



INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

INFORME TÉCNICO

**RESULTADOS DEL MONITOREO SÍSMICO DEL
VOLCÁN TICSANI**

PERIODOS: ABRIL 2008 Y AGOSTO 2008-FEBRERO 2009



Presentado por:

Yanet Antayhua Vera

Domingo Ramos Palomino

Octubre, 2009

INDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. REDES SÍSMICAS TEMPORALES DEL VOLCÁN TICSANI.....	5
3. PROCESAMIENTO DE DATOS	7
3.1. Análisis frecuencial	7
3.1.1. periodo abril de 2008	7
3.1.2. Periodo agosto-diciembre de 2008.....	8
4. LOCALIZACIÓN DE LOS SISMOS	9
4.1. Construcción de la base de datos.....	9
4.2. Localización epicentral de los sismos registrados en una estación sísmica	11
4.2.1. Distribución en superficie	11
4.3. Localización hipocentral de los sismos registrados en 3 a más estaciones sísmicas.....	12
4.3.1. Periodo agosto 2008 a febrero de 2009.....	12
4.3.2. Distribución en superficie y en profundidad.....	15
5. CONCLUSIONES.....	17
BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN

Debido a la intensa actividad sísmica observada en 1999 y 2005 en la estructura volcánica del Ticsani y la presencia de numerosas fallas locales y lineamientos de diversas longitudes, en abril del 2008, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) realizó el monitoreo sísmico temporal durante los periodos abril (15 al 21 de abril) y agosto 2008 a febrero de 2009, utilizando para ello, dos estaciones de banda ancha Guralp y 4 de periodo corto Sara, los mismos que fueron instalados sobre el domo y localidades circundantes del volcán Ticsani (San Cristóbal, Humalso, Pallatea, Chilota, Huaytire), dentro del marco del Proyecto “Monitoreo de volcanes activos del sur del Perú” y Proyecto europeo “VOLcanoes Understandig Mass moVEmment (VOLUME)”.

Los resultados del análisis de las señales sísmicas registradas por las estaciones instaladas en ambos periodos, muestran una actividad sísmica intensa con tiempos de arribo de ondas P y S claramente identificables, típicos de sismos asociados a fracturamiento de roca. El análisis frecuencial mostró que los sismos registrados en la zona del volcán Ticsani, presentan frecuencias predominantes entre 9.2 y 11,5 Hz y la energía calculada para sismos registrados en este periodo son menores a 0.0484 J; por tanto, son de muy baja energía comparados con los sismos registrados durante las dos crisis eruptivas de 1999 y 2005. La localización hipocentral de los sismos, evidenció que éstos ocurren a profundidades superficiales (menores a 15 km) y magnitudes de duración entre 0,1 y 1,0 Md. En general, los sismos se distribuyen en dirección NE-SO, siguiendo la tendencia del lineamiento reconocido por Lavallée et al. (2006, 2009). Otros sismos muy dispersos pueden observarse al Oeste, Sur y Este de la estación Humalso (HUM1). Durante ambos periodos, no se han registrado sismos asociados a la actividad volcánica del Ticsani.

1. INTRODUCCIÓN

En la zona del volcán Ticsani ocurrieron dos crisis sísmicas de magnitud moderada en los últimos 10 años; el primero, el 6 de mayo de 1999 con una magnitud local $ML=4,0$ y a una profundidad superficial de 6,5 km (Aguilar et al., 2001). El segundo ocurrió el 1 de octubre del 2005, magnitud $ML=5,3$ y a una profundidad de 5.7 km (Tavera, 2006). La particularidad de ambos sismos es que fueron seguidas de numerosas réplicas y fueron sentidas en las localidades de Calacoa, Cuchumbaya y Carumas con una intensidad de V en la escala de Mercalli Modificada (V MM). Como resultado de la ocurrencia de ambos sismos, las viviendas de adobe y barro (típicos de la zona) fueron destruidas; asimismo, se observaron caída de rocas, derrumbes, reactivación de deslizamientos y agrietamientos de terreno (Rivera et al., 2006). Inicialmente, se pensó que estos sismos estaban asociados a una posible erupción del volcán Ticsani, pero los estudios sísmicos, geológicos y de deformación mediante Interferometría de Radar (González et al., 2009) demostraron que su origen fue netamente tectónico asociado al sistema de fallas que cruzan el volcán Ticsani en dirección NO-SE. En la Figura 2, se muestra los epicentros de los sismos principales y réplicas ocurridas en 1999 (Figura 1A) y 2005 (Figura 1B).

Debido a la intensa actividad sísmica observada en 1999 y 2005 en la estructura volcánica del Ticsani y la presencia de numerosas fallas locales y lineamientos de diversas longitudes (Lavallée et al., 2006, 2009; González et al., 2009), en abril del 2008, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) realizó el monitoreo sísmico temporal durante 6 días (15 al 21 de abril) con 2 sismógrafos de banda ancha. Durante este periodo, se instaló una estación sísmica en la cima del volcán Ticsani, a fin de detectar y registrar sismos de origen volcánico.

Posteriormente, desde el 26 al 29 de agosto del 2008, se instalaron 6 estaciones sísmicas (dos de banda ancha y cuatro de periodo corto) en el domo y localidades aledañas al volcán Ticsani (San Cristóbal, Humalso, Pallatea, Chilota, Huaytire), dentro del marco del Proyecto “Monitoreo de volcanes activos del sur del Perú” y proyecto europeo “VOLcanoes Understandig Mass moVEmment (VOLUME)” del cual formó parte el INGGEMMET. Estas estaciones estuvieron operativas hasta febrero de 2009.

En este estudio, se analiza y discute la información sísmica registrada durante los periodos abril 2008 y agosto 2008 a febrero de 2009.

