

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**ESTUDIOS DE MICRO-SISMICIDAD PARA PROYECTOS  
GEOTÉRMICOS: CHACANA Y CHACHIMBIRO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
GEÓLOGA**

**ANDREA ELIZABETH CORDOVA REGALADO**  
sirelia32@hotmail.com

**DIRECTOR: Dr. MARIO CALIXTO RUIZ ROMERO**  
mruiz@igepn.edu.ec

**Quito, Enero del 2013**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Andrea Elizabeth Cordova Regalado, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Andrea Elizabeth Cordova Regalado

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrea Elizabeth Cordova  
Regalado bajo mi supervisión

---

Dr. Mario Calixto Ruiz Romero

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS:**

Un profundo agradecimiento a mi familia, quienes siempre han confiado en mí. Gracias a mi papá Carlitos y mi mamá Olguita por todos sus sacrificios y su amor incondicional. Gracias mis hermanos Carlos y Marlon por el cariño y tantos momentos inolvidables.

Mis agradecimientos también a todo el personal del Instituto Geofísico, de manera muy especial al Dr. Mario Ruiz, Dr. Minard Hall y Dra. Alexandra Alvarado quienes además de ser mis profesores, jefes y tribunal del proyecto, han sido un apoyo, ejemplo y amigos. De igual manera agradezco a la Msc. Mónica Segovia por su ayuda, confianza y amistad.

Un agradecimiento especial a todos mis compañeros de trabajo en el área de monitoreo de forma exclusiva a Verónica, Javier, Pablo y Edwin.

Gracias a mis profesores, por darme todos los conocimientos y la formación profesional, en especial a la Ing. Halina Lachowicz, Ing. Rocío López, Ing. Bernardo Beate, Ing. Pablo Duque, Ing. Renán Cornejo, Dr. Arturo Egüez e Ing. Galo Plaza.

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo de la Corporación Eléctrica Ecuatoriana (CELEC), Servicios y Remediación (SYR) y la Escuela Politécnica Nacional, a quienes hago extensivos mis agradecimientos.

Gracias a mis amigos y compañeros de carrera, por su amistad, consejos, apoyo y por todos los momentos compartidos, en especial a Wendy, Patricia, Vanessa, Ernesto, Fabián, Alberto y Daniel.

Por último quiero agradecer a mis adorados primos y tíos: Ana, Pilar, Rosa, Susana, Michelle, Romel y Pablo, por toda su confianza y apoyo.

## **DEDICATORIA:**

A mis abuelitos Manuel Regalado y Olga Arévalo, por llenar todos mis días con su inmenso amor.

## CONTENIDO

### OBJETIVOS

- Objetivos generales y Específicos 1
- Alcance del Proyecto 2
- Resumen 3
- Abstract 5

### **CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, IMPORTANCIA, MARCO GEOLÓGICO, INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA, CARACTERÍSTICAS Y DISEÑOS DE LAS REDES PARA LA MICRO-SISMICIDAD, MÉTODOS DE ESTUDIO, RESPUESTA Y EFECTIVIDAD DE LA RED DE MONITOREO**

- 1.1.- INTRODUCCIÓN 7
- 1.2.- IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS MICRO-SÍSMICOS PARA LOS CAMPOS GEOTÉRMICOS 8
- 1.3.- MARCO GEOLÓGICO 8
  - 1.3.1.- Marco geológico regional 8
  - 1.3.2.- Marco geológico local del área de Chacana 10
    - 1.3.2.1.- Basamento y rocas que subyacen la caldera 11
    - 1.3.2.2.- Rocas asociadas al colapso de la caldera 13
    - 1.3.2.3.- Rocas asociadas al relleno de la caldera 15
    - 1.3.2.4.- Resurgimiento de la zona axial de la caldera 15
    - 1.3.2.5.- Geología estructural 16
  - 1.3.3.- Marco geológico local del área de Chachimbiro 18
    - 1.3.3.1.- Basamento 19

1.3.3.2.- Volcánicos terciarios y cuaternarios	21
1.3.3.3.- Geología estructural	22
1.4.-INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA	25
1.5.-CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DE LAS REDES PARA EL MONITOREO DE LA MICROSISMICIDAD	26
1.5.1.- Chacana	27
1.5.2.- Chachimbiro	28
1.6.-MÉTODOS DE ESTUDIO	30
1.6.1.- Registro de las señales sísmicas	30
1.6.2.- Análisis de datos	30
1.7.-RESPUESTA Y EFECTIVIDAD PARA EL MONITOREO DE LA MICROSISMICIDAD	32
<b>CAPÍTULO 2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EVENTOS REGISTRADOS EN LA ZONA DE CHACANA Y CHACHIMBIRO</b>	
2.1.- INTRODUCCION	35
2.1.1.- Chacana	37
2.1.2.- Chachimbiro	42
<b>CAPÍTULO 3.- CÁLCULO DE MODELO DE VELOCIDADES Y LOCALIZACIÓN DE LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES</b>	
3.1.- CLASES DE ONDAS SISMICAS	46
3.1.1.- Las ondas P (ondas de compresión u ondas primarias)	46

3.1.2.- Las ondas S (ondas secundarias u ondas de cizalla)	46
3.2.- IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE ARRIBO DE LAS ONDAS P Y S	47
3.3.- CÁLCULO DEL MODELO DE VELOCIDADES PARA LOS PROYECTOS CHACANA Y CHACHIMBIRO	50
3.4.- LOCALIZACIÓN DE EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES	54
<b>CAPÍTULO 4.- CÁLCULO DE MAGNITUD Y VALOR DEL PARÁMETRO <math>b</math> PARA LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES</b>	
4.1.-CÁLCULO DE MAGNITUD PARA LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES	60
4.1.1.- Magnitud de coda o duración $M_c$	61
4.1.2.- Magnitud de ondas superficiales $M_s$	61
4.1.3.- Magnitud de ondas de cuerpo $M_b$	61
4.1.4.- Magnitud de momento $M_w$	61
4.1.5.- Magnitud local $M_l$	61
4.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS DE LOS PROYECTOS GEOTÉRMICOS CHACANA Y CHACHIMBIRO POR SU MAGNITUD	68
4.3.-CÁLCULO DEL VALOR $b$ POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS	69
<b>CAPÍTULO 5.- CÁLCULO DE MECANISMOS FOCALES, ESFUERZOS PRINCIPALES E IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE FRACTURAS Y FALLAS ACTIVAS</b>	



5.1.- INTRODUCCIÓN	76
5.2.- CÁLCULO DE MECANISMOS FOCALES PARA LOS SISMOS DE LOS PROYECTOS CHACANA Y CHACHIMBIRO	76
5.3.- CÁLCULO DE ESFUERZOS DOMINANTES POR EL MÉTODO DE RIGHT DIHEDRA	79
5.3.- IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRACTURAS Y FALLAS ACTIVAS	82
<b>CONCLUSIONES</b>	87
<b>RECOMENDACIONES</b>	91
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	92
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo 1.1.-</b> Pruebas de ruido para las estaciones de las redes sísmicas temporales en los proyectos Chacana y Chachimbiro	96
<b>Anexo 2.1.-</b> Estadística de eventos para los meses que operaron las redes temporales de monitoreo en las zonas de Chacana y Chachimbiro	100
<b>Anexo 3.1.-</b> Tabla de hipocentros y magnitudes de los sismos locales para la red temporal de monitoreo del proyecto Chacana	104
<b>Anexo 3.2.-</b> Tabla de hipocentros y magnitudes de los sismos locales para la red temporal de monitoreo del proyecto Chachimbiro	109
<b>Anexo 4.1.-</b> Tabla de magnitudes locales para el proyecto Chacana	116

<b>Anexo 4.2.-</b> Tabla de magnitudes locales para el proyecto Chachimbiro	129
<b>Anexo 5.1.-</b> Mecanismos focales simples y compuestos para el proyecto Chacana	148
<b>Anexo 5.2.-</b> Mecanismos focales simples y compuestos para el proyecto Chachimbiro	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.-</b> Configuración tectónica de la región Colombo-Ecuatoriana donde se muestran las fallas mayores, los movimientos relativos de las placas En base a datos del GPS y NUVEL-1, y volcanes activos. Tomado de (Gutscher et al., 1999)	9
<b>Figura 1.2.-</b> Mapa del proyecto Chacana	10
<b>Figura 1.3.-</b> Mapa geológico del proyecto geotérmico Chacana. Modificado de (SYR, 2012)	14
<b>Figura 1.4.-</b> Mapa del proyecto Chachimbiro	19
<b>Figura 1.5.-</b> Mapa geológico para el proyecto geotérmico Chachimbiro. Modificado de (SYR, 2011)	23
<b>Figura 1.6.-</b> Instalación de un sensor sísmico en una cavidad a una profundidad aproximadamente de un metro	27
<b>Figura 1.7.-</b> Mapa de las estaciones sísmicas para el proyecto geotérmico Chacana	28
<b>Figura 1.8.-</b> Mapa de las estaciones sísmicas para el proyecto geotérmico Chachimbiro	29
<b>Figura 1.9.-</b> Curvas modelo NLNM y NHNM utilizadas para las pruebas de ruido para las redes sísmicas de Chacana y Chachimbiro. (Para que las pruebas y el nivel de ruido sean aceptables las curvas del equipo a prueba deben caer dentro del rango de las líneas NHNM y NLNM)	33
<b>Figura 1.10.-</b> Pruebas de ruido de la estación CHAC1 del proyecto Chacana. La respuestas es aceptable ya que las curvas del equipo en prueba están dentro del rango de las líneas NHNM y NLNM	34

<b>Figura 1.11.-</b> Pruebas de ruido de la estación CHA1 para el proyecto Chachimbiro. La respuestas es aceptable ya que las curvas del equipo en prueba están dentro del rango de las líneas NHHM y NLNM	34
<b>Figura 2.1.-</b> Distribución del número total de sismos registrados por la red sísmica del proyecto Chacana. Periodo 20 de Octubre de 2011 al 10 de Febrero de 2012)	37
<b>Figura 2.2.-</b> Ejemplo de un sismo Lp, registrado en la red de Chacana, el 4 de Diciembre del 2011	38
<b>Figura 2.3.-</b> Ejemplo de un sismo híbrido, registrado en la red de Chacana el 6 de Noviembre del 2011	40
<b>Figura 2.4.-</b> Ejemplo del arribo de las fases P y S del sismo local del 24 de febrero del 2011, registrado en la red de Chacana el 6 de Noviembre del 2011	41
<b>Figura 2.5.-</b> Distribución del número total registrados por la red sísmica temporal del proyección Chachimbiro en el periodo 9 de Mayo al 10 de Septiembre de 2011	42
<b>Figura 2.6.-</b> Ejemplo de un evento Lp tipo tornillo, registrado en la red de Chachimbiro 14 de Mayo de 2011 a las 01h49 (TU)	43
<b>Figura 2.7.-</b> Ejemplo de un sismo híbrido, registrado en la red de Chachimbiro el 15 de Mayo del 2011	44
<b>Figura 2.8.-</b> Evento tectónico local registrado en la red de Chachimbiro registrado el 11 de Mayo del 2011	45
<b>Figura 3.1.-</b> Tiempos de arribo en un evento local tectónico registrado en la red Chachimbiro el día 14 de Mayo del 2011	47
<b>Figura 3.2.-</b> Polaridad de los arribos de las ondas P	48

<b>Figura 3.3.-</b> Diagrama de Wadati con la relación de $V_p/V_s$ para el proyecto Chacana	49
<b>Figura 3.4.-</b> Diagrama de Wadati con la relación de $V_p/V_s$ para el proyecto Chachimbiro	50
<b>Figura 3.5.-</b> Modelo de Velocidades para el proyecto Chacana	53
<b>Figura 3.6.-</b> Modelo de Velocidades para el proyecto Chachimbiro	54
<b>Figura 3.7.-</b> Mapa de sismicidad para el proyecto Chacana. El ancho del perfil A-A' es de 5.5 km	58
<b>Figura 3.8.-</b> Mapa de sismicidad para el Proyecto Chachimbiro. El ancho del perfil A-A' es de 4.4 km	59
<b>Figura 4.1.-</b> Medida de la amplitud y el periodo del sismo de 20 mayo 2011 a las 04:59 UTC	62
<b>Figura 4.2.-</b> Diagrama Frecuencia – Magnitud para los eventos tectónicos del proyecto Chacana	71
<b>Figura 4.3.-</b> Diagrama Frecuencia – Magnitud para los eventos tectónicos del proyecto Chachimbiro	73
<b>Figura 4.4.-</b> Mapa de magnitudes para los sismos del proyecto Chacana. El ancho del perfil A-A' es de 5.5 km	74
<b>Figura 4.5.-</b> Mapa de magnitudes para los sismos del Proyecto Chachimbiro. El ancho del perfil A-A' es de 4.4 km	75
<b>Figura 5.1.-</b> Proyección estereográfica de planos y polaridades, con el mecanismo focal del sismo registrado en la red de Chacana el 01/19/2012 a las 20h38. Ver Anexo 5.1	77
<b>Figura 5.2.-</b> Mecanismo focal inverso del evento del día 12 de noviembre del 2011 del proyecto Chacana. P1: azimuth 355.00, inclinación 80.00,	

ángulo de desplazamiento 150.00; P2: azimut 85.73, inclinación 60.50, ángulo de desplazamiento 11.51; eje de compresión: dirección 41.06, incl. 13.03 y eje de tensión: dirección 303.96, incl. 29.0 78

**Figura 5.3-** Mecanismo focal compuesto del proyecto Chachimbiro. P1: azimut 39.00, inclinación 61.00, ángulo de desplazamiento 163.00; P2: azimut 137.43, inclinación 75.18, ángulo de desplazamiento 30.10; eje de compresión: dirección 265.74 incl. 9.32 y eje de tensión: dirección 1.53 incl. 31.58 79

**Figura 5.4.-** Esfuerzos principales para el proyecto Chacana:  $\sigma_1=58^\circ/13^\circ$ ,  $\sigma_2=212^\circ/76^\circ$  y  $\sigma_3=327,6^\circ$  81

**Figura 5.5.-** Esfuerzos principales para el proyecto Chachimbiro:  $\sigma_1=260^\circ/2^\circ$ ,  $\sigma_2=164^\circ/72^\circ$  y  $\sigma_3=351,18^\circ$  82

**Figura 5.6.-** Mapa de sismicidad total para el proyecto Chacana. El ancho del perfil A-A' es de 5.5 km 85

**Figura 5.7.-** Mapa de sismicidad total para el proyecto Chachimbiro. El vertical del perfil A-A' es de 4.4 km 86

**Figura A.1.1.1.-** Prueba de ruido de la estación CHAC0 96

**Figura A.1.1.2.-** Prueba de ruido de la estación CHAC1 96

**Figura A.1.1.3.-** Prueba de ruido de la estación CHAC2 96

**Figura A.1.1.4.-** Prueba de ruido de la estación CHAC3 96

**Figura A.1.1.5.-** Prueba de ruido de la estación CHAC4 97

**Figura A.1.1.6.-** Prueba de ruido de la estación CHAC5 97

**Figura A.1.1.7.-** Prueba de ruido de la estación CHAC6 97

**Figura A.1.1.8.-** Prueba de ruido de la estación CHAC7 97

**Figura A.1.1.9.-** Prueba de ruido de la estación CHAC8 98

**Figura A.1.1.10.-** Prueba de ruido de la estación CHAC9 98

**Figura A.1.2.1.-** Prueba de ruido de la estación CHA1 98

**Figura A.1.2.2.-** Prueba de ruido de la estación CHA2 98

**Figura A.1.2.3.-** Prueba de ruido de la estación CHA3 99

**Figura A.1.2.4.-** Prueba de ruido de la estación CHA4 99

**Figura A.1.2.5.-** Prueba de ruido de la estación CHA5 99

**Figura A.1.2.6.-** Prueba de ruido de la estación CHA6 99

<b>Figura A.2.1.1.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Octubre 2011	100
<b>Figura A.2.1.2.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Noviembre 2011	100
<b>Figura A.2.1.3.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Diciembre 2011	101
<b>Figura A.2.1.4.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Enero 2012	101
<b>Figura A.2.1.5.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Febrero 2012	101
<b>Figura A.2.2.1.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Mayo 2011	102
<b>Figura A.2.2.2.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Junio 2011	102
<b>Figura A.2.2.3.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Julio 2011	103
<b>Figura A.2.2.4.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Agosto 2011	103
<b>Figura A.2.2.5.-</b> Histograma de clasificación de eventos para el mes de Junio 2011	103
<b>Figura A.5.1.1.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/11/05 10H22TU	148
<b>Figura A.5.1.2.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/11/12 01H23TU	148
<b>Figura A.5.1.3.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/11/23 01H31TU	148
<b>Figura A.5.1.4.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/11/25 03H58TU	148
<b>Figura A.5.1.5.-</b> Mec.Focal simple del evento del 2012/01/20 03H08TU	149

<b>Figura A.5.1.6.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2012/01/31 12H24TU	149
<b>Figura A.5.1.7.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2012/01/31 17H01TU	149
<b>Figura A.5.1.8.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2012/02/01 14H32TU	149
<b>Figura A.5.1.9.-</b> Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/11/05 10H22TU y 2011/11/23 01H31TU	150
<b>Figura A. 5.1.10.-</b> Mec. Focal compuesto de los eventos del 2012/01/31 17H01TU y 2012/02/01 14H32TU	150
<b>Figura A.5.2.1.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/05/12 20H28TU	151
<b>Figura A.5.2.2.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/05/13 5H49TU	151
<b>Figura A.5.2.3.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/05/14 01H53TU	151
<b>Figura A.5.2.4.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/05/19 19H05TU	151
<b>Figura A.5.2.5.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/06/30 04H10TU	152
<b>Figura A.5.2.6.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/08/03 17H40TU	152
<b>Figura A.5.2.7.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/08/16 21H04TU	152
<b>Figura A.5.2.8.-</b> Mec. Focal simple del evento del 2011/08/16 21H04TU	152
<b>Figura A.5.2.9.-</b> Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/05/14 01H53TU y 2011/08/16 21H04TU	153
<b>Figura A.5.2.10.-</b> Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/05/14 01H53TU y 2011/08/03 17H40TU	153



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.-</b> Localización de las estaciones sísmicas de la red temporal para el proyecto Chacana	27
<b>Tabla 1.2.-</b> Localización de las estaciones sísmicas para la red temporal del proyecto Chachimiro	29
<b>Tabla 1.3.-</b> Criterios para la clasificación de sismos. Modificado de (McNutt., 1996)	31
<b>Tabla 2.1.-</b> Registro de eventos de Largo Periodo para el campo Chacana	39
<b>Tabla 2.2.-</b> Estadística Total de la micro-sismicidad en el proyecto Chacana	41
<b>Tabla 2.3.-</b> Estadística Total de la micro-sismicidad en el proyecto Chachimiro	45
<b>Tabla 3.1.-</b> Modelo de Velocidades ASW. (Modificado internamente por el Instituto Geofísico de EMAPQ, 1988;)	51
<b>Tabla 3.2.-</b> Modelo de velocidades para el proyecto Chacana.	52
<b>Tabla 3.3.-</b> Modelo de velocidades para el proyecto Chachimiro	52
<b>Tabla 4.1.-</b> Matrices de datos para el cálculo del coeficiente de correlación.;	63
<b>Tabla 4.2.-</b> Matrices coeficiente de correlación	66
<b>Tabla 4.3.-</b> Matrices de datos de correlación y de resultado de la inversión	67
<b>Tabla 4.4.-</b> Clasificación de eventos por magnitud. (Hagiwara., 1964)	68
<b>Tabla 4.5.-</b> Valores de magnitudes y $\log(N>M)$ para el proyecto Chacana	70
<b>Tabla 4.6.-</b> Valores de magnitudes y $\log(N>M)$ para el proyecto Chachimiro	71

<b>Anexo 3.1.-</b> Tabla de hipocentros y magnitudes de los sismos locales para la red temporal de monitoreo del proyecto Chacana	104
<b>Anexo 3.2.-</b> Tabla de hipocentros y magnitudes de los sismos locales para la red temporal de monitoreo del proyecto Chachimiro	109
<b>Anexo 4.1.-</b> Tabla de magnitudes locales para el proyecto Chacana	116
<b>Anexo 4.2.-</b> Tabla de magnitudes locales para el proyecto Chachimiro	129

## OBJETIVOS

### *a) Objetivo General*

1. Evaluar el aporte de los estudios de micro-sismicidad en el conocimiento de las características geológicas de los prospectos geotérmicos de Chacana y Chachimbiro.

