

	Informe geotécnico		Consecutivo: 168-2021-001	 
	EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 1 de 14	

INFORME GEOTÉCNICO

PROYECTO:

CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SITIO (MASW) EDIFICIO DE INGENIERÍA UCR

SAN PEDRO, MONTES DE OCA, SAN JOSÉ

CLIENTE:

Universidad de Costa Rica

El estudio geotécnico realizado está sustentado en la ejecución de los ensayos según los procedimientos siguientes:

1. EN-P15 Ensayo MASW.

El informe geotécnico se elabora en correspondencia con el procedimiento EG-P01 Exploración geotécnica.

Enero, 2023

Aprobado por	
	Ing. Luis Ángel Vargas Alta Dirección
Nota: El presente informe no es válido si no posee la firma de aprobación	

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 2 de 14

ÍNDICE

	Pág. No.
1. INTRODUCCIÓN.	3
1.1. Aspectos Generales.	3
1.2. Objetivos y Alcances.	3
1.3. Autorización.	3
1.4. Estatutos Profesionales.	4
1.5. Construcción Propuesta.	4
2. INVESTIGACIONES EN EL SITIO.	5
2.1. Programa de exploración de campo.	5
2.2. Post-procesamiento de resultados	6
3. ASPECTOS SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES.	8
3.1. Descripción del sitio.	8
3.2. Correlación de sondeos MASW.	10
4. RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO.	12
4.1. Generalidades.	12
4.2. Clasificación sísmica según CSCR.	13
4.3. Periodo Natural del terreno según CSCR	13
ANEXOS	
ANEXO A: Mapa de ubicación del proyecto.	
ANEXO B: Croquis de ubicación de los sondeos realizados MASW.	
ANEXO C: Espectro-FK.	
ANEXO D: Hojas de resumen de ensayos MASW.	
ANEXO E: Registro fotográfico del proyecto.	

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 3 de 14

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. ASPECTOS GENERALES.

Este reporte presenta los resultados de nuestra investigación efectuada en el sitio de proyecto correspondiente con el Edificio de Ingeniería de la UCR, ubicado en San Pedro de Montes de Oca. La exploración se efectuó con el uso de métodos geofísicos tipo sísmico (MASW). La ubicación general del sitio con respecto a rasgos topográficos y edificios existentes se presenta en el Anexo A, mapa de ubicación. La ubicación de los sondeos efectuados como parte de esta investigación se presenta en el Anexo B, croquis de ubicación específica.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE.

En general, los objetivos de esta investigación fueron:

1. Determinar la clasificación sísmica del sitio por medio de Vs30 y MASW.

Para cumplir estos objetivos, nuestro alcance ha incluido lo siguiente:

1. Un programa de trabajo de campo, el cual consistió en la ejecución de dos sondeos exploratorios con equipo geofísico MASW.
2. Un programa de post-procesamiento de resultados geofísicos.
3. Un programa de trabajo de oficina que consistió en la correlación de datos disponibles, análisis de ingeniería, y la preparación del presente reporte.

1.3. AUTORIZACIÓN.

La exploración fue autorizada y coordinada por parte del Ing. Víctor Schmidt (Universidad de Costa Rica), mediante un comunicado verbal vía telefónica y correo electrónico.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 4 de 14

1.4. ESTATUTOS PROFESIONALES.

Los datos utilizados que soportan nuestras recomendaciones se presentan en las sub-siguientes secciones del presente reporte. Las recomendaciones que se presentan acá están gobernadas por las propiedades físicas de los suelos encontrados en el sitio durante la ejecución de los sondeos exploratorios. Las características del proyecto se discuten en la sección 1.5., Construcción Propuesta, del presente reporte.

Si se encuentran condiciones sub-superficiales diferentes a las que se describen en el presente reporte o si se producen cambios en las características del proyecto, MYV deberá ser informado para que nuestras recomendaciones puedan ser revisadas / corregidas, si se considera necesario.

Nuestros servicios profesionales han sido efectuados de acuerdo con principios y prácticas de ingeniería actualmente aceptadas.

1.5. CONSTRUCCIÓN PROPUESTA.

MYV entiende que en este sitio se desarrollará un estudio en dos diferentes zonas de la Ciudad de la Investigación, para evaluar la posibilidad de instalar un acelerómetro en alguno de estos dos sitios.

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

2. INVESTIGACIONES EN EL SITIO.

2.1. PROGRAMA DE EXPLORACIÓN DE CAMPO.

2.1.1. SONDEOS SÍSMICOS TIPO MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales)

Se realizaron dos (2) sondeos sísmicos tipo MASW (análisis multicanal de ondas superficiales), distribuidos en dos sitios de la Ciudad de la Investigación. La tabla 1 muestra la descripción de los sondeos sísmicos efectuados en el sitio de proyecto, con respecto a la configuración correspondiente:

Tabla 1.
Descripción de los sondeos exploratorios

ID Sondeo	Latitud Norte*	Longitud Este*	Profundidad alcanzada (m)	Ubicación
MASW-1	1098892	495157	30	Sitio #1 (Anexo B)
MASW-2	1098913	494850		Sitio #2 (Anexo B)

(*) - Las coordenadas se levantaron por medio de un equipo GPS Garmin MAP62, en sistema CRTM05.

