



Maestría en Ciencias de la Tierra

Sismología ambiental

Leonardo Niño Estrada

Diciembre del 2017

1. Introducción

El volcán de fuego de Colima se encuentra en el límite de los estados de Jalisco y Colima, es clasificado como un estratovolcán de la zona occidental del cinturón volcánico transmexicano y representa vulcanismo reciente del cinturón, siendo uno de los más activos de México. El volcán de Fuego de Colima es un estratovolcán que forma parte del complejo volcánico de Colima, donde los principales componentes son el Nevado de Colima, los relictos del Volcán de Fuego ancestral, algunos domos y volcanes parásitos menores. El volcán de fuego moderno comenzó su actividad eruptiva hace aproximadamente 4,000 años, dando como resultado la construcción del edificio volcánico actual (Rodríguez 1995), el volcán de Colima ha experimentado varios estilos eruptivos entre ellos destacan erupciones efusivas, peleanas y plinianas.

La morfología del terreno sur del volcán de Colima son características por presentar disección fluvial, la cual genera una importante cantidad de barrancas que tienen un origen en las porciones más elevadas y de gran pendiente del volcán, dadas éstas características se forma un patrón radial característico en torno al volcán de Colima (Rodríguez 1995).

A lo largo de las barrancas del volcán de Fuego de Colima se han emplazado varias corrientes piroclásticas de densidad, como lo es el caso del área de la Yerbabuena (Martín del Pozzo et al, 1987), sin embargo en el volcán también es común encontrar depósitos de lahares, los cuales se originan debido a la poca consolidación de materiales y a la alta precipitación que presenta el área. La removilización se ve más favorecida durante la temporada de lluvias.

Actualmente los procesos volcánicos que representan el mayor peligro son los flujos piroclásticos y los lahares, particularmente éste último representa una alta recurrencia, especialmente en la temporada de lluvias la cual ocurre entre Junio y Octubre (Davila et. al., 2007). Motivo por el cual el volcán actualmente se encuentra monitoreado por varios instrumentos sísmicos (sismómetros, banda ancha y acelerómetros) así como también por elementos visuales, como es el caso de cámaras de video y fotográficas. En el presente estudio se presenta el análisis y caracterización sísmica de 2 eventos de lahares suscitados el 26 de agosto y 30 de agosto del 2016, a lo largo de la barranca de la Lumbre, ubicada al suroeste del volcán de Colima, los eventos fueron detectados y analizados con un geófono, un banda ancha y un acelerómetro, del cual se observa caracterizaciones similares.

2. Área de estudio

El volcán de Fuego de Colima, se encuentra en el límite de los estados de Jalisco y Colima, la barranca de la Lumbre tiene su origen en las cercanías del cráter del volcán, y drena hacia las pendientes Oeste-Suroeste del volcán (figura 1), atravesando las periferias del poblado de la Lumbre, la estación sísmica se encuentra en las cercanías del borde izquierdo de la barranca a aproximadamente 1580 m.s.n.m.

La lumbre es una de las barrancas que presenta mayor cantidad de eventos de lahares (Vazquez et. al., 2014), lo cual se debe importantemente a que a lo largo del canal hay un gran acarreo de materiales poco consolidados (figura 2), generando una importante cantidad

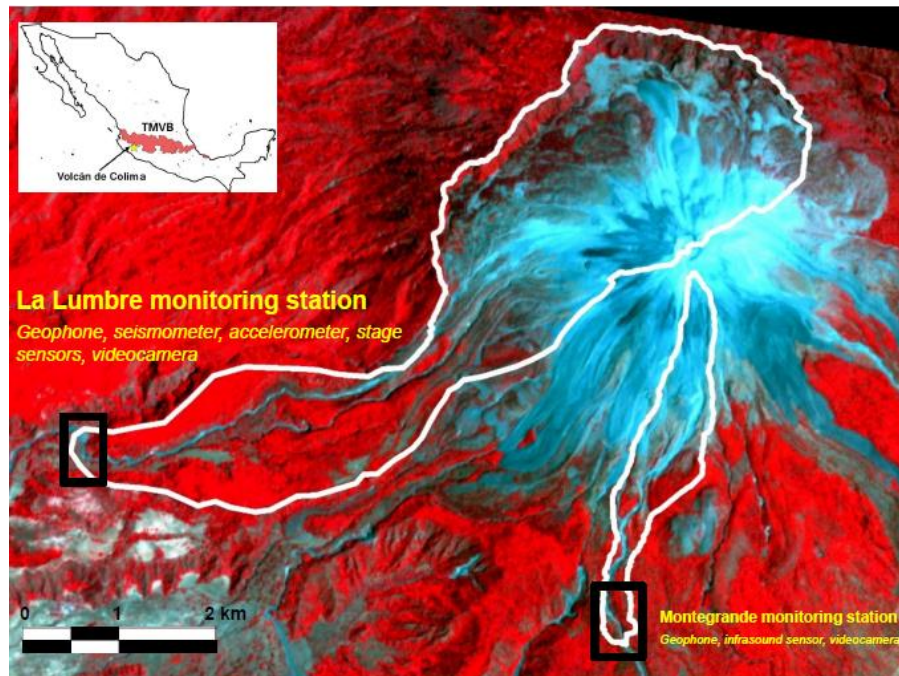


Figura 1) ubicación de la estación de monitoreo en el volcán de Colima. Tomado de Velio et. al., (2017)



Figura 2 y 3) Barranca de la lumbre, en la figura 2 (izquierda) se aprecia la sección transversal a través de la cual están instalados los instrumentos, en la figura 3) se observa la forma y componentes de la barranca la Lumbre, la cual contiene una importante cantidad de material disuelto.

de depósitos volcániclasticos mayormente representados como depósitos de flujos de escombros, caracterizados por ser masivos, heterolitológicos (figura 3), soportados por matriz de ceniza fina y compuesto por bloques de lavas y pómez de tamaños grava gruesa a bloques.

El monitoreo se lleva a cabo con instrumentos colocados en una sección transversal que cruza la barranca. La estación cuenta con un sismógrafo, un banda ancha, un acelerómetro y una videocámara que graba en tiempo real, lo cual garantiza tener un muy buen control del tiempo durante el cual el flujo cruza la barranca. Todos los datos son transmitidos in tiempo real a la Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima (RESCO) (Vázquez et al. 2014).

3. Planteamiento del problema

La barranca de la Lumbre es una de las más activas en el Volcán de Fuego, dada la concurrencia con la que se suscitan eventos de lahares. Particularmente los días 26 y 30 de agosto del 2016, ocurrió el emplazamiento de dos lahares a lo largo de ésta barranca. Los eventos pudieron ser registrados por el sismómetro, el banda ancha y el acelerómetro, así como también la videocámara pudo obtener una secuencia de imágenes durante el emplazamiento del lahar, por lo que se cuenta con una importante cantidad de datos de los acontecimientos.

El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis de las señales registradas por los instrumentos sísmicos, determinando las frecuencias características, los tiempos de arribo y un análisis de frecuencias en tiempo (espectrograma), así como también describir algunas características físicas del lahar dada la señal recibida, como lo es definir la estructura del lahar. El estudio del emplazamiento de los lahares en ésta zona, favorece la prevención y mitigación ante la ocurrencia de éstos eventos.

4. Metodología

La metodología a seguir consiste en compilar los datos obtenidos por los instrumentos sísmicos (banda ancha, geófono y acelerómetro) de los lahares ocurridos los días 26 y 30 de agosto del 2017. Posteriormente realizar un análisis de señales, éste consiste en fundamentalmente limpiar las señales del ruido, obtener las frecuencias características, definir las frecuencias dominantes a lo largo de la duración del evento y con base en esto definir la estructura o cuerpo del lahar durante el emplazamiento en la barranca de la lumbre.