### *b) Objetivos Específicos*

1. Estudiar las características de la micro-sismicidad de las zonas de los proyectos Chacana y Chachimbiro.
2. Determinar un modelo de velocidades sísmicas de la corteza en las zonas de estudio.
3. Obtener localizaciones de los eventos sísmicos con un buen grado de precisión, lo que permitirá definir espacialmente las fuentes generadoras.
4. Caracterizar sísmicamente las estructuras tectónicas activas de las zonas de estudio y determinar la orientación de los principales sistemas de fracturación y sus mecanismos.
5. Cuantificación de la energía sísmica liberada.
6. Clasificación y discriminación de los sismos generados por resonancias de fluidos en base a las características espectrales.

## **ALCANCE DEL PROYECTO**

Con la ejecución de este proyecto se pretende obtener lo siguiente:

1. Realizar un estudio de micro-sismicidad que permita determinar heterogeneidades a través de una correlación con cambios de velocidades sísmicas, en cada área.
2. Caracterizar la fuente de generación, a través de estudios espectrales de los diferentes tipos de eventos sísmicos observados.
3. Definir la ubicación de las fuentes sísmicas asociadas al fracturamiento tectónico, la orientación de las fallas y los esfuerzos tectónicos.
4. Redacción del informe correspondiente al Proyecto de Titulación con la información que recopilada, sintetizada y con su correspondiente interpretación.

## RESUMEN

Se realizaron sendos estudios de micro-sismicidad en los proyectos geotérmicos Chacana y Chachimbiro, en los cuales se instalaron redes de monitoreo sísmico compuestas por 10 y 6 estaciones sísmicas respectivamente. Estas estaciones estuvieron compuestas por un sensor de banda ancha y un digitalizador de alta resolución y trabajaron en forma ininterrumpida por un periodo de 4 meses.

En los estudios se encontró que en la caldera de Chacana la sismicidad está asociada a las fallas con orientación NE-SW mapeadas en el estudio geológico, además los hipocentros se ubican alrededor de los domos Tuminguina y Chaupiruco, lo que sugiere que una falla está asociada y conecta dichos domos. Se encontró una alta cantidad de eventos generados por la resonancia de fluidos; una parte de estos sismos estaría relacionada a la actividad del volcán Antisana o de sus glaciares, y el resto de eventos llega primero a las estaciones cercanas a las Termas Papallacta y a la fallas aledañas a ese sector, sugiriendo una importante circulación de fluidos hidrotermales en la parte nororiental del campo.

Los esfuerzos en la zona Chacana rotan aproximadamente 40° en sentido anti-horario con respecto a los esfuerzos principales regionales. Esto puede estar ocasionado por la incidencia de esfuerzos locales del volcán Antisana que en el 2002 aumentó su actividad o por la presencia de un campo de esfuerzo extensivo debido a la presencia del Rift de Chacana que altera el campo de esfuerzos regionales en el área de estudio.

En la caldera de Chachimbiro se registró una importante actividad sísmica, superior a la esperada para la zona, tanto en eventos tectónicos locales como en eventos de largo periodo. Los sismos originados por resonancia de fluidos se concentran en la parte nororiental del proyecto, cerca a la falla La Florida, sugiriendo que la falla proporciona una buena vía para la circulación de fluidos. Los sismos tectónicos marcan lineamientos de actividad sísmica, con rumbos paralelos a las fallas Huarmiyacu y Pan de Azúcar de dirección NW-SE y de la falla Rumipamba con la

dirección preferencial NE-SW. La falla la Florida fue mapeada en el estudio geológico de la zona con orientación NE-SW; a través del estudio de micro-sismicidad se comprobó que la falla posee un movimiento dextral con componente inversa.

El número de eventos registrado en el interior del área de proyecto Chachimbiro permite inferir que existe un alto fallamiento y una circulación de fluidos salinos asociados a las fallas ubicadas en la zona. Por su parte las magnitudes baja se concentran dentro del área del proyecto, y las mayores se encuentran ubicadas en y cerca al volcán Cotacachi; la mayoría corresponden a profundidades superiores a los 10 km.

El campo de esfuerzos para Chachimbiro es concordante con el campo de esfuerzos regional, con esto se infiere que no existe un esfuerzo vertical actuando en el Complejo Volcánico Chachimbiro.

En los dos campos, el parámetro  $b$  presenta valores elevados indicando que estas zonas son altamente fracturadas e incapaces de acumular esfuerzos que generen sismos mayores. Además en otros estudios se ha determinado que un alto gradiente geotérmico también eleva el valor de  $b$ .

## **ABSTRACT**

Microseismic studies were performed in Chacana and Chachimbiro geothermal areas with monitoring networks composed of 10 and 6 seismic stations, respectively. Each station was composed of a broad band seismic sensor and a high-resolution digitizer and worked continuously for a period of four months. According to these studies, Chacana's seismicity is associated with NE-SW faults that already were mapped in geological studies. Some hypocenters are located around Chaupiruco and Tuminguina domes, suggesting that these events are related to a fault that connects both domes. A high number of events are generated by fluid resonance, and some of these earthquakes are likely originated inside Antisana volcano or in its glaciers. Others LP events arrive first at the stations near the Papallacta Hot Springs and to tectonic faults around the area, suggesting a significant hydrothermal fluid circulation in the northeastern part of the field.

Stresses in the Chacana have a 40° counterclockwise deviation with respect to regional stress. This anomaly could be caused by the incidence of local stresses from Antisana volcano which increased its activity since 2002 or due to a tensile stress field related to the Chacana Rift.

Chachimbiro area had a significant seismic activity, due to tectonic and long-period events. Earthquakes caused by resonance of fluids are concentrated in the northeastern part of the project, near La Florida fault, suggesting that this fault provides an effective pathway for fluid flow. Epicenters of tectonic earthquakes outline parallel directions to NW-SE Pan de Azucar and Huarmiyacu faults and NE-SW Rumipamba fault. Focal mechanisms obtained from seismic events located at La Florida fault with a NE-SW trend exhibit a dextral movement with reverse component.

High seismicity recorded within Chachimbiro area could be related to dense faulting and brine circulation along fault contacts. Seismic events from the caldera interior show low magnitudes and foci deeper than 10 km. The stress field at Chachimbiro is consistent with the regional stress field, without vertical forces acting in the area.

In both geothermal projects, the parameter  $b$  presents high values indicating highly fractured zones that are unable to accumulate greater stresses to generate large earthquakes. Other studies show that large  $b$  values are associated to high geothermal gradient.



# **CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN, IMPORTANCIA, MARCO GEOLÓGICO, INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA, CARACTERÍSTICAS Y DISEÑOS DE LAS REDES PARA LA MICRO-SISMICIDAD, MÉTODOS DE ESTUDIO Y RESPUESTA Y EFECTIVIDAD DE LA RED DE MONITOREO**

## **1.1.- INTRODUCCIÓN**

Una gran parte de la energía producida por el Ecuador es generada por centrales térmicas e hidroeléctricas, por lo que el costo de producción energética es muy elevado. Además el Ecuador tiene aproximadamente 14'500.000 de habitantes, de los cuales el 5.23% no tiene acceso a electricidad o solo tiene acceso intermitente (INEC, 2010). Esto muestra una deficiencia de producción energética en el país, lo que ha generado necesidad nacional de cambiar la matriz de fuente energética, potenciando energías alternativas como la geotérmica.

La energía geotérmica es generada a partir del calor terrestre, el cual puede ser recuperado y aprovechado eficazmente ya que el recurso base es realmente enorme y no se ve afectada por cambios climáticos, es benévola con el medio ambiente, aumenta la oferta energética y la tecnología para su exploración y explotación es bien conocida.

EL gobierno del Ecuador a través de la Corporación Eléctrica Ecuatoriana (CELEC) contrató a la empresa de Servicios y Remediación (SYR), para la prospección de los proyectos geotérmicos de Chacana y Chachimiro. Además brindó becas a universidades estatales para realizar pasantías y proyectos de titulación en los diferentes estudios realizados para cada campo.

### **1.1.1.- IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS MICRO-SÍSMICOS PARA CAMPOS GEOTÉRMICOS**

Tomando en cuenta que los prospectos geotérmicos de Chacana y Chachimbiro se encuentran en zonas con actividad sísmica y volcánica, los estudios micro-sísmicos son de mucha importancia al aportar con datos para las evaluaciones de los procesos volcánicos activos, mediante el reconocimiento de las señales sísmicas de origen no elástico. También proporcionan información acerca de la estructura de la Tierra, lo que ayuda a identificar y caracterizar las estructuras tectónicas aunque no presenten expresiones superficiales.

Un estudio micro-sísmico permite por un lado conocer la presencia de fallas o sistemas fallados, los que sugerirían un nivel de fracturamiento del reservorio aumentando la permeabilidad y por otro elaborar un modelo de velocidades sísmicas de la corteza para determinar la profundidad del basamento rocoso.

Además entre la caracterización de las fallas y sistemas fallados se incluye la ubicación, orientación, buzamiento, dirección de los esfuerzos principales y magnitudes.

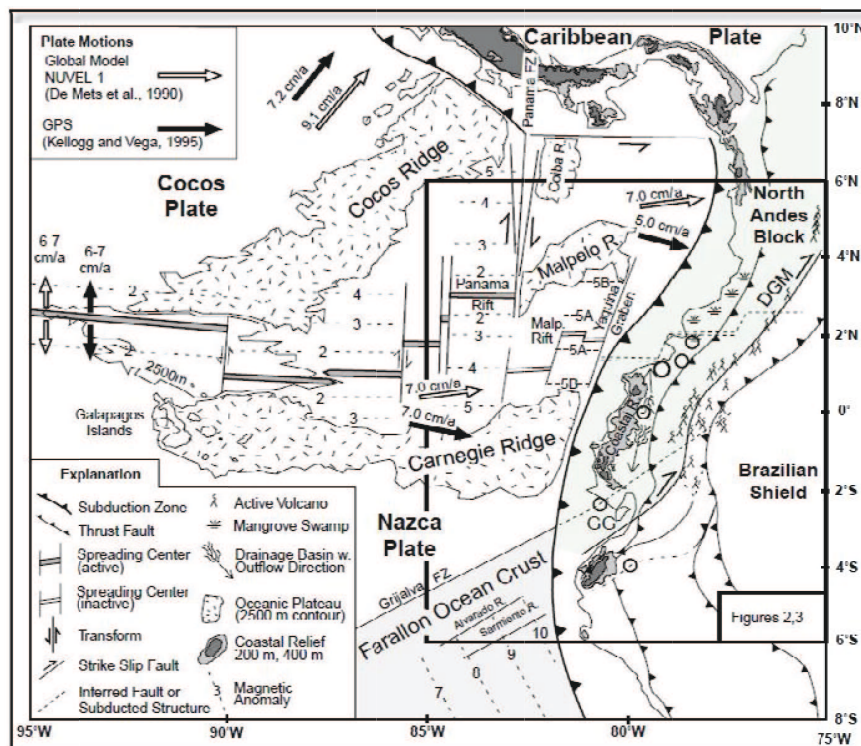
Los resultados de este estudio serán una herramienta útil en la construcción de importantes infraestructuras si los campos resultan efectivos. Un proyecto geotérmico requiere la inversión de cuantiosas cantidades de dinero, por lo que se vuelve trascendental una evaluación exhaustiva de los riesgos sísmicos y volcánicos de esa inversión.

## **1.3.- MARCO GEOLÓGICO**

### **1.3.1.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**

El margen ecuatoriano representa una región de intensa actividad sísmica y volcánica, generadas por la subducción de la Placa Oceánica de Nazca bajo la Placa Continental Sudamericana (Figura 1.1), con una velocidad de aproximadamente 58 mm/año y una dirección de convergencia de N 90°. El margen sufre un acortamiento

perpendicular a la fosa eje, expulsando el Bloque Nor-andino hacia el NE con una velocidad de 6 mm/año. Debido a esta convergencia de placas la región tiene una intensa actividad tectónica y volcánica. (Trenkamp et al., 2002).



**Figura 1.1.-** Configuración tectónica de la región Colombo-Ecuatoriana donde se muestran las fallas mayores, los movimientos relativos de las placas en base a datos del GPS y NUVEL-1, y volcanes activos. Tomado de (Gutscher et al., 1999).

Debido a la convergencia oblicua de las placas se han generado varias fallas transcurrentes de orientación NE y en menor cantidad fallas con orientación NW. Estas fallas son parte de los esfuerzos compresionales de dirección E-W a lo largo del país. (Gutscher et al., 1999).

Chacana y Chachimbiro son parte de los 84 centros volcánicos reconocidos y que han tenido actividad cuaternaria (Andrade y Bernard, 2011). Conjuntamente con otros centros importantes como Chalupas, Chalpatán y Tufiño se han convertido en objetivos de prospección para campos geotérmicos.

### 1.3.2.- MARCO GEOLÓGICO LOCAL DEL ÁREA DE CHACANA

La Caldera de Chacana está ubicada a 50 km al este de Quito, la zona de estudio abarca desde los 0.46° S a 0.35° S de latitud y desde 78.13° N a 78.27° N de longitud (Figura 1.2), con un área de 97 km<sup>2</sup>., este sector forma parte de la Provincia Rioltica Ecuatoriana. (Hall et al., 2010).

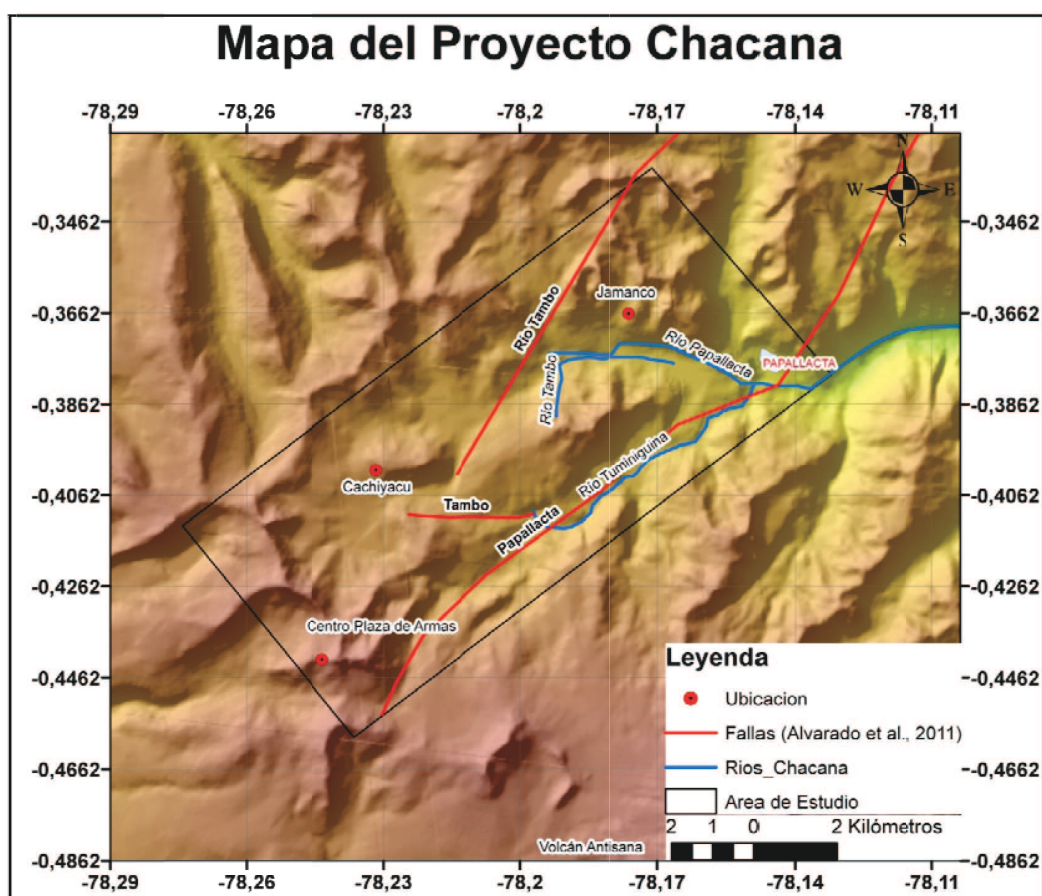


Figura 1.2.- Mapa del proyecto chacana.

El borde de la caldera es muy irregular, pero en la parte occidental se lo observa bien definido. En los flancos exteriores septentrionales, occidentales y noroccidentales afloran paquetes de ignimbritas, flujos de lavas y tobas; mientras que en la parte central se observan ignimbritas, tobas, brechas silíceas y una subsecuente emisión de lavas de composición intermedia. (Hall y Mothes., 2008).

La actividad volcánica de tipo riolítica está datada entre 205 y 2.7 Ma y el volcanismo más joven corresponde a dos flujos de lavas andesíticas datados a 1700 años AD. (Hall y Mothes., 2008).