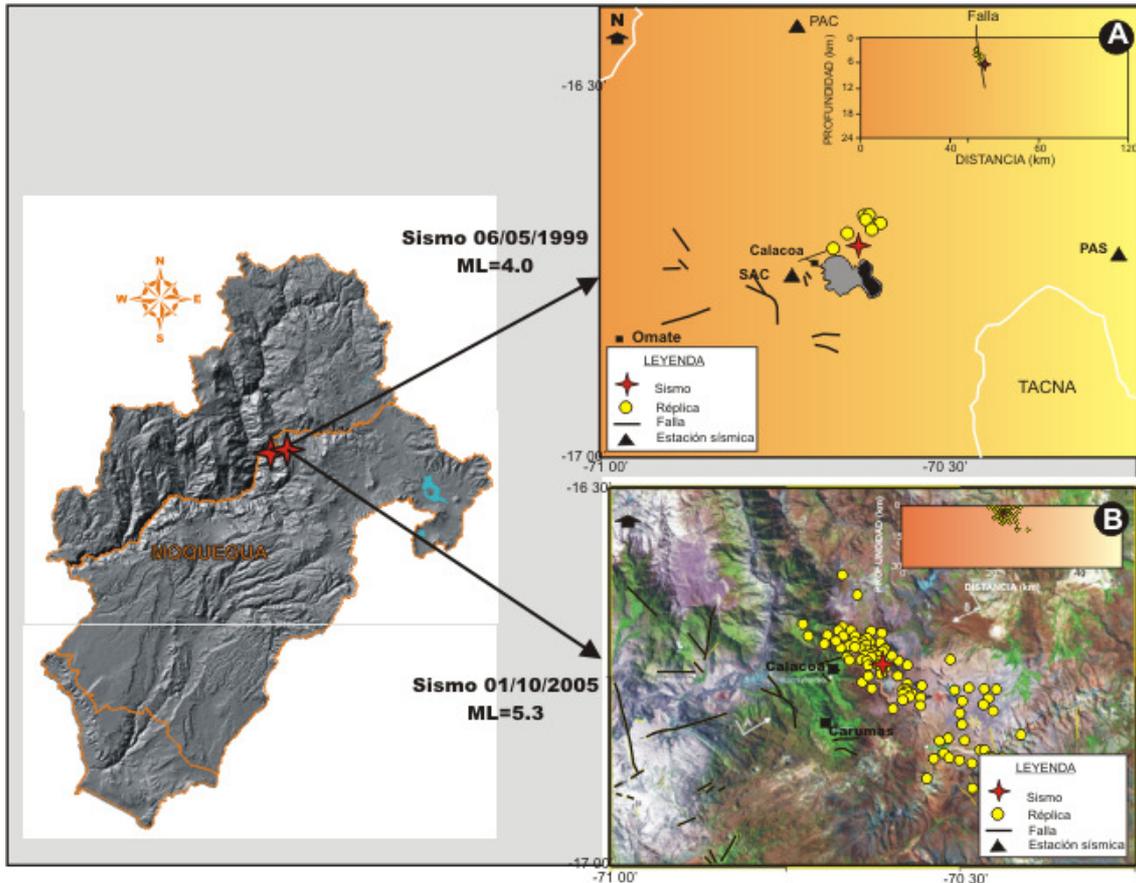


Figura 1. Epicentros de sismos y réplicas principales ocurridos en la zona del volcán Ticsani (Moquegua). A) 6 de mayo de 1999 y B) 1 de octubre de 2005). Modificado de [Aguilar et al. \(2001\)](#) y [Tavera \(2006\)](#).

2. REDES SÍSMICAS TEMPORALES DEL VOLCÁN TICSANI

El trabajo de campo inicial fue realizado el 15 de abril del 2008, con la instalación temporal de 2 estaciones sísmicas GURALP de banda ancha. Por su ubicación, se denominaron como Ticsani 1 (TCS1) y Ticsani 2 (TCS2). Después de 3 días de operatividad de TCS1, ésta fue retirada para ser trasladada e instalada en la cima del volcán Ticsani (TCS3). Ambas estaciones TCS2 y TCS3 debieron estar operativas durante quince días; sin embargo, durante el sexto día de registro, se presentó un nuevo incremento en la actividad del volcán Ubinas y debido a que en ese momento carecía de información sísmica, se decidió desinstalar y trasladar las estaciones sísmicas hacia el volcán Ubinas ([Ramos et al., 2008](#)).

Posteriormente, del 26 al 29 de agosto de 2008, se realizó la instalación de 6 estaciones sísmicas. Estas estaciones están constituidas por dos sismómetros GURALP de banda

ancha y cuatro sismómetros SARA de periodo corto, ambos tipos con sensores y registrador integrado que permiten el buen registro de los sismos de magnitudes grandes a pequeñas como los ocurridos en el volcán Ticsani. Los sismómetros GURALP, a diferencia de los SARA, registraron de manera continua las 24 horas del día; mientras que SARA fue configurada para registrar solamente por disparo (ante ocurrencia de movimientos sísmicos o ruido).

En el Cuadro 1, se presenta la ubicación de las estaciones sísmicas y en la Figura 5, la distribución de de las mismas alrededor del volcán Ticsani. Tal como se observa en la figura, las estaciones sísmicas instaladas en abril están representadas por triángulos blancos y los instalados en agosto por triángulos amarillos.

Cuadro 1. Principales características de las estaciones sísmicas instaladas durante los periodos abril y agosto del 2008.

Estación	Coordenadas UTM		Elevación (msnm)	Tipo sismógrafo	Localidad
	N	E			
TCS1	8145128	334731	4827	Guralp	Ticsani 1
TCS2	8145128	334731	4488	Guralp	Ticsani 2
TCS3	8146397	329663	5369	Guralp	Ticsani 3
6718	8147405	329495	4972	Guralp	Domo
SCR1	8148543	318155	3147	Sara	San Cristóbal
HUM1	8137138	334951	4426	Guralp	Humalso
PAL1	8163140	328607	4384	Sara	Pallatea
CHI1	8153499	346838	4403	Sara	Chilota
HUA1	8132642	353515	4492	Sara	Huaytire

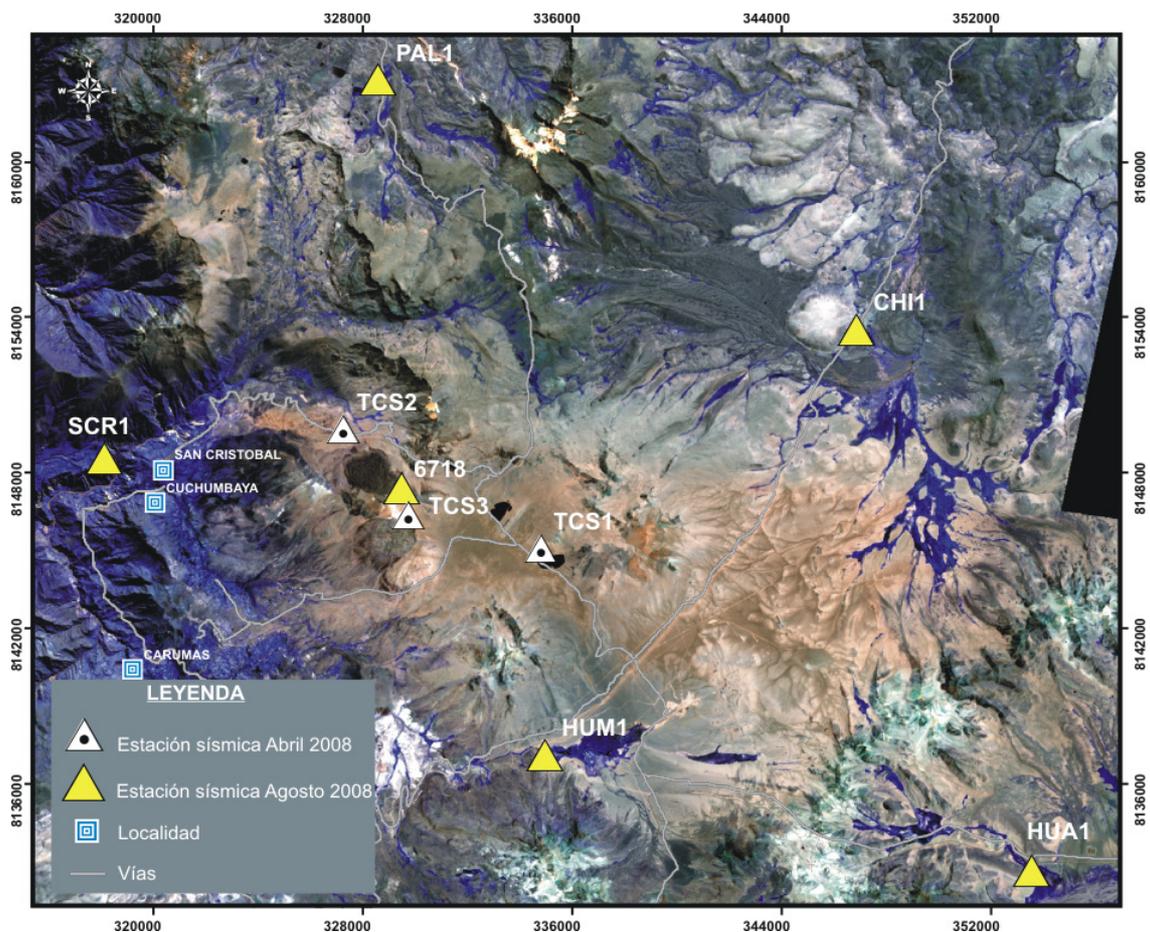


Figura 2. Ubicación de las estaciones sísmicas instaladas en abril (triángulos blancos) y agosto de 2008 (triángulos amarillos), alrededor del volcán Ticsani.

3. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1 Análisis frecuencial

Para realizar el análisis frecuencial y de energía sísmica, se ha utilizado el programa VOLCANALYSIS, desarrollado por Lesage (2009). Para este análisis, se ha considerado las estaciones sísmica más cercanas al volcán Ticsani, TCS2 y 6718; duración total del sismo y registros claros del arribo de las ondas P y S.

3.1.1 Periodo abril 2008

La Figura 3, muestra el análisis frecuencial del sismo registrado el 21 de abril del 2008, en la estaciones TCS2. En la ventana superior derecha de la figura, se muestra el registro total del sismo local, en el intermedio, el análisis frecuencial y en la parte inferior la frecuencia predominante o frecuencia pico del sismo (línea discontinua de

color verde). Así, del análisis, se ha obtenido que las frecuencias predominantes del sismo del 21 de abril es de 11,8 Hz; mientras que los valores de energía en Joules (J) es de 0.0484 J. Durante este periodo de registro, los sismos presentaron formas de onda, frecuencias predominantes muy similares y baja energía, comparados con los sismos ocurridos durante los años 1999 y 2005.

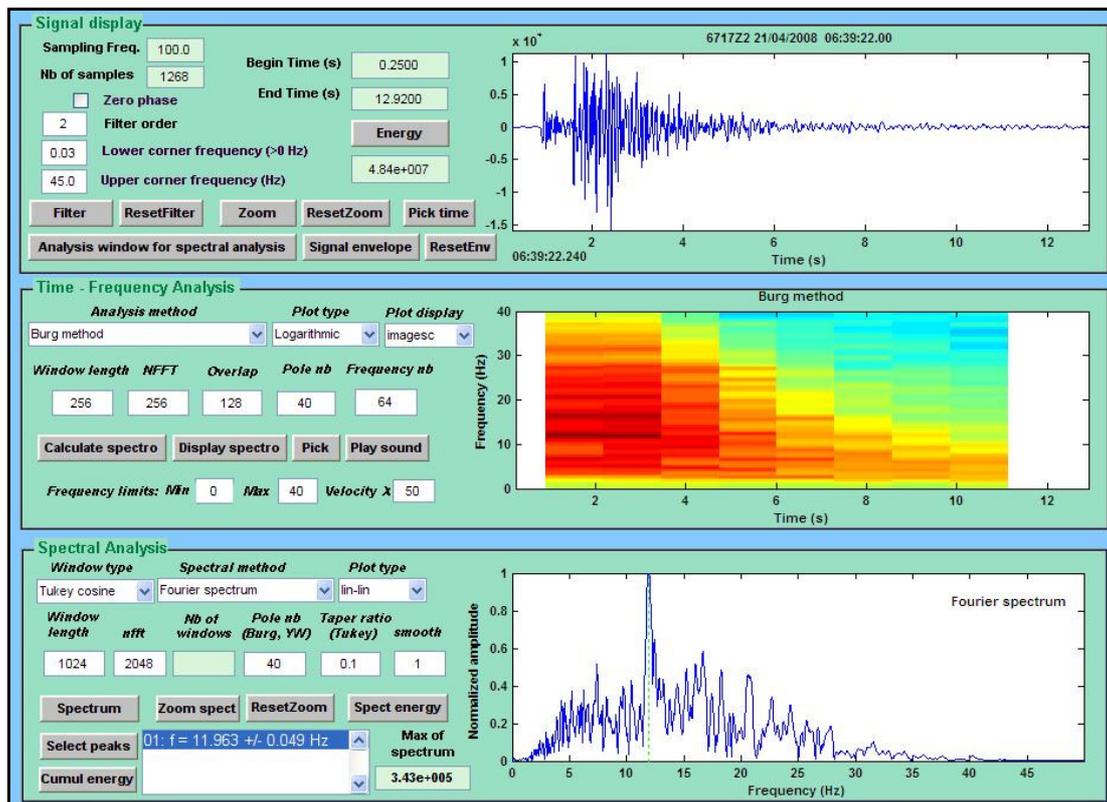


Figura 3. Análisis frecuencial y cálculo de energía del sismo registrado en la estación TCS2, el 21 de abril de 2008, a las 06:39 hora GMT.

3.1.2 Periodo agosto-diciembre de 2008

Durante este periodo, las frecuencias predominantes fueron similares a los obtenidos durante el periodo abril del 2008. En la Figura 4, se muestra el análisis frecuencial de una sucesión de sismos registrados el 16 de octubre de 2008, a las 05:40 hora GMT, en la estación 6718. Las frecuencias predominantes oscilan entre 9,2 Hz y 11,5 Hz, con tiempos de arribo de las ondas P y S claramente identificables.