4.1 Instrumentación de la estación sísmica

La estación sísmica de La Lumbre está equipada con instrumentos que permiten medir la vibración del suelo, así como también con una cámara que graba en tiempo real, con el objetivo de identificar los lahares de manera visual.

Los instrumentos en la barranca constan de un geófono el cual tiene una frecuencia de muestreo de 250 Hz, y una frecuencia natural mínima de 10 Hz. Un sismómetro de banda ancha marca Trillium Compact con una frecuencia de muestreo de 100 Hz y frecuencia natural que parte de 0.1 Hz hasta cerca de 100 Hz. Y por último el acelerómetro tiene una frecuencia de muestreo de 200 Hz.

La videocámara es empleada para capturar elementos visuales de los fluidos que ocurren a lo largo de la barranca y con base en esto apoyar a los datos sísmicos a definir la estructura de los lahares. Todos los datos recopilados son transmitidos en tiempo real a la Red Sismológica Telemétrica del Estado de Colima (RESCO).

4.2 Manipulación y uso de los datos sísmicos

Con los datos obtenidos por los detectores de movimiento del Terreno, se realiza un análisis en Matlab, en el cual previo al análisis de la señal, es importante eliminar tendencias lineales, eliminar el valor medio, acortar la señal a únicamente el 50% de los datos para evitar efectos de aliasing, y por último tener en consideración la frecuencia natural o plana de los instrumentos.

Realizando la limpieza previa de los datos, entonces se pueden definir algunas características de la señal. Los parámetros fundamentales a definir son 1) el tiempo de arribo a la estación, el cual se define con base en el gráfico de la señal original (señal con ruido). 2) las frecuencias características, las cuales fueron definidas con el uso de la transformada rápida de Fourier (FFT) definiendo así la distribución de la energía en las diferentes frecuencias, definiendo así cuales son las frecuencias mas energéticas.

3) definición del ruido y frecuencias características en tiempo real, para definir los ruidos (aleatorios o instrumentales) se realiza el espectrograma, el cual permite definir las frecuencias características del terreno durante el emplazamiento del lahar a lo largo del tiempo de duración del evento, cuando el ruido se presenta de manera puntual en el tiempo, representa muy posiblemente un error o ruido aleatorio, sin embargo si es continuo en el tiempo, representa un error instrumental o un ruido que ocurre de manera constante en la región, sin embargo éste no representa una parte de la señal del lahar en sí. El espectrograma se realizó con la función *spectrogram* de Matlab, el cual emplea un ventaneo de Hanning. El algoritmo requiere como datos de entrada, el vector de datos, el tamaño de la ventana, el traslape de datos, número de elementos a los cuales se le aplica la transformada de Fourier y la frecuencia de muestreo del instrumento.

4.3 Caracterización del lahar

Obteniéndose las frecuencias características, el tiempo de arribo y el espectrograma de la señal, entonces se puede realizar una caracterización del lahar.

La definición de las partes del lahar se realizó siguiendo una metodología similar a la expuesta por Vázquez et al., (2016). De acuerdo a ésta metodología, los periodos de mayor amplitud (que corresponden a velocidades y aceleraciones) se correlacionan con los frentes de los lahares y los picos secundarios con fluctuaciones (ingresos de masas) en el flujo (figura 4). De acuerdo a éste esquema el frente corresponde a los primeros arribos e incrementos considerables en velocidad, el cuerpo comprende desde la porción de la máxima amplitud hasta una disminución considerable de las amplitudes, y el remanente corresponde a la cola del lahar (figura 4). Cabe destacar que para realizar una correcta correlación es conveniente emplear los datos obtenidos por la cámara de video, ya que en ésta es posible definir visualmente las partes del flujo.

Con base en el espectrograma es posible definir las frecuencias de mayor energía a las cuales vibra el suelo. Las zonas de mayor energía (y de mayor frecuencia) corresponden a la zona de enriquecimiento de líticos y bloques, y por otro lado los ascensos repentinos en las amplitudes corresponden al ingreso de material diluido.

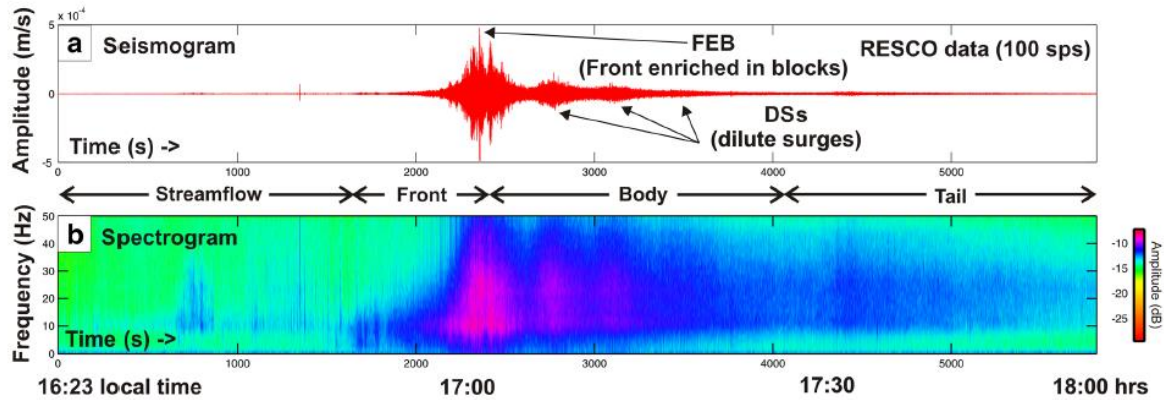


Figura 4) sismograma y espectrograma tomado de Vazquez et. al., (2016) en el cual se definen la estructura del lahar en el sismograma, de la misma manera se identifican las frecuencias de mayores a lo largo del tiempo.

5. Resultados y discusión

5.1 Lahar del 26 de agosto de 2016

El lahar del 26 de agosto fue un evento caracterizado por presentar ser relativamente uniforme, es decir no presenta re ingresos de material muy marcados, sin embargo si es posible definir algunos pulsos debidos al ingreso de material. En las imágenes tomadas por la videocámara es posible definir el frente del lahar, el cual es caracterizado por la alta concentración en fracción sólida, posterior a éste se emplaza el cuerpo principal y finalmente la cola del lahar, en el cual el volumen de sólidos ha disminuido considerablemente, pasando de ser un flujo de escombros a un flujo hiperconcentrado.

