



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú

Área
Vulcanología

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



Observatorio Vulcanológico de Sur

INFORME TÉCNICO

**ACTIVIDAD SÍSMICA EN LA REGIÓN DEL
VOLCÁN TICSANI (MOQUEGUA) PARA EL
PERIODO OCTUBRE-DICIEMBRE DE 2014**

PRESENTADO POR:

Bach. John Edward Cruz Igme

FECHA: Febrero 2015



INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. GENERALIDADES	3
1.1 Ubicación	3
1.2 Contexto geomorfológico y estructural	4
1.3 Objetivos	5
2. ANÁLISIS DE SENALES SISMO-VOLCANICAS	5
2.1 Espectro de frecuencias	6
2.2 Análisis de tiempo –frecuencia (espectrograma)	7
3. ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE DATOS	8
3.1 Red sísmica	8
3.2 Características de las estaciones e instrumentos utilizados	10
3.2.1 Estación TCN1	10
4. ACTIVIDAD SÍSMICA	11
4.1 Sismos de fractura	12
4.2 Sismos de baja frecuencia	13
4.3 Eventos tipo Tremor	14
4.4 Análisis estadístico	15
5. LOCALIZACIÓN DE EVENTOS	17
 CONCLUSIONES	 20
RECOMENDACIONES	21
 BIBLIOGRAFIA	 22



INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Mapa de Ubicación del área de estudio, en el departamento de Moquegua. El triángulo rojo representa al volcán Ticsani.</i>	<i>3</i>
<i>Figura 1.2 Caldera de destrucción, domos D1,D2 y D3 del volcán Ticsani.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1.3 estructuras locales de la región del volcán Ticsani (Lavallé et al., 2009).</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.2 Descomposición de Fourier.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2.3 Análisis tiempo-frecuencia.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3.1 Red sísmica Ticsani. Estación ubicada sobre el domo reciente de este macizo volcánico</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.2 Periodo de funcionamiento de la red sísmica Ticsani Octubre- Diciembre 2014. La Barra verde, representa el correcto funcionamiento de las estaciones. ...</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3.3 Imagen del registrador Data – Cube3 utilizado en la estación TCN1</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.4 Sismómetro Lennartz LE-3D.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4.1 Proporción de sismos registrados entre octubre - diciembre 2014. Eventos registrados por la estación TCN1.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4.2 Ejemplo de sismo de fractura registrado por la estación TCN el 27 de setiembre a las 05:32hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias característico.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4.3 Ejemplo de sismo de baja frecuencia registrado por la estación TCN1 el 03 de octubre a las 07:53hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4.4 Ejemplo de sismo tipo tremor registrado por la estación TCN1 el 15 de diciembre a las 20:48hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4.5 Histograma de ocurrencia de eventos relacionados a fractura de rocas. Octubre – Diciembre 2014.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.6 Histograma de ocurrencia de eventos de periodo bajo relacionados al paso de fluidos. Octubre – Diciembre 2014.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.7 Histograma de ocurrencia de evento de tipo tremor Octubre – Diciembre 2014.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5.1 Distribución en superficie de la sismicidad registrada entre octubre y diciembre de 2014. Se observan sismos dispersos al SE del volcán y algunos sismos próximos al volcán.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5.2 Mapa de distribución de sismicidad en superficie y en profundidad de la región del volcán Ticsani. Periodo Octubre – Diciembre 2014.</i>	<i>19</i>



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 3.1 Ubicación de la estación TCN1 en coordenadas geográficas y UTM.....</i>	<i>9</i>
--	----------



RESUMEN

El volcán Ticsani ($16^{\circ}45'3''S$, $70^{\circ}36'13''O$ 5133msnm) considerado volcán activo registra como principal actividad a eventos relacionados a fractura de rocas, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2014 el monitoreo sísmico se realizó mediante los datos adquiridos por la estación temporal TCN1, estación de periodo corto y tres componentes instalada sobre el domo reciente del Ticsani.

Gracias al análisis del contenido espectral y forma de onda de los datos adquiridos fue posible la caracterización y clasificación de eventos sísmicos, teniendo así un total de 1359 eventos clasificados entre sismos de fractura, de baja frecuencia y eventos tipo tremor, sin embargo el 96% de estos eventos corresponden a eventos asociados a fractura de rocas, siendo los eventos predominantes en la región del volcán Ticsani.

La localización de eventos se realizó empelando el programa Hypoelypse (Lahr, J. 1999) logrando localizarse un total de 23 sismos relacionados a fractura de rocas con calidades A y B, los sismos se encuentran distribuidos de manera dispersa a 4km al SE del volcán con algunos sismos muy próximos al volcán Ticsani, los perfiles E-O y N-S muestran que los eventos se encuentran a una profundidad entre 2.5km y 20km con respecto al domo reciente y de magnitudes entre 2.8 y 3.8ML.



INTRODUCCIÓN

El volcán Ticsani es un estrato volcán que se encuentra en la zona Volcánica Central de los Andes, constituido por un complejo de domos de lavas andesíticas a dacíticas y una caldera de destrucción su más reciente erupción data de no más de 400 años de antigüedad (Siebert et al., 2010) con un Índice de Explosividad volcánica entre 2 y 3

La zona del volcán Ticsani ha presentado sismicidad importante en los últimos años, que en general ha sido asociada a la tectónica local (Aguilar et al., 1999; Tavera H, 2006). El volcán Ticsani considerado como un volcán activo, actualmente presenta fumarolas de manera restringida y una actividad hidrotermal importante, representada por surgentes de agua y vapor, que se distribuyen al NO, E y SO del volcán.

Desde mayo de 2014 el OVS-IGP decidió realizar el monitoreo constate de este volcán mediante campañas sísmicas empleando estaciones temporales, como es el caso de la estación sísmica temporal TCN1. La meta principal al realizar la vigilancia de este macizo es anticiparse a cualquier cambio sísmico de su actividad, de modo que las autoridades y la población en general estén plenamente informadas de estos sucesos.

El presente informe describe la actividad del volcán Ticsani mediante el procesamiento y análisis de datos obtenidos de la estación temporal TCN1, datos adquiridos durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2014.

1. GENERALIDADES

1.1 Ubicación

El volcán poligenético Ticsani se encuentra ubicado en el segmento sur de la cordillera occidental de los andes peruanos, de coordenadas $16^{\circ}45'$ de Latitud Sur y $70^{\circ}36'$ de Longitud Oeste. Se encuentra a una distancia de 60 km al noreste de la ciudad de Moquegua con una altitud máxima de 5408 m.s.n.m. (fig. 1.1)

Este volcán pertenece a la jurisdicción del distrito de San Cristóbal, provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua. En el flanco oeste del volcán Ticsani y dentro de un radio de 11 km se encuentran los centros poblados: Soquezane, Quebaya, Calacoa, San cristobal, Carumas, Cambrune como los más resaltantes cercanos al volcán, siendo Soquezane el más cercano a 7.5km del domo reciente.