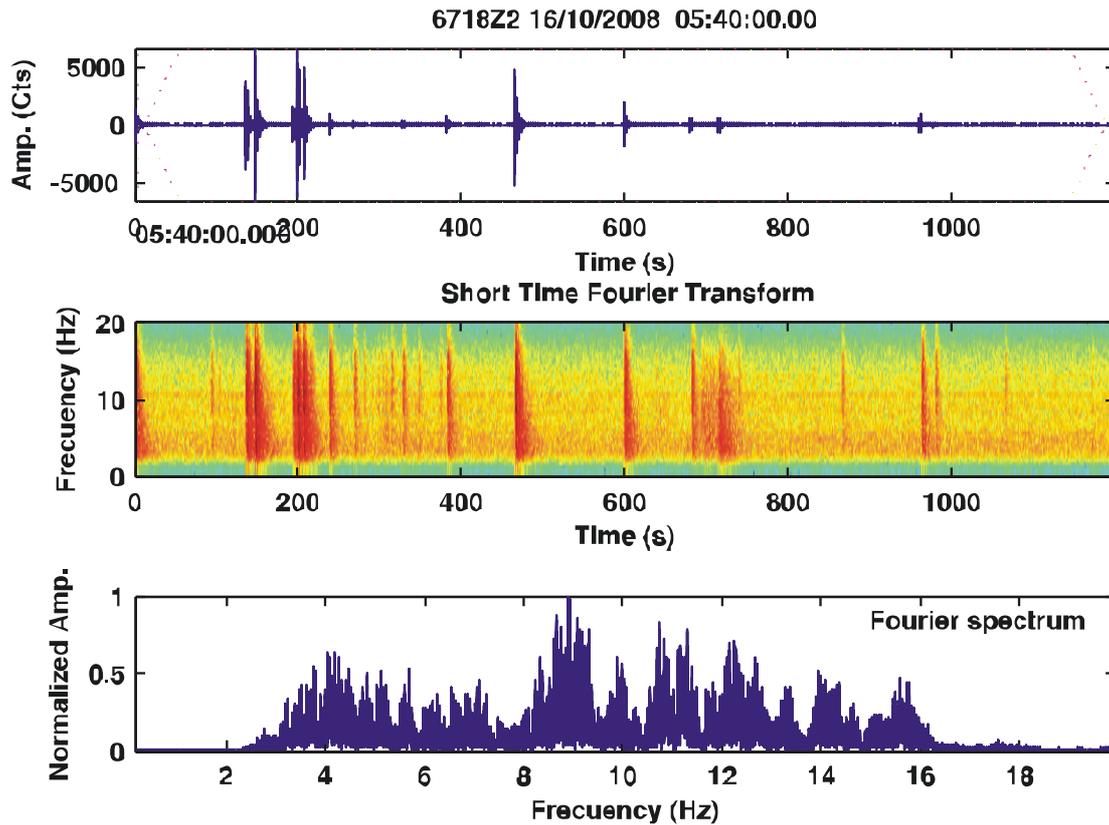


Figura 4. Análisis frecuencial de los sismos registrados en la estación Domo (6718). Registro del 16 de octubre del 2008, a las 05:40 hora GMT.

4. LOCALIZACIÓN DE LOS SISMOS

4.1 Construcción de la base de datos

Para realizar la localización hipocentral de los sismos se ha elaborado una base de datos del volcán Ticsani considerando:

- Sismos registrados en una estación sísmica instaladas en los periodos abril y agosto de 2008. Estos sismos deben presentar claros arribos de las ondas P, S, amplitud dirección (compresión, dilatación) de la onda, a fin de localizar el epicentro utilizando el programa 3Componentes.
- Sismos locales registrados en 3 a más estaciones instaladas durante el periodo agosto 2008 y febrero 2009 para su localización hipocentral. Estos sismos presentan tiempos de arribo de las ondas P y S $T_{(S-P)} \leq 5,0$ s). En la Figura 5, se muestra un ejemplo de sismo local registrado en 3 estaciones con sus respectivas

lecturas de tiempos de arribo de las ondas P, S y la duración total del sismo (C). Este sismo se registró el 31 de agosto, a las 04:35 hora universal (GMT).

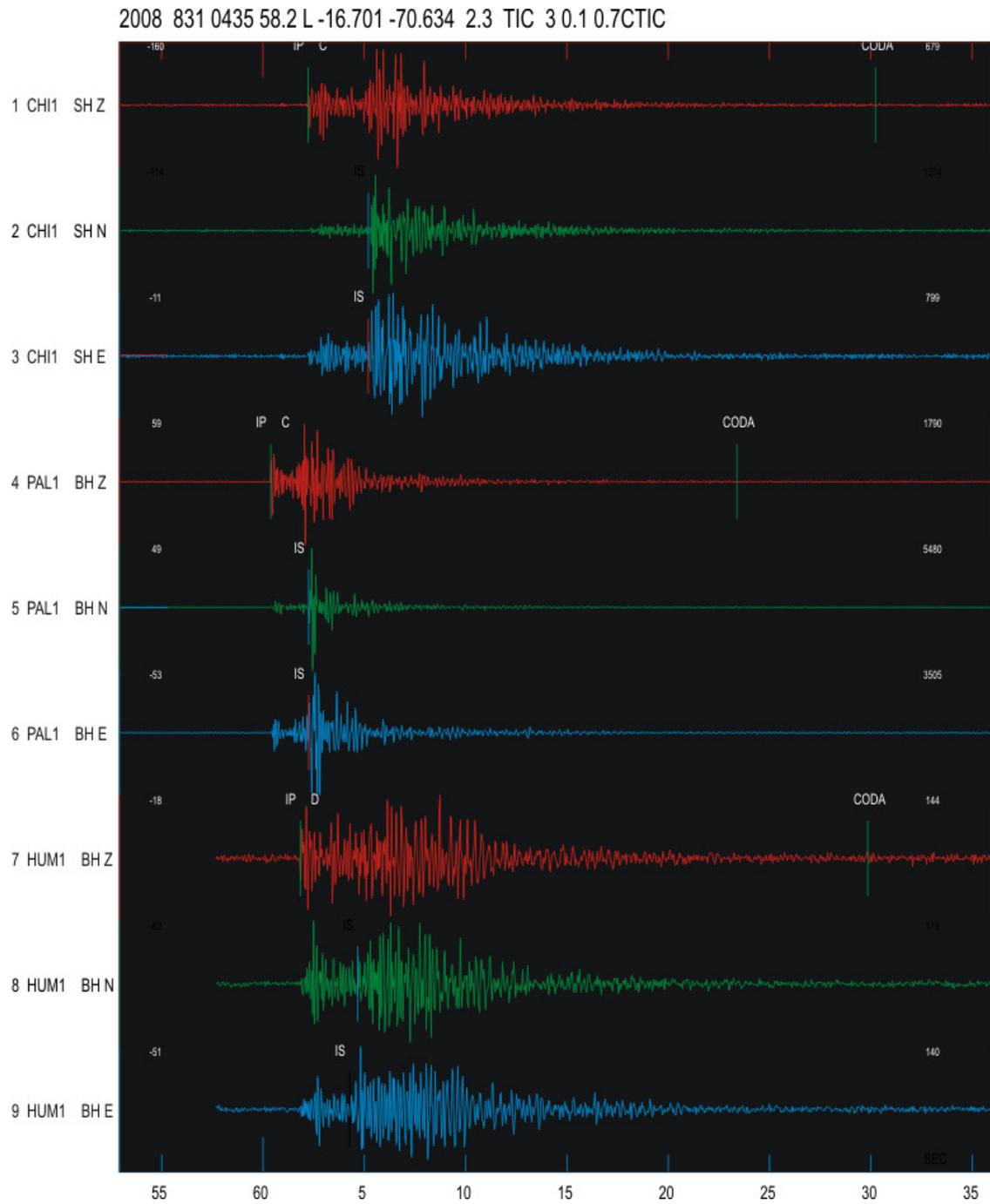


Figura 5. Ejemplo de sismo registrado 31 de agosto de 2008, a las 04:35 hora GMT en la estación sísmica instalada en las estaciones Chilota (CHI1), Pallateca (PAL1) y Humalso (HUM1).

4.2 Localización epicentral de sismos registrados en una estación sísmica

Para la localización epicentral correspondiente a los periodos abril y agosto-diciembre de 2008, se han seleccionado 108 sismos registrados en las estaciones que estuvieron operativas durante ambos periodos. Para este propósito, se han utilizado los programas SEISAN (Havskov and Otemoller, 2009) y 3Componentes. Con el primero, se realizaron las lecturas de los tiempos de arribo de las ondas P, S, duración del sismo (C), amplitud de la onda P y dirección del arribo de la onda de 145 sismos; mientras que con el segundo, se procedió a localizar el sismo.

El programa 3Componentes, utiliza como datos de entrada: la diferencia de tiempos de arribo de las ondas P y S; la amplitud de la onda P en sus componentes N-S y E-O, la dirección del primer arribo (Compresión, Dilatación) y la velocidad de la onda P ($V_p=6$ km/s) obtenida del modelo de velocidad propuesto por Dorbath et al. (1991) (Cuadro 2). Como es evidente, este programa permite conocer de manera general y preliminar el epicentro del sismo, ya que una buena localización requiere de tres a más estaciones sísmicas alrededor de la zona de estudio.