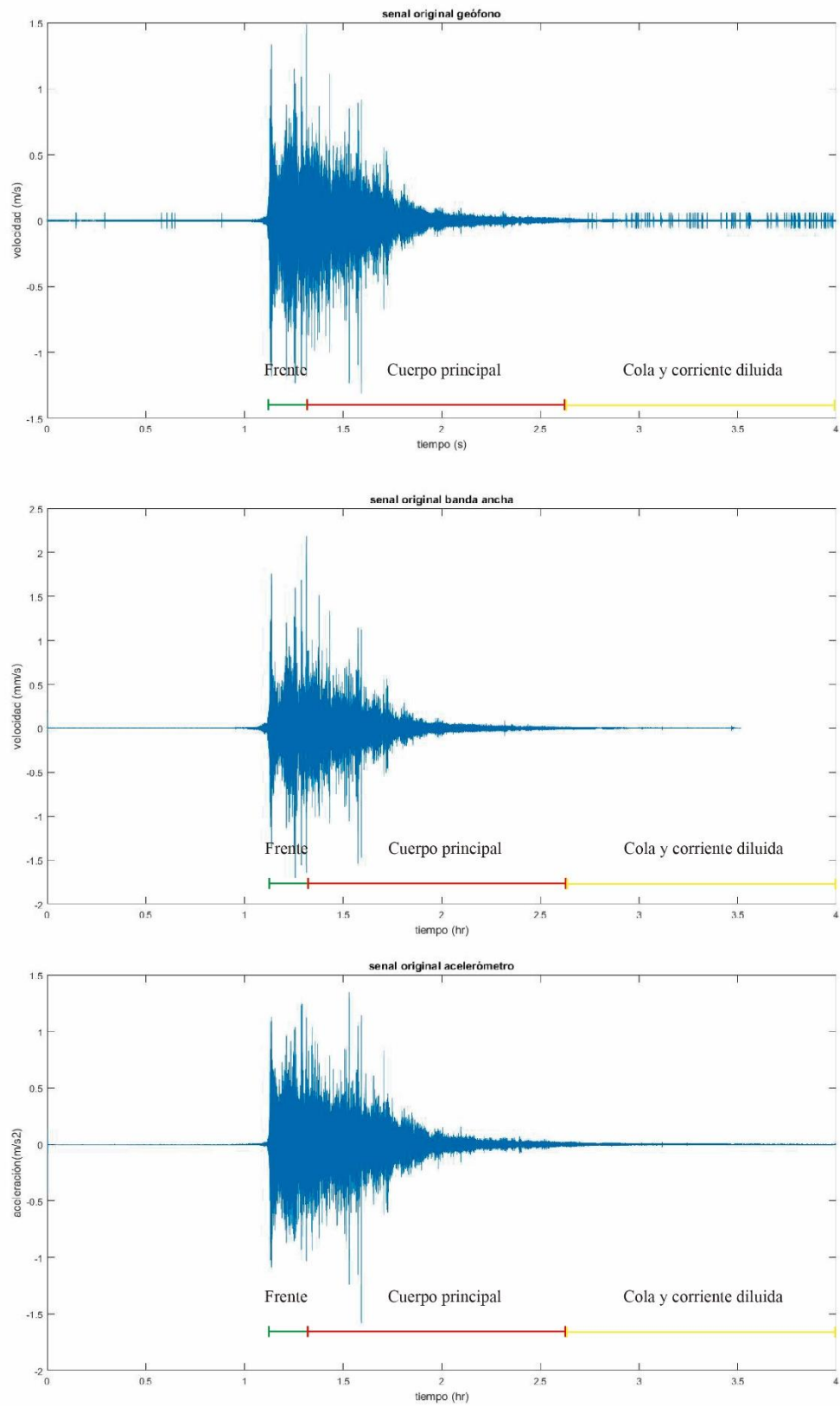


Figura 5) señales obtenidas por el geófono, banda ancha y acelerómetro, en la cual se identifican las partes del lahar.

Las imágenes obtenidas por la cámara de la Lumbre, muestran el frente del lahar (fig. 6a), y el cuerpo del lahar, en las porciones más concentradas de sólidos (fig 6b) y en las porciones más diluidas (fig. 6c).



Figura 6a)

Frente del Lahar, ocurrido en la barranca de La Lumbre a las 22:08:11 del 26 de agosto de 2016. El cual representa el tiempo 1.036, en la figura 5.

El frente del lahar representa una zona enriquecida en fragmentos sólidos.



Figura 6b)

Frente del Lahar, ocurrido en la barranca de La Lumbre a las 22:17:47 del 26 de agosto de 2016. El cual representa el tiempo 1.29, en la figura 5.

El cuerpo del lahar es una zona más diluida, hacia la cual migran los sólidos y posteriormente son depositados.



Figura 6c)

Frente del Lahar, ocurrido en la barranca de La Lumbre a las 22:50:52 del 26 de agosto de 2016. El cual representa el tiempo 1.84, en la figura 5.

Ésta porción aún representa el cuerpo del lahar, sin embargo en ésta ya no hay aportes grandes de material, por lo cual las frecuencias son más bajas.

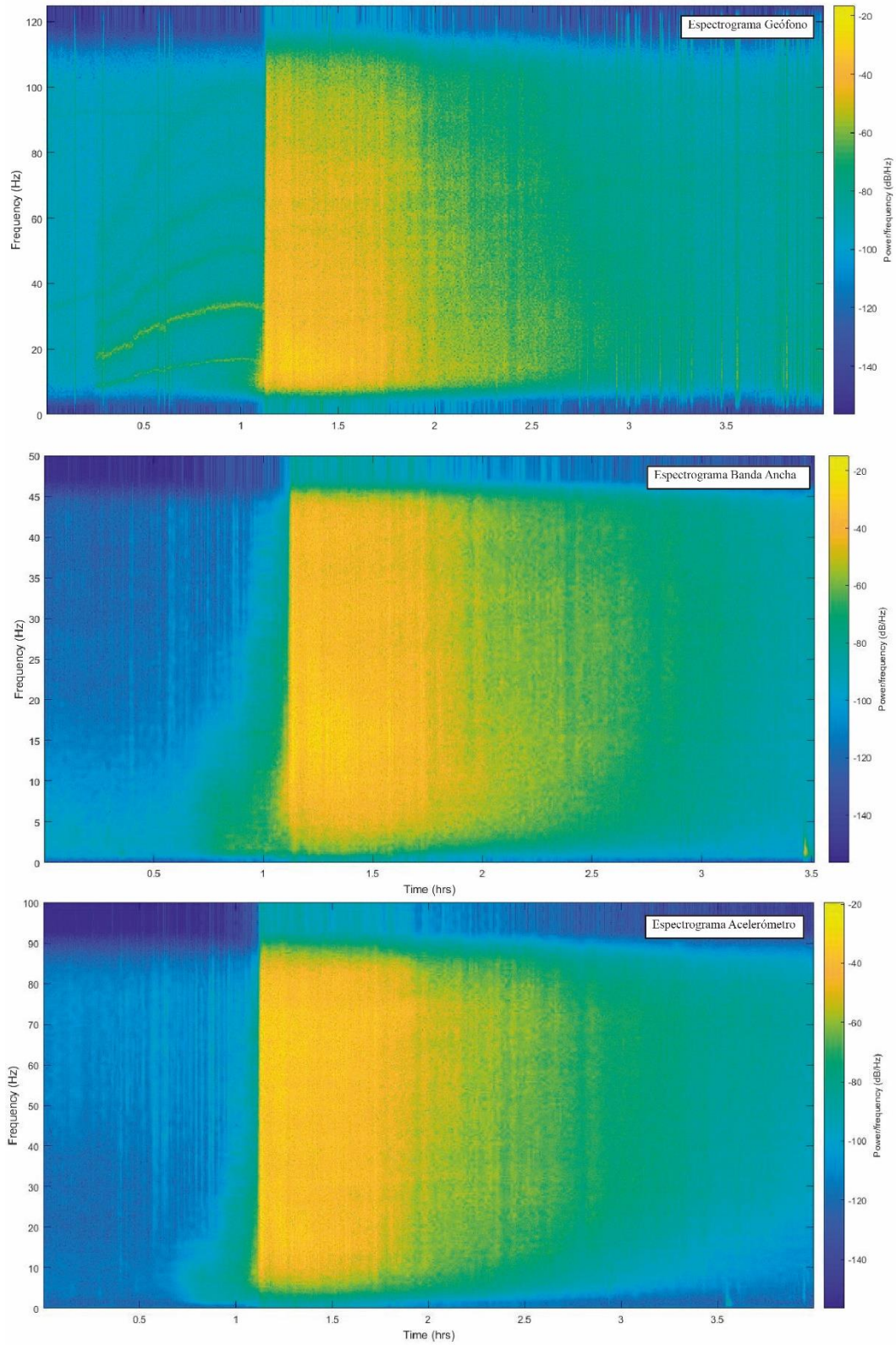


Figura 7) Espectrogramas obtenidos por los instrumentos de sísmicos, los instrumentos identifican las frecuencias dominantes entre el tiempo 1 y 1.75. En éstos las mayores energías varían en los valores de frecuencias.