### **1.3.2.1.- Basamento y rocas que subyacen la caldera**

El basamento es un importante tema de discusión ya que controla en buena parte las velocidades de propagación de las ondas sísmicas, la geología estructural, y es un parámetro importante en el estudio geotérmico en cada proyecto, ya que son las rocas más antiguas y se consideran de baja permeabilidad.

En la caldera de Chacana el basamento está caracterizado por la presencia de rocas metamórficas del grado de anfibolitas, el cual se incrementa desde Baeza hasta Papallacta, donde se ven truncadas por una falla regional (Feininger et al., 1983). Ninguna de estas rocas aflora en el área del proyecto pero se considera que subyacen a la cobertura volcánica a más de 1000 ó 2000 m de profundidad. (SYR, 2012). En la región de Papallacta afloran esquistos verdes y rocas graníticas de edades entre el Precámbrico hasta el Mesozoico (Pratt et al., 2005). Las rocas presentan foliación metamórfica y están fracturadas lo que incrementa el grado de permeabilidad del basamento en el proyecto Chacana.

- *Rocas Metamórficas.*- repetidos eventos de acreción fueron fundamentales en la geología de la Cordillera Real y definieron 5 divisiones litotectónicas.

La división Zamora representada fundamentalmente por los granitos tipo I de Abitagua y Misahualli, es de edad Triásica a Jurásica. Las unidades de esta división no presentan deformación. (Aspen & Litherland., 1992).

La división Salado está constituida principalmente por batolitos calco-alcalinos, andesitas, tobas, grawuacas. mármoles y filitas, presenta un bajo grado de metamorfismo y altos niveles de skarnificación. Sus estructuras se orientan preferentemente hacia el Este. (Aspen & Litherland., 1992).

En la división Loja se encuentran los granitos tipo S de Sabanilla y Tres Lagunas, este último aflora en la zona de Papallacta, que está dentro de la zona de estudio. Asociados a los granitos triásicos se encuentran secuencias sedimentarias del Paleozoico. Esta división presenta un grado de metamorfismo de bajo a medio, mostrando desde filitas, esquistos y paragneises. (Aspen & Litherland., 1992).

La división Alao es interpretada como una secuencia de piso oceánico del Jurásico. Esta división presenta un metamorfismo de bajo grado. (Aspen & Litherland., 1992).

De Oriente a Occidente las divisiones metamórficas terminan con la acreción del terreno Guamote. Este está constituido por esquistos y cuarcitas de bajo grado de metamorfismo y se le ha asignado un piso de edad jurásico superior. Las estructuras en esta unidad cambian de orientación hacia el occidente. (Aspen & Litherland., 1992).

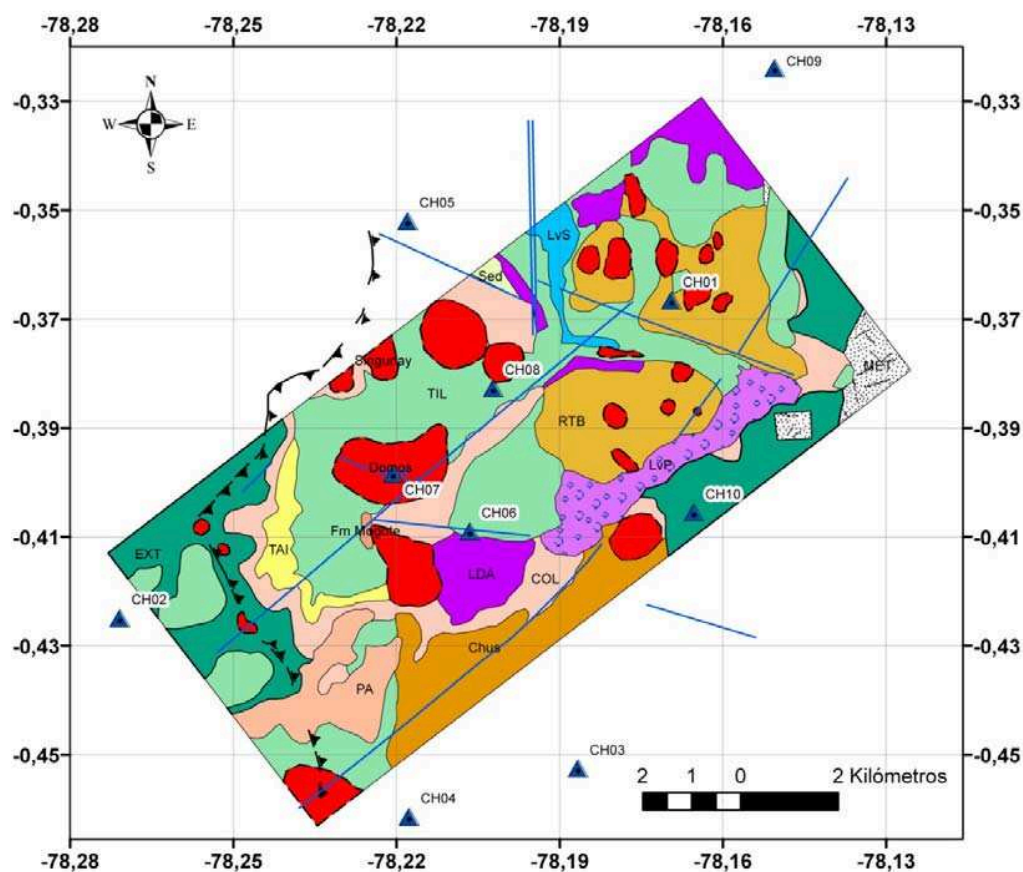
- *Formación Pisayambo.*- presenta potentes secuencias de brechas volcánicas, lavas y tobas de composición andesítica a basáltica, datadas del Mioceno Tardío al Plioceno (Bristow & Hoffstetter., 1977). Estas rocas comúnmente se encuentran fuertemente fracturadas, lo que sugiere una alta permeabilidad. Aunque las rocas de la formación Pisayambo no aparecen en el área de estudio, Pérez (1986) reportó la presencia de esta formación a solo 10 km del área de estudio, sugiriendo que probablemente la unidad subyace en el área del proyecto.
- *Brechas Ninarumi.*- se componen de flujos de lava, brechas y depósitos de lahares, los que presentan potentes afloramientos. Las brechas contienen líticos de lavas andesíticas con matriz arenosa; localmente se encuentran propilitizadas. Afloran en el borde suroccidental de la caldera, cerca del centro eruptivo Plaza de Armas. Dado su litología y posición estratigráfica se considera que estas brechas representan el remanente de un volcán

andesítico muy grande o también un enjambre de volcanes andesíticos que antecedieron la formación de Chacana (SYR, 2012).

#### **1.3.2.2.- Rocas asociadas con el colapso de la caldera Chacana**

La eyección de 2000 m de material magmático generó el hundimiento de los terrenos suprayacentes, lo que formó la depresión de la caldera. En los límites de la depresión de la caldera colapsada, se produjo un fallamiento radial, favoreciendo las intrusiones de diques andesíticos a dacíticos con cierto grado de epidotización y vetillas de cuarzo, mientras que el fallamiento de los bordes de la caldera provocó deslizamientos y caídas de rocas, las cuales generaron brechas asociadas al escarpe. (SYR, 2012).

## Mapa Geológico Chacana



### Leyenda

Estaciones	Lavas Dacíticas y andecíticas negras
Fallas mapeadas	Plaza de armas PA
Borde de la caldera	Lavas Chusalongo de cx andesítica
<b>Basamento</b>	Lavas andecíticas de Sucus LVS
Metamórficos MET	Lavas andesíticas del flujo Papallacta LVP
<b>Rx asociadas a colapso de caldera</b>	Serie de domos dacíticos
Flanco exterior de la Caldera Chacana EXT	<b>Secuencia Sedimentaria</b>
<b>Rx asociadas a relleno de caldera</b>	Tilita Glacial TIL
<b>Serie Riolítica Baños</b>	Sedimentos finos aluviales y lacustres
Unidad Basal, Tobas, Brechas silíceas RTB	Terrenos Coluviales COL
Unidad Intermmedia Lava y Andesítica LDA	Terrazas Aluviales TAL
Formación Mogote Brechas	

Figura 1.3.- Mapa geológico del proyecto geotérmico Chacana. Modificado de (SYR, 2012).



### 1.3.2.3.- Rocas asociadas con el relleno de la caldera Chacana

La caldera de Chacana fue rellenada con productos de la misma erupción. Tres principales secuencias constituyen el relleno de la caldera, datado en 2.7 Ma. (Hall y Mothes., 2008).

- *Serie Riolítica Baños.*- a esta serie corresponden tobas, brechas volcánicas, ignimbritas y lavas masivas propilitizadas en eventos hidrotermales posteriores. Estas rocas afloran al sur de la laguna de Cojanco. (Figura 1.3). Parte de sus productos fueron eyectados durante la erupción y luego rellenaron la depresión de la caldera, mientras que otra parte proviene de centros volcánicos ubicados en la misma caldera. (SYR, 2012).
- *Lavas Dacíticas y Andesíticas Negras.*- sobre la Serie Riolítica Baños descansan lavas dacíticas y andesíticas negras que rellenaron las depresiones y áreas bajas. Estas lavas afloran a lo largo de la carretera Interoceánica desde el valle elevado de Carihuayco, hacia el Este hasta los flancos más bajos de las cadenas montañosas de Baños y Cojanco, así como en la parte superior del valle Papallacta y en el área del Tambo. (Figura 1.3). (SYR, 2012).
- *Secuencia Sedimentaria.*- sobreyace a las lavas negras; corresponde a una secuencia de areniscas, brechas y fragmentos rocosos que afloran en la zona de “La Virgen”, en la parte superior del Cerro Chico y en el Domo Ventanillas. Esta secuencia comienza con unas areniscas de grano fino y micro-brechas de origen lacustrino con orientación horizontal; al sur, las areniscas y brechas son remplazadas por capas de guijarros y bloques levemente inclinados hacia el sur-este. Estas rocas están expuestas en el centro de la caldera. (Figura 1.3). (SYR, 2012).

### 1.3.2.4.- Resurgimiento de la zona axial de la caldera Chacana

La parte axial N-S de la caldera fue levantada hace aproximadamente 1.5 y 0.9 Ma; esto se evidencia en los movimientos de las secuencias sedimentarias que afloran en

la parte más alta de la zona de estudio y también es la zona más alta de la Cordillera Real (SYR, 2012).

Este evento de levantamiento del piso de la caldera fue generado gracias a la intrusión de nuevo material magmático. (SYR, 2012).

#### **1.3.2.5.- Geología estructural**

En el sector de la caldera de Chacana los regímenes de esfuerzos son afectados por una actividad tectónica dominada por fallas transpresivas con orientación NE y fallas inversas orientación Este. (Hall y Mothes., 2008).

La Falla Pallatanga es una de las fallas mayores que inicia en el Golfo de Guayaquil y se pierde poco a poco hacia el Norte con largos saltos de falla. Por el lado oriental de la Cordillera Real se encuentra la falla de Chingual-La Sofía. (Ego et al., 1996).

El rasgo estructural más destacado en la zona de estudio es el Rift de Chacana, reconocido y denominado así por Hall, M. y Mothes, P., 2008, es una fractura grande que tiene un eje orientado N-S a lo largo de la caldera y ha sido fuente de la actividad volcánica por lo menos desde hace 200.000 años. (Hall y Mothes., 2008).

Además SYR (2012) identificó varias fallas tectónicas regionales que se presume han sido partícipes del volcanismo y de la circulación de fluidos hidrotermales en el área.

Cerca de Papallacta se identificó una falla de dirección NNE-SSW con fuerte buzamiento, la cual es parte del contacto con el basamento metamórfico y los volcánicos Pliocénicos, además marca el borde fallado de la caldera. Relacionados a este contacto se encuentran diques, brechas de colapso y brechas de diatremas. (SYR, 2012).

La falla del Río Blanco es trazada desde el Volcán Antisana, pasando por la presa Micacocha con una dirección NE-SW y ha desplazado varias capas de piroclastos, lo que evidencia un movimiento inverso dextral. (SYR, 2012).

Al Oeste y con la misma orientación de la falla del Río Blanco se identificó la falla Tumiguina. Al NE esta falla se encuentra asociada con las fuentes termales de Las Termas. La falla corta y desplaza varios depósitos en sentido dextral (Yepes y Ramón, 2000).

Para el área de Chacana las fallas regionales que tienen mayor influencia son las fallas de Chingual – Pallantanga. Presentan movimientos transcurrentes dextrales con una tasa de desplazamiento de 0.7 y 0.8 cm/año y son capaces de generar sismos con una magnitud máxima probable entre 7.0 Ms (Soulas et al., 1991). Hacia el sur del volcán Cayambe las fallas se bifurcan en un segmento en echelón dextral y bifurcaciones en cola de caballo, varios con dirección hacia la cuenca del río Papallacta y el sector de la Virgen (Yepes y Ramón., 2000).

La falla *Ramal Papallacta* posee una dirección N-S, genera una cuenca de transpresión (pull apart) en el valle del río Sucus; su movimiento posiblemente es dextral (Yepes y Ramón., 2000).

La falla *Papallacta* corta el sector del valle del río Papallacta; una importante evidencia de esta falla es la presencia de fuentes termales; posee un sistema de pequeñas fallas con direcciones de NE-SW, N-S y NW-SE, las cuales generan una cuenca pull-apart en el sector de las Termas Papallacta (Yepes y Ramón., 2000).

Varias fallas de menores dimensiones tienen un papel importante. La falla Jamanco, con orientación WNW-ESE, puede ser una estructura antigua y fue descrita por Soulas y otros (Soulas et al., 1991). La falla San Clemente tiene una dirección E-W y está ubicada entre los domos Yanaurco y San Clemente. (SYR, 2012).

Se observa además el emplazamiento de diques a lo largo de las direcciones de las fallas, lo que indica que estas fallas proveen un espacio para el ascenso de magma. Los diques más antiguos, orientados N-S, evidenciarían fallas generadas en la etapa de resurgimiento de la Caldera de Chacana; estas fallas también podrían proporcionar permeabilidad para el movimiento de fluidos (SYR, 2012).

Se pueden reconocer tres principales sistemas de fracturación con direcciones dominantes de azimut  $50^{\circ}$  -  $230^{\circ}$ ,  $89^{\circ}$  -  $269^{\circ}$  y  $164^{\circ}$  -  $344^{\circ}$  (SYR, 2012). Dos de las orientaciones dominantes son similares a las de los planos de falla y diques encontrados, lo cual muestra que estas fracturas podrían estar controladas por un fuerte régimen de cizalla formando un sistema de fallas conjugado con las dos orientaciones. (SYR, 2012).

### **1.3.3.- MARCO GEOLÓGICO LOCAL DEL ÁREA DE CHACHIMBIRO**

El área del proyecto Chachimbiro está ubicada en la provincia de Imbabura a 80 km de la ciudad de Quito. El estudio de prospección incluye un área definida por las latitudes  $0.425^{\circ}\text{N}$  a  $0.488^{\circ}\text{N}$  y las longitudes  $78.233^{\circ}\text{W}$  a  $78.287^{\circ}\text{W}$  con una superficie de  $42 \text{ km}^2$  (Figura 1.4).

Un detallado trabajo de campo fue realizado por Guadalupe y Ruiz (SYR, 2011) en la prospección geotérmica del área (Figura 1.5).

El complejo volcánico Chachimbiro forma parte del frente volcánico de Los Andes del Ecuador y está rodeada por los volcanes Cotacachi, Cuicocha, Pulumbura, Yanahurco de Piñán y Pilavo. A excepción del Cuicocha, estos volcanes son considerados inactivos.

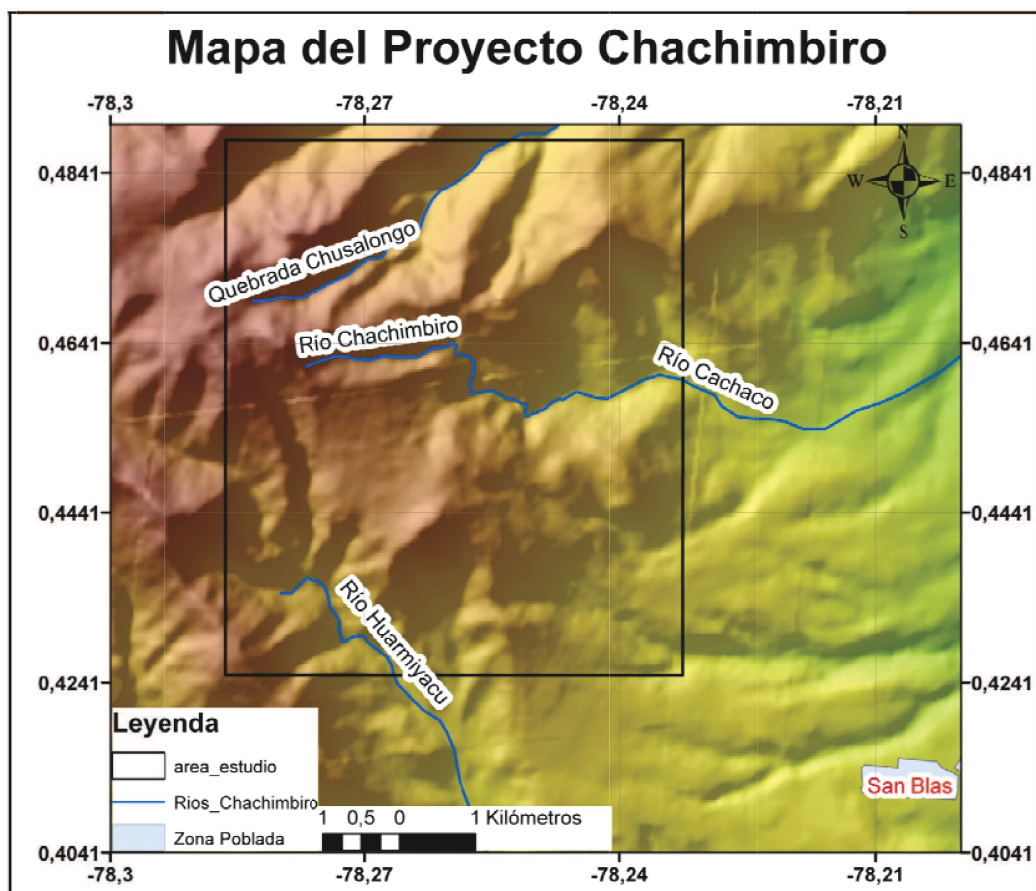


Figura 1.4.- Mapa del proyecto Chachimbiro.

### 1.3.3.1.- Basamento

El conocimiento y la discusión del basamento en la zona de prospección es importante, debido a que el basamento controla las velocidades sísmicas de la corteza y posee baja permeabilidad actuando como sello en el sistema geotérmico.