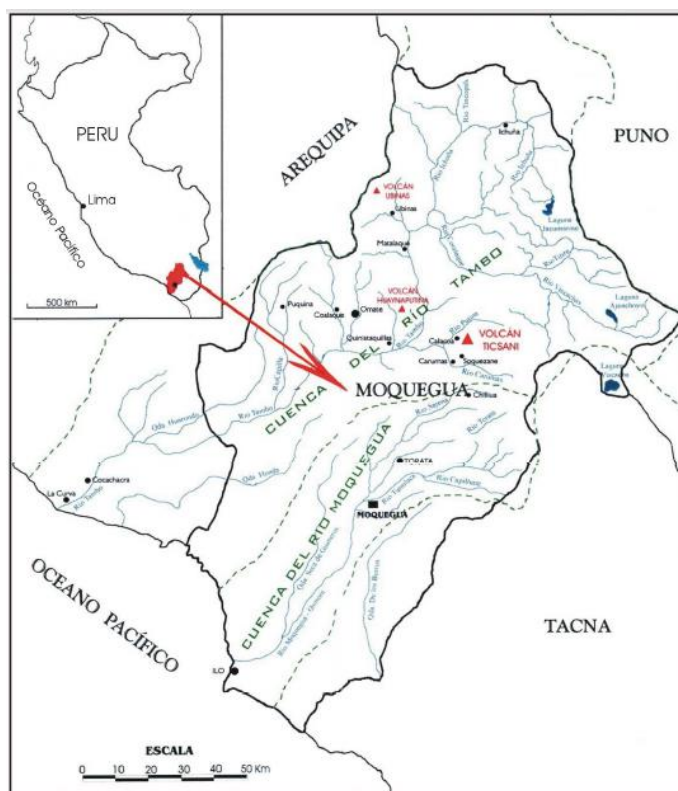
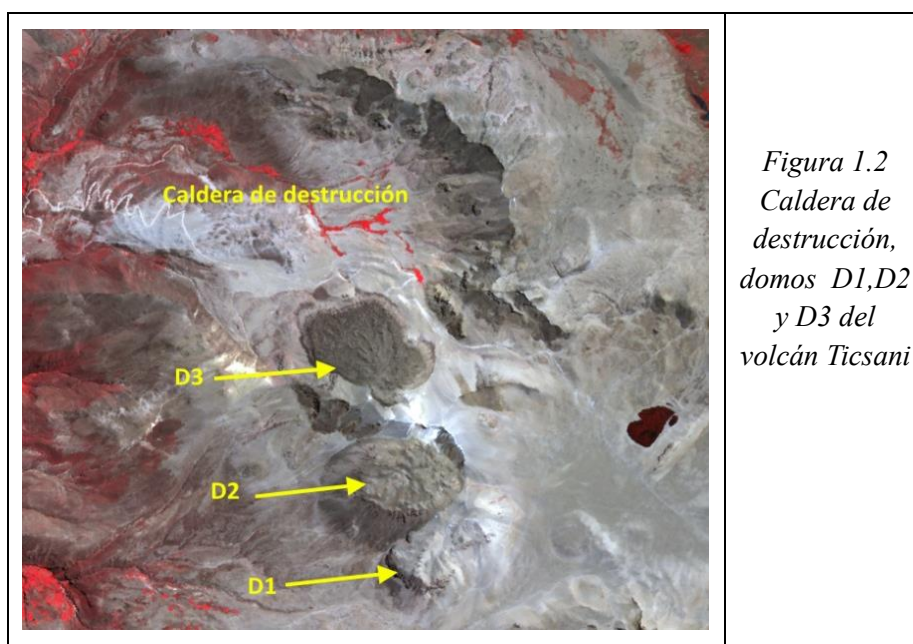


Figura 1.1 Mapa de Ubicación del área de estudio, en el departamento de Moquegua. El triángulo rojo representa al volcán Ticsani.

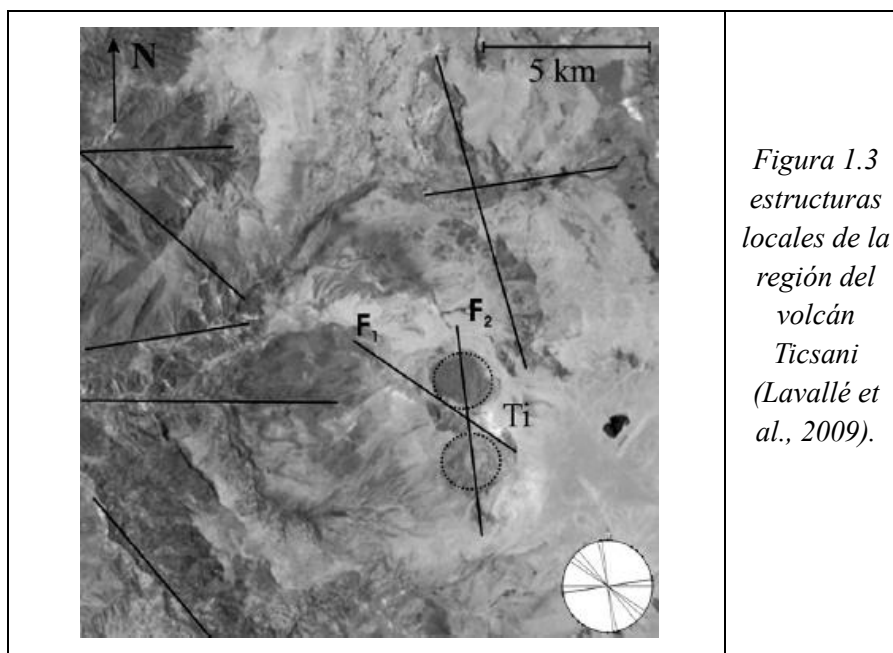
1.2 Contexto geomorfológico y estructural

Las características geomorfológicas de este macizo son propias de la puna o altiplanicie de la cordillera occidental, presentando pendientes fuertes, áreas de flujos de lavas y de avalanchas de escombros. El volcán Ticsani está conformado estructuras volcánicas de destrucción como la caldera de avalancha, cráteres y el afloramiento de tres domos denominados D1, D2 y D3 (domo reciente), cuya característica es que se encuentran alineados de Norte a Sur (*figura 1.2*)

Los esfuerzos predominantes para la región del volcán Ticsani están caracterizados por fallas NW-SE, N-S. Este macizo presenta escarpas de fallas con dirección N-S visibles desde el NE como es el caso de la falla F2 (*figura 1.3*). Se encuentran también fallas antiguas con orientación NO-SE al oeste del volcán Ticsani (Lavallé et al., 2009).



*Figura 1.2
Caldera de
destrucción,
domos D1,D2
y D3 del
volcán Ticsani*



1.3 Objetivos

- ✓ Identificar y clasificar las señales sísmicas generadas por la actividad sismo-volcánica en la región del volcán Ticsani, utilizando el análisis espectral y formas de ondas.
- ✓ Describir la actividad sísmica del volcán Ticsani durante el periodo octubre a diciembre de 2014.
- ✓ Monitorear la actividad del volcán Ticsani en este periodo.
- ✓ Determinar la distribución en superficie y en profundidad de los sismos registrados en esta región.

2. ANÁLISIS DE SENALES SISMO-VOLCANICAS

El análisis de una señal sísmica no se limita al estudio de la forma de onda, puesto que los ambientes volcánicos se presentan de manera heterogénea en su constitución así como los mecanismos de fuente de estas señales. Debido a esta realidad es necesario un análisis más profundo pasando del dominio del tiempo al dominio de frecuencias.