Cuadro 2. Modelo de velocidad obtenido por Dorbath et al. (1991). Prof. es la profundidad en kilómetros y V_p la velocidad de la onda P en kilómetros por segundo.

Prof. (km)	V_p (km/s)
0,0	5,2
15,0	6,2
30,0	6,8
50,0	8,0

4.2.1 Distribución en superficie

En la Figura 6, se presenta la distribución en superficie de las principales fallas, lineamientos (reconocidos por Lavallée et al., 2006, 2009; Gonzáles et al., 2009) y de 145 sismos localizados utilizando el programa 3Componentes y registrados durante los periodos abril (14 sismos, círculos blancos) y agosto-diciembre de 2008 (131 sismos, círculos rojos), en la zona del volcán Ticsani. Esta distribución muestra una intensa actividad sísmica en los alrededores del volcán, resaltando principalmente los ubicados al Norte, NE y Sur del volcán Ticsani.

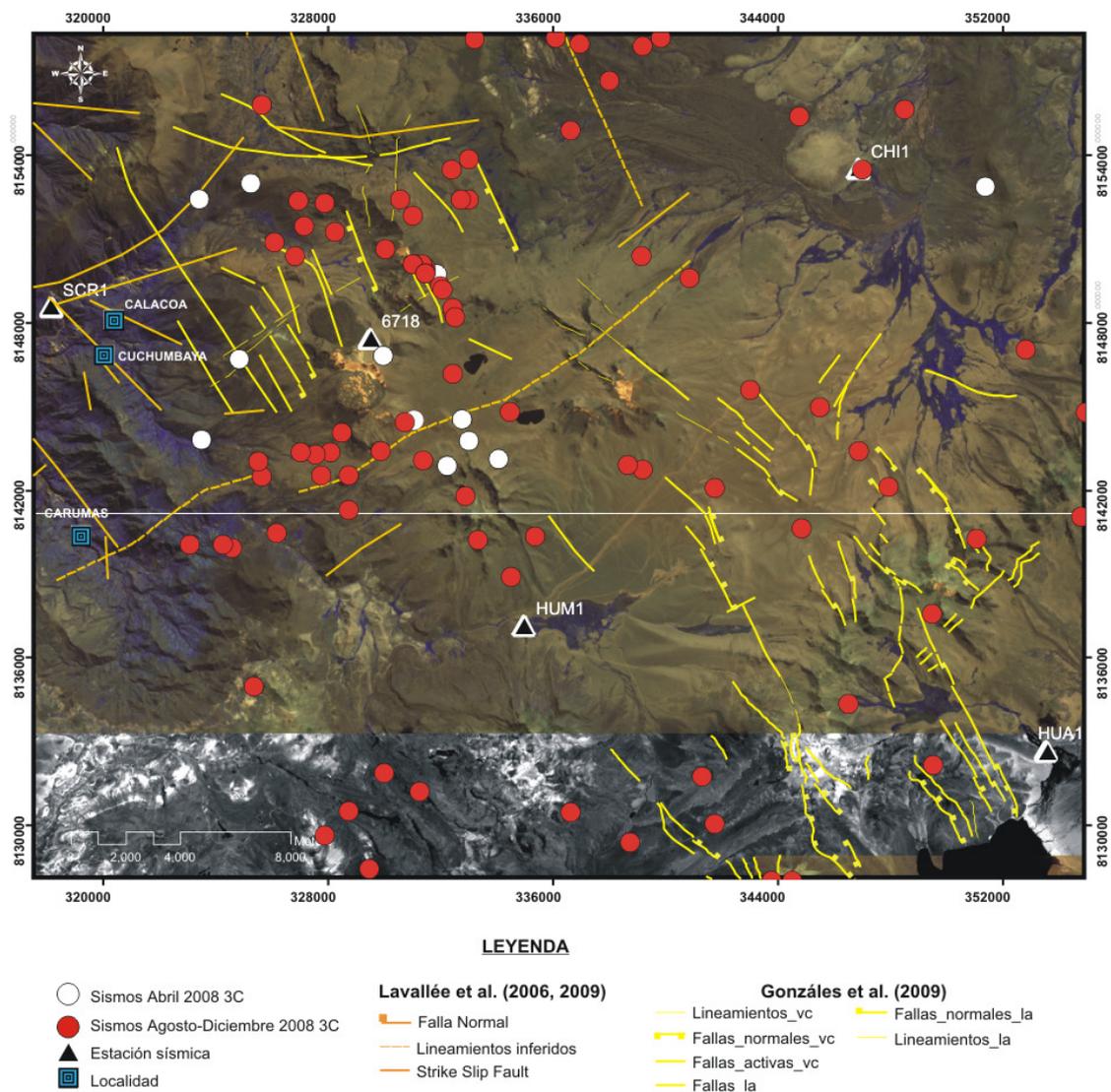


Figura 6. Distribución en superficie de los sismos localizados con el programa 3Componentes. Los círculos blancos corresponden al periodo abril y los círculos rojos al periodo agosto-diciembre de 2008

4.3 Localización hipocentral de los sismos registrados en 3 a más estaciones sísmicas

4.3.1 Periodo agosto 2008 a febrero de 2009

Durante este periodo se seleccionó 44 sismos registrados en 3 a más estaciones sísmicas (ver Figura 5). En cada uno de los sismos se ha realizado la lectura de los tiempos de arribo de las ondas P, S y duración total del sismo (C). Con este fin, se ha utilizado el programa de localización hipocentral SEISAN, el mismo que utiliza como datos de entrada estas lecturas de P, S, duración total del sismo y coordenadas de las estaciones sísmicas. Asimismo, se ha empleado el modelo de velocidad de [Dorbath et al \(1991\)](#), la relación de velocidad $V_p/V_s=1.70$ obtenido por Tavera (2006) analizando la crisis

sísmica de octubre de 2005, ocurrida en la zona del volcán Ticsani y la ecuación de la magnitud de duración (Md) presentado por Klein (1978).

Los resultados numéricos de la localización, son presentados en el Cuadro 3.

N° Sismo	Fecha AA/MM/DD	Hora origen HH/MM/SS	Coordenadas UTM		Prof. (Km)	Mc	RMS (s)
			N	E			
1	2008/09/13	08:35:37.1	8142619,08	338867,35	4,2	0,2	0,02
2	2008/09/13	08:55:16.7	8149037,06	338818,49	0	0,1	0,03
3	2008/09/13	08:55:31.3	8143182,88	340248,83	0,5	-0,1	0,04
4	2008/09/13	09:18:12.5	8148198,46	330614,63	0	1,0	0,02
5	2008/09/13	23:48:38.8	8154033,37	341020,27	12,7	0,5	0,02
6	2008/09/14	01:03:11.9	8155045,07	343145,85	19,5	0,8	0,01
7	2008/09/14	05:21:05.9	8148965,38	329648,81	0	0,4	0,01
8	2008/09/15	02:57:56.5	8136722,98	334862,82	19	0,2	0,11
9	2008/09/15	06:24:33.8	8148709,95	339460,73	8,3	0,1	0,03
10	2008/09/18	05:45:06.2	8153410,19	346570,62	4,6	0,1	0,06
11	2008/09/18	05:45:26.2	8145232,75	348122,24	5,3	0,5	0,03
12	2008/09/20	03:08:20.5	8150262,33	339875,52	13,1	0,5	0,02
13	2008/09/21	06:42:44.8	8133546,18	325191,26	10,1	0,4	0,02
14	2008/09/23	01:48:46.8	8150704,95	339872,18	0,9	0,4	0,01
15	2008/09/25	20:43:03.1	8144797,60	334373,20	9,4	0,2	0,29
16	2008/09/25	20:53:03.1	8159816,37	344924,28	0	0,9	0,20
17	2008/09/26	03:34:41.1	8143144,42	335238,95	2,6	0,4	0,03
18	2008/09/28	10:25:59.5	8125194,63	346882,28	0	0,9	0,27
19	2008/09/30	12:41:55.2	8123315,85	347215,52	0	0,9	0,09
20	2008/10/03	03:44:47.0	8129590,97	358354,70	15,0	1,0	0,06
21	2008/10/05	04:13:08.8	8136671,10	342536,00	12,6	0,6	0,05
22	2008/10/05	22:06:40.7	8145788,50	333725,75	7,1	0,6	0,05
23	2008/10/07	03:54:49.2	8142266,63	336205,16	7,4	0,3	0,04
24	2008/10/09	18:09:01.1	8144585,44	335547,55	0,3	0,3	0,04
25	2008/10/11	06:22:50.3	8133962,39	335630,37	6,9	-0,2	0,03