Siendo parte de la Cordillera Occidental y el Valle Interandino Chachimbiro comparte un basamento constituido de cuñas tectónicas correspondientes a basaltos de piso oceánico de edad Cretácica, a la cual le sobreyacen piroclastos y epiclastos continentales.

- *Unidad Pallatanga*.- es de naturaleza oceánica, típicamente se incluyen pillow lavas y hialoclastitas (Boland et al., 2000). Está datada entre 92-88 Ma y

posee afinidad al plateau oceánico de Caribe y Colombia. (Vallejo., 2007). La unidad se encuentra delimitada al Occidente por la zona de cizalla Chimbo Toachi y al Este por la sutura con la Cordillera Real. (Hughes & Pilatasig., 2002). La unidad Pallatanga no se muestra en la Figura 1.5 pero se interpreta que subyace a los flancos distales del volcán Chachimbiro (SYR, 2011).

- *Unidad Río Cala (KRC)*.- se define como una secuencia de lavas masivas, depósitos volcánicos y sedimentarios correspondiente a una configuración arco de isla intraoceánico, datada del Campaniano a Maastrichtiano (Boland et al., 2000). La formación Río Cala se ha identificado solo entre los 0°-1°N con afloramientos que ocurren en bloques de falla. (Kerr et al., 2002). La unidad aflora en el flanco sur-oriental del complejo volcánico y se ha considerado que puede ser el reservorio del sistema geotérmico (SYR, 2011).
- *Formación Natividad (KN)*.- consiste en una secuencia de areniscas limolitas y cherts poco consolidadas intercaladas con lavas, todo el conjunto se encuentra deformada tectónicamente. Esta unidad está datada del Campaniano a Maastrichtiano. (Boland et al., 2000). La formación Natividad fue depositada en un ambiente medio a distal de un abanico turbidítico contemporáneo a una intensa actividad de un arco volcánico que sería representado por la unidad Río Cala (Vallejo., 2007).
- *Formación Pilatón.(KP)*.- es una secuencia de areniscas y lodolitas turbidíticas con fragmentos de brechas volcánicas y lavas. La facie turbidítica indica una depositación media a proximal de un abanico submarino y los líticos volcánicos sugieren que estuvo asociada a un arco de isla. (Hughes & Pilatasig., 2002). Pilatón está datada en el Campaniano al Maastrichtiano. La unidad se encuentra subyaciendo los flancos distales nor-occidentales del complejo Chachimbiro.
- *Formación Silante (KS)*.- constituida principalmente por areniscas y conglomerados con un alto contenido de líticos volcánicos, grawacas y lutitas

rojas a púrpuras. Es una secuencia de sedimentos terrestres, dominados por secuencias fluviales y posiblemente lacustrinas. El aporte de sedimentos es principalmente de origen volcánico andesítico de una fuente proximal. (Hughes & Pilatasig., 2002). Su edad es un tema de controversia, pero el piso mayormente aceptado es el Paleoceno, esto en base al marco geodinámico propuesto por Vallejo, 2007.

### **1.3.3.2.- Volcánicos terciarios y cuaternarios**

Los productos volcánicos terciarios están representados a la Unidad Pungarán, la cual se extiende hasta fuera del área del proyecto, mientras que los productos cuaternarios provienen de la actividad volcánica del complejo Chachimbiro y otros centros volcánicos aledaños. (SYR, 2011).

*La Unidad Pungarán (MPI Pu/d)* aflora tanto en noreste como en el sureste del área de estudio (Figura 1.5). Esta unidad está constituida por lavas andesíticas, tobas dacíticas y brechas volcánicas de edad Mio-Plioceno. (SYR, 2011).

En el centro del área del proyecto la mayoría de productos volcánicos cuaternarios provienen del Complejo Volcánico Chachimbiro, mientras que los márgenes están influenciados por otros centros volcánicos aledaños a la zona.

El Complejo Volcánico Chachimbiro ha tenido tres grandes fases de construcción y dos de destrucción. (Bernard., 2011).

- *El Huanguillaro*.- la primera fase radica en la construcción del edificio Huanguillaro y fue predominantemente efusiva, con abundantes y extensivos flujos de lavas andesíticas calco-alcalinas; se estima que su construcción empezó en el Pleistoceno Medio. Este edificio fue destruido debido a un gran deslizamiento a mediados del Pleistoceno (Bernard., 2011).
- *El Chachimbiro*.- la segunda fase, caracterizada por la construcción de una serie de domos dacíticos y potentes erupciones de carácter pliniano datadas en 44 Ka. Estos domos fueron destruidos por una avalancha de escombros

cuyos depósitos y domos desplazados conservan su morfología original y se les conoce como torebas. Estas estructuras se encuentran en el lado Este. (Bernard., 2011).

- *Complejo Terminal del Huga*.- la tercera y última fase está definida por la extrusión de varios domos incluyendo el Cerro Huga y el Cerro Albuji. La composición de los domos varía entre dacítica a riodacítica, mostrando productos más evolucionados que en la fase 2. Además se nota que la composición adakítica aumentó hasta la fase 3. (Bernard., 2011).

### 1.3.3.3.- Geología estructural

El área de Chachimbiro está fuertemente influenciada por el sistema sinistral Cauca-Patía capaz de generar sismos mayores de magnitud 7, con desplazamiento del orden de 1 mm/año. Se propaga a través de saltos laterales extensivos hacia el sector de Tulcán y San Isidro y se amortigua en forma de ramales complejos dispuestos en “cola de caballo” con componentes verticales variables en el sector de Ibarra y Otavalo. (Soulas et al., 1991).

La falla *Otavalo* se ubica al occidente de la población de Otavalo, tiene una tendencia NE-SW con movimiento dextral; continúa hacia Atuntaqui y se presume continua como la falla San Isidro. (Eguez et al., 2003).

La falla de *Billecocha-Huayrapungo* identificada y descrita por Ego (1996), quien considera que la falla tenga un origen tectónico, propone un fallamiento generado por cizallamiento en los planos de debilidad, como respuesta a la recuperación elástica del líquido acumulado desde la última glaciación (Ego et al., 1996). Contiene dos secciones, cada una con sentido de movimiento diferente. Con dirección NE-SW se considera una falla normal generada por efectos de gravitación (Eguez et al., 2003). En el tiempo que funcionó la red temporal de Chachimbiro, se registraron pocos sismos que podrían estar asociados al movimiento de la falla, pero no son prueba suficiente de su nivel de actividad.



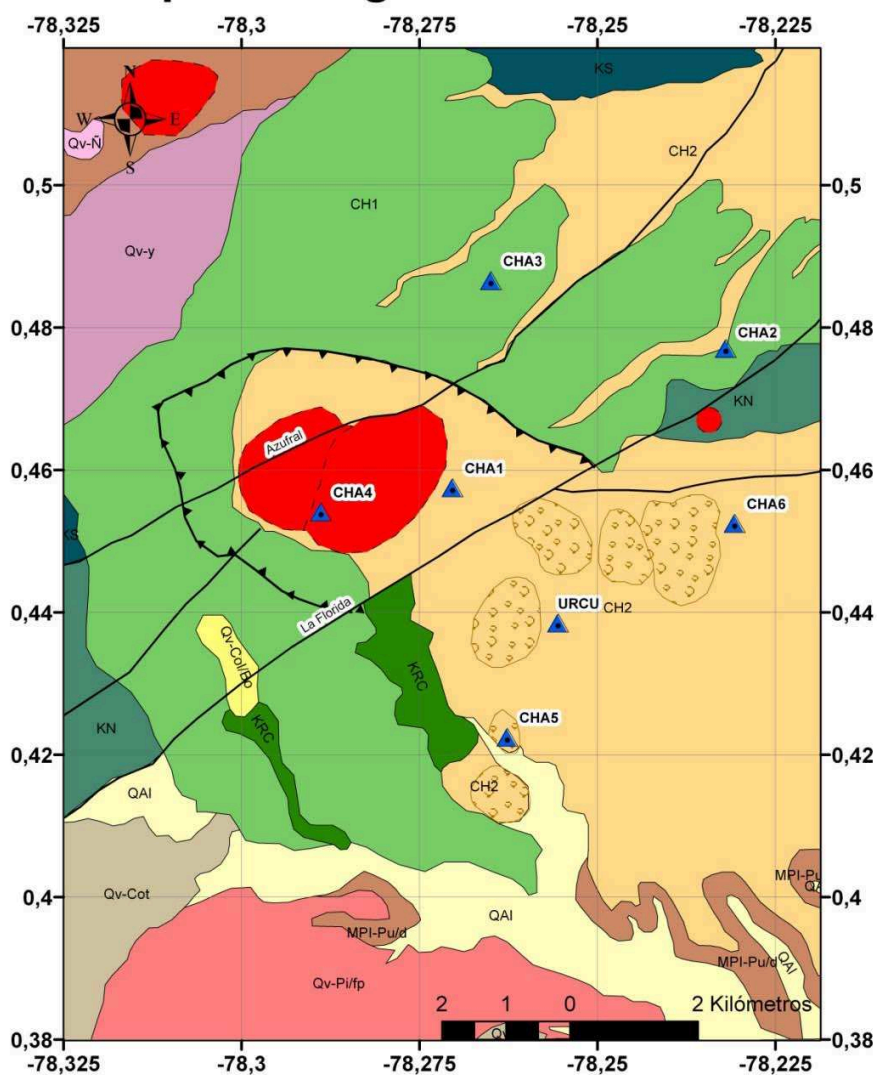
Con el estudio geológico realizado para la prospección geotérmica del área de Chachimbiro se han determinado tres sistemas importantes de fallas los cuales son presentados en la Figura 1.5.

El sistema de fallas de La Florida tiene una orientación NE-SW y se asume que buza fuertemente. Este sistema es el contacto entre las unidades Natividad y Silante y subyace los centros eruptivos del Huanguillaro y los domos Hugá-Albují. (SYR, 2011).

El sistema de fallas Azufrales tiene una orientación NE-SW, se interpreta como un sistema transcurrente dextral con fuerte inclinación; está ligado a zonas de dilatación NNE-SSW; y puede representar el contacto entre la unidad Natividad y Río Cala. La circulación de gases y la alteración hidrotermal evidencian que este sistema genera permeabilidad para los fluidos. (SYR, 2011).

El tercer sistema de fallas no posee denominación y son inferidas, tiene una orientación E-W en la parte oriental del área de estudio (Figura 1.5). A lo largo de este sistema de fallas se encuentran ubicadas las fuentes termales y también se evidencia una fuerte alteración hidrotermal, lo cual sugiere que provee una alta permeabilidad (SYR, 2011).

## Mapa Geológico Chachimbiro



### Legenda

	Estaciones		D. Piribuela - U. Piribuela	Qv-Pi/fp	
	Fallas mapeadas		Unidad Yanahurco	Qv-y	
	Borde de la caldera		Unidad Ñag-Ñaro	Qv-Ñ	
<b>Basamento</b>			Unidad Huanguilero	CH1	
	Unidad Natividad	KN		Unidad Tumbatú	CH2
	Unidad Rio Cala	KRC		Torebas	
	Unidad Silante	KS		Domos	
<b>Volcánicos Tercerarios y Cuaternarios</b>			Coluvial Las Bolsas	Qv-Col/Bo	
	Unidad Volcánicos Pugarán	MPI-Pu/d-tp		Aluvial	QAI
	Unidad Cotacachi	Qv-Cot			

Figura 1.5.- Mapa geológico para el proyecto geotérmico Chachimbiro. Modificado de (SYR, 2011).

## 1.4.- INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

Para el estudio micro-sísmico de los campos geotérmicos se instalaron redes de estaciones sísmicas temporales, cada una de las cuales contiene los siguientes instrumentos:

1. Sensor sísmico Nanometrics\_Trillium\_Compact de balance retro-alimentado con amplia banda de cobertura (120 s a 50 hz). El sensor posee tres componentes, los que permiten representar movimientos en direcciones verticales (Z) , norte-sur (N) y este-oeste(E).
2. Digitalizador portátil modelo Reftek 130 de amplio rango dinámico (> 135 dB).
3. Receptor de GPS de marca Garming.
4. Sistema de alimentación de energía: 2 paneles solares de 80 Amp/h, baterías de 100 Amp/h y descarga lenta y regulador de voltaje.

Los sensores sísmicos de las estaciones se instalaron en orificios de aproximadamente un metro de profundidad sobre una base de cemento con un recipiente de plástico y una cobertura de suelo a fin de asegurar una estabilidad térmica del sensor (Figura 1.6).

Adicionalmente se disponen de los datos de las estaciones de la Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico que están instaladas permanentemente en el interior y en los alrededores de las zonas de estudio.

1. Estación URCU de banda ancha se compone de un sensor sísmico de banda ancha, respuesta FBA y un digitalizador Reftek 130-01 de seis componentes. Los datos de esta estación se transmiten en tiempo real al Instituto Geofísico a través de una conexión con radios digitales de espectro ampliado, está ubicada en 0,4385° N y 78.2556° W a 3303 msnm.

2. Estación COTA de período corto (1Hz) solo con componente vertical. Se encuentra instalada en el flanco sur-occidental del volcán Cotacachi, 0.3319° N y 78.3403° W a 4060 msnm. Esta estación transmite en forma analógica.
3. Estación CUIC de banda ancha instalada en el domo Yerovi del volcán Cuicocha, con coordenadas 0.30401° N y 78,3617° W a 3165 msnm. Está compuesta por un sensor sísmico de tres componentes y un digitalizador Guralp CMG-T3-EAM. Solo el componente vertical transmite a Quito por internet.
4. Estación OTAV es una estación sísmica de primer orden que corresponde a la red mundial de IRIS; se ubica en un túnel con protecciones térmicas y de ruido externo. Tiene sensores sísmicos de banda ancha modelo STS1, STS2 y un acelerómetro FBA-ES. Está localizada en las coordenadas 0.238° N y 78.451° W a 3510 msnm.
5. Estación LITE con conexión satelital está localizada cerca de la población de Lita. Se compone de un sensor Guralp CMG-40 T; con un componente vertical y un horizontal. Esta estación sísmica pertenece a la res internacional de Canadá.

### **1.5.- CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DE LAS REDES PARA EL MONITOREO DE LA MICROSIMICIDAD**

Las redes temporales de monitoreo fueron instaladas tomando en cuenta que deben cubrir la mayor parte del área de prospección, tienen que captar eficazmente los rayos sísmicos que provengan desde cualquier azimut. Además se tuvo que librar problemas en el terreno, como zonas pantanosas, áreas de rellenos de suelos, etc.



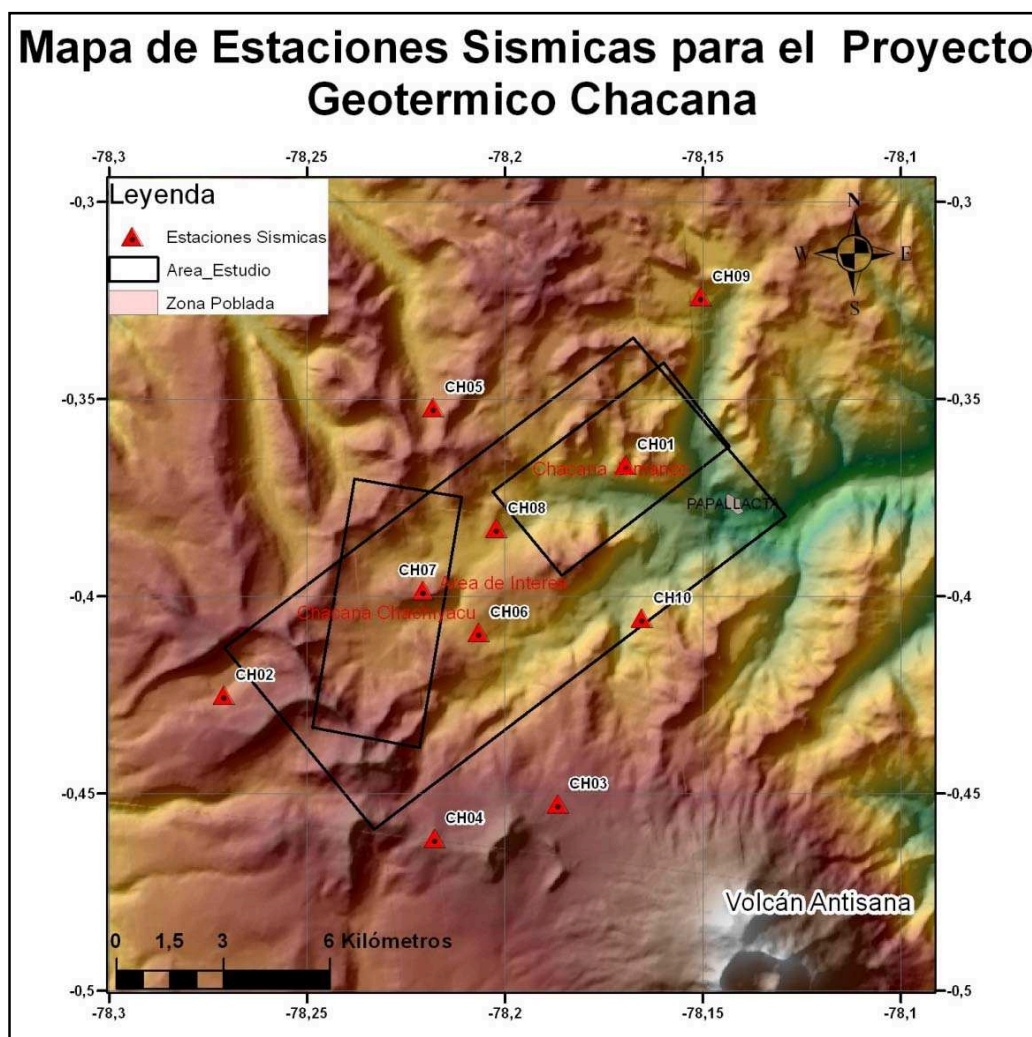
**Figura 1.6.-** Instalación de un sensor sísmico en una cavidad a una profundidad aproximadamente de un metro.

### 1.5.1.- CHACANA

La red temporal de 10 estaciones (Figura 1.7) fue instalada desde el 20 de Octubre del 2011 en los sitios indicados en la Tabla 1.1. Las estaciones tienen entre 3 y 10 kilómetros de espaciamento una de otra con un gap máximo de 144.7°.