La figura 1 muestra esquemáticamente la configuración de un sistema de adquisición de datos utilizando el método MASW. En general, una separación mayor entre geófonos permite caracterizar de mejor manera el terreno a profundidad. Además, una separación grande entre la fuente y el sistema de geófonos permite asegurar una alta calidad de ondas superficiales para longitudes de ondas grandes ya que se minimizan considerablemente, algunos efectos no deseados como efectos de campo cercano. Longitudes de onda grandes son necesarias para el análisis a mayor profundidad. Por otro lado, una distancia corta entre la fuente y el sistema de geófonos permite asegurar la misma calidad para longitudes de onda pequeñas necesarias para el análisis a profundidades someras. Por tanto, es usualmente una combinación de diferentes distancias fuente-geófonos lo que permite alcanzar una alta calidad de longitudes de onda, para cubrir así el mayor rango posible de profundidades de análisis.

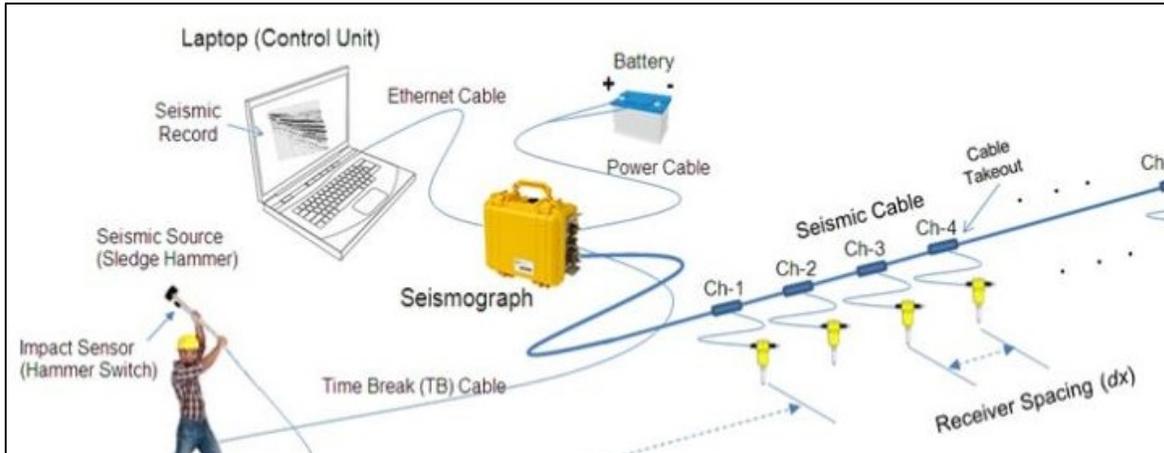


Figura 1. Configuración de un sistema de adquisición de datos utilizando el método MASW.

2.2. POST-PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

ENSAYOS MASW:

El método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de reconocimiento sísmico que evalúan la condición elástica (rigidez) del terreno para propósitos de ingeniería geotécnica. El método MASW permite medir las ondas sísmicas superficiales generadas a partir de varios tipos de fuentes sísmicas, entre ellas martillos o mazos, analizar las velocidades de propagación de estas ondas superficiales y, finalmente, deducir la variación en profundidad de la velocidad de onda cortante (V_s) debajo del perfil ensayado. La velocidad de onda cortante es una de las constantes elásticas y está relacionada estrechamente con el módulo de Young. Bajo la gran mayoría de circunstancias, la velocidad de onda cortante es un indicador directo de la resistencia del terreno (rigidez) y, por ende, comúnmente se utiliza para derivar capacidades de soporte.

La figura 2 muestra un diagrama esquemático del método de análisis multicanal de ondas superficiales. En este esquema se observa de izquierda a derecha, la fuente de las ondas sísmicas (trigger), la fuente ubicada a una distancia X_1 del primer geófono (source offset) y a una separación dx entre geófonos (receiver spacing), así como el sistema de conexión o interfaz entre el sistema de geófonos y un computador, utilizado para leer, almacenar y procesar las señales obtenidas durante las pruebas. Por último, se muestra un sismograma, el cual presenta el patrón de arribo de las ondas superficiales en cada geófono.