2.1 Espectro de frecuencias

Las señales sísmicas expresadas en el dominio de tiempo, también pueden expresarse como la suma discreta o continua de sinusoides de distintas frecuencias, quedando determinada como un conjunto discreto o continuo, que forma el espectro de frecuencia de la señal representada en el dominio de frecuencias. Para este fin la “transformada de Fourier” es la principal herramienta disponible, la cual permite transformar una señal expresada en el dominio de tiempo en una señal expresada en el dominio de frecuencias (figura 2.2).

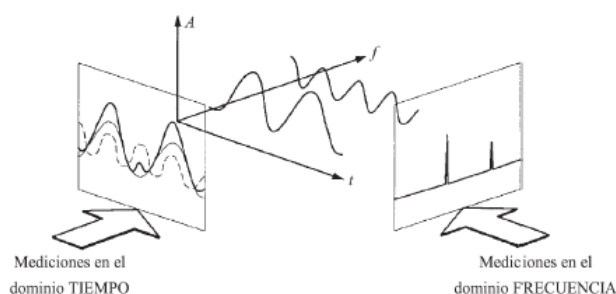


Figura 2.1 Descomposición de Fourier

Se define la transformada de Fourier de una señal temporal $u(t)$

$$U(\omega) = \int u(t)e^{i\omega t} dt \quad \text{Donde } \omega \text{ es la frecuencia angular}$$

La transformada de Fourier es una función reversible, es decir, dada $U(\omega)$ se puede encontrar $u(t)$ mediante:

$$u(t) = \int U(\omega)e^{i\omega t} d\omega$$

Es notorio que de este resultado la transformada de Fourier es la descomposición de una señal continua en una serie de señales armónicas elementales. Se debe tomar en cuenta que la transformada de Fourier $U(\omega)$ es una función compleja, posee una parte real y otra imaginaria.

$$U(\omega) = U_r(\omega) + iU_i(\omega) \quad \text{Transformada de Fourier}$$

$$U_i(\omega) = \int u(t)\sin(\omega t) dt \quad (\text{Parte imaginaria})$$

$$U_r(\omega) = \int u(t)\cos(\omega t) dt \quad (\text{Parte real})$$

Sin embargo en la mayoría de casos resulta más práctico trabajar con la forma polar de este resultado, esto es el modulo y la fase, donde el modulo viene dado por:

$$A(\omega) = [U_r^2(\omega) + U_i^2(\omega)] \quad \text{y la fase por:} \quad \Phi(\omega) = \arctg[U_i(\omega)/U_r(\omega)]$$

La ventaja fundamental de esta transformación de espacios, es que operaciones que en el dominio del tiempo que son muy complejas, se simplifican en el dominio de frecuencia; y así la deconvolucion de una señal en el espacio del tiempo se reduce en el espacio de la frecuencia al cociente entre transformadas de Fourier. Evidentemente en el caso de una señal sísmica estamos tratando con señales discretas en lugar de continuas, por lo que las expresiones anteriores, basadas en integrales deberán ser transformadas en otras basadas en sumatorias. Así la señal en el dominio del tiempo $u(t)$ se puede expresar como:

$$u(t) = \sum U_j \delta(t - j\Delta t)$$

y sustituyéndola en la expresión de la transformada de Fourier se obtiene:

$$U(\omega) = \sum^N u_j e^{-i\omega j\Delta t}$$

Luego se aplican una serie de algoritmos computacionales para determinar el contenido espectral, sin embargo los procesos iterativos computacionales son lentos en su mayoría, sin embargo por los años 60s aparecieron algoritmos que permitían aligerar de manera significativa el tiempo de cálculo, un claro ejemplo de estos algoritmos es FFT (Fast Fourier Transform), utilizados de manera extendida.

2.2 Análisis de tiempo –frecuencia (espectrograma)

Las distribuciones de tiempo frecuencia mapean una señal unidimensional (tiempo) en forma bidimensional (tiempo-frecuencia), en la figura 2.3 se muestra un ejemplo de una distribución de tiempo-frecuencia, estas distribuciones nos dan la capacidad de describir la verdadera estructura de la señal cuando el contenido de frecuencia varia en el tiempo. La función matemática que se emplea en el espectrograma es conocida como la transformada de Fourier de Corto plazo (TFCP).

El alto contenido de frecuencia nos indica que la señal depende de varios factores entre los que están el arribo de las diferentes fases sísmicas (P, S, superficiales), la

intensidad del movimiento del suelo, la magnitud del terremoto, los efectos de fuente, la propagación de la señal y las condiciones i/o geometrías del suelo, entre otros.

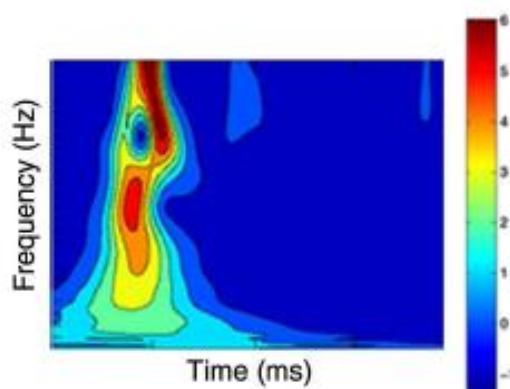


Figura 2.2 Análisis tiempo-frecuencia

3. ADQUISICION Y TRATAMIENTO DE DATOS

3.1 Red sísmica

Luego de la campaña realizada entre mayo y agosto 2014 el OVS-IGP decide mantener una estación instalada sobre el domo reciente del volcán denominada TCN1, de modo que sea continuo el monitoreo sísmico. Es necesario resaltar que todos los datos adquiridos provienen de estaciones temporales incluida la estación TCN1, de modo que la extracción de datos sísmicos se realizó mediante visitas programadas de manera periódica al volcán.

Durante los meses de octubre a diciembre la red Ticsani estuvo constituida por una sola estación, nos referimos a la estación TCN1 (*figura 3.1*) ubicada sobre el domo reciente de este macizo volcánico, los detalles de su ubicación, altura y coordenadas son apreciables en la *tabla 3.1*. Durante los 62 días de adquisición de datos sísmicos la estación TCN1 no presentó algún inconveniente en su funcionamiento o en los datos obtenidos (*figura 3.2*), de modo que esta estación contribuyó a la identificación y clasificación de eventos sísmicos.