26	2008/10/11	16:42:44.0	8141356,33	333014,46	0	0,6	0,02
27	2008/10/11	18:17:07.2	8145697,79	336285,19	21,9	1,4	0,09
28	2008/10/13	07:52: 54.9	8131914,56	342784,70	5,7	0,5	0,09
29	2008/10/14	18:11: 51.5	8126333,70	336542,25	24,6	1,5	0,02
30	2008/10/16	07:52:14.3	8127841,53	331310,81	9,5	1,1	0,06
31	2008/12/05	04:39:22.6	8150189,68	344994,43	20,2	0,9	0,02
32	2008/12/06	02:53:22.1	8135853,16	323147,26	3,2	0,7	0,11
33	2008/12/10	03:44:37.7	8152302,91	346471,98	11	0,3	0,02
34	2009/01/15	06:49:19.3	8146907,56	335316,26	3,0	0,1	0,04
35	2009/01/16	01:04:10.6	8146579,73	335851,90	4,0	-0,2	0,03
36	2009/01/16	01:04:10.6	8146579,73	335851,90	4,0	-0,2	0,03
37	2009/01/16	09:41:04.9	8146909,22	335529,49	3,2	0,1	0,05
38	2009/01/17	05:56:36.6	8146582,21	336171,74	5,7	0,1	0,06
39	2009/01/19	13:51:26.6	8144493,70	338000,21	0,1	-0,3	0,01
40	2009/01/23	01:10:39.5	8148458,40	335517,47	16,5	0,6	0,02
41	2009/01/27	06:25:02.0	8151625,82	344664,02	6,6	0,2	0,05
42	2009/01/27	12:00:49.5	8149946,36	342010,54	1,9	0,1	0,03
43	2009/01/27	14:08:24.4	8149736,90	343611,55	3,7	0,2	0,01
44	2009/02/01	10:17:37.0	8151175,39	343600,95	5,8	0,4	0,02

En este cuadro se muestra que:

- La profundidad de los hipocentros oscilan entre 0,5 y 25 km; siendo los más frecuentes los ocurridos a profundidades menores a 15 km.

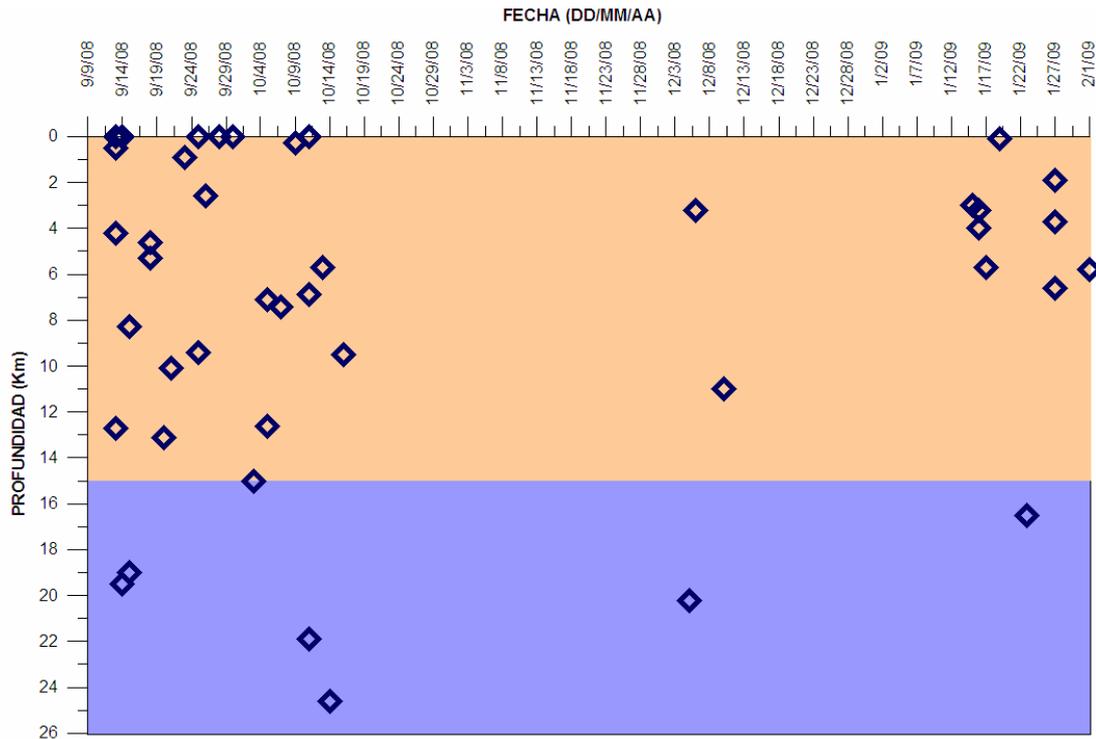


Figura 7. Distribución los 44 sismos en profundidad vs periodo de monitoreo (agosto 2008-febrero 2009). El mayor número de sismos ocurren a profundidades menores a 15 km.

- La magnitud de los sismos varían entre -0,2 a 1,4 Md, siendo recurrentes, los sismos con magnitudes entre 0,1 y 1,0 Md (Figura 8); es decir, sismos de magnitudes muy pequeñas comparadas con los ocurridos durante las crisis sísmica de octubre de 2005.