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

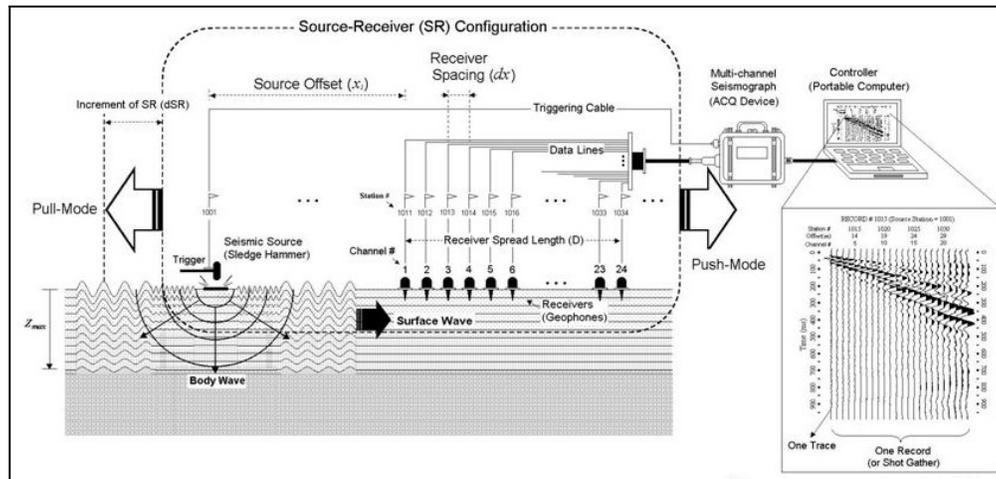


Figura 2. Diagrama esquemático de ejecución del método MASW.

El procedimiento común para ensayos con el método MASW (para perfiles 1-D) usualmente consiste de tres pasos:

Paso 1: Adquisición de datos – adquirir registros de campo multicanal.

Paso 2: Análisis de dispersión – extracción de curvas de dispersión (una de cada registro).

Paso 3: Inversión – retro análisis de la variación con la profundidad de la velocidad de onda cortante (VS) (llamado perfil 1-D) que da las curvas de dispersión teóricas más cercanas a la curva extraída (un perfil 1-D de Vs para cada curva).

Se realizaron dos ensayos con el método MASW. Cada ensayo sísmico consistió en la implantación de 24 (MASW-1) y 12 (MASW-2) geófonos verticales de baja frecuencia (4,5 Hz) distribuidos regularmente a intervalos de 2,0 metros, extendiéndose por tanto una longitud de 46 metros (MASW-1) y 22 metros (MASW-2) con cada una.

La separación de 2,0 metros entre los geófonos tiene por objeto conformar implantaciones con la longitud suficiente para alcanzar la profundidad de investigación necesaria, que en este caso es de 30 m. Así también para registrar las altas frecuencias y con ello incrementar la resolución vertical a profundidades someras.

Se consideraron distancias fuente-geófonos de 4 m. Se utilizó para esto un equipo de producción italiana modelo DoReMi, marca Sara Electronic Instruments S.R.L. Como fuente se utilizó un mazo de 4,5 kilogramos y una placa de disparo. En el Anexo C se presenta el espectro F-K obtenido del ensayo MASW.

3. ASPECTOS SUPERFICIALES Y SUBSUPERFICIALES.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO.

Los dos sitios de estudio presentan una topografía predominantemente plana, con ligeras ondulaciones en algunos sectores del proyecto. Actualmente los sitios donde se realizaron los ensayos, corresponden con zonas verdes, con cercanía a calles y edificios. En las figuras 3 y 4 se presenta una vista de los dos sitios en estudio.



Figura 3. Vista general del sitio de proyecto en estudio, Sitio #1.



Figura 4. Vista general del sitio de proyecto en estudio, Sitio #2.

En el Anexo E se presentan fotografías adicionales con respecto a las condiciones superficiales predominantes en el sitio de proyecto, así como de los ensayos realizados.

3.2. CORRELACIÓN DE SONDEOS MASW.

Se trazaron dos (2) implantaciones de velocidad de onda cortante (1-D), los cuales se distribuyeron en dos sitios diferentes, en la ciudad de la investigación de la UCR.

Los sondeos de velocidad de onda cortante muestran velocidades con un rango entre 164 m/s y 408 m/s, correspondientes con depósitos piroclásticos que conforman el Valle Central. La figura 5 muestra la distribución del perfil de velocidad de onda cortante para el sitio investigado.