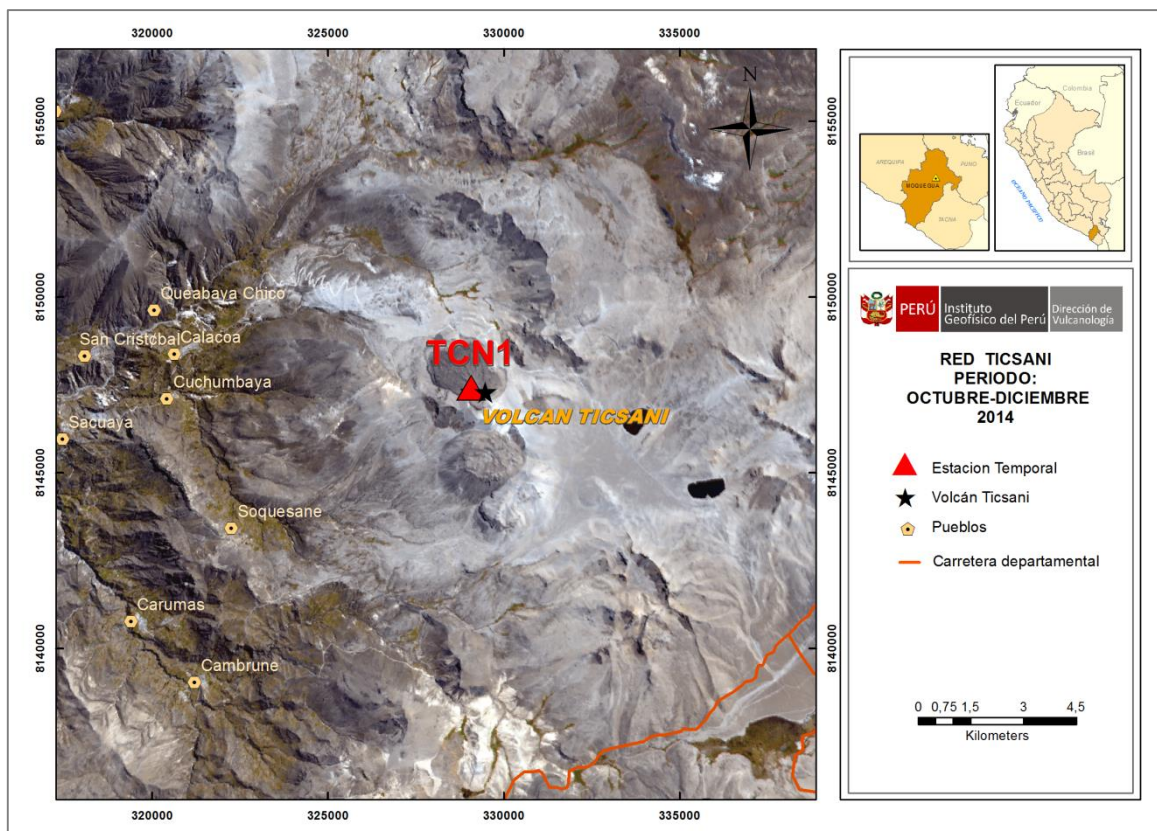
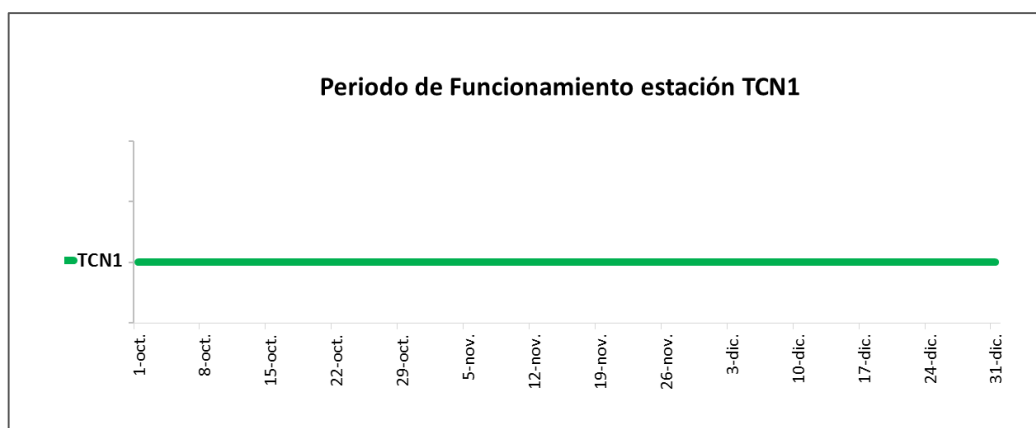


Figura 3.1 Red sísmica Ticsani. Estación ubicada sobre el domo reciente de este macizo volcánico

RED TICSANI OCTUBRE-DICIEMBRE 2014						
Coordenadas (datum WGS-84 Zona 19k)						
ESTACION	CODIGO	GEOGRAFICAS		UTM		ALTURA m.s.n.m.
Ticsani	TCN1	-70.60537	-16.752029	8147185.305	328877.2979	5132

Tabla 3.1 Ubicación de la estación TCN1 en coordenadas geográficas y UTM.



*Figura 3.2 Periodo de funcionamiento de la red sísmica Ticsani Octubre- Diciembre 2014.
La Barra verde, representa el correcto funcionamiento de las estaciones.*

3.2 Características de las estaciones e instrumentos utilizados

3.2.1 Estación TCN1

Esta estación TCN1, se encuentra ubicada sobre el domo reciente (D3) del volcán Ticsani, viene registrando datos desde mayo del 2014, por su ubicación presenta un registro aceptable, es decir buena relación señal ruido, aunque algunas veces fue perturbada por el ruido ambiental de la zona.

La estación temporal TCN1 empleó un registrador utilizado fue un equipo Data - CUBE3 (figura 3.3) y un sismómetro de periodo corto y de tres componentes Lennartz LE-3Dlite (figura 3.4).

Configuración del registrador:

Nº de Canales Activos	: 3 Activos
Ganancia, factor de amplificación	: 1 ± 2.048v
Modo de registro	: Continuo
Tasa de muestreo	: 100 sps (muestras por segundo).
Modo de almacenamiento	: Archivos comprimidos (Formato binario)
Longitud de archivos	: 1 día
Modo ADC	: low power

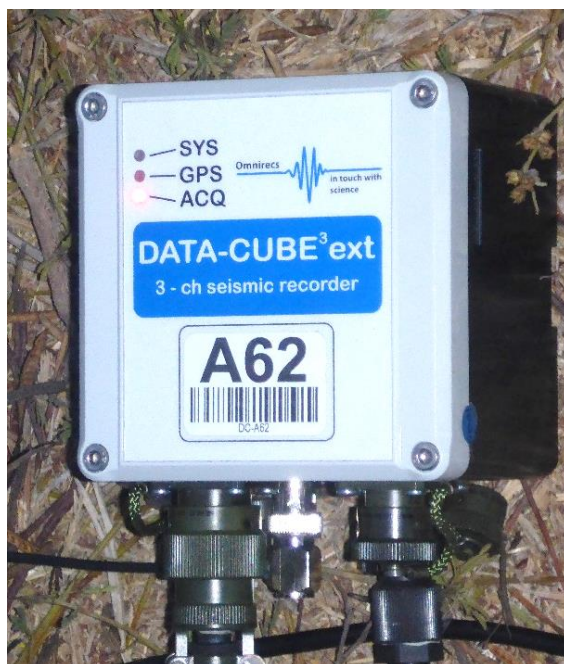


Figura 3.3 Imagen del registrador Data – Cube3 utilizado en la estación TCN1



Figura 3.4 Sismómetro Lennartz LE-3D.

4. ACTIVIDAD SÍSMICA

Durante este tiempo de análisis la actividad sísmica se observó disminuida en comparación al mes anterior, sin embargo se registró actividad importante, predominantemente de eventos relacionados a fractura de rocas como es característico de esta región.

La estación TCN1 fue utilizada como base de análisis y presentación de ejemplos debido a sus buenos registros sísmicos y su cercanía a la fuente de los eventos sísmicos. Mediante esta estación fueron contabilizados un total de 1359 eventos sísmicos de los cuales el 96% corresponde a eventos relacionados a fractura de rocas, un 3% a eventos de baja frecuencia y finalmente un 1% a eventos tipo tremor (*figura 4.1*).

