SI	SI	NO	0.1	6.5	SI	SI	2.0 veces
Huallpamayo	SI	SI	NO	0.1	2.0	SI	SI	frec altas
Huincho	SI	SI	SI	0.2	2-3.0	SI	SI	0.3 veces
Huinqiri	SI	SI	SI	0.1-0.2	3.5	SI	SI	2.2 veces
Pumapuquio	SI	SI	SI	0.1-0.2	3.0	SI	SI	frec altas
Ocho de Agosto	NO	SI	SI	0.1- 0.3	4.0	SI	SI	0.9 veces
Ccoyabamba	NO	SI	NO	0.1-0.2	4.5	NO	SI	frec altas
Ayusbamba	NO	SI	NO	0.4 y 0.6	2.5	NO	SI	frec altas
Ccoypa	NO	SI	NO	0.2 y 0.3	4.0	NO	SI	frec altas
Paccarectambo	NO	SI	NO	0.2 y 0.4	2.0	NO	SI	0.5 veces
Ranrraccasa	NO	SI	NO	0.1	2.5	NO	SI	frec altas

BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, I (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala – México. Tesis de Maestría, II-UNAM, México.
- Bernal, I., Tavera, H., Sulla, W., Arredondo, L., & Oyola, J. (2018). Geomorphology characterization of Ica basin and its influence on the dynamic response of soils for urban seismic hazards in Ica, Peru. *International Journal of Geophysics*, 2018, article ID 9434251, 12. <https://doi.org/10.1155/2018/9434251>
- INGEMMET, 2010. Mapa Geológico del cuadrángulo de Cusco, escala 1:100 000 Hoja 28-s.
- Loke M.H. (1996-2004). Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys.
- Mendivil, S., Dávila, D., 1194. Geología de los cuadrángulos de Cuzco y Livitaca Hojas 28-s y 29-s. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N° 52, Serie A: Carta Geológica Nacional, pp.120.
- Nakamura, Y., (1989): A Method of Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface-Railways Technol. Res. Inst. Quaterly Reports, 30(1): 25-33.
- Norma Técnica de edificaciones E.030 (2018). Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA, modificada por Decreto Supremo N° 003-2018-VIVIENDA.
- Reynolds, J.M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2nd ed., 712 pp.
- SESAME (2004). Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Research Report WP12, Available online at: <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>.