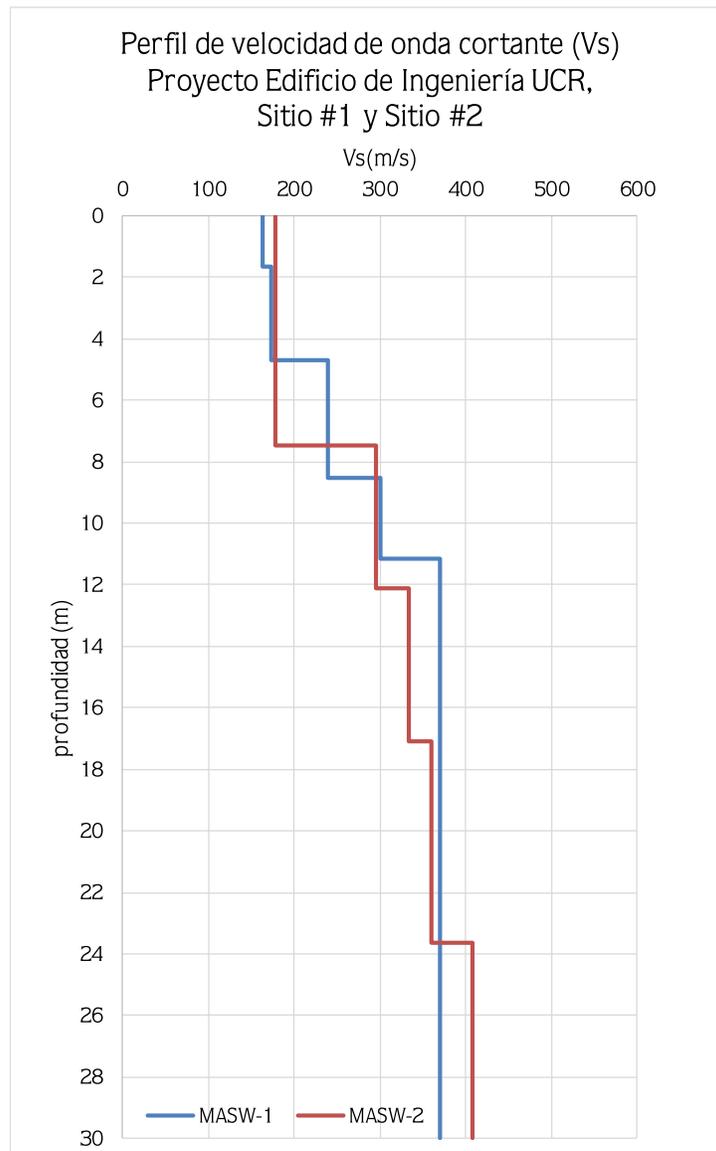


Figura 5. Sondeos de velocidad de onda cortante, Sitio #1 y Sitio #2.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 11 de 14

La figura 4 muestra un perfil donde se puede observar al menos tres capas o zonas de contraste. A continuación, se presenta la correlación litológica de las capas identificadas:

- Los valores de V_s entre 160 m/s y 200 m/s, corresponde con suelos blandos.
- Los valores de V_s entre 200 m/s y 300 m/s, corresponde con suelos medio compactos a compactos.
- Los valores de V_s entre 300 m/s y 400 m/s corresponden con suelos compactos a muy compactos.

Nota aclaratoria:

- a. El método MASW activo puede ser afectado por el ruido ambiental generado por fuentes externas.
- b. Los sitios donde se realizaron el ensayo corresponde con una zona urbana, por tanto, existe tránsito vehicular y peatonal, que implícitamente provocó que las señales no tuvieran la calidad óptima.

Informe geotécnico		
EG-P01-R02	Versión: 03 ¹	Página 12 de 14

4. RESPUESTA SÍSMICA DEL TERRENO

4.1. GENERALIDADES

Los comentarios del Código Sísmico de Costa Rica CSCR 2010 establecen textualmente lo siguiente: El parámetro más influyente en el comportamiento de un depósito es el promedio de velocidad de onda cortante. Comúnmente un depósito puede estar compuesto por varias capas de diferentes características. En caso de estratos de suelo someros o medios de espesores menores a 30 metros, todo el depósito es importante para la respuesta global sísmica. En depósitos más profundos, de contextura rígida, el movimiento en la superficie tiende a ser regido por las características de los primeros 30 metros del depósito, por lo que puede ser caracterizado por el promedio de la velocidad cortante de los 30 m superficiales. Los depósitos muy profundos de consistencia media a blanda no se pueden caracterizar de esta manera. Como se menciona en el párrafo a continuación, deben ser evaluados mediante un estudio específico de respuesta dinámica para el depósito.

La velocidad de onda ponderada que caracteriza los 30 metros superficiales del sitio deberá evaluarse como el promedio ponderado de los valores de los diferentes estratos que aparecen a esta profundidad, de la siguiente manera:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Donde h_i y v_i son respectivamente los espesores y velocidades de los estratos que componen los 30 metros superficiales del sitio.

El CSCR 2010 dice que, para proyectos de gran magnitud, la velocidad de onda cortante es el parámetro preferido para la caracterización de un sitio.

Una vez determinado el valor de V_{S30} específico, se clasifica el sitio de cimentación según la siguiente tabla:

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Tabla 2.
Clasificación del sitio de cimentación con base en Vs30

TIPO DE SITIO	Velocidad Vs30 (m/s)	Características
S1	>760	Roca
S2	360 – 760	Suelo muy denso o roca blanda
S3	180 – 360	Suelo rígido
S4	<180	Suelo blando

4.2 CLASIFICACIÓN SÍSMICA SEGÚN CSCR

Con base en la información de Velocidad de onda Cortante (Vs) obtenida para cada implantación se aplicó la metodología especificada por el Código Sísmico de Costa Rica. La tabla 3 muestra los valores de Vs30 estimado.

Tabla 3.
Clasificación del sitio de cimentación con base en Vs30

ID Sondeo	Velocidad Vs30 (m/s)	TIPO DE SITIO Según Art. 2.2 CSCR 2010
MASW-1	291	S3
MASW-2	282	

4.3. PERIODO NATURAL DEL TERRENO SEGÚN CSCR

Otro parámetro importante que se puede obtener a partir del análisis dinámico con velocidad de onda cortante Vs es el periodo natural predominante de suelo (Tn), según se desprende de la siguiente ecuación:

$$T_n = 4\sum(h_i/V_{si})$$

Donde:

Tn = Periodo Fundamental del Depósito de Suelo.

hi = Espesor del i-ésimo estrato.

Vsi = Velocidad de onda cortante Vs del i-ésimo estrato.