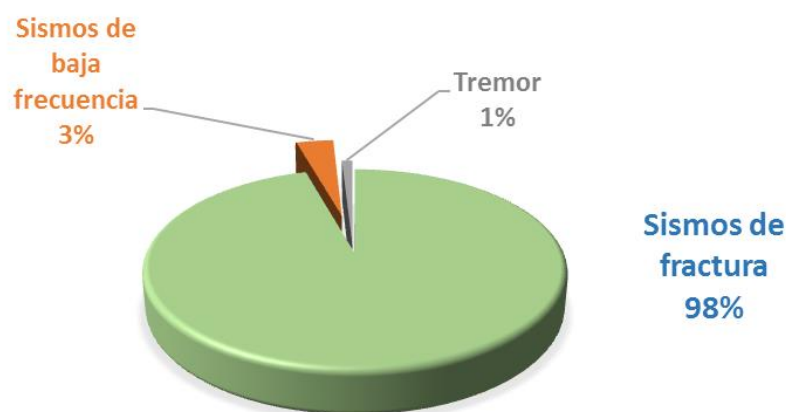


Figura 4.1 Proporción de sismos registrados entre octubre - diciembre 2014. Eventos registrados por la estación TCN1.

4.1 Sismos de fractura

Este tipo de eventos representan la principal actividad sísmica en la región del Ticsani, la característica principal de estos eventos es presentar inicios impulsivos de modo que son identificables en la mayoría de casos las fases sísmicas P y S, otra característica es su amplia banda espectral que en algunos casos alcanzan hasta más de los 18hz y finalmente el decaimiento de sus frecuencias de manera exponencial observado en los espectrogramas.

Ahora bien los sismos identificados bajo estas características están relacionados a fracturas de rocas, identificándose así un total de 1302 eventos, cabe señalar que los picos dominantes de frecuencias en promedio se encuentran en los 3.5hz.

Un ejemplo característico de sismos de fractura se observa en la figura 4.2 donde se observa un sismo de fractura registrado por la estación TCN1 en su componente vertical, este evento data del día 02 de octubre de 2014 07:50hrs UTC.

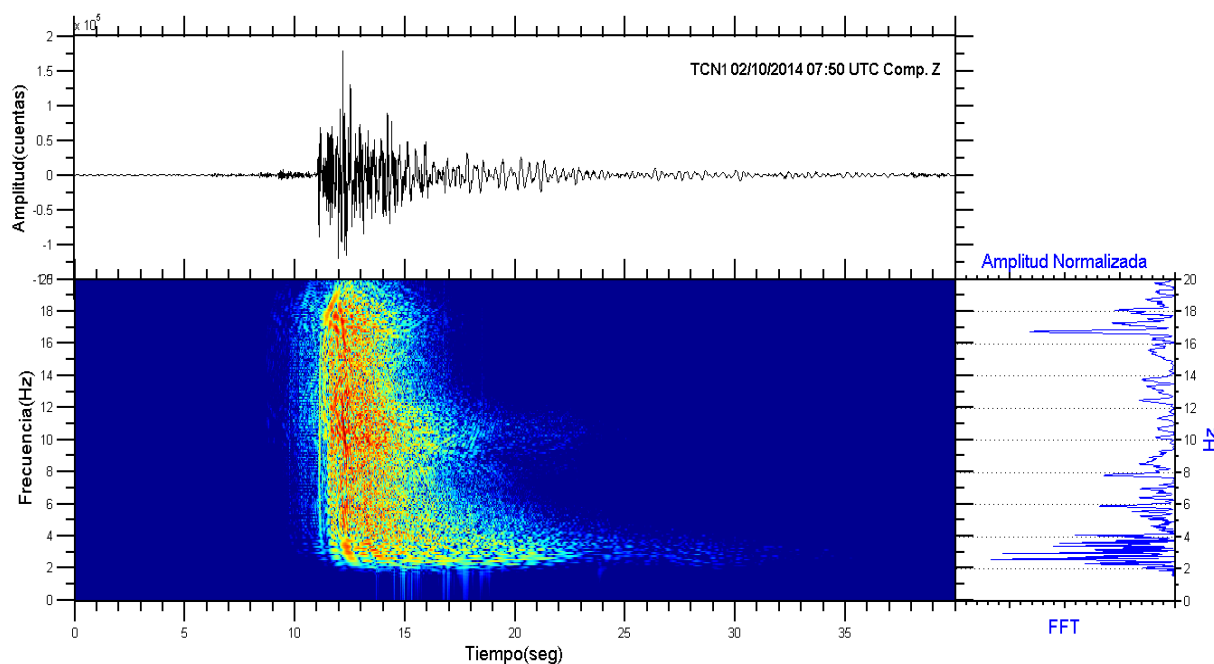


Figura 4.2 Ejemplo de sismo de fractura registrado por la estación TCN el 27 de setiembre a las 05:32hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias característico.

4.2 Sismos de baja frecuencia

Los eventos de baja frecuencia son una minoría en comparación a los eventos relacionados a fracturas de rocas, durante estos tres meses solo se registraron un total de 47 eventos. Las características principales de estos eventos es como su nombre lo indica las bajas frecuencia que por lo general oscilan entre 1hz y 5hz, presentan inicios emergentes en su forma de onda y un decaimiento lento en su coda. Estos eventos no son fáciles de localizar debido a que difícilmente se identifican fases sísmicas.

En la figura 4.3 se muestra un ejemplo típico de un evento de baja frecuencia registrado en la estación TCN1 el día 03 de octubre 2014 a 07:53 UTC, en el espectro de frecuencias y el espectrograma se observan frecuencias dominantes por debajo de los 5hz.

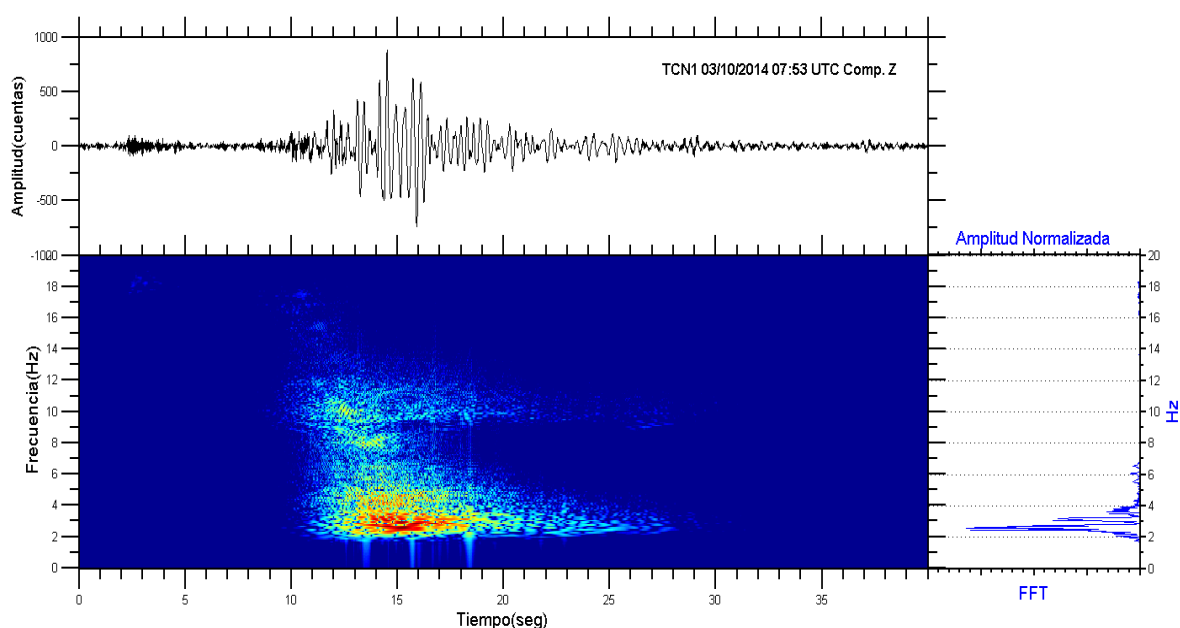


Figura 4.3 Ejemplo de sismo de baja frecuencia registrado por la estación TCN1 el 03 de octubre a las 07:53hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias.