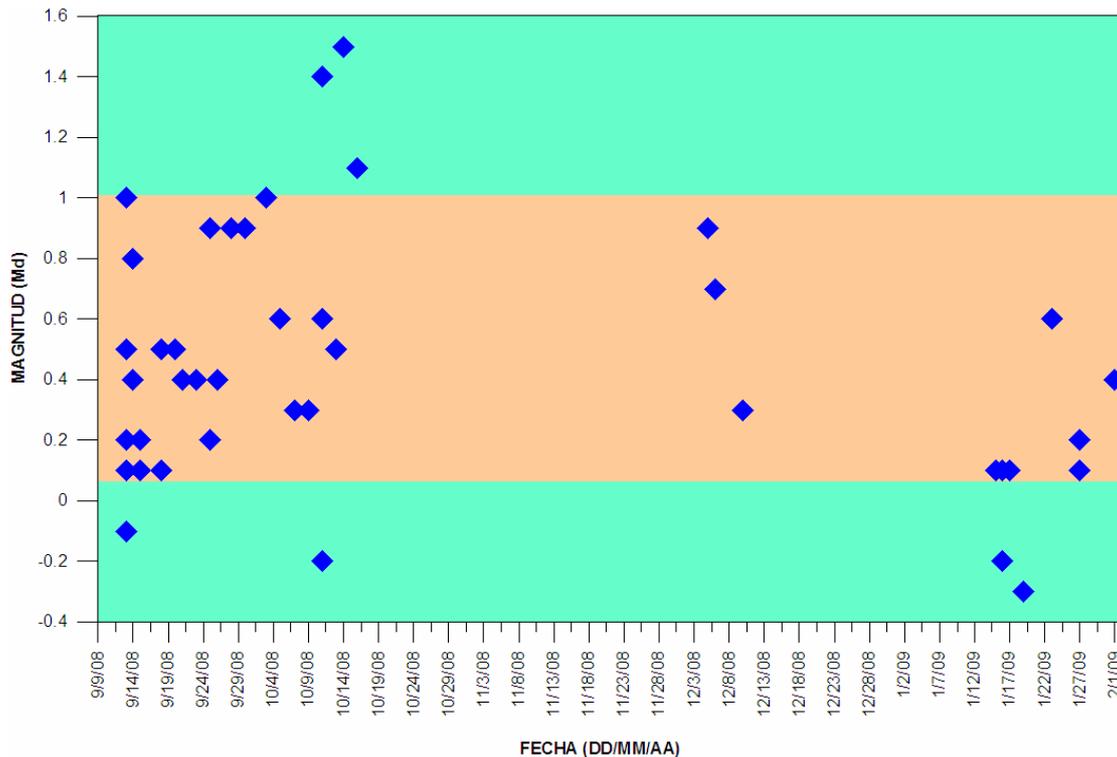


Figura 8. Distribución los 44 sismos en Magnitud de duración (Md) vs fecha de registro (agosto 2008-febrero 2009). El mayor número de sismos presentaron magnitudes entre -0,2 y 1,4Md.

4.3.2 Distribución en superficie y en profundidad

En la Figura 9, se presenta la distribución en superficie de los 44 sismos seleccionados durante el periodo agosto 2008 a febrero 2009. En esta figura, se observa que la sismicidad se distribuye en dirección NE-SO, siguiendo la tendencia del lineamiento reconocido por Lavallée et al. (2006, 2009). Otros sismos muy dispersos pueden observarse al Oeste, Sur y Este de la estación Humalso (HUM1).

La distribución de los sismos en profundidad (Figura 10), muestran que éstos ocurren, con mayor frecuencia, a profundidades menores a 15 km y mínimamente a profundidades superiores. Estos resultados son similares a los presentados por Aguilar et al., (2001) y Tavera (2006) durante las crisis sísmicas de 1999 y 2005, en la zona del volcán Ticsani.

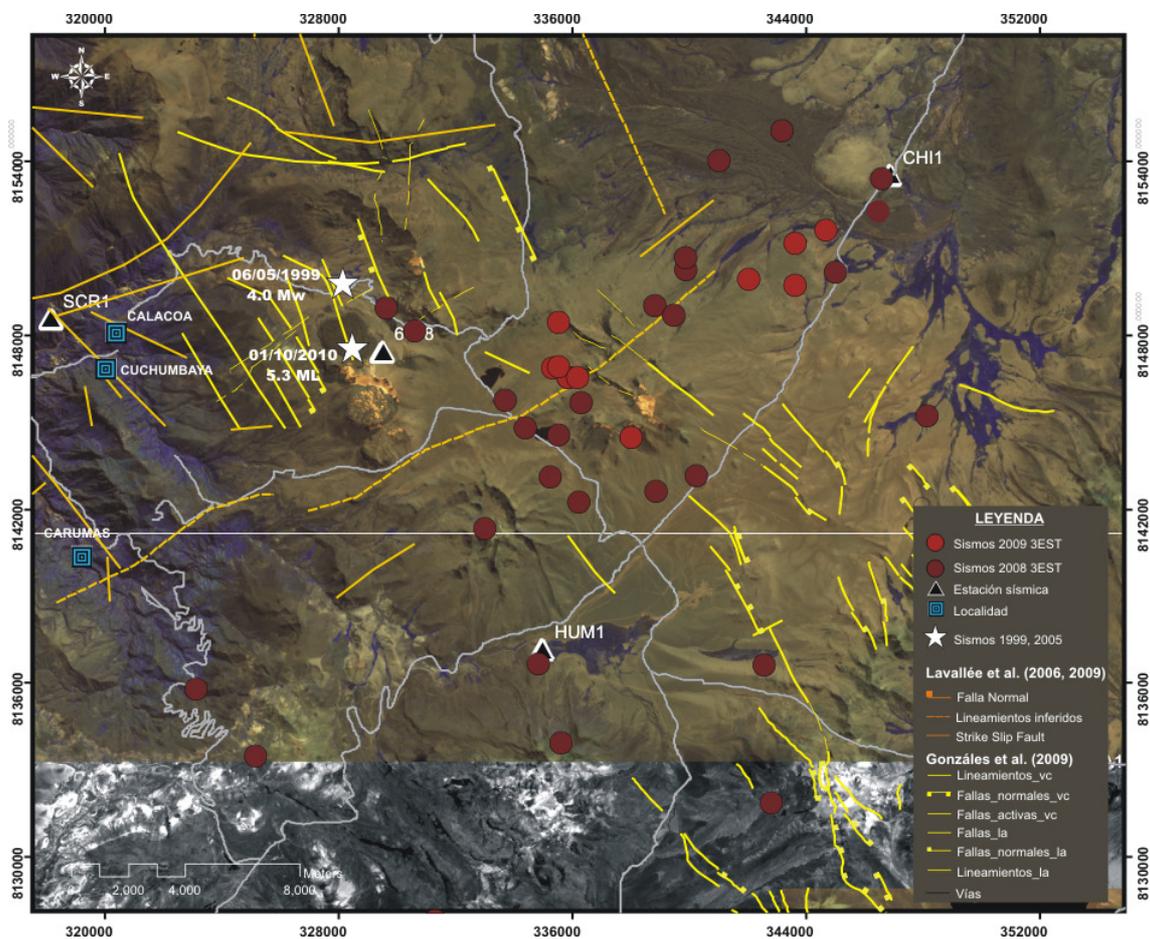


Figura 9. Distribución en superficie de los sismos localizados con el programa SEISAN. Los círculos rojos corresponden al periodo enero-febrero de 2009. Las estrellas blancas representan a los epicentros de los sismos de 1999 y 2005.