Los espectrogramas indican las mayores energías presentadas durante la ocurrencia del evento. En el caso de estudio se presentan diferentes valores de frecuencias con cada uno de los instrumentos. El Geófono muestra valores de mayor energía entre los 14 y 17 Hz, los cuales se presentan durante el emplazamiento del frente del lahar (entre el tiempo 1 y 1.25). El banda ancha presenta las mayores energías durante las frecuencias 13 y 16 Hz, las cuales de la misma manera ocurren en la porción frente del lahar. El acelerómetro muestra frecuencias de mayor energía entre los 58 y 65 Hz y varias durante el frente y cuerpo del lahar, las cuales son de alta energía pero no son tan dominantes como las de alta frecuencia, lo cual indica cambios en la aceleración durante el emplazamiento del frente y el cuerpo en sus porciones mas concentradas.

5.2 Lahar del 30 de agosto del 2016

El lahar que ocurrió 4 días posterior al evento del 26 de agosto, fue caracterizado por presentar varios pulsos o ingresos de material, por lo cual el fluido presentó fluctuaciones caracterizado por incrementos en la velocidad y aceleración del terreno, como consecuencia durante el emplazamiento del lahar, se presentan varios picos en la señal original a lo largo del tiempo, en los espectrogramas también se aprecia picos de frecuencias energéticas a diferentes tiempos, sin embargo unas son más dominantes (de mayor magnitud). Sin embargo si fue posible definir la estructura del lahar, de la misma manera que con el evento del 26/08/2016.

Los instrumentos comenzaron a tomar mediciones desde las 22:00:00 del 30 de agosto del 2017, con base en las imágenes obtenidas por la videocámara es posible definir la estructura del lahar de la misma manera que con el lahar del 26 de agosto, sin embargo como se dijo anteriormente durante el emplazamiento del flujo se identifica visualmente los ingresos de descarga. Se puede apreciar que el lahar varía su concentración de flujo de escombros a hiperconcentrado a lo largo del tiempo, disminuyendo su volumen de sólidos respecto a la porción de agua.

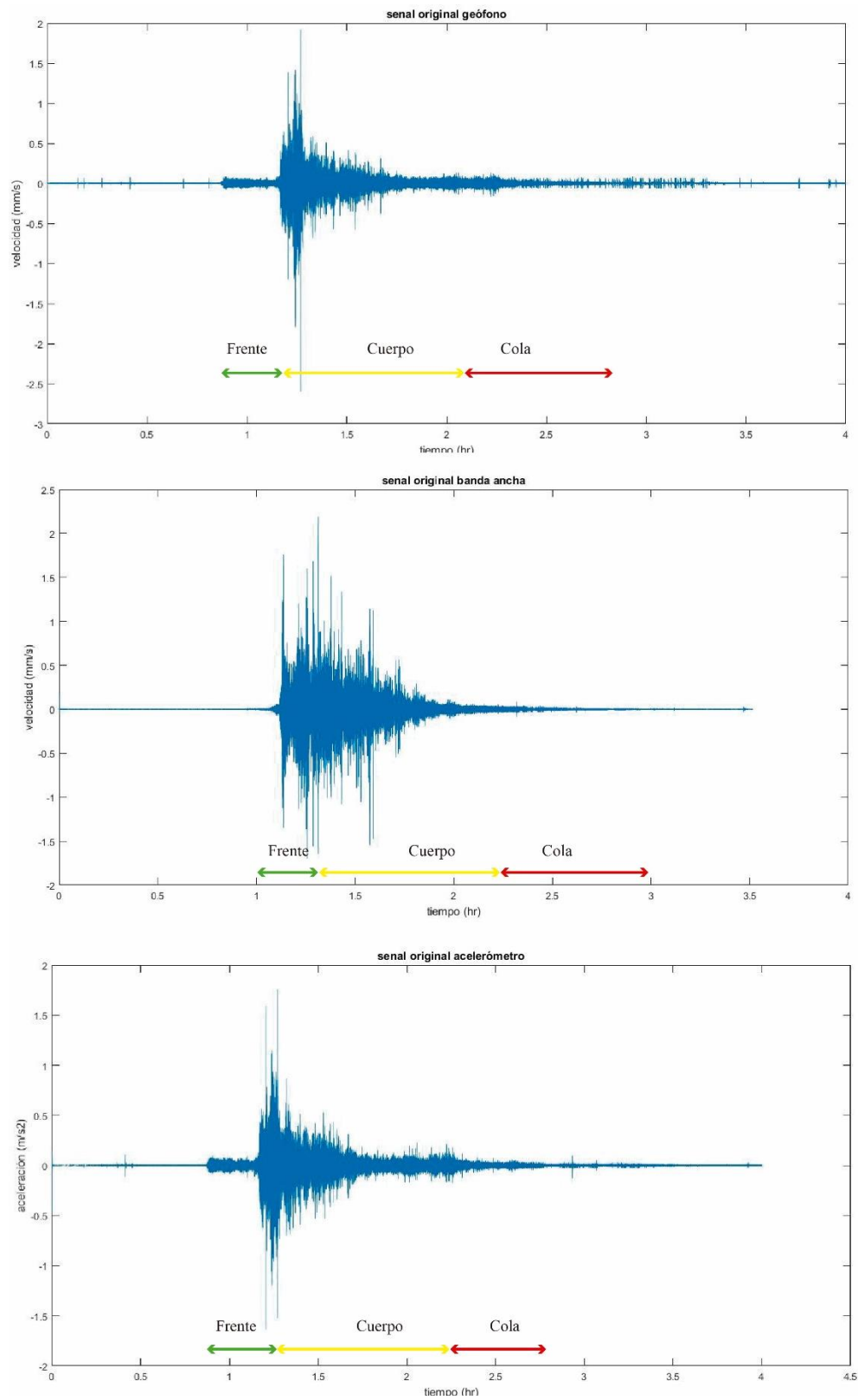


Figura 8) Señales obtenidas por el geófono, banda ancha y acelerómetro, y su identificación de la estructura del lahar.



Figura 8a)

Llegada del frente del lahar en la barranca la Lumbre, ocurrida a las 22:53:30 del 30 de agosto del 2016.

El frente del lahar es característico por presentar una alta concentración de líticos.



Figura 8b y c)

Reingreso de flujo a la barranca de la lumbre ocurrido a las 23:10 del 30 de agosto del 2017, se puede apreciar en la imagen que llega un fluido de mayor velocidad, el cual culmina por desbordar el canal.

En las señales sísmicas se puede apreciar que hay un incremento en las velocidades y aceleraciones del terreno.



En los tiempos que van desde la llegada del lahar, hasta éste evento hay varias fluctuaciones en el flujo debido a re ingresos de material en el cauce, sin embargo el ocurrido a las 23:10 representa uno de los más grandes, generando las amplitudes máximas, por lo que éste representa el límite entre el frente y el cuerpo del lahar.