**Tabla 1.1.-** Localización de las estaciones sísmicas de la red temporal para el proyecto Chacana.

<b>Nombre</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura (m)</b>
<b>CH0</b>	S 00.393774	W 78.153697	3588
<b>CH1</b>	S 00.366526	W 78.169620	3606
<b>CH2</b>	S 00.424855	W 78.271006	4020
<b>CH3</b>	S 00.452449	W 78.186761	4329
<b>CH4</b>	S 00.461317	W 78.217833	4412
<b>CH5</b>	S 00.351938	W 78.218095	4000
<b>CH6</b>	S 00.408928	W 78.206677	3860
<b>CH7</b>	S 00.398378	W 78.220756	4109
<b>CH8</b>	S 00.382639	W 78.202359	3767
<b>CH9</b>	S 00.323852	W 78.150613	3762



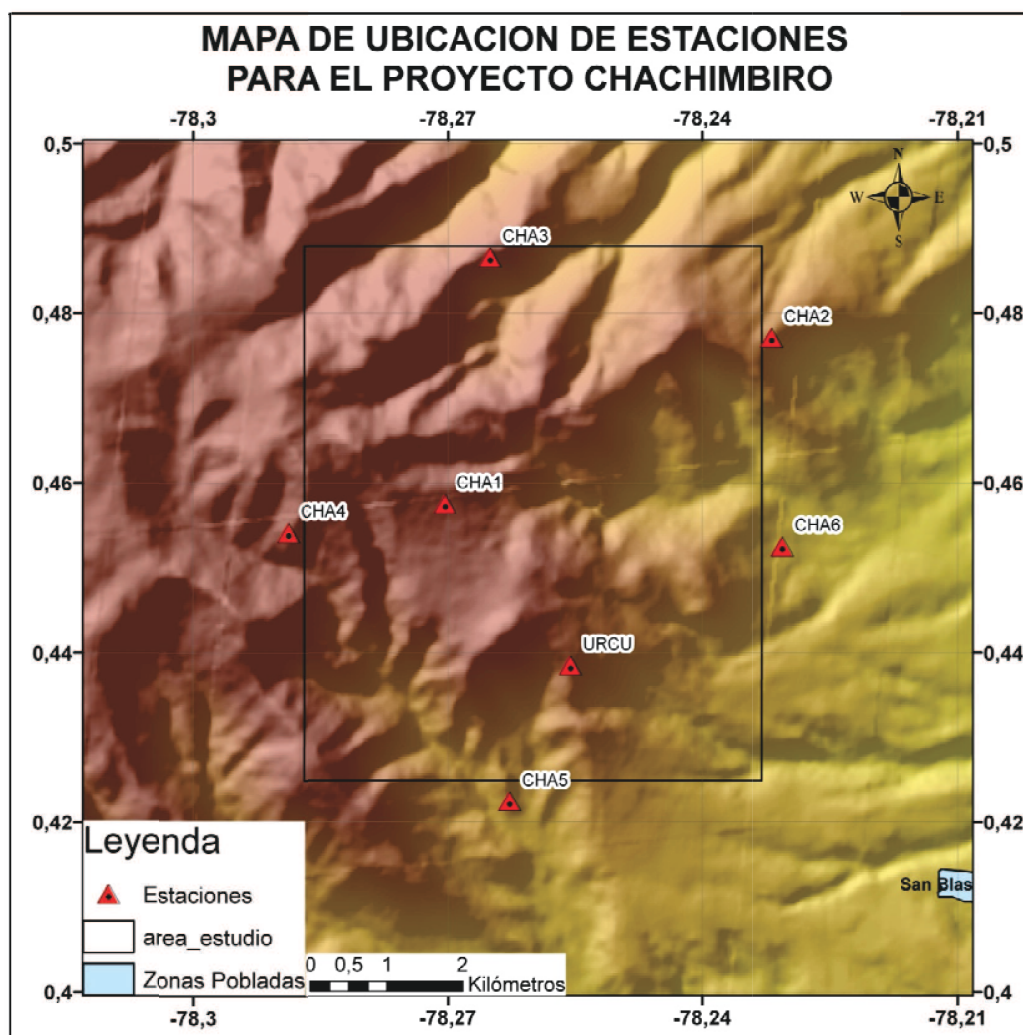
**Figura 1.7.-** Mapa de las estaciones sísmicas para el proyecto geotérmico Chacana.

### 1.5.2.- CHACHIMBIRO

La red temporal para el proyecto Chachimbiro consta de 6 estaciones de banda ancha (Figura 1.8) que fueron instaladas entre el 9 y el 10 de Mayo del 2011 en los sitios detallados en la Tabla 1.2. Las estaciones tienen entre 3 y 5 kilómetros de distancia entre una de otra con un gap máximo de  $111.9^\circ$ .

**Tabla 1.2.-** Localización de las estaciones sísmicas para la red temporal del proyecto Chachimbiro.

Nombre	Latitud	Longitud	Altura (m)
CHA1	N 00.45750	W 078.27048	3464
CHA2	N 00.47707	W 078.23209	3036
CHA3	N 00.48659	W 078.26508	3476
CHA4	N 00.45411	W 078.28896	3721
CHA5	N 00.42246	W 078.26280	2755
CHA6	N 00.45249,	W 078.23085	2467



**Figura 1.8.-** Mapa de estaciones sísmicas para el proyecto geotérmico Chachimbiro.

## **1.6.- MÉTODOS DE ESTUDIO**

### **1.6.1.- REGISTRO DE LAS SEÑALES SÍSMICAS**

Las redes registraron la micro-sismicidad en forma continua por periodos de 4 meses. Los datos fueron grabados en forma digital en formato compacto SEGY. Debido a que las estaciones de la red temporal no contaron con transmisión a tiempo real al IG-EPN, cada estación operó con dos discos de 8 y 4 Gb. La tasa de muestreo para la mayoría de estaciones fue 100 mps excepto en la estación de OTAV que transmite a 20 mps.

Para mantener un control de la calidad de los datos y el funcionamiento adecuado de las estaciones de las redes temporales, se organizaron varias visitas para verificar el correcto funcionamiento de la red y recolectar los datos grabados en los discos de memoria. Aproximadamente se realizaron entre una o dos visitas cada mes para cada proyecto.

### **1.6.2.- ANÁLISIS DE LOS DATOS**

Antes del análisis de los datos, se realizaron copias de seguridad de toda la información recolectada en las tarjetas de memoria en un servidor del IG-EPN en formato comprimido. Seguidamente se procedió a transformar toda la información a formato SAC, los datos fueron cortados en archivos de cinco minutos de duración para facilitar el análisis de las señales.

El análisis de las señales se basó en la clasificación y cuantificación de eventos sísmicos de origen tectónico o volcánico en base a los criterios expuestos en la Tabla 1.3 y en la ubicación de los arribos de las ondas P (onda de compresión) y de las ondas S (onda de cizalla) si estas últimas fueran claramente identificables para la localización de los hipocentros de los eventos tectónicos.



**Tabla 1.3.-** Criterios para la clasificación de sismos. Modificado de (McNutt., 1996).

<b>Tipo de Sismos</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Frecuencia Principal (Hz)</b>	<b>Ancho de Banda (Hz)</b>	<b>Duración (seg)</b>
Muy largo periodo <b>VLP</b>	Movimiento magma o fluidos (más viscoso)	< 0,5	< 0,5	< 300
Largo Periodo <b>LP</b>	Movimiento de fluidos magmáticos (menos viscosos)	$0,5 < f < 7$	< 4	< 300
Híbrido <b>HB</b>	Fractura de rocas ocasionada por fluidos y su posterior movimiento	$0,5 < f < 10$	$4 < f < 10$	< 120
Volcano – Tectónico <b>VT</b>	Fractura de rocas por esfuerzos por a intrusión de magma sin movimiento	> 7	> 10	< 120?
Tremor Armónico	Movimiento de fluidos en forma armónica	$0,5 < f < 7$	< 4	> 120
Tremor Espasmódico	Secuencia de eventos sísmicos VT, VLP, HB, LP	> 7	> 10	> 120

Los datos sísmicos de las redes temporales para los proyecto Chacana y Chachimbiro fueron revisados utilizando los programas SISMALP, PICKEV, RQUAKE, HYPO 71, MECFOC y VELEST. El primer software permite visualizar todos los componentes o seleccionar componentes, filtrar, amplificar la señal, ampliar o reducir la ventana de datos. El segundo y el tercer programa permiten leer cada evento en cada una de las estaciones los tiempos de arribo, tiempo de P – S, amplitudes máximas y mínimas, periodos y codas. El cuarto programa toma los tiempos de arribo de las ondas P y S marcados con el PICKEV e introduciendo los modelos de velocidades se obtienen los hipocentros de los sismos. El cuarto programa se usó para el cálculo de mecanismos focales y el quinto software se utiliza para el cálculo de modelos de velocidades.

No se utilizaron sistemas de detección automática debido a las pequeñas magnitudes de la mayoría de los eventos, además del nivel relativamente alto de ruido de fondo, y el pequeño número de sismos generados durante el período de

observación de cuatro meses. La revisión no-automática, aunque consume más tiempo, es el método más apropiado para la clasificación e identificación microsismos.

### **1.7.- RESPUESTA Y EFECTIVIDAD PARA EL MONITOREO DE LA MICRO-SISMICIDAD**

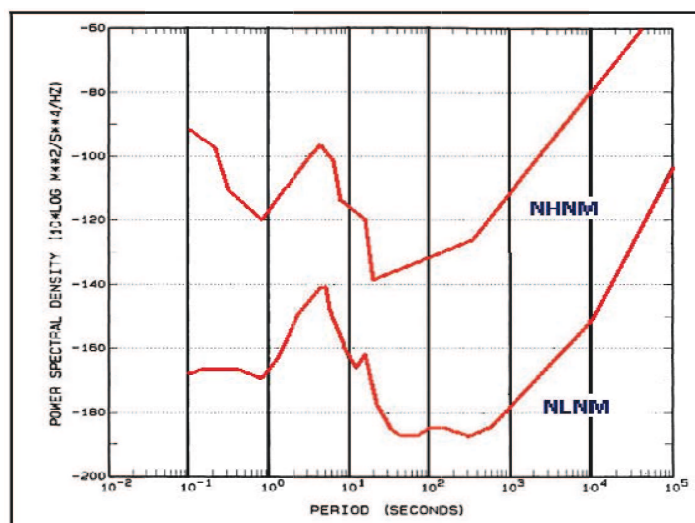
La red sísmica del proyecto Chacana tiene una orientación preferencial NE-SW, debido a que la configuración del área en estudio y a la disponibilidad de accesos, ya que la mayor parte del área es pantanosa, lo que no proporciona muchos sitios aptos para la instalación de los equipos sísmicos. Por otro lado, para la ubicación de las estaciones se tomó en cuenta las condiciones de seguridad de la instrumentación solicitadas por la empresa SYR.

La red sísmica del proyecto Chachimbiro adquiere una alineación NE-SW, al sumar las estaciones de la red del Instituto Geofísico.

Las alineaciones de las redes temporales influyen en la localización de los hipocentros de los sismos, el hecho de que las redes tengan una orientación NE-SW hará que el eje mayor de la elipse de error esté orientado en dirección perpendicular a las redes.

Los modelos de ruido terrestre representan curvas de fondo, de alto y bajo desplazamiento del ruido sísmico. Las curvas de estos modelos son ampliamente usadas como líneas bases en la comparación y evaluación de las características de los sitios donde se encuentran las estaciones, y para predecir la respuesta del sensor en condiciones de fondo de ruidos sísmico. (Peterson., 1993).

Las curvas modelo utilizadas para las pruebas de ruido de las redes de temporales en Chacana y Chachimbiro son NLNM (New Low-Noise Model) y NHNM (New High-Noise Model), las cuales fueron desarrolladas por Peterson (1993) con una base de datos de un año de las estaciones de IRIS en 1993 (Figura 1.9).

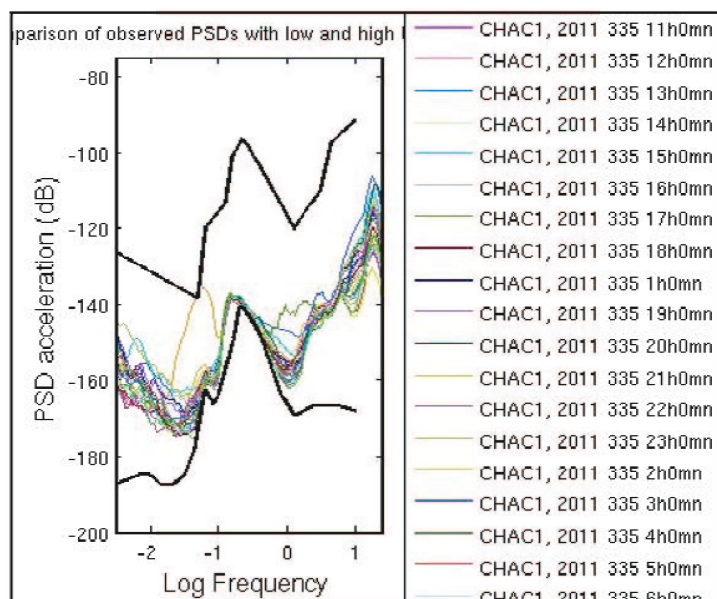


**Figura 1.9.-** Curvas modelo NLNM y NHHM utilizadas para las pruebas de ruido para las redes sísmicas de Chacana y Chachimiro. (Para que las pruebas y el nivel de ruido sean aceptables las curvas del equipo a prueba deben caer dentro del rango de las líneas NHHM y NLNM).

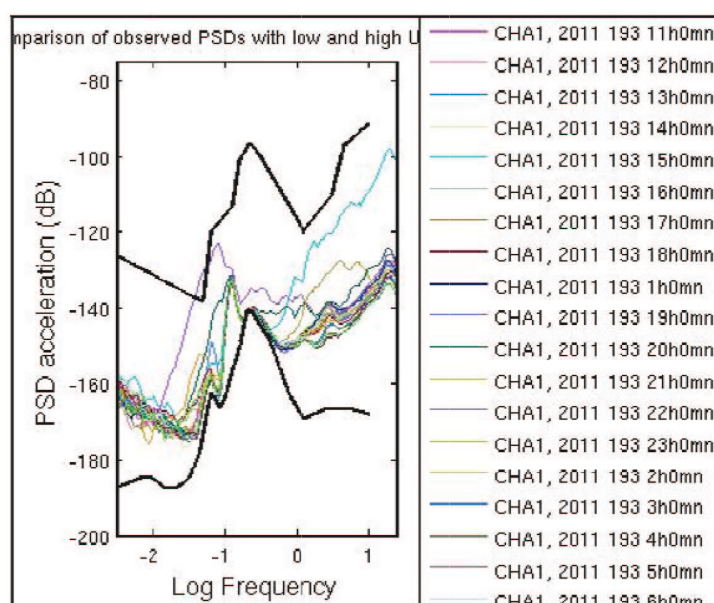
En cada una de las estaciones de las redes temporales se realizaron pruebas de ruido (Anexo 1.1.- Pruebas de Ruido para las estaciones de Chacana y Chachimiro), las cuales revelan una excelente respuesta de los equipos instalados, así como una buena calidad de los datos obtenidos, ya que se observa que se ajustan a las curvas modelo utilizadas en los parámetros de prueba. (Figura 1.10 y 1.11).

En lo que respecta a las magnitudes, las redes de Chacana y Chachimiro captaron clara y eficazmente sismos desde los 2 grados de magnitud local (MLv) (Anexo 3.1 y 3.2.- Tabla de ubicaciones y magnitudes de los sismos para Chacana y Chachimiro).

Los sismos menores a los 2 grados de MLv fueron detectados también por la red, pero debido a los altos niveles de ruido sísmico no fueron captados con claridad, por lo tanto no fue posible realizar la localización de los hipocentros de estos eventos.



**Figura 1.10.-** Pruebas de ruido de la estación CHAC1 del proyecto Chacana. Es aceptable ya que las curvas del equipo en prueba caen dentro del rango de las líneas NHNM y NLNM.



**Figura 1.11.-** Pruebas de ruido de la estación CHA1 para el proyecto Chachimbiro. Es aceptable ya que las curvas del equipo en prueba caen dentro del rango de las líneas NHNM y NLNM.

## **CAPÍTULO 2.- CARACTERIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EVENTOS REGISTRADOS EN LAS ZONAS DE CHACANA Y CHACHIMBIRO**

### **2.1.- INTRODUCCIÓN**

Un primer paso para efectuar investigaciones de sismicidad en una región volcánica, es la identificación y caracterización de los diferentes tipos de señales sísmicas. Esto permite obtener información de los mecanismos de las fuentes sísmicas y las dinámicas, así como medios y mecanismos de transporte de los fluidos.

Para la clasificación de sismos según el mecanismo generador se siguió los parámetros especificados en la Tabla 1.3 del capítulo 1 y se creó una base de datos de clasificación de eventos para cada campo según los meses de estudio. Los resultados se expresan en los histogramas adjuntos en el Anexo 2.1.- Estadística de eventos para los meses que operaron las redes temporales de monitoreo en las zonas de Chacana y Chachimbiro.

Para el reconocimiento de las señales sísmicas se aplicaron diferentes filtros que eliminen la deriva instrumental, el ruido y evidencien los tipos de eventos. Los filtros más utilizados para la identificación de eventos de largo periodo y tremores fueron 0.5 – 2 Hz o de 0.5 – 5 Hz, y para eventos regionales y sismos locales de 5 – 10 Hz, 3 – 8 Hz y de 5 – 20 Hz.

En los sismos tectónicos locales se identificó el inicio de las fases P, en la componente vertical, con su respectiva polaridad, y la fase S en una de las 2 componentes horizontales. Estos sismos y su procesamiento serán objeto de mayor estudio en el capítulo III y IV.

Los sismos se dividen en:

- *Sismos de Largo Periodo (LP).*- Son sismos de baja frecuencia, presentan un espectro simple y muy limitado con un rango espectral de 0.2 a 10 Hz, y forma

un espectro continuo con estabilidad en varias de las estaciones reflejando las propiedades de fuente. Son indicadores de presurización y movimiento de fluidos (gas o magma) en los conductos, diques, fracturas y/o domos de los sistemas volcánicos. (Gupta et al., 2011). Se piensa que la mayor parte de la energía sísmica es atrapada en grietas llenas de fluidos, las cuales pueden resonar, mientras que solo una pequeña parte de las ondas puede escapar y propagarse a través de la corteza siendo registrado posteriormente en la superficie. Por lo tanto los sismos de largo periodo son generados por las ondas resonantes. (Gupta et al., 2011). La mayoría de LP's se producen en profundidades menores a 5 km, pocos sobrepasa los 10 km. (Chouet., 2011).