4.3 Eventos tipo Tremor

La actividad sísmica de tipo tremor también se presentó escasa, apenas 10 eventos fueron clasificados como tremores volcánicos, es decir un 1% del total de la actividad sísmica durante estos tres meses.

Los eventos tremor en el volcán Ticsani son de corta duración y se presentan esporádicamente, tal es así que el promedio de duración de estos eventos es de 75 segundos. El tipo de tremor característico en el volcán Ticsani corresponde a eventos tremor espasmódico, no se observaron eventos de tipo pulsante o armónico.

En la figura 4.4 podemos apreciar este tipo de eventos registrado por la estación TCN1, donde se observa una banda de frecuencias entre 1hz y 8hz con frecuencias dominantes en 2hz y 3hz.

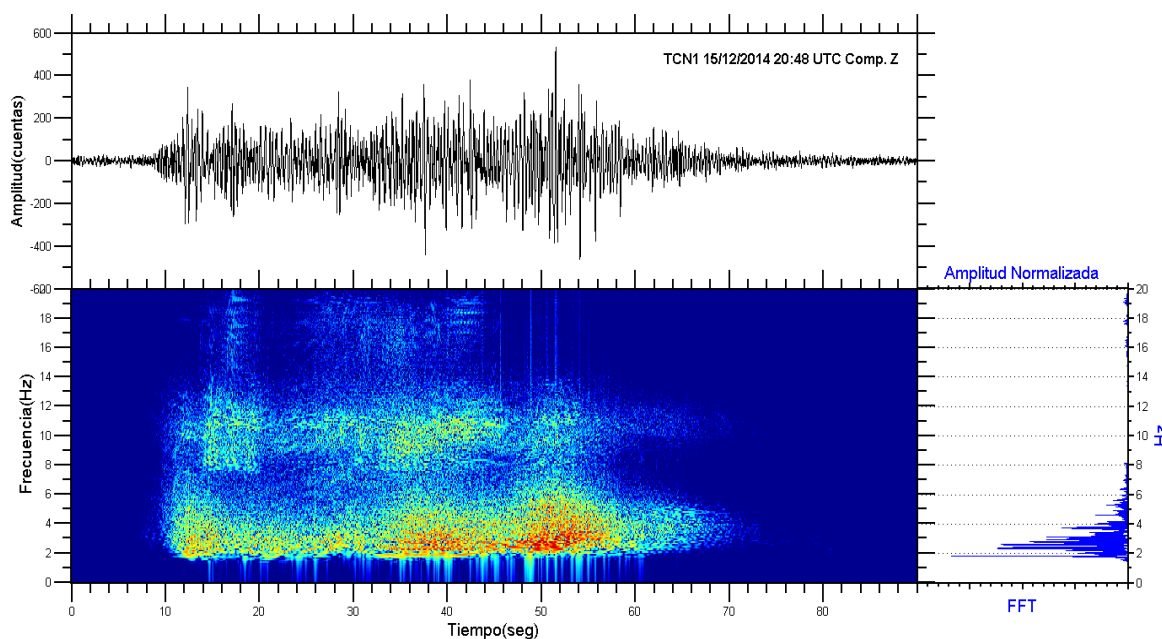


Figura 4.4 Ejemplo de sismo tipo tremor registrado por la estación TCN1 el 15 de diciembre a las 20:48hrs (UTC). Se muestra su forma de onda, espectrograma y espectro de frecuencias.

4.4 Análisis estadístico

Este análisis se basa en contabilizar todos los sismos ocurridos en un lapso de 24 horas, durante este periodo de registro para los diferentes eventos sísmicos ya clasificados, de modo que sea posible apreciar cambios importantes como incrementos o tendencias de la actividad sísmica.

Para el caso de los sismos de fractura en la figura 4.5 se aprecian tres días no continuos de registros sobresalientes de sismicidad: los días 02 de octubre, 02 de noviembre y 27 de noviembre con 258, 119 y 115 sismos respectivamente, tal parece que la actividad decrece con respecto al mes anterior a octubre donde solo el mes de setiembre se registraron 976 sismos de fractura. Estos picos de sismicidad se presentan en forma de enjambres de corta duración. En diciembre no se observa ningún pico de sismicidad de modo que los niveles de sismicidad para este mes son bajos registrándose 6 VT/día en promedio (figura 4.5).

Los eventos de baja frecuencia no presentan algún cambio importante puesto que su número es reducido registrándose en promedio 1 LP/día, del mismo modo los eventos de tipo tremor no superan los 12 minutos de registro total para este periodo (*figuras 4.6 y 4.7*).

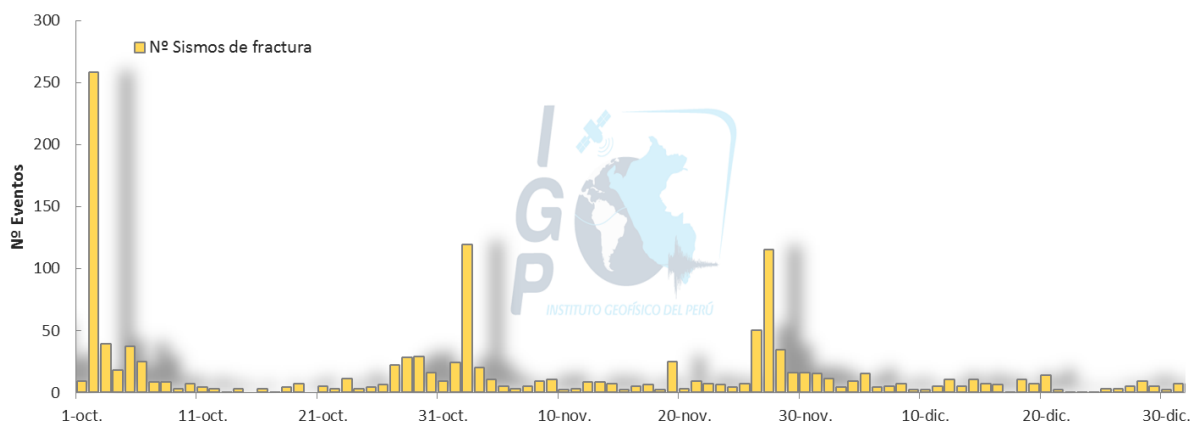


Figura 4.5 Histograma de ocurrencia de eventos relacionados a fractura de rocas. Octubre – Diciembre 2014.