Figura 8d)

Emplazamiento del lahar al tiempo 23:27:55 del 30 de agosto del 2017. En ésta imagen se aprecia el cuerpo del lahar, el cual es más diluido (menor concentración de sólidos) y hay una menor área transversal de inundación

Con base en las imágenes tomadas por la videocámara y en los sismogramas, se puede definir la estructura del lahar. El frente, presenta alta concentración de sólidos, así como también fluctuaciones o ingresos de material a varios tiempos con intervalos de unos minutos, dado el ingreso de material se presentan aceleraciones y velocidades mayores correlacionadas a estas etapas.

El cuerpo del lahar por otro lado presenta una disolución en comparación con el frente, durante el emplazamiento del cuerpo se presenta ingresos de material, sin embargo estos son más discretos y por consiguiente no generan cambios tan repentinos de velocidad e incrementos de aceleración.

Entonces se puede caracterizar el lahar del 30 de agosto por los aportes de material repentinos a diferentes tiempos, donde las diferencias en tiempo de los aportes tienen intervalos de tiempo de algunos minutos. Es importante destacar que un aporte de gran material ocurrió al tiempo 1.16 (a las 23:10) el cual fue el evento mayor y permite diferenciar el cuerpo del frente del flujo.

Los espectrogramas muestran las frecuencias en las cuales se presentan la mayor energía liberada durante el emplazamiento de los fluidos, de acuerdo a la figura 9 se identifican las energías mayores en los tiempos en los cuales se emplazan el frente del lahar, durante el emplazamiento de éstas altas energías el sismómetro y el banda ancha detectan frecuencias que oscilan entre los 10 y 22 Hz. Mientras que el acelerómetro detecta las frecuencias más energéticas entre los 10 y 75 Hz siendo está muy variable en el tiempo de arribo del lahar, el acelerómetro también detecta frecuencias energéticas en los tiempos cercanos a 1.7 con frecuencias que oscilan entre 55 y 70 Hz.

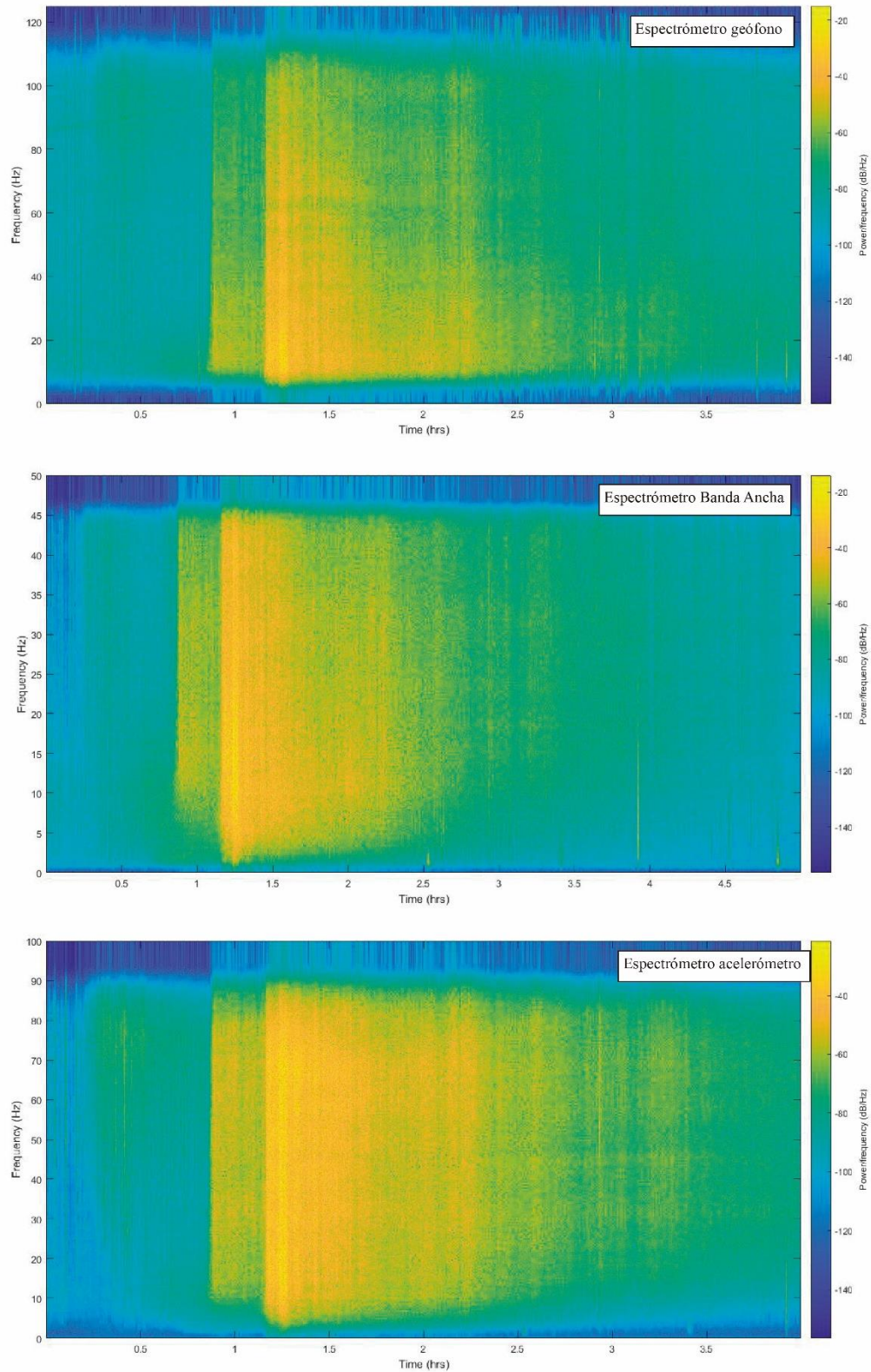


Figura 9) Espectrogramas obtenidos por los instrumentos de sísmicos, para el lahar del 30/08/2017 el geófono y el banda ancha identifican las frecuencias de mayor energía a los tiempos cercanos a 1.25 H. En éstos tiempos las frecuencias más energéticas se presentan entre 10 y 22 H. mientras que el acelerómetro registra a varias frecuencias entre 70 y 15 Hz.

6. Conclusión

Los lahares ocurridos durante el 26 y 30 de agosto del 2016, fueron caracterizados por ser eventos discretos, los cuales registraron vibraciones en el suelo que alcanzaron velocidades de mm/s (entre 1.5 y 3) dichos movimientos fueron registrados por los instrumentos sísmicos y la videocámara. Resultó de gran utilidad el empleo de dos sensores diferentes para la identificación de la estructura del lahar, ya que ambos sensores se complementan. Con la evidencia visual se identifican el frente, el cuerpo y la cola del lahar, mientras que con instrumentos sísmicos se definen las frecuencias características y los parámetros físicos del movimiento del suelo (velocidad y aceleración).

En el evento del 26 de agosto, de acuerdo a los espectrogramas obtenidos por el geófono y el sismómetro de banda ancha se presentaron frecuencias de mayores energías entre los 10 y 20 Hz, los cuales corresponden mayormente con el frente de los lahares. La variabilidad de las frecuencias más energéticas se debe posiblemente a las fluctuaciones que presenta el lahar durante el emplazamiento.

En el evento del 30 de agosto, los datos obtenidos por el sismómetro y el sismómetro de banda ancha indican frecuencias energéticas entre 10 y 22 Hz, durante el cual se emplazaron los frentes del lahar. Durante el evento completo del lahar hubo varias fluctuaciones (en el frente y en el cuerpo) sin embargo éstos eventos secundarios de descarga no fueron lo suficientemente grandes para generar grandes cambios de velocidad y aceleración.

Con base en la anterior información se puede concluir que las frecuencias características de los lahares del 26 y 30 de agosto del 2016 de la barranca de la Lumbre oscilan entre 10 y 22 Hz.