Con base en lo anterior, el periodo natural determinado para cada implantación, son los siguientes:

Tabla 4.
Periodo Natural T_n del Depósito de Suelo

ID Sondeo	Período (seg.)
MASW-1	0,41
MASW-2	0,43

De esta manera, se observan períodos naturales de vibración bajos debido a las características del depósito. Por tanto, si se trata de edificios relativamente bajos, estos podrían ser afectados por el fenómeno de resonancia. Para el caso específico de este proyecto, los periodos estimados para el edificio son mayores que 1,0 segundo.

-----**FIN DE DOCUMENTO**-----

INCLUYE

ANEXO A, MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO.

ANEXO B, CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS MASW.

ANEXO C, ESPECTROS F-K.

ANEXO D, HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW.

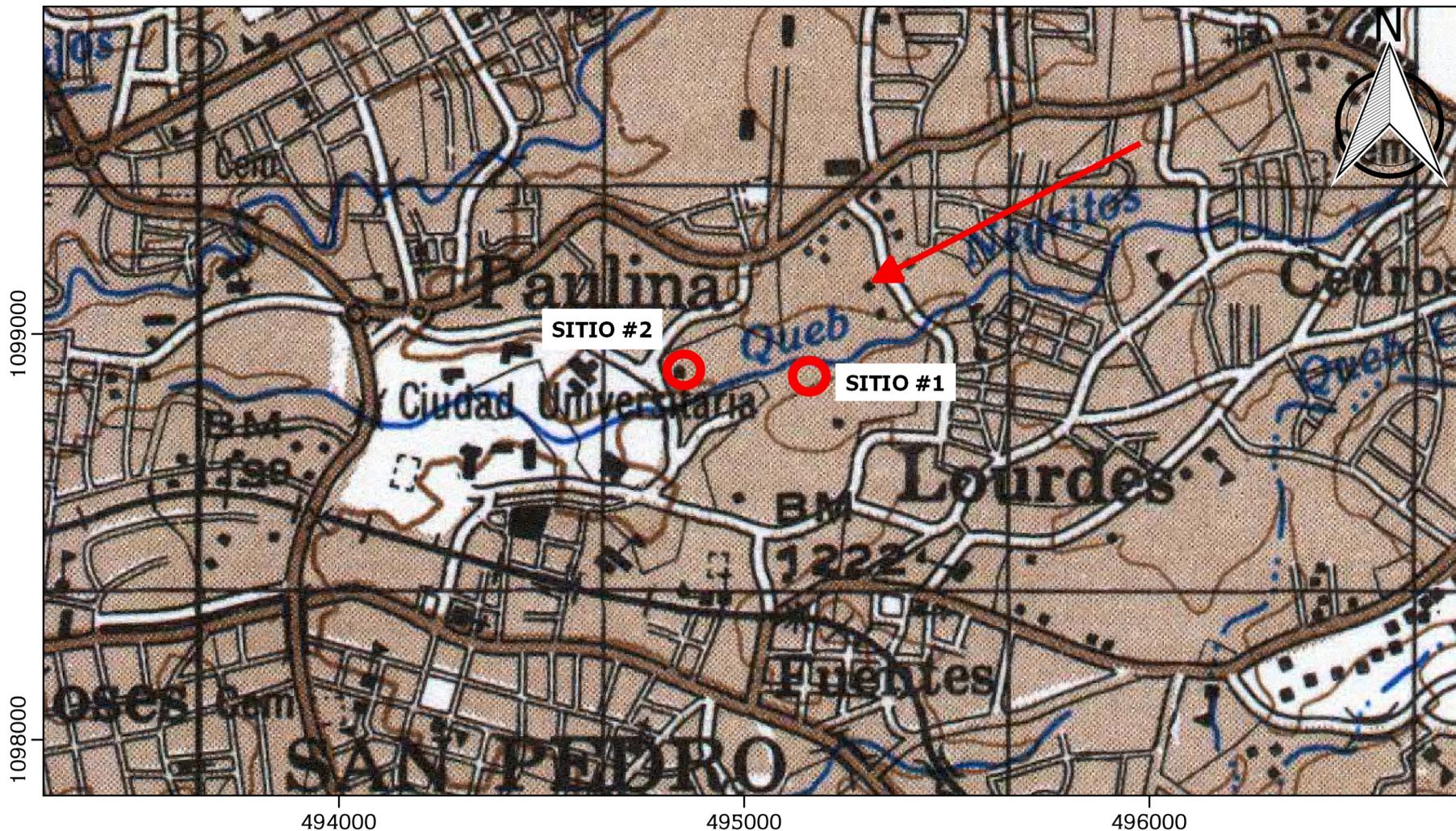
ANEXO E, REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO.