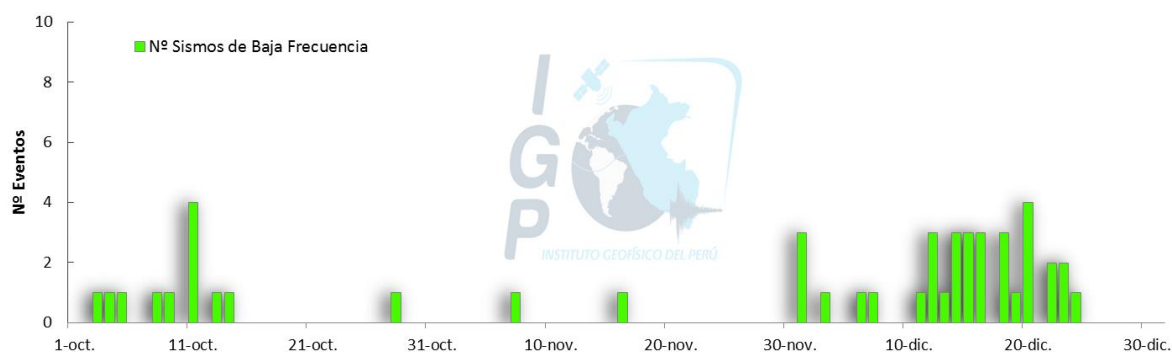


Figura 4.6 Histograma de ocurrencia de eventos de periodo bajo relacionados al paso de fluidos. Octubre – Diciembre 2014.

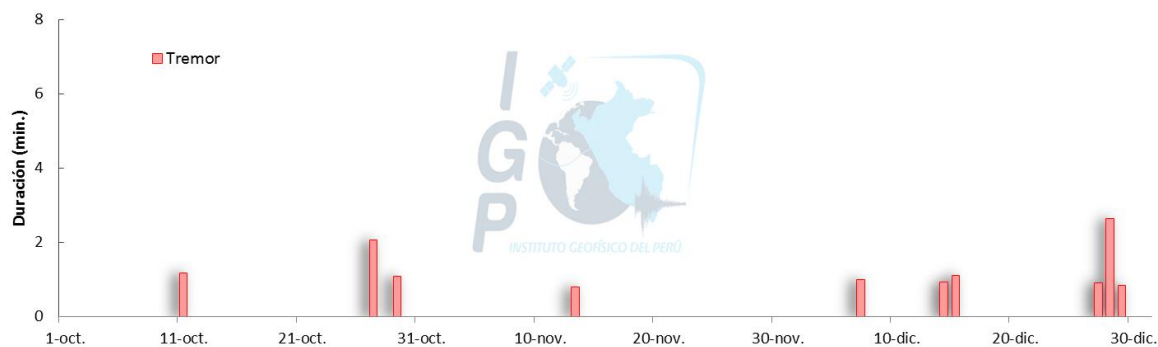


Figura 4.7 Histograma de ocurrencia de evento de tipo tremor Octubre – Diciembre 2014.

5. LOCALIZACIÓN DE EVENTOS

En este acápite se muestran los resultados de la localización de eventos relacionados a sismos de fractura mediante la utilización del programa programa Hypoellipse (Lahr, J. 1999) basado en los principios de Geiger (1912),

Es importante tener dos condiciones mínimas para realizar este trabajo: las fases sísmicas S y P deben ser identificables y deben ser registradas por al menos tres estaciones sísmicas, a consecuencia de esto resulta imposible localizar el total de sismos de fractura clasificados puesto a veces solo son registrados por una sola estación. Con estas condiciones ya es posible localizar un evento con cierto grado de error aceptable.

Las estaciones telemétricas del OVS captaron en su registro los eventos de fractura más energéticos producidos entre el mes octubre y diciembre de 2014, permitiendo así la localización de eventos en esta región y en consecuencia la elaboración de mapas sísmicos preliminares.

En consideración de lo mencionado en este periodo de análisis se lograron localizar un total de 23 eventos de fractura con calidades A y B. La distribución en superficie en general es dispersa con sismos ubicados a 4km al SE del volcán Ticsani y algunos sismos muy próximos al volcán. Las magnitudes oscilan entre 2.8ML y 3.8ML. El sismo de mayor magnitud registrado fue de 3.8 ML ocurrido el 28 de setiembre a 02:31 UTC (*figura 5.1*).

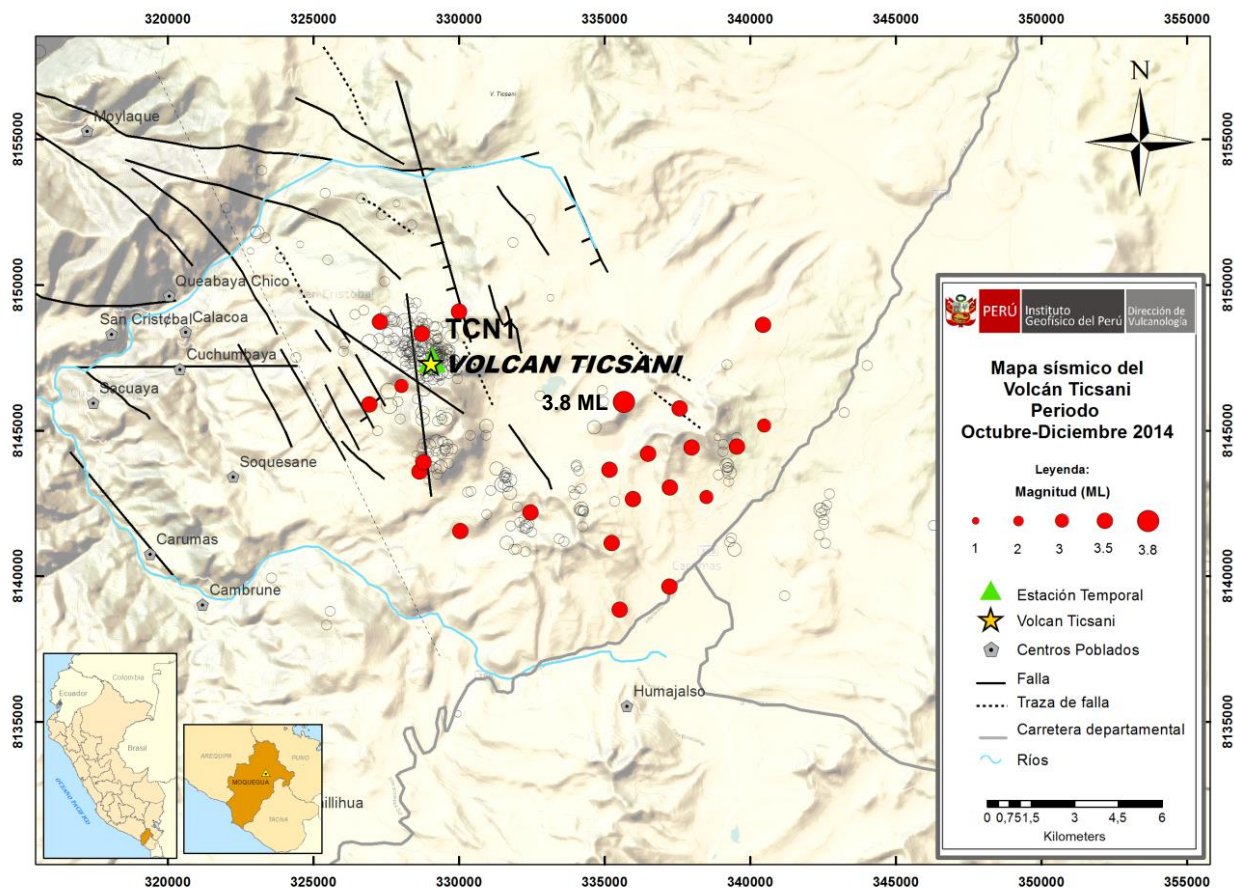


Figura 5.1 Distribución en superficie de la sismicidad registrada entre octubre y diciembre de 2014. Se observan sismos dispersos al SE del volcán y algunos sismos próximos al volcán.