Debido a las frecuencias dominantes durante el emplazamiento del lahar se puede concluir que el instrumento que ofrece una mejor resolución en la caracterización de los flujos en el área de estudio, es el sismómetro de banda ancha, ya que el geófono no es capaz de obtener datos fiables a bajas frecuencias (cerca de 10 Hz y menores a ésta). Sin embargo éste instrumento es considerablemente más costoso. Por lo que si en el área de estudio se considera el precio y la resolución, la mejor opción es el uso de geófonos, ya que la resolución de éste resulta similar al sismómetro de banda ancha y por consiguiente ofrece también resultados fiables.

7. Bibliografía

Davila N, Capra L, Gavilanes-Ruiz JC, Varley N, Norini G, Gómez- Vazquez A (2007) Recent lahars at Volcán de Colima (Mexico): drainage variation and spectral classification. *J Volcanol Geotherm Res* 165:127–141.

Rodríguez Elizarrarás, S. R. (1995). Estratigrafía y estructura del Volcán de Colima, México. *Rev. Mex. Cienc. Geol*, 12, 22-46.

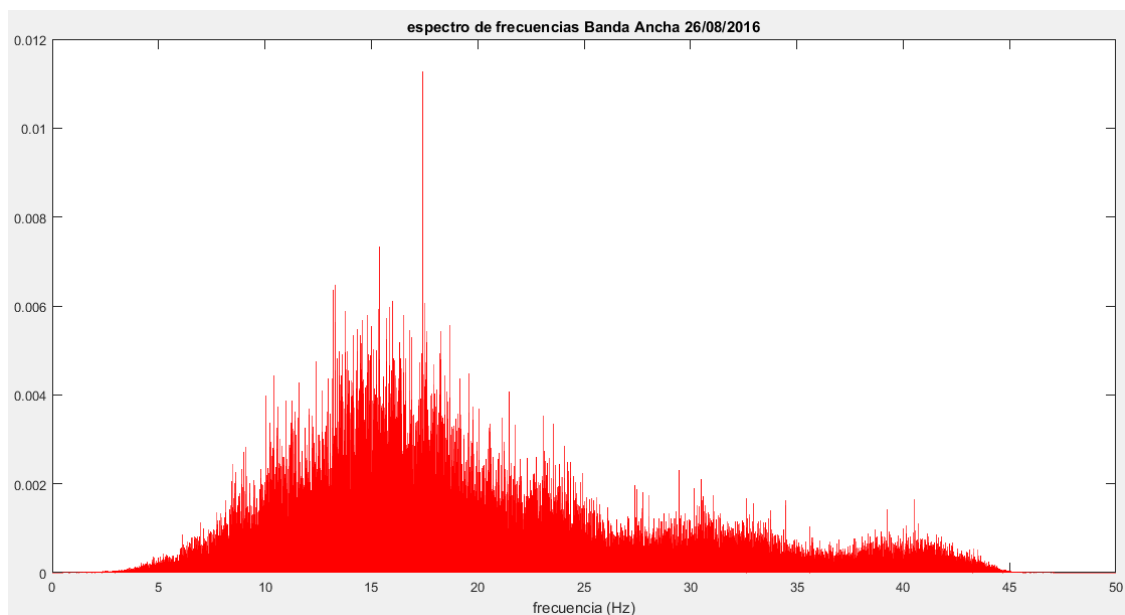
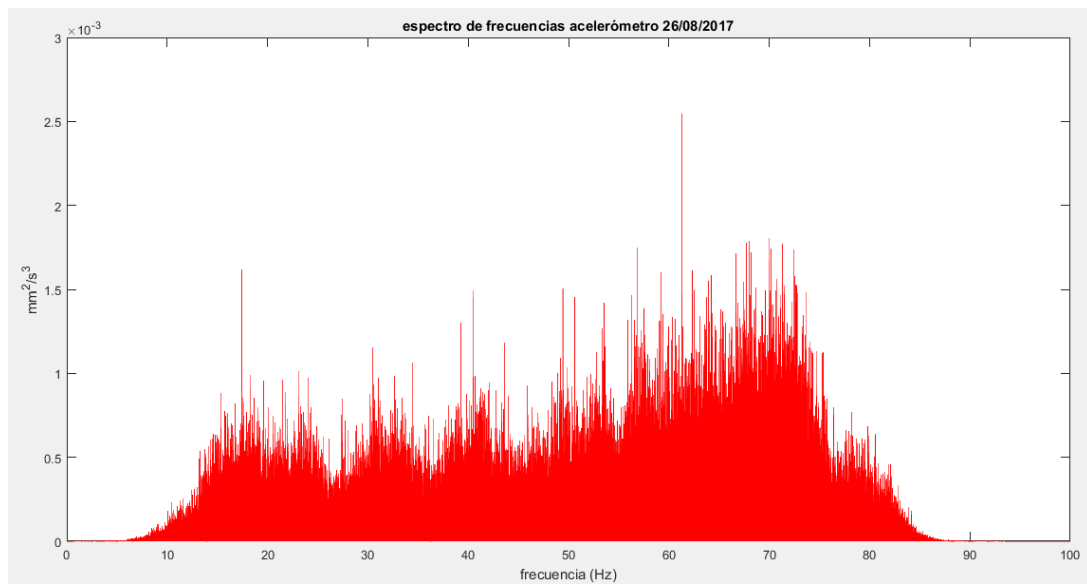
Martín del Pozzo, A. L., Romero, V. H., & Ruiz-Kitcher, R. E. (1987). Los flujos piroclásticos del Volcán de Colima. México: Geofísica Internacional, 26(2), 291-307.