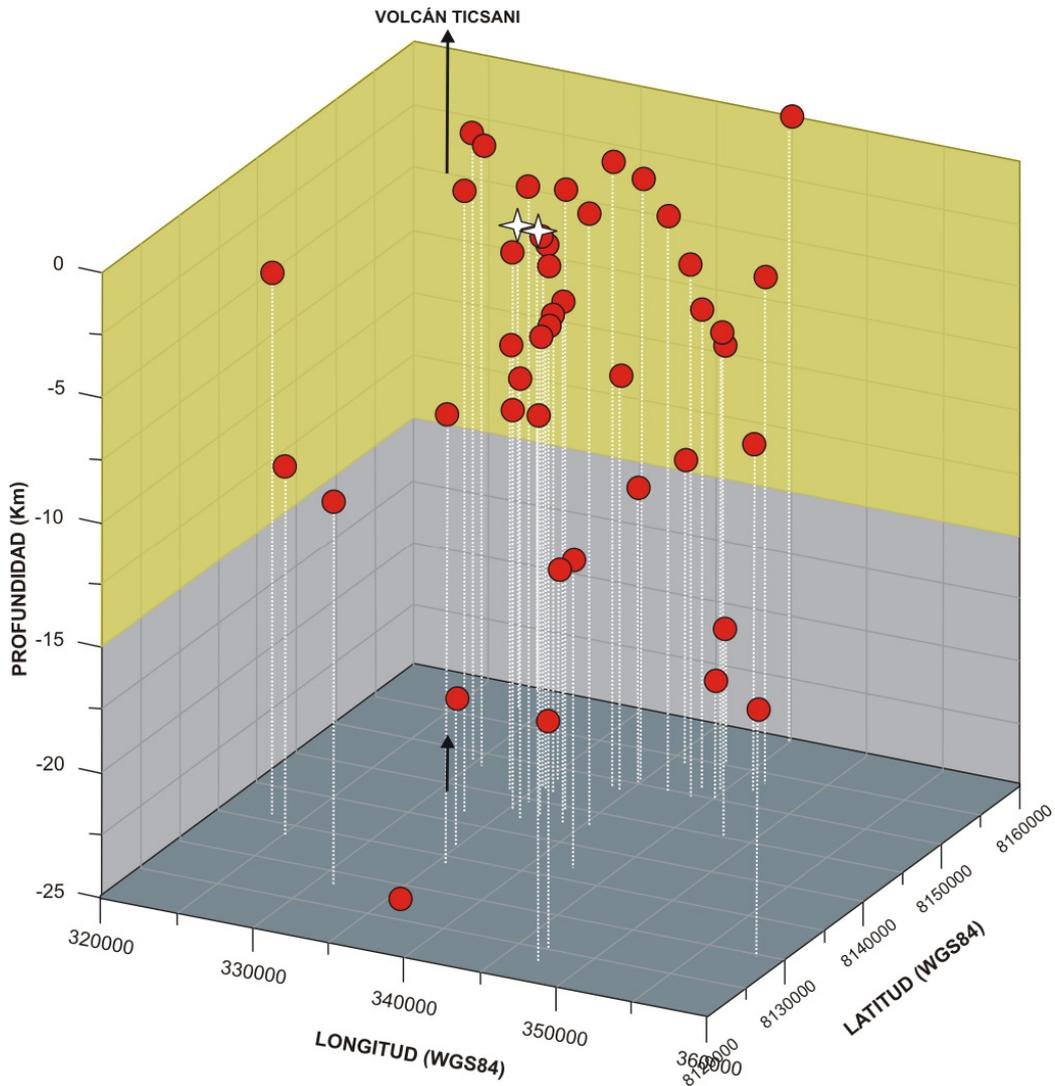


Figura 10. Distribución en profundidad de los 44 sismos localizados en la zona del volcán Ticsani. Las estrellas blancas representan a los sismos de magnitud moderada ocurridos en 1999 y 2005.

5. CONCLUSIONES

Del monitoreo sísmico del volcán Ticsani, durante los periodos abril de 2008 y agosto 2008-febrero de 2010, se concluye lo siguiente:

- Los sismos analizados corresponden a sismos tectónicos y locales con $T_{(S-P)} \leq 5,0$ s. Estos sismos presentan frecuencias predominantes entre 9,2 y 11,5 Hz y baja energía (0.0484 J).

- La localización hipocentral (latitud, longitud, profundidad, magnitud) de 44 sismos, en la zona del volcán Ticsani, mostraron que éstos presentan magnitudes M_d , más recurrentes, entre 0,1 y 1,0 M_d ; es decir, sismos de magnitudes muy pequeñas comparadas con los ocurridos durante las crisis sísmicas de mayo de 1999 y octubre de 2005.
- La distribución de los sismos en profundidad muestran que estos sismos ocurren, con mayor frecuencia, a profundidades menores a 15 km.
- En superficie, esta sismicidad se distribuye en dirección NE-SO, siguiendo la tendencia del lineamiento reconocido por [Lavallée et al. \(2006, 2009\)](#). Otros sismos muy dispersos pueden observarse al Oeste, Sur y Este de la estación Humalso (HUM1).

De acuerdo a las características de las señales sísmicas, su distribución en superficie y en profundidad se concluye que esta sismicidad estaría asociada a la tectónica local, activación y/o reactivación de fallas y lineamientos locales que se localizan en el volcán Ticsani y alrededores. Durante estos periodos de análisis (abril 2008, agosto 2008-febrero 2009) no se han registrados sismos netamente volcánicos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, V.; TAVERA, H.; BERNAL, I. & PALZA, H. (2001) - Análisis y evaluación del sismo de Calacoa (Omate-Moquegua) del 6 de mayo de 1999. Bol. Soc. Geol. Perú, v. 91: 69-80

DORBATH, L.; DORBATH, C.; JIMENEZ, E. & RIVERA, L. (1991) - Seismicity and tectonics deformation in the eastern cordillera and the sub-andean zone of central Peru. Jour. Of South American Earth Sciences, v. 4, p. 13-24.

GONZÁLES, K. (2009) - Monitoreo InSAR de los volcanes Misti, Ubinas y Ticsani, 2009. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Informe interno. 9 p.

HAVSKOV, J. & OTTEMOLLER, L. (2009) - SEISAN. The earthquake analysis software. Versión 8.2.1. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Bergen, Norway. 250 p

KLEIN, F. (1978) - Hypocenter location program Hypoinverse. U.S. Geological Survey. Open Field Report, 78-694.

LAVALLÉE, Y.; DE SILVA, S.L.; SALAS G. & BYRNES, J-M. (2006) - Explosive Volcanism (VEI 6) without caldera formation: insight from Huaynaputina volcano, southern Peru. Bull of Vul. 68, 4: 333-348.

LAVALLÉE, Y.; L. DE SILVA S.L.; SALAS G. & BYRNES J. (2009) - Structural control on volcanism at the Ubinas, Huaynaputina, and Ticsani Volcanic Group (THTVG), southern Peru. Jour. Vol. and Geoth. Res. 186:253-264.

LESAGE, P. (2009) - ELSEVIER. Interactive Matlab software for the analysis of seismic volcanic signal. Computer & Geosciences, 35: 2137-2144.

LIENER, B. (1994) - Hypocenter 3.2. A computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics and Planetology. 23 p.

RAMOS, D. & ANTAYHUA, Y. (2008). Análisis de las señales sísmicas registradas en el volcán Ubinas, periodo 22 de abril al 16 de mayo del 2008. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Informe Técnico. 29 p.

RIVERA, M.; TAVERA, H.; AGUILAR, V; MEDINA, J. & LÁZARES, F. (2006) - Crisis sísmica de Calacoa (Moquegua) octubre del 2005. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Informe Técnico Multi-Institucional, 97 p.

TAVERA, H. (2006) - Características sismotectónicas de la crisis sísmica de octubre de 2005 en la región del volcán Ticsani (Moquegua). Instituto Geofísico del Perú. Informe técnico. 77 p.