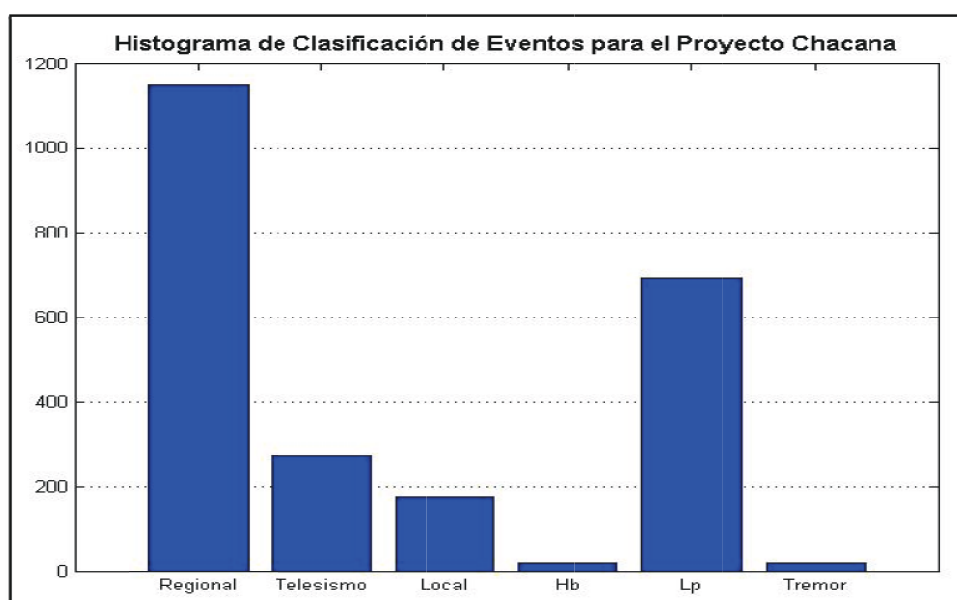
- *Tremor.*- Es una señal sísmica que mantiene una amplitud constante por un largo periodo de tiempo (Villagómez., 2000). El tremor es una superposición de varios eventos de baja frecuencia como los sismos de largo periodo. También puede considerarse como el ruido de fondo causado por procesos magmáticos, hidrotermales y/o desgasificaciones (Gupta et al., 2011). Los tremores no son eventos discretos como los LP's.
- *Sismos Híbridos.*- Estos eventos muestran un inicio con alta frecuencia entre 5 a 10Hz y continúa con una coda extensa de baja frecuencia, además pueden presentar fases P y S (Villagómez., 2000). Los sismos híbridos evidencian fracturamiento de roca frágil y rellenas de fluidos, generando la resonancia de los fluidos (Lahr et al., 1994).
- *Sismos Tectónicos Locales.*- presentan señales de contenido espectral amplio y con frecuencias superiores a los 7 Hz; su forma de onda se caracteriza por la llegada de la onda P (ondas de compresión) y onda S (ondas de cizalla o corte), además de un decaimiento de la coda en forma exponencial (Villagómez., 2000). Se denominan locales porque sus epicentros se localizan a menos de 32 km de las estaciones sísmicas. Estos sismos son de origen tectónico, es decir, son generados por acumulación y posterior liberación de esfuerzos locales y/o regionales en forma de deslizamientos a lo largo de

superficie de fallas. Varios de estos eventos en un sistema volcánico se deben a procesos volcánicos directos como el emplazamiento de magma, o indirectos como el cambio de temperatura y/o presión, o interacción de agua – magma en el sistema hidrotermal. (Gupta et al., 2011). En este proyecto se incluyen como sismos locales tanto a sismos tectónicos con una distancia máxima de 32 km y sismos volcano-tectónicos ocurridos en el complejo Chachimbiro.

## 2.2.- CHACANA

El tiempo total de datos analizados van desde el 20 de Octubre del 2011 hasta el 10 de Febrero del 2012, en el cual se contabilizaron 2334 sismos. (Tabla 2.2), lo que en promedio corresponde a 20.5 sismos por día.

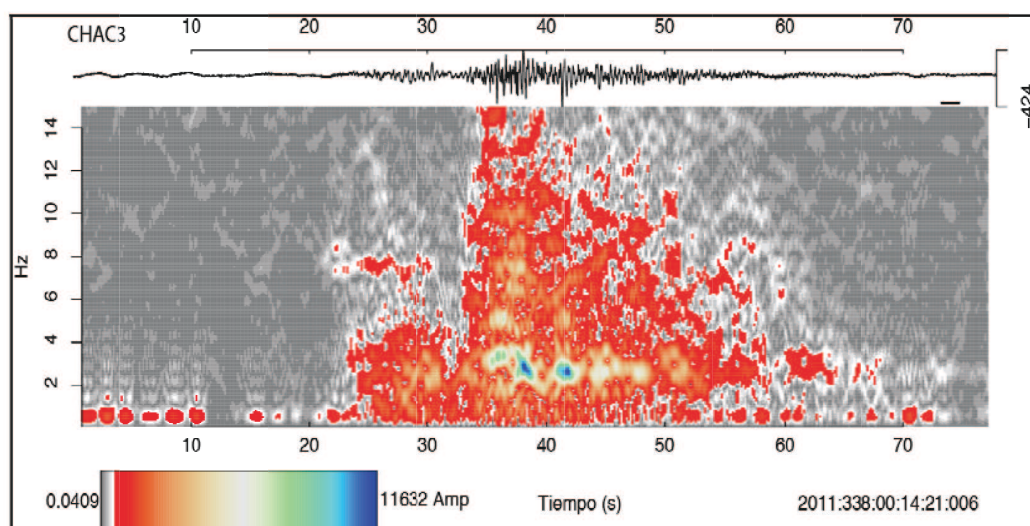
El 38.9% (909 eventos) de las sismicidad total pertenece a la sismicidad local del prospecto de Chacana (Figura 2.1), mientras que el resto de los sismos se divide entre eventos regionales y telesismos.



**Figura 2.1.-** Distribución del número total de sismos registrados por la red sísmica del proyecto Chacana. Periodo 20 de Octubre de 2011 al 10 de Febrero de 2012).

- *Sismos de Largo Periodo (LP).*- varios de los sismos LP en Chacana presentan picos espectrales bastante bajos, menores a 1 Hz, sin embargo la mayoría tienen espectros comunes para este tipo de eventos entre 2 y 4 Hz, y tienen duraciones de varias decenas de segundos (Figura 2.2).

Existen dos grupos importantes de sismos de largo periodo. Los sismos del primer grupo (56% de los LP's) se registran solo en las estaciones CH3 y CH4, las cuales son las más cercanas al volcán Antisana. Estos Lp's presentan una larga duración (Tabla 2.1). Sobre el origen de estos sismos se puede plantear como hipótesis que procedan de un sistema hidrotermal – magmático o que su fuente generadora esté relacionada a procesos glaciales y/o el deslizamiento de hielo en el Antisana.



**Figura 2.2.-** Ejemplo de un sismo Lp, registrado en la red de Chacana, el 4 de Diciembre del 2011.

Los sismos del segundo grupo de LP's (44%) arriban en primer lugar a la estación CH1 y se identifican claramente en las estaciones CH7 y CH8; estas tres estaciones se ubican alrededor de una de las fallas más extensas en la zona de estudio que atraviesa los domos Yanahurco y San Clemente. Los LP's identificados en estas estaciones tienen picos espectrales alrededor de los 2 hz y una amplia duración, al igual que los del primer grupo. Por su arribo,



espectro y duración se plantea la hipótesis que la falla mencionada controla el movimiento de fluidos hidrotermales - magmáticos en la región de interés.

**Tabla 2.1.-** Registro de eventos de Largo Periodo para el campo Chacana.

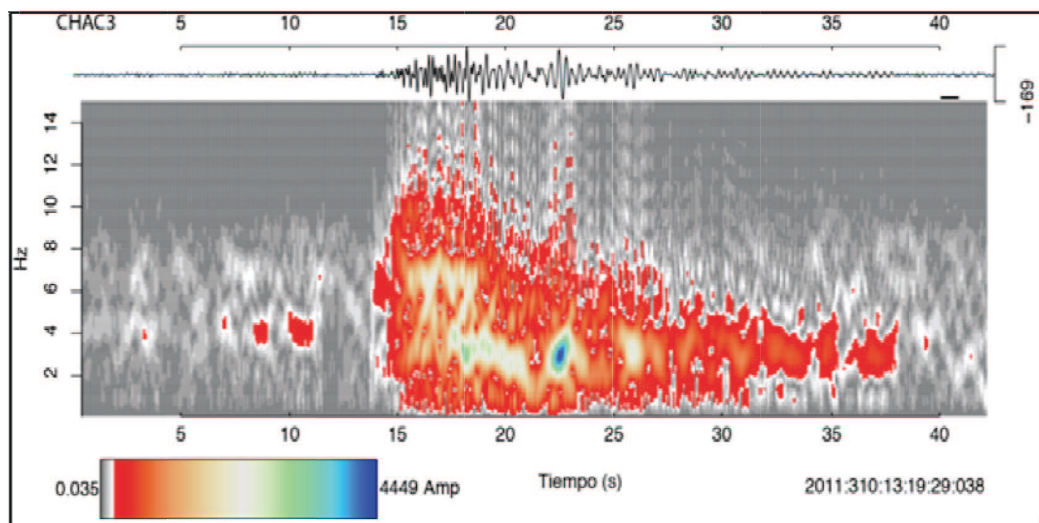
<b>Eventos de Largo Periodo</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Total de LP`s</b>	<b>LP`s registrados solo en estaciones cerca al volcán Antisana</b>
<b>Total</b>	695	391
<b>Porcentaje</b>	100%	56,2%

- *Tremor.-* en la zona de estudio a lo largo de los 4 meses de recolección de datos se registraron escasamente 20 señales de este tipo.

Los tremores se observan en las mismas estaciones que los sismos de largo periodo, lo que indicaría que tienen el mismo origen, y son de una profundidad somera.

Las señales de tremor identificadas tienen una frecuencia entre 1 a 2 Hz con duraciones entre 3 y 10 minutos, aunque se debe indicar que generalmente, la presencia de una baja relación señal ruido impide observar claramente el inicio y fin de las señales.

- *Sismos Híbridos.-* los eventos de este tipo por lo general muestran inicios con picos espectrales por debajo de los 7 Hz extendiéndose por varios segundos hasta desplazarse a frecuencias inferiores a los 3 Hz con codas menores a 15 segundos solo de bajas frecuencias (Figura. 2.3).



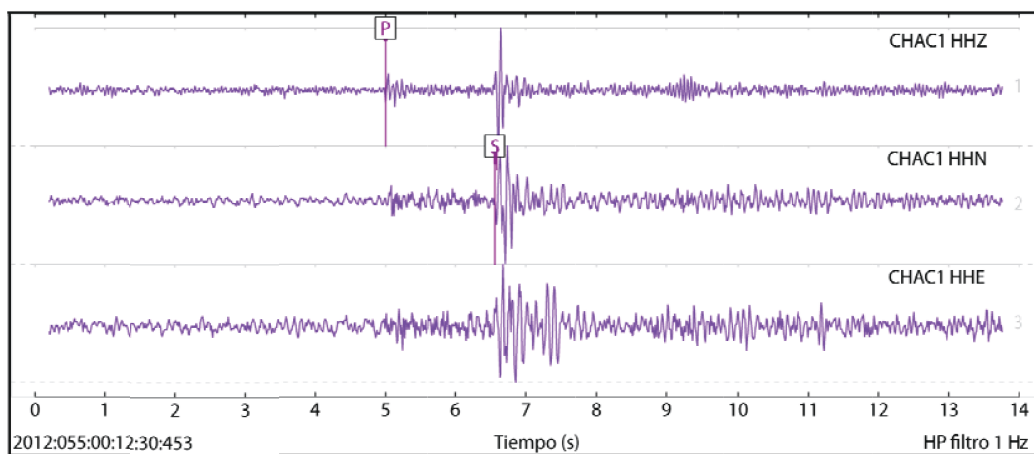
**Figura 2.3.-** Ejemplo de un sismo híbrido, registrado en la red de Chacana el 6 de Noviembre del 2011.

Al igual que los eventos de largo periodo, la mayoría de los sismos híbridos fueron detectados primero en las estaciones cercanas al volcán Antisana, por lo que se supone que estén asociados con la actividad del volcán Antisana o a la actividad del centro Plaza de Armas. Otro conjunto de eventos híbridos tienen señales que arriban por las estaciones de CH6 y CH7 que corresponde a las estaciones ubicadas en los domos Yanahurco y San Clemente, y a la falla que atraviesa los domos.

Es probable que estos eventos junto con los LP's, estén asociados a la circulación de fluidos en la caldera.

- *Sismos Tectónicos Locales.*- El 7.5% de la sismicidad pertenece a sismos locales tectónicos con distancias epicentrales menores a 32 km de la red de monitoreo. Un ejemplo de estos sismos se presenta en la Figura 2.4.

Los mecanismos focales del Anexo 5.1 indican una rotación de aproximada de  $40^\circ$  con la dirección de los esfuerzos regionales que son aproximadamente E-W, lo que indica que los sismos locales registrados en la zona de estudio se deben a los esfuerzos tectónicos locales.



**Figura 2.4.-** Ejemplo del arribo de las fases P y S del sismo local del 24 de febrero del 2011, registrado en la red de Chacana el 6 de Noviembre del 2011

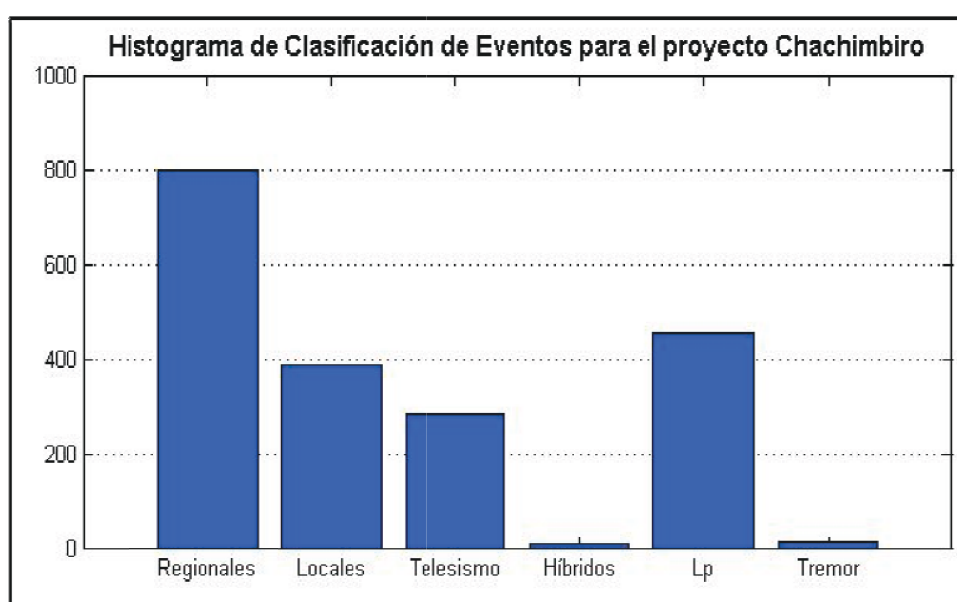
- *Sismicidad Restante.-* El 61.1% de la sismicidad restante se divide en el 49.3% (1151 eventos) para sismos regionales con distancias epicentrales mayores a 32 km de la red sísmica temporal y 11.7% (274 eventos) para telesismos o sismos lejanos con distancias epicentrales mayores a 200 km. (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.-** Estadística total de la micro-sismicidad en el proyecto Chacana

Estadística Total Chacana					
FECHA	EVENTOS ASOCIADOS A MOVIMIENTOS DE FLUIDOS	EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES S-P<4	HÍBRIDOS	EVENTOS REGIONALES	TELESISMOS
Oct-11	156	14	4	132	37
Nov-11	284	63	7	410	93
Dic-11	173	48	5	328	75
Ene-12	80	45	2	233	50
Feb-12	22	6	0	48	19
<b>Total de eventos</b>	<b>715</b>	<b>176</b>	<b>18</b>	<b>1151</b>	<b>274</b>
	2334				

### 2.3.- CHACHIMBIRO

Con una muestra total de datos desde el 9 de Mayo hasta el 10 de Septiembre del 2011, es decir en 120 días de operación de la red sísmica, se contabilizaron 1944 sismos (Tabla 2.3), lo que equivale a 15.3 eventos por día. De estos, 862 son sismos locales y 798 sismos regionales con distancias epicentrales mayores a 32 km, es decir con epicentros fuera a la red temporal. También se registraron 284 telesismos o sismos lejanos con distancias epicentrales superiores a 200 km (Figura 2.5).

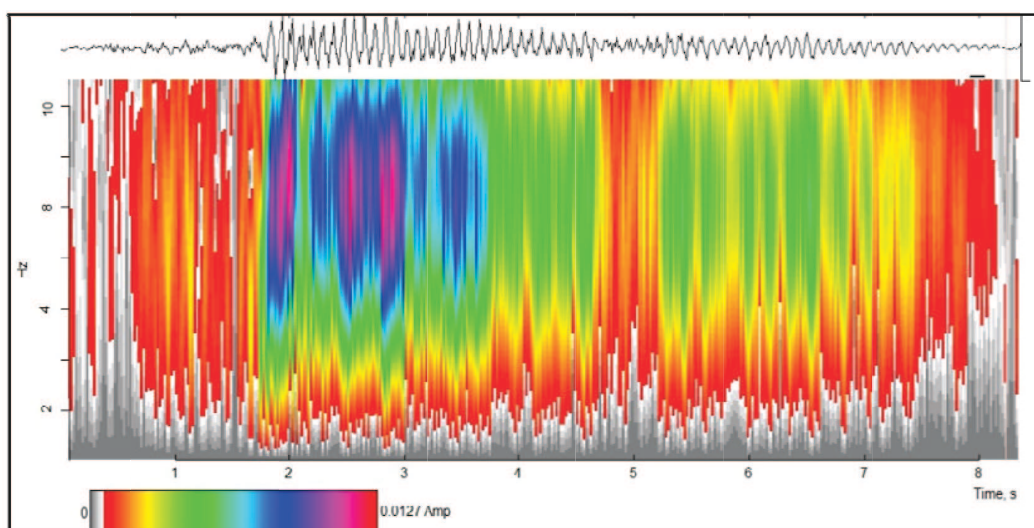


**Figura 2.5.-** Distribución del número total registrados por la red sísmica temporal del proyecto Chachimbiro en el periodo 9 de Mayo al 10 de Septiembre de 2011.

- *Sismos de Largo Periodo (LP).*- varios de los sismos LP en Chachimbiro arriban primero a la estación CHA3, ubicada en la zona noreste del área de prospección, lo que indicaría que la parte con mayor circulación de fluidos sea en la parte nororiental.

Los sismos muestran una forma de onda parecida a un tornillo y en su espectro dos sobretonos entre los 4 y 10 Hz. Debido a que los sismos no alcanzan a ser detectados en el resto de estaciones se considera que tienen un origen muy cerca de la estación CHA3. (Figura 2.6)

Otro grupo de LP's por lo general arriban primero por las estaciones CHA5 y CHA6, en las cuales se los identifica claramente. Estas estaciones están en las cercanías de la falla Rumipamba definida en este estudio. Los eventos de largo periodo registrados en su cercanía, indican que esta falla ubicada en el lado suroriental de la zona de estudio puede permitir el movimiento y la circulación de los fluidos hidrotermales.