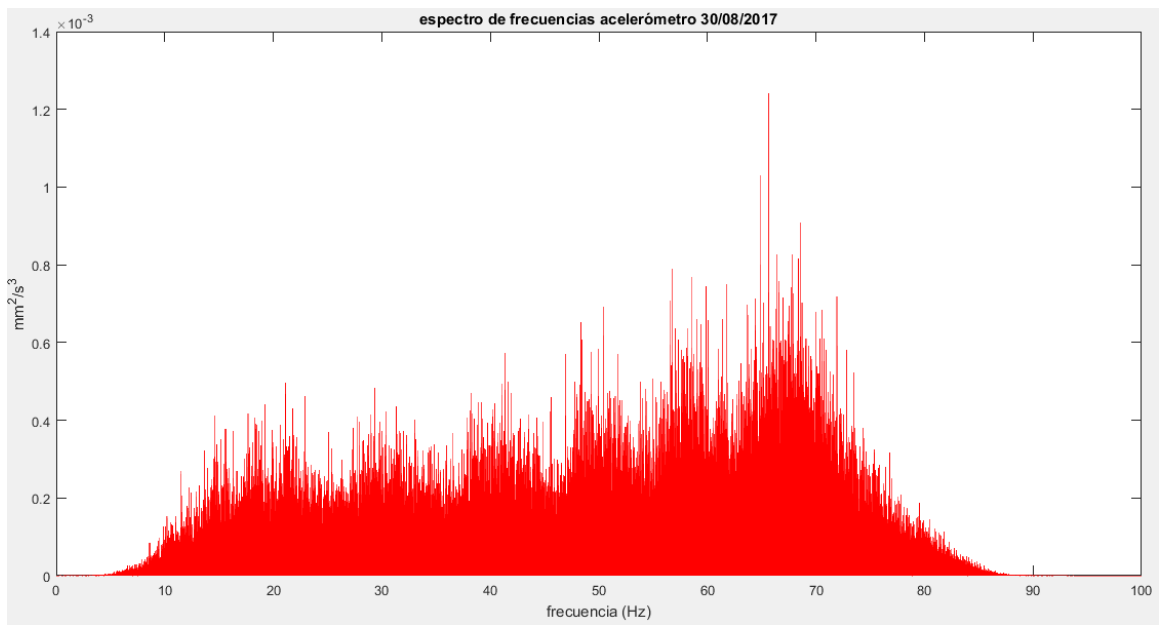
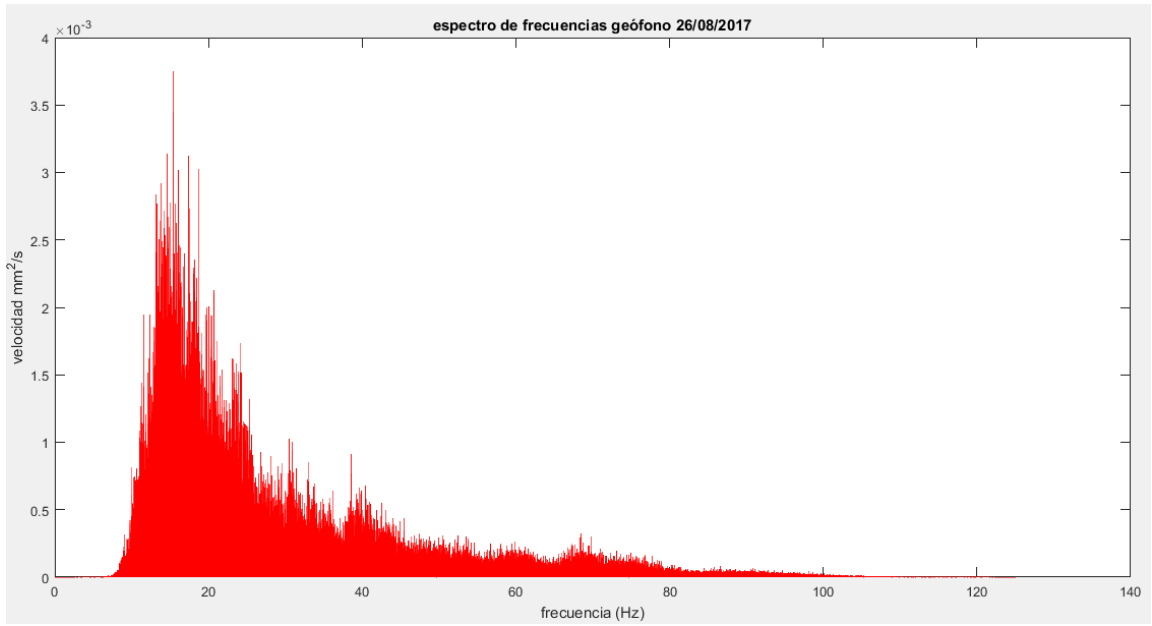
Vázquez R, Capra L, Caballero R, Arámbula-Mendoza R, Reyes-Dávila G (2014) The anatomy of a lahar: deciphering the 15th September 2012 lahar at Volcán de Colima, Mexico. J Volcanol Geotherm Res 272:126–136.

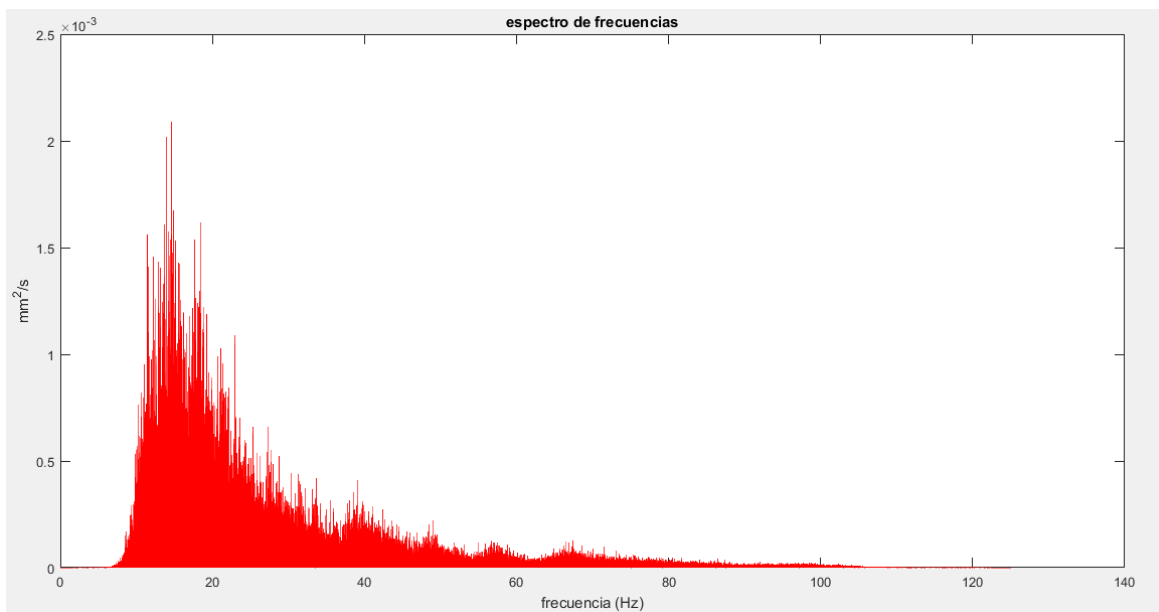
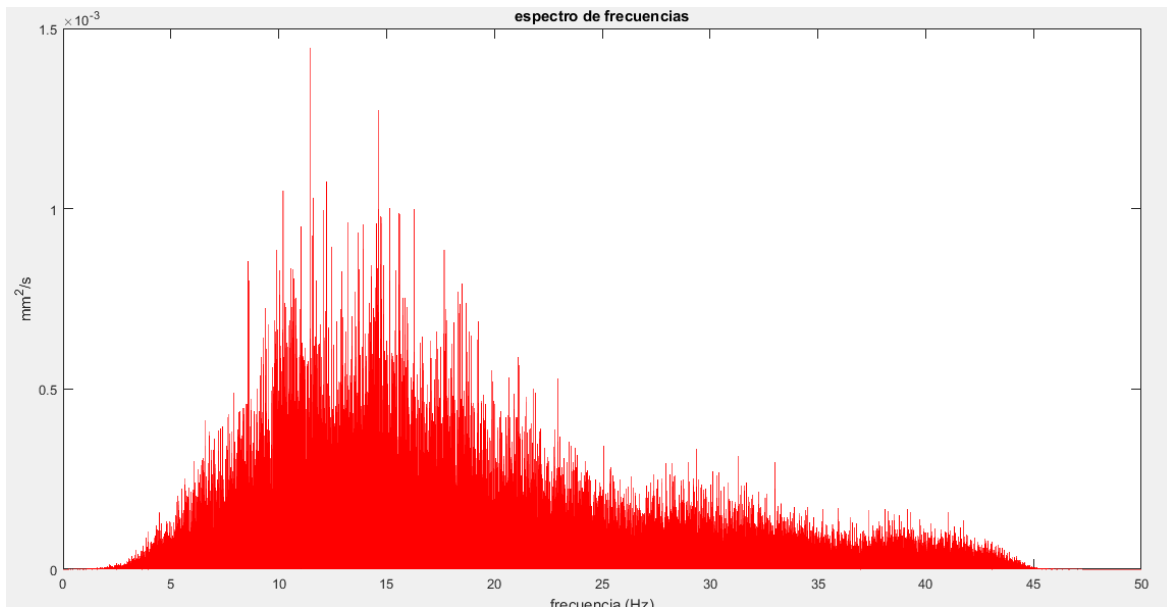
Vázquez, R., Suriñach, E., Capra, L., Arámbula-Mendoza, R., & Reyes-Dávila, G. (2016). Seismic characterisation of lahars at Volcán de Colima, Mexico. Bulletin of Volcanology, 78(2), 8.