ANEXO **A**

MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Proyecto: 168-2022



**MAPA DE UBICACIÓN GENERAL
HOJA CARTOGRÁFICA ABRA 1:50000**

ANEXO **B**

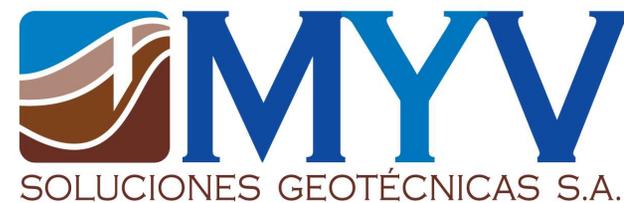
CROQUIS DE UBICACIÓN DE SONDEOS MASW

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Proyecto: 168-2022



**CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS
SONDEOS EXPLORATORIOS
SITIO #1**

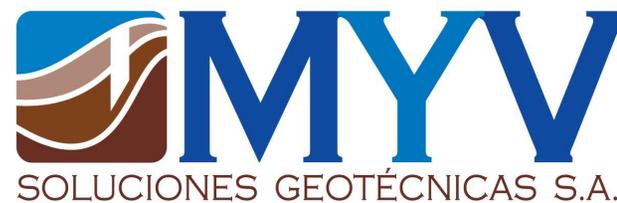




Google Earth

Image © 2022 Maxar Technologies

**CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS
SONDEOS EXPLORATORIOS
SITIO #2**



ANEXO 

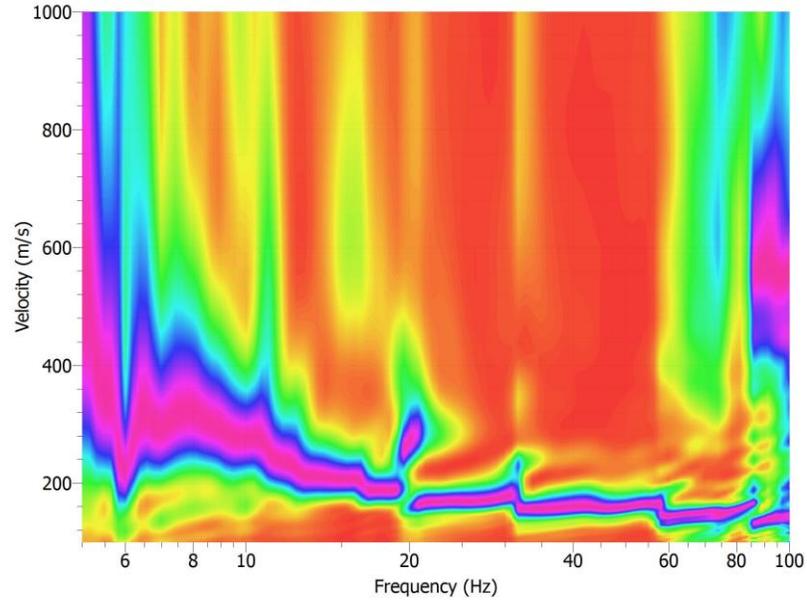
ESPECTROS F-K

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Proyecto: 168-2022

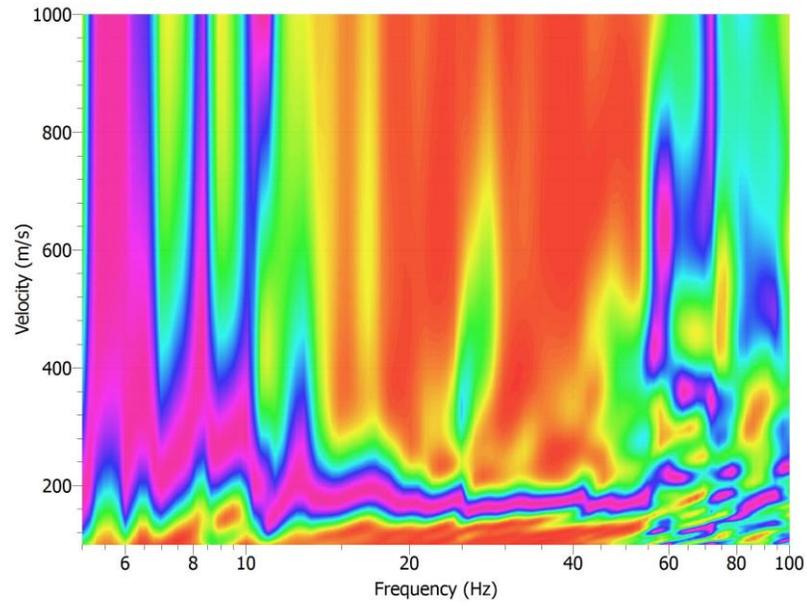
Espectros F-K

Shot at (0, 0, 0), time=2000-01-01 00:00:00



MASW-1

Shot at (0, 0, 0), time=2000-01-01 00:00:00



MASW-2

ANEXO *D*

HOJAS DE RESUMEN DE ENSAYOS MASW

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Proyecto: 168-2022

SUPERVISOR: Ing. Luis A. Vargas **PROCESADOR:** Geól. Lupita Murillo
GEÓLOGO: Geól. Lupita Murillo
OPERADOR: Geól. Lupita Murillo **PROYECTO:** Edificio de Ingeniería Sísmica UCR
PREPARADO PARA: Universidad de Costa Rica

SONDEO: MASW-1

FECHA:
15/12/22

COORDENADAS (CRTM-05)

NORTE: 1098892 **ESTE:** 495157

ALTURA: ---

ESTRATIGRAFÍA

0m - 4,7m: Suelos blandos
 4,7m-11,0m: Suelos medio compactos a compactos
 11,0m - 30,0m: Suelos compactos a muy compactos