**Figura 2.6.-** Ejemplo de un evento Lp tipo tornillo, registrado en la red de Chachimbiro 14 de Mayo de 2011 a las 01h49 (TU).

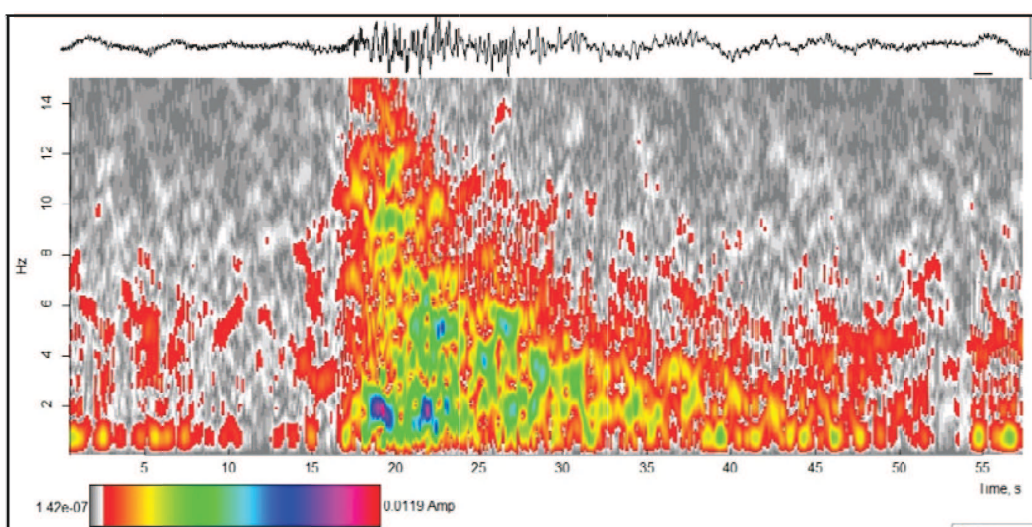
Se observa que los eventos muestran un pico en las bajas frecuencias, entre los 4 a 8 Hz en la Figura 2.6.

- *Tremor.-* pocas señales de tremor fueron observadas en los 4 meses de estudio. Los tremores presentaron señales armónicas entre los 2 y 8 Hz y una pequeña duración. Además se debe indicar que el tremor es observado solo en las mismas estaciones que los LP's, con los cuales comparten las mismas características. Esto sugiere que las señales ocurren a profundidades someras y tienen el mismo origen. El alto nivel de ruido impidió observar claramente el arribo de las señales.

Al igual que los sismos de largo periodo, estas señales están asociadas al movimiento de fluidos en el sistema hidrotermal.

- *Sismos Híbridos*.- pocos sismos híbridos fueron encontrados en el tiempo de investigación, y de su total apenas 3 poseían fases claras y un nivel de ruido aceptable para la caracterización de los parámetros.

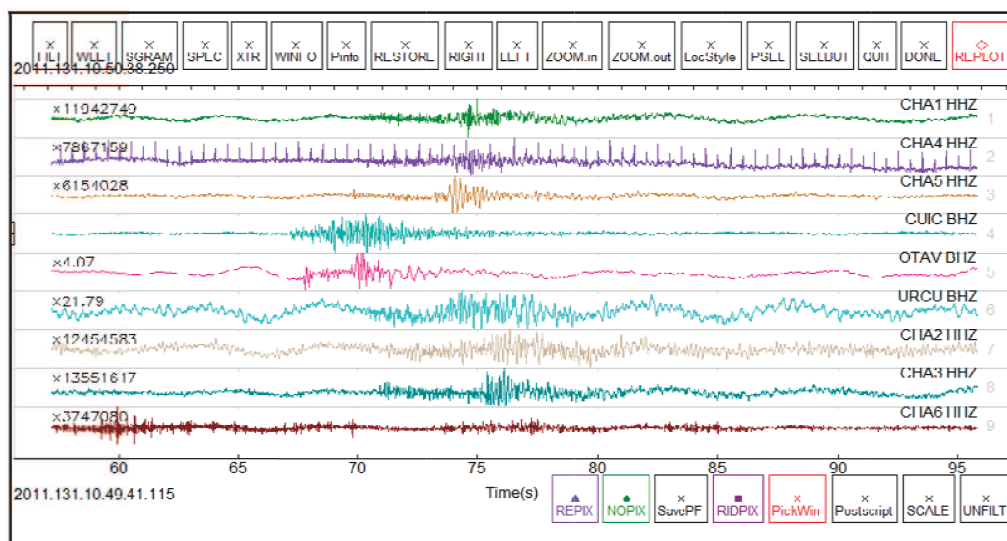
Los eventos presentan altas frecuencias al inicio con picos espectrales inferiores a los 8 Hz y en su cola se encuentran bajas frecuencias entre 2 – 4 Hz, las cuales se extendieron hasta los 25 segundos. (Figura 2.7).



**Figura 2.7.-** Ejemplo de un sismo híbrido, registrado en la red de Chachimiro el 15 de Mayo del 2011.

- *Sismos Tectónicos Locales*.- El 20% de la sismicidad pertenece a sismos tectónicos locales con distancias epicentrales a la red de monitoreo temporal menores a 32 km.

La mayoría de los mecanismos focales del Anexo 5.2 indican una dirección concordante con los esfuerzos regionales E-W de la zona, por tanto, la mayor parte de los sismos locales son generados por los esfuerzos tectónicos regionales.



**Figura 2.8.-** Evento tectónico local registrado en la red de Chachimiro registrado el 11 de Mayo del 2011.

- *Sismicidad Restante.-* El 56.3% de la sismicidad restante se divide en 41.7% (798 eventos) para sismos regionales con distancias epicentrales mayores a 32 km de la red sísmica temporal y 14.6% (284 eventos) para telesismos o con sismos con distancias epicentrales mayores a 200 km. (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3.-** Estadística total de la micro-sismicidad en el proyecto Chachimiro.

Estadística Total Chachimiro				
FECHA	EVENTOS ASOCIADOS A MOVIMIENTOS DE FLUIDOS	SISMOS TECTÓNICOS LOCALES	EVENTOS REGIONALES	TELESISMOS
May-11	190	52	137	29
Jun-11	90	83	214	59
Jul-11	130	107	175	83
Ago-11	25	117	192	90
Sep-11	39	29	80	23
<b>Total</b>	<b>474</b>	<b>388</b>	<b>798</b>	<b>284</b>
<b>Total de eventos</b>	<b>1944</b>			

## **CAPÍTULO 3.- CÁLCULO DE MODELO DE VELOCIDADES Y LOCALIZACIÓN DE LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES**

### **3.1.- CLASES DE ONDAS SÍSMICAS**

Los terremotos generan dos tipos de ondas de cuerpo, las ondas de compresión o primarias y las ondas de cizalla o de corte.

#### **3.1.1.- LAS ONDAS P (ONDAS DE COMPRESIÓN U ONDAS PRIMARIAS)**

Son las ondas más rápidas (ecuación 3.1); estas ondas comprimen y extienden alternadamente en la dirección de su propagación. Además tienen la propiedad de atravesar sólidos y fluidos.

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

(3.1)

#### **3.1.2.- LAS ONDAS S (ONDAS SECUNDARIAS U ONDAS DE CIZALLA)**

Son más lentas que las ondas P (ecuación 3.2) por lo que llegan después. Como son ondas de deformación y corte, solo se propagan a través de medios sólidos. El movimiento de las ondas S es perpendicular a la propagación, es por esto que son más lentas y provocan mayor daño.

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

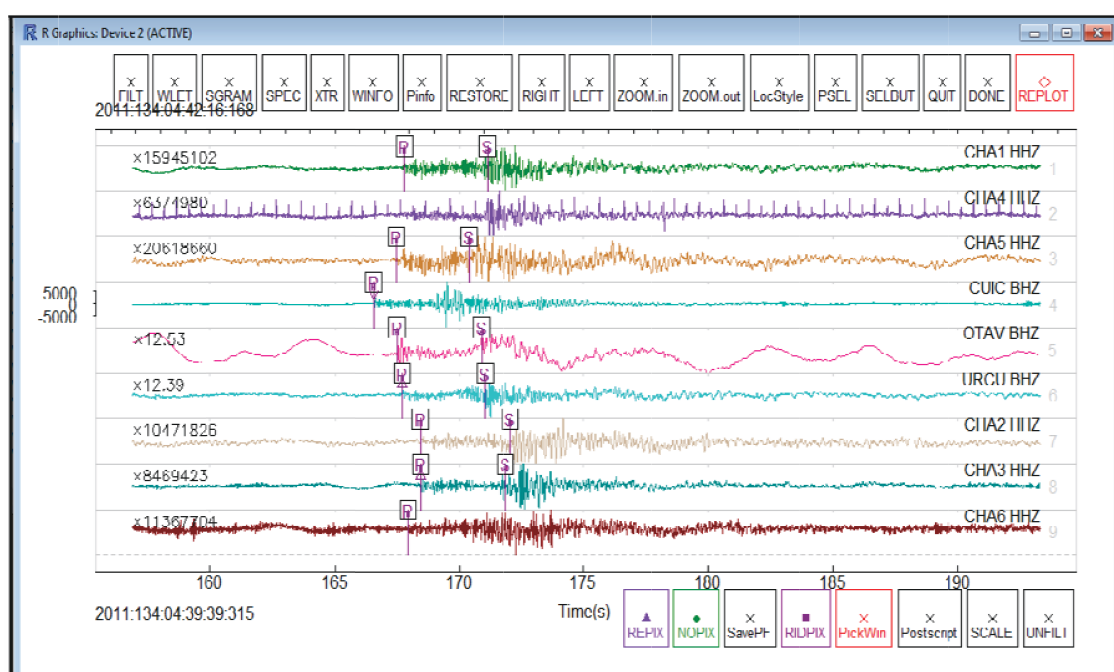
(3.2)

Donde  $\lambda$  es la segunda constante de Lamé,  $\mu$  es la rigidez (primera constante) y  $\rho$  es la densidad.



### 3.2.- IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE ARRIBO DE LAS ONDAS P Y S

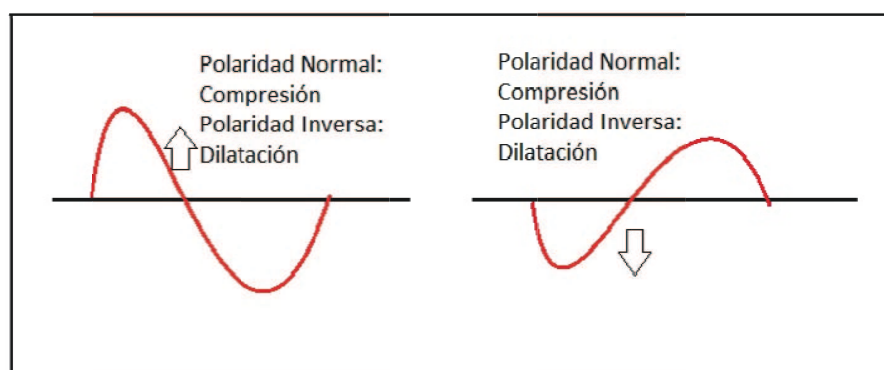
El primer paso para la localización de los eventos tectónicos, fue identificar y marcar en cada una de las estaciones los tiempos de arribo de las ondas P con su respectiva polaridad (Figura 3.1 y 3.2) así como de las ondas S en el componente horizontal que más claramente las registre. La Figura 3.1 muestra los tiempos de arribo de un evento local tectónico registrado en la red Chachimbiro el día 14 de Mayo del 2011.



**Figura 3.1.-** Tiempos de arribo en un evento local tectónico registrado en la red Chachimbiro el día 14 de Mayo del 2011.

Para la identificación y picado de las fases se escogieron los archivos de tiempo en los cuales existían eventos tectónicos locales. Estos datos en formato SAC fueron analizados primero con el software Sismalp y posteriormente para obtener un mejor  $V_p/V_s$  con el programa RQuake. Ambos programas permiten visualizar todas las señales sísmicas en todos los componentes, seleccionar componentes, aplicar filtros,

reducir o ampliar la ventana de la señal y marcar los tiempos de llegada de las ondas.



**Figura 3.2.-** Polaridad de los arribos de las ondas P.

RQuake es un paquete que trabaja en el software R, y está diseñado para el análisis de datos sísmicos (Lees., 2012), en modo continuo o de disparo; se puede combinar con otros paquetes como RSEIS, GEOmap y RFOC para un análisis más profundo. En el presente estudio, el paquete RQuake será usado para la identificación y el picado del tiempo de arribo de las ondas.

Para el picado de las fases no se utilizaron filtros, aunque se corrigió la deriva de los datos. Esto debido a que si se aplican filtros, se puede alterar el tiempo y la polaridad en el arribo de las ondas.

Para los arribos de la onda P, según el nivel de claridad se aplicaron pesos de entre 0 a 4, siendo 0 el peso para un arribo claro y seguro de la onda y 4 el peso para que el picado del arribo de la onda no sea utilizado. Para las ondas S se aplicó desde el peso 2 hasta el peso 4.

Se intentó picar todas las llegadas de las fases de los eventos en todas las estaciones disponibles, pero las pequeñas amplitudes de los sismos y el alto ruido sísmico hicieron que en algunos eventos no sea conveniente leer los tiempos de arribos de las ondas.

Se comprobó la calidad del picado de arriba de las fases con la relación de Poisson descrita en la ecuación del  $V_p/V_s$  determinada por las ecuaciones 3.3 y la 3.4.

$$V_p/V_s = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu + 2}} \quad (3.3)$$

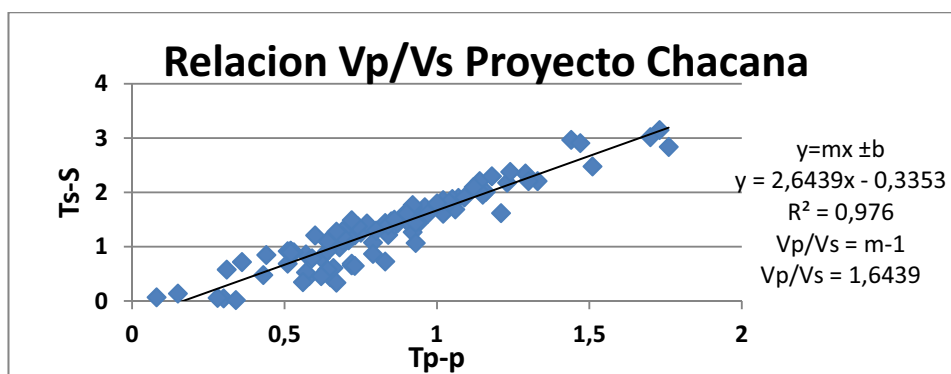
$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 * \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \quad (3.4)$$

Donde  $\sigma$  la relación de Poisson.

La relación de Poisson es usada para caracterizar las propiedades elásticas de un material. Si la resistencia de un material crece hacia el infinito, entonces el coeficiente de Poisson tiende a cero. El rango de  $\sigma$ , por tanto va desde 0 hasta 0,5.

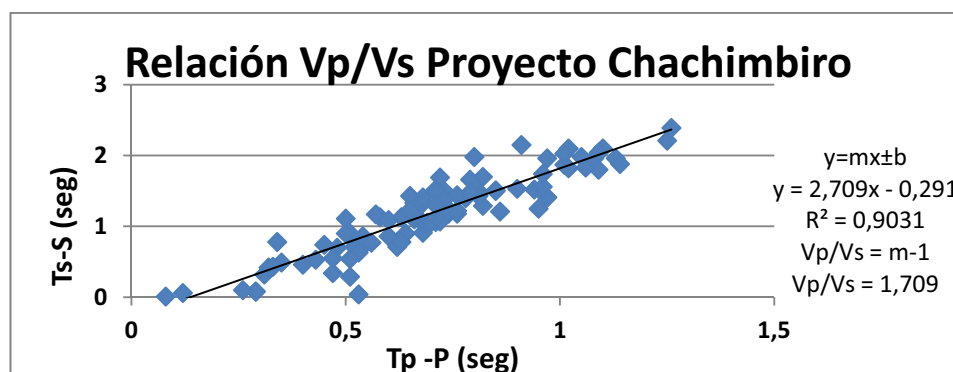
Se denomina un medio poissoniano a un material isotrópico cuyos parámetros de Lamé son iguales  $\lambda = \mu$ , dando un  $\sigma = 0,25$ , y este es el valor de Poisson razonable para muchas rocas de la corteza y el manto.

Para el proyecto Chacana se tiene un  $V_p/V_s$  de 1,64 con un coeficiente de Poisson de 0,206 (Figura 3.3).



**Figura 3.3.-** Diagrama de Wadati con la Relación de  $V_p/V_s$  para el Proyecto Chacana.

Para el proyecto Chachimbiro se tiene un valor de  $V_p/V_s$  de 1,71 y un coeficiente de Poisson de 0,240 (Figura 3.4).



**Figura 3.4.-** Diagrama de Wadati con la Relación de  $V_p/V_s$  para el Proyecto Chachimbiro.

Los datos obtenidos en este estudio nos muestran coherencia con los valores teóricos, los cuales indican que el coeficiente de Poisson es 0,25. Además el que los valores calculados para cada proyecto sean cercanos al valor teórico, indica una alta confiabilidad en las localizaciones presentadas en este estudio.

### **3.3.- CÁLCULO DEL MODELO DE VELOCIDADES PARA LOS PROYECTOS CHACANA Y CHACHIMBIRO**

Los modelos de velocidades representan las variaciones de las velocidades de las ondas de cuerpo en función de la profundidad. Esto provee información de las heterogeneidades de la corteza en el área de estudio.

Los modelos definen datos importantes como son los cambios de velocidades de las ondas de cuerpo, los espesores para cada una de las capas diseñadas y la profundidad de la discontinuidad de Mohorovich (Moho).

Las variaciones de las velocidades de ondas representan casi siempre las variaciones litológicas.

Para el cálculo del modelo de velocidades en los proyectos geotérmicos se trabajó con una base depurada de sismos, los cuales primero fueron localizados con un

modelo general ASW (Absorption of seismic waves), para posteriormente excluir los sismos que presenten altos residuos y/o errores en el picado de fases.

El modelo ASW el cual es un modelo de 5 capas definidas en la Tabla 3.1. (Modificado internamente por el Instituto Geofísico de EMAPQ, 1988;).