8. Apendices

8.1 Espectros de frecuencias







8.2 Scripts en Matlab

Se presentan los scripts para el geófono, el acelerómetro y el sismómetro de banda ancha del 26 de agosto, los scripts del 30 de agosto, son iguales, con la excepción de que se carga otra base de datos.

Geófono

```
%%% Los sismos vienen dados dos columnas, la primera de ellas supongo que
%%% es tiempo y la segunda es el sismo como tal, por lo que para graficar
%%% se debe de realizar lo siguiente
```



```

%%%se carga el archivo y despues de eso se selecciona la segunda columna
y
%%%se plotea

%%%%%%%%%los archivos se llaman
clear all
close all
clc

load('26agos2016Geo.mat');

%% primeramente se generará el vector tiempo, el cual corresponde a la
%% primer columna
t=agos26Geo(:,1);
t=datevec(t);
dt=(t(2,6));
sps=1/dt;

% el muestreo comenzó a las 9 de la noche, del 26 de agosto del 2016

%vector de tiempo
t=[0:dt:(length(t)-1)*dt]'.*(1/3600);
%tiempo de muestreo
time=length(t)*dt;

%%el evento inicio las cuentas a las 21 horas, 0 minutos y 0 segundos
%el evento termino a las 24 horas, 59 minutos, 59.9960 segundos
%%ahora se construira el vector de eventos, por lo que el evento duró 4
%%horas
x=agos26Geo(:,2);

%el vector de datos, tiene algunos valores no definidos NAN, por lo que
%debemos de convertirlos a 0, al menos para saber cuantos datos son se
%realiza la sig. operación
%se convierten los datos a 0
x(isnan(x))=0;

%% tenemos los datos en cuentas, por lo que se debe de transformar a m/s

% sensitivity = 22.8 V/m/sec
% AD converter: 32 bits e 5V picco-picco
% 1 count = 1.164153 nV
x=x*1.164153*10^-9;
x=x/22.8;
x=x*10^3;

%se construye el pasabandas de 10 a 120 hz
[d]=bandpass(x,10,120,dt);
figure (1)
plot(t,d)
title("senal original geófono")
xlabel("tiempo (s)")
ylabel("velocidad (m/s)")

```

```

%%% se construye el espectro de frecuencias
[Pxx,Fx] = spectrum2(d,sps);

figure(2)
plot(Fx,Pxx,'r')
title('espectro de frecuencias geófono 26/08/2017')
xlabel('frecuencia (Hz)')
ylabel('velocidad mm^2/s')

figure(3)
%FUNCTION SPECTROGRAM
%con la función spectrogram se puede realizar el espectrograma de la
%figura, donde x representa el vector de amplitud, 2024 es el tamaño de
%ventana, 1012, es el traslape, 2024 el num de datos a los cuales se les
%realiza la transformada de Fourier, 100 es el sps.
%spectrogram(data,sizewindow,nslap,nfft,fs o sps)
spectrogram(d,3000,1500,3000,sps,'yaxis');

%posiblemente se está realizando mal el muestreo, debido a que la
respuesta
%instrumental del geofono parte a partir de los 10 hz, por lo que las
bajas
%frecuencias contaminan el muestreo, es necesario eliminar las primeras
%frecuencias

```

Sismómetro de Banda Ancha

```

%Datos del ancho de bandas del evento del 26 de agosto

clear all
close all
clc
load('26agos2016BBZ.mat');

t=BBZ26(:,1);
t=datevec(t);
%%% este evento inicio el 26 de agosto a las 21:00:00 y terminó el 27
%%% agosto a las 00:35:44.4200, por lo que es de menor duración que los
%%% otros
dt=(t(2,6));
sps=1/dt;
%vector de tiempo
t=[0:dt:(length(t)-1)*dt]'.*(1/3600);
%tiempo de muestreo
time=length(t);
%el evento inicio las cuentas a las 21 horas, 0 minutos y 0 segundos
%el evento termino a las 24 horas, 59 minutos, 59.9960 segundos
%%ahora se construira el vector de eventos, por lo que el evento duró 4
%%horas
x=BBZ26(:,2);

%el vector de datos, tiene algunos valores no definidos NAN, por lo que
%debemos de convertirlos a 0, al menos para saber cuantos datos son se

```

```

%realiza la sig. operación
NA=find(isnan(x));

%vamos a eliminar los valores de las horas anteriores, para que todos
%inicien a la misma hora
%x=x(360000:end);

%se transforma a unidades físicas
%1 m/s= 3.017*10^8
x=x*(1/(3.01719*10^8));
x=x*10^3;

%se crea el pasabandas, en mi caso deseo eliminar las bajas frecuencias
%debido a que me meten ruido posiblemente debido a las mareas

[d]=bandpass(x,1,45,dt);
figure(1)
plot(t,d)
title("senal original banda ancha")
xlabel("tiempo (hr)")
ylabel("velocidad (mm/s)")

[Pxx,Fx] = spectrum2(d,sps);

figure(2)
plot(Fx, Pxx, 'r')
%podemos escoger cual es el límite en Y en el cual queremos que nos
%grafique.
%set(gca, 'YLim', [1 1e9])
title('espectro de frecuencias Banda Ancha 26/08/2016')
xlabel('frecuencia (Hz)')
ylabel('mm^2/s')

figure(3)
%FUNCTION SPECTROGRAM
%con la función spectrogram se puede realizar el espectrograma de la
%figura, donde x representa el vector de amplitud, 2024 es el tamaño de
%ventana, 1012, es el traslape, 2024 el num de datos a los cuales se les
%realiza la transformada de Fourier, 100 es el sps.
%spectrogram(data,sizewindow,nslap,nfft,fs o sps)
spectrogram(d,1500,750,1500,sps, 'yaxis');

```

Acelerómetro

```

clear all
close all
clc

load('26agos2016ACZ.mat');

%se definen los valores de entrada, tiempo, muestras por segundo, vector
t
%y datos
t=AC26Z(:,1);
t=datevec(t);

```

```

dt=(t(2,6));
sps=1/dt;
t=[0:dt:(length(t)-1)*dt]'.*(1/3600);

time=length(t)*dt;

x=AC26Z(:,2);

%NO HAY VALORES NULOS
NA=find(isnan(x));

%se convierte a unidades físicas
% 1 cuenta= 2.04x10^-5 m/s^2
x=x*(1/2.04*10^-5);

%se crea un pasaaltos con la función banpass
[d]=bandpass(x,0.2,80,dt);
figure (1)
plot(t,d)
title("senal original acelerómetro")
xlabel("tiempo (hr)")
ylabel("aceleración(m/s2)")

%% se construye el espectro de frecuencias
[Pxx,Fx] = spectrum2(d,sps);

figure(2)
plot(Fx,Pxx,'r')
title('espectro de frecuencias acelerómetro 26/08/2017')
xlabel('frecuencia (Hz)')
ylabel('mm^2/s^3')

figure(3)
%FUNCTION SPECTROGRAM
%con la función spectrogram se puede realizar el espectrograma de la
%figura, donde x representa el vector de amplitud, 2024 es el tamaño de
%ventana, 1012, es el traslape, 2024 el num de datos a los cuales se les
%realiza la transformada de Fourier, 100 es el sps.
%spectrogram(data,sizewindow,nslap,nfft,fs o sps)
spectrogram(d,4000,2000,4000,sps,'yaxis');

```