LOCALIDAD: Ciudad de la Investigación

PROVINCIA: San José

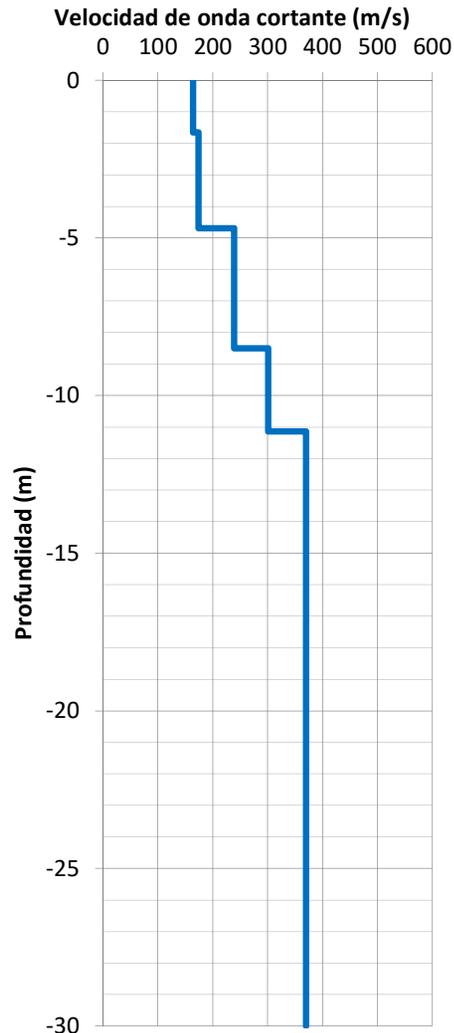
CANTÓN: Montes de Oca

DISTRITO: San Pedro

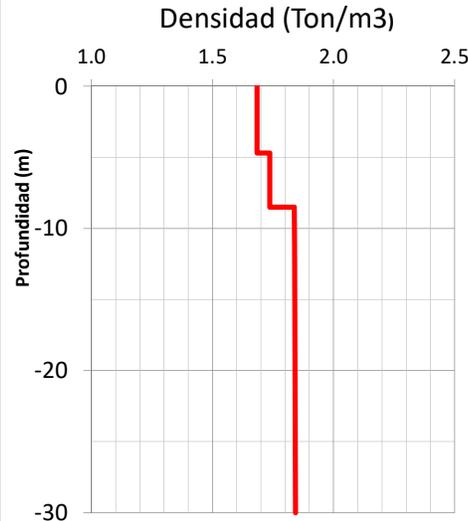
CROQUIS:



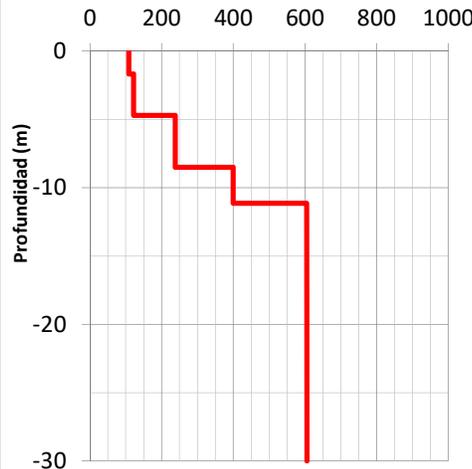
**Perfil de velocidad de onda cortante
MASW-1**



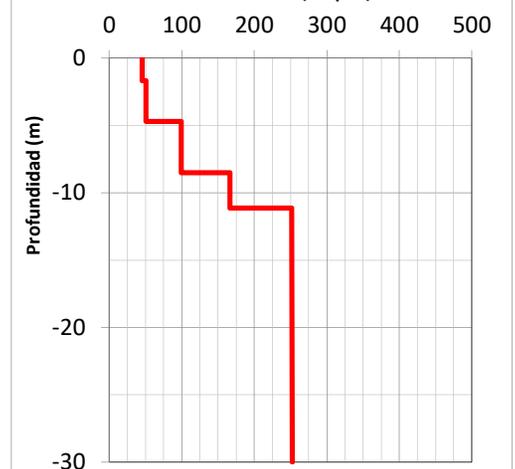
Perfil de densidad de material



**Módulo Elástico
E (Mpa)**



**Módulo de Cortante Máxima
G max (Mpa)**



SUPERVISOR: Ing. Luis A. Vargas **PROCESADOR:** Geól. Lupita Murillo
GEÓLOGO: Geól. Lupita Murillo
OPERADOR: Geól. Lupita Murillo **PROYECTO:** Edificio de Ingeniería Sísmica UCR
PREPARADO PARA: Universidad de Costa Rica

SONDEO: MASW-2

FECHA:
15/12/22

COORDENADAS (CRTM-05)

NORTE: 1098913 **ESTE:** 494850

ALTURA: ---

ESTRATIGRAFÍA

0m - 7,5m: Suelos blandos
 7,5m-12,0m: Suelos medio compactos a compactos
 12,0m - 30,0m: Suelos compactos a muy compactos