En la *figura 5.2* se puede apreciar el mapa de perfiles E-W y N-S donde se han ploteado los sismos localizados, los cuales están distribuidos entre 2.5km y 20km de profundidad.

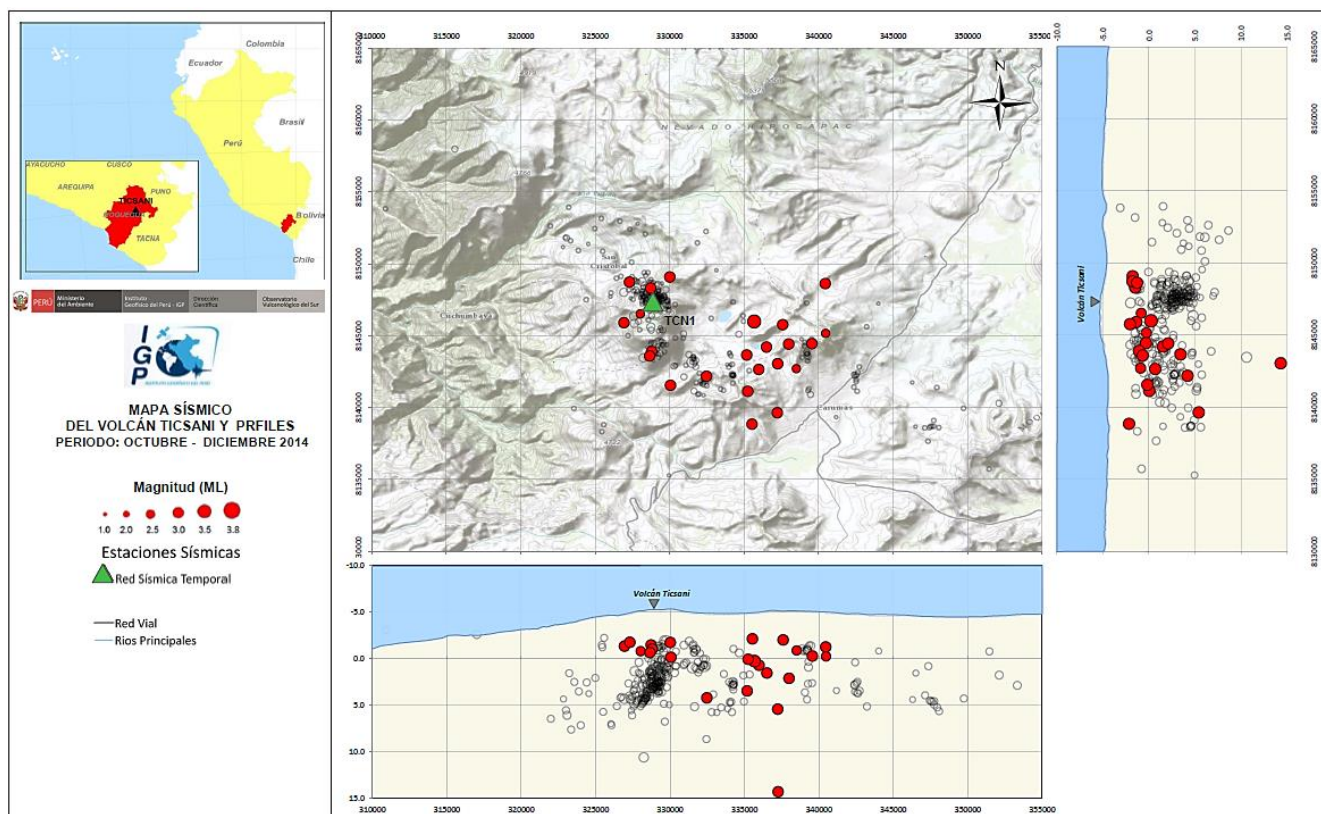


Figura 5.2 Mapa de distribución de sismicidad en superficie y en profundidad de la región del volcán Ticsani. Periodo Octubre – Diciembre 2014.

CONCLUSIONES

- El OVS viene monitoreando al volcán Ticsani ininterrumpidamente desde mayo de 2014 mediante estaciones temporales, en el periodo de análisis octubre – diciembre 2014 la estación temporal TCN1 fue utilizada para el desarrollo de estas labores.
- La actividad sísmica en la región del volcán Ticsani fue caracterizada por presentar numerosos sismos de fractura especialmente los días 02 de octubre, 02 de noviembre y 27 de noviembre, registrándose hasta 258 eventos por día. También se registraron eventos de baja frecuencia y tremor sísmico pero en un número muy reducido representando el 4% del total de la sismicidad.
- La localización de eventos sísmicos fue posible gracias a las redes telemétricas del OVS y la estación temporal TCN1, fueron localizados un total de 23 sismos de fractura presentando magnitudes de 2.8ML a 3.8ML, los sismos localizados se presentan dispersos a 4km al SE del volcán Ticsani, y algunos muy próximos al volcán, así mismo la distribución hipocentral muestra una mayor incidencia de eventos distribuidos entre los 2,5 y 20km de profundidad.



RECOMENDACIONES

- Es importante el incremento en número de las estaciones sísmicas sobre el volcán Ticsani así como en sus alrededores, de modo que sea posible detectar eventos propios del volcán y eventos distales. Mediante la instalación de más estaciones será posible realizar localizaciones y cálculos de mecanismos focales.
- Realizar estudios geofísicos Potencial Espontaneo al menos dos veces al año y visitas periódicas para realizar inspecciones y tomas de temperatura de los centros fumarólicos.
- Realizar estudios a detalle sobre la ocurrencia de los sismos de fractura, enjambres sísmicos y cálculos del parámetro “B”.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, V., Tavera, H., Bernal, I., Palza, H., & Kosaka, R. (2001). Análisis y evaluación del sismo de Calacoa (Omate - Moquegua) del 6 de Mayo de 1999 (MW=4.0). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* v. 91 (2001) p.69-80.
- Gonzales, K., Froger, J., Rivera, M., & Audin, L. (2006). Deformación co-sísmica producida por el sismo Mb=5.4 del 01 de Octubre de 2005 (Carumas-Moquegua), detectada por interferometría radar - InSAR. *In XIII Congreso peruano de Geología. Vol, 2005, pp. 488-489*.
- Lavallée, Y., De Silva, S., Salas, G., & Byrnes, J. (2009). *Structural control on volcanism at the Ubinas, Huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (UHTVG), southern Peru*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 186 (2009) 253–264.
- Mariño, J., & Thouret, J. (2003). Geología, historia eruptiva y evaluación de peligros del volcán Ticsani (sur del Perú). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Lima*.
- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2010). *Volcanoes of the world. Third edition. Smithsonian Institution, University of California Press, Berkeley*.
- Tavera, H. (2006). *Características sismotectónicas de la crisis sísmica de octubre del 2005 en la región del volcán Ticsani (Moquegua)*. Instituto Geofísico del Perú, Lima.
- White, R. (2011). Monitoring volcanoes and forecasting eruptions. *Volcano Observatory Best Practices Workshop: Eruption Forecasting, 11-15 September 2011, Erice, Italy*.