LOCALIDAD: Ciudad de la Investigación

PROVINCIA: San José

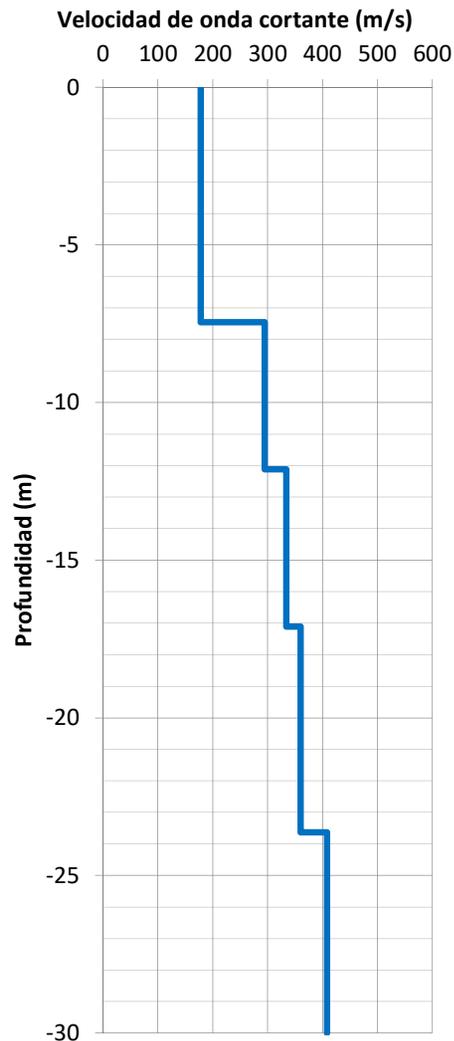
CANTÓN: Montes de Oca

DISTRITO: San Pedro

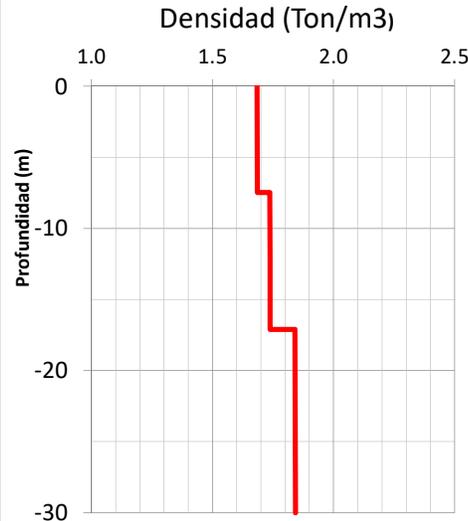
CROQUIS:



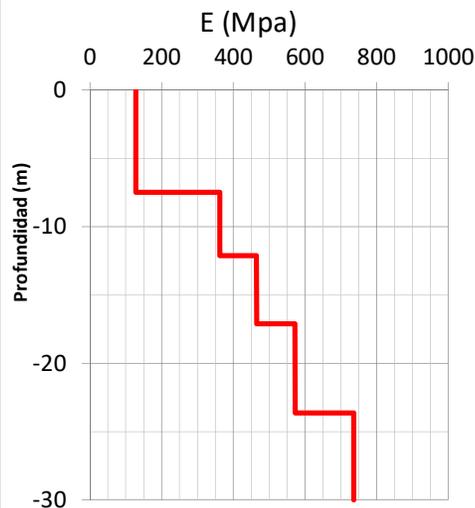
**Perfil de velocidad de onda cortante
MASW-2**



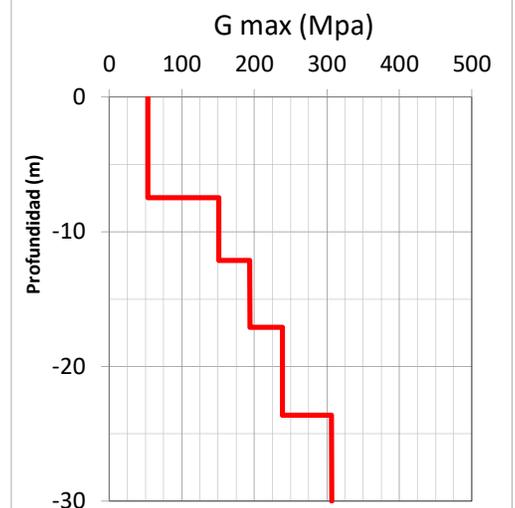
Perfil de densidad de material



Módulo Elástico



Módulo de Cortante Máxima



ANEXO *E*

REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROYECTO

"Los servicios que presta MYV Soluciones Geotécnicas S.A., se basan en los resultados de los muestreos y ensayos de nuestro Laboratorio Acreditado, ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según la norma INTE/SO/IEC 17025:2017, con el número LE-118"; ver alcance en www.eca.or.cr

Proyecto: 168-2022



Fotografía 1. Ejecución del ensayo MASW-1, Sitio #1.



Fotografía 2. Ejecución del ensayo MASW-1, Sitio #1.



Fotografía 3. Ejecución del ensayo MASW-2, Sitio #2.



Fotografía 4. Ejecución del ensayo MASW-2, Sitio #2.