**Tabla 3.1.-** Modelo de Velocidades ASW. (Modificado internamente por el Instituto Geofísico de EMAPQ, 1988;).

<b>Modelo de Velocidades ASW</b>		
<b>Profundidad (Km)</b>	<b>Velocidad de la onda P (Km/seg)</b>	<b>Velocidad de la onda S (Km/seg)</b>
0	3,32	1,94
3	5,9	3,45
15	6,2	3,63
30	6,7	3,92
50	8,1	4,74

Los eventos de alta calidad utilizados en el estudio de cada proyecto son 34 para Chacana y 27 eventos para Chachimbiro.

Se obtuvieron modelos de velocidades de una dimensión en la corteza utilizando el programa VELEST (Kissling., 1995). VELEST es un programa que usa una inversión no lineal a partir de las primeras llegadas de las ondas. Calcula el trazo de los rayos desde la fuente hasta el receptor, hallando los rayos directos y refractados que atraviesan un modelo de velocidades 1D. El problema es resuelto por medio de la inversión de la matriz total de amortiguamiento. El programa realiza varios números de iteraciones, las que son elegidas por el usuario hasta encontrar el menor error posible. VELEST no cambia la geometría o espesor de las capas, esto lo hace el analista. El programa cambia el valor inicial de las velocidades para las capas introducidas. (Kissling., 1995).

Las velocidades de partida utilizadas para la ejecución de los modelos de cada uno de los proyectos están basadas en el modelo ASW.

Con los datos del proyecto Chacana se realizaron 15 interacciones de las que la última fue la que presentó el residuo más bajo (Figura 3.5). El modelo de velocidades en esta zona está definido por 5 capas, las que están determinadas en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.-** Modelo de Velocidades para el Proyecto Chacana.

<b>Modelo de Velocidades para Chacana</b>			
<b>Profundidad (Km)</b>	<b>Velocidad de la onda P (Km/seg)</b>	<b>Velocidad de la onda S (Km/seg)</b>	<b>Interpretación de la variación de la litología</b>
0	2,85	1,65	<i>Volcánicos consolidados</i>
3	6,93	4	<i>Basamento Metamórfico</i>
15	6,96	4,02	
30	6,96	4,02	
50	8,1	4,68	<i>Límite de Mohorovich</i>

Para los datos del proyecto Chachimiro se realizaron 19 interacciones obteniendo un modelo de velocidades para la zona de 6 capas descritas en la Tabla 3.3 (Figura 3.6).

**Tabla 3.3.-** Modelo de Velocidades para el Proyecto Chachimiro.

<b>Modelo de Velocidades para Chachimiro</b>			
<b>Profundidad (Km)</b>	<b>Velocidad de la onda P (Km/seg)</b>	<b>Velocidad de la onda S (Km/seg)</b>	<b>Interpretación de la variación de la litología</b>
0	2,42	1,57	<i>Volcánicos no consolidados</i>
1,4	3,9	2,3	<i>Volcánicos consolidados</i>
3,3	6,72	4,03	<i>Corteza Oceánica (Basamento)</i>
25	6,84	4,05	
30	6,85	4,06	
50	8,1	4,82	<i>Límite de Mohorovich</i>

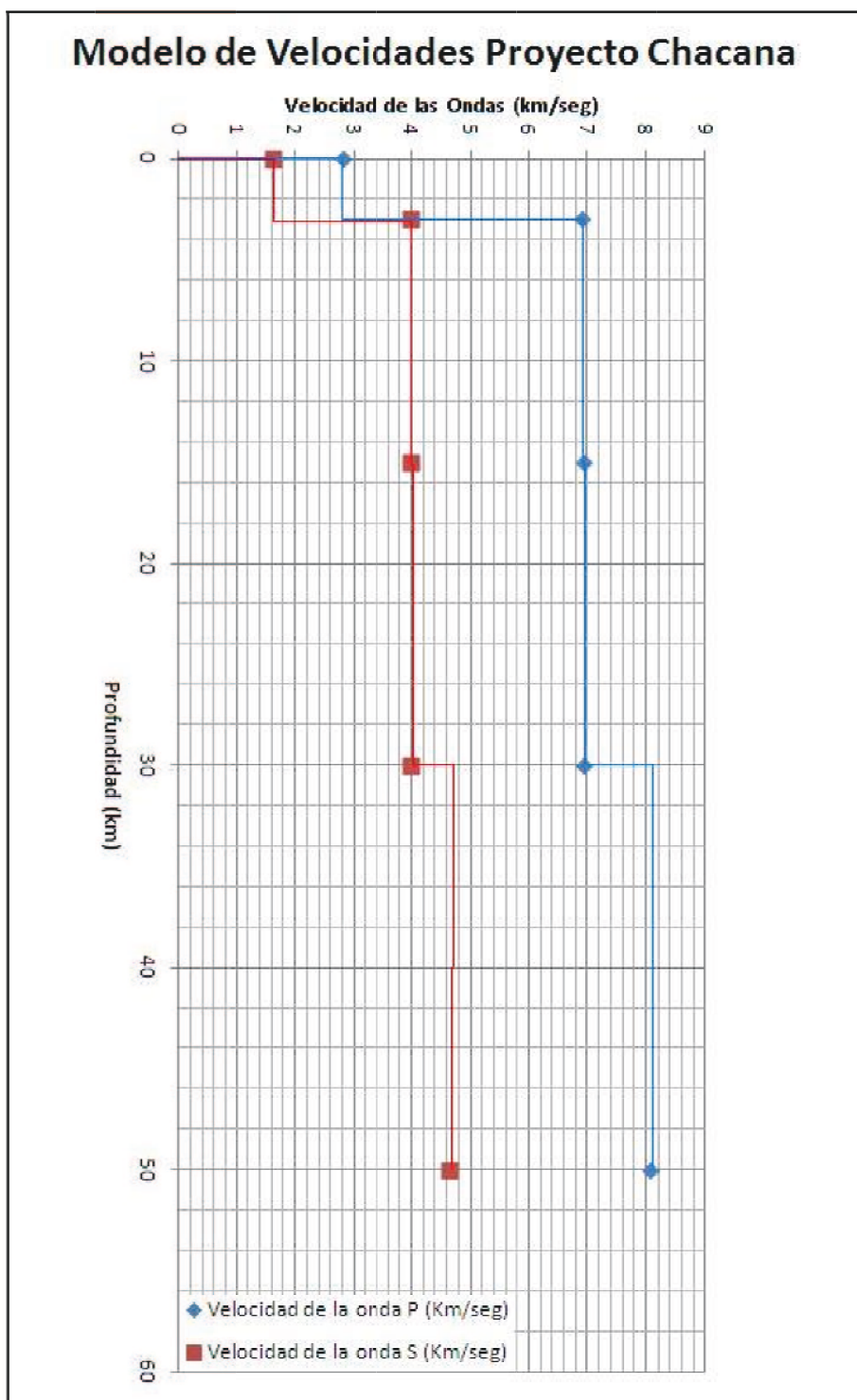


Figura 3.5.- Modelo de velocidades para el proyecto Chacana.

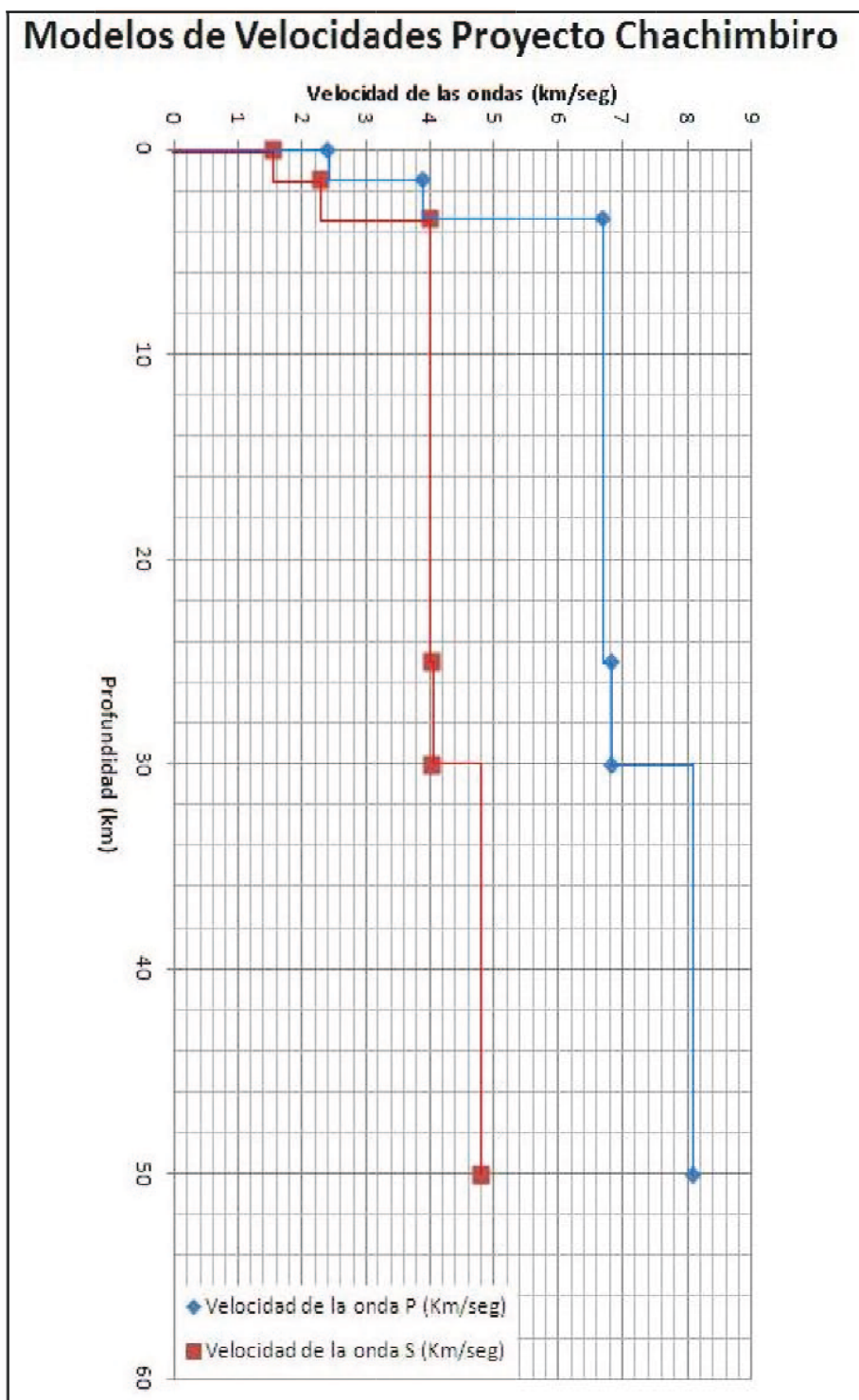


Figura 3.6.- Modelo de velocidades para el royecto Chachimbiro.



### 3.4.- LOCALIZACIÓN DE EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES

La localización de los eventos tectónicos locales es una de las tareas más importantes y prácticas de los estudios sismológicos.

Para localizar un terremoto se debe definir el hipocentro ( $X_0, Y_0, Z_0$ ). El hipocentro es la localización física, que está expresada por la longitud ( $X_0$ ), latitud ( $Y_0$ ) y profundidad ( $Z_0$ ). Mientras que el epicentro es la proyección del hipocentro a la superficie ( $X_0, Y_0$ ).

En la localización de los hipocentros de los eventos tectónicos registrados en las redes temporales instaladas para los dos proyectos, se usó el método de localización por estaciones múltiples, el cual, consiste en marcar los arribos de las ondas en varias estaciones de la red sísmica y sus tiempos son introducidos en programas computacionales como el Rquake (Lees., 2012) y el HYPO71 (Lee y Jahr, 1975). Estos programas usan el método de los mínimos cuadrados; tienen como datos: las coordenadas de las estaciones de la red sísmica, el modelo de velocidades, los parámetros de control, el número de interacciones elegido por el analista y los tiempos de arribos de las ondas P y S.

La localización hipocentral emitida por los programas es la que tiene mejor correlación entre los tiempos de arribo marcados, el tiempo de origen y la distancia del sismo a las estaciones.

En el HYPO 71 (Lee y Jahr, 1975) la calidad de la localización está representada por el RMS (*root mean square*), dado por la raíz cuadrada de la sumatoria de las diferencias entre los tiempos de arribo observados y los tiempos de arribo calculados. (Ver Anexo 3.1 y Anexo 3.2). Para que una localización se considere de buena calidad para este estudio, se determinó que el RMS tiene que ser inferior a 1.0 segundo.

En la lectura de las fases sísmicas, el paquete Rquake presenta mayor claridad, más herramientas y es más amigable con el usuario, por lo que para la identificación de

los tiempos de llegada de las diferentes ondas de los sismos, se utilizarán las fases leídas con este programa y los resultados se exportarán en formato HYPO71.

En el cálculo de los hipocentros se tomó la información de las lecturas de fases obtenidas en Rquake y se transformaron los datos a un formato apto para trabajar con el programa HYPO71. En la localización de hipocentros los dos programas de cálculo no presentan gran diferencia. Se escogió el programa HYPO71 para facilitar el cálculo de los mecanismos focales y porque se tiene una medida cuantitativa del error o RMS, mientras que el Rquake da únicamente una medida cualitativa, que es difícil de interpretar.

Para el área de Chachimbiro se identificaron 388 sismos locales, de los cuales 182 tenían parámetros aceptables para su localización (Figura 3.7), 79 tienen una buena confiabilidad y 27 eventos tectónicos de alta calidad y confiabilidad con los que se trabajó en el cálculo del modelo de velocidades de la zona. (Ver Anexo 3.1).

Se reconocieron en el Proyecto Chacana 176 sismos locales, de los cuales 109 tenían parámetros aceptables para su localización (Figura 3.8), 59 tiene buena confiabilidad y 38 sismos de alta calidad y confiabilidad que fueron utilizados en el cálculo del modelo de velocidades de la zona. (Ver Anexo 3.2).

La calidad de las localizaciones de los eventos sísmicos depende de los modelos de velocidades, las geometrías de las redes temporales instaladas en las zonas de estudio y de las lecturas de los tiempos de arribo de las fases sísmicas.

Con el cálculo de los coeficientes de Poisson obtenidos para cada campo (Chacana 0.21 y Chachimbiro 0.24) podemos dar un carácter confiable a las lecturas de las fases sísmicas.

La configuración de las redes sísmicas determinaron resoluciones apropiadas para que los sismos que se ubican en el centro de la red, por lo que estos presentan los menores errores, y una localización de mayor calidad, tanto en el plano de superficie como en la profundidad. Los sismos que se ubican fuera de las redes temporales

presentan RMS ligeramente más altos, debido a una menor resolución y a la orientación NE-SW de las geometrías de las redes. Ver anexo 3.1 y 3.2.

En general revisando todos los parámetros que tienen un rol en la localización de los eventos sísmicos, se considera que las ubicaciones de los sismos para los dos proyectos son confiables.

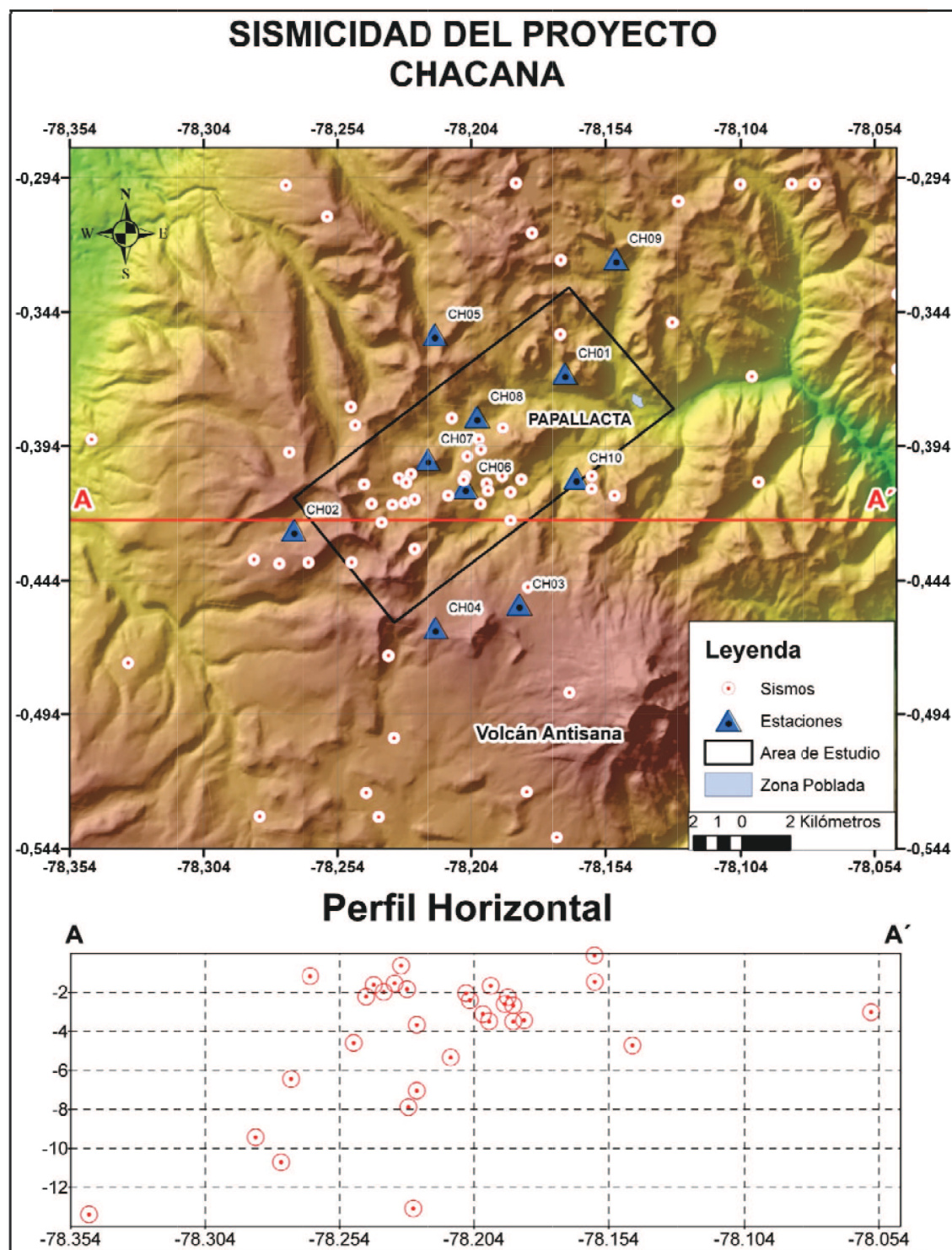


Figura 3.7.- Mapa de sismicidad para el proyecto Chacana. El ancho del perfil A-A' es de 5.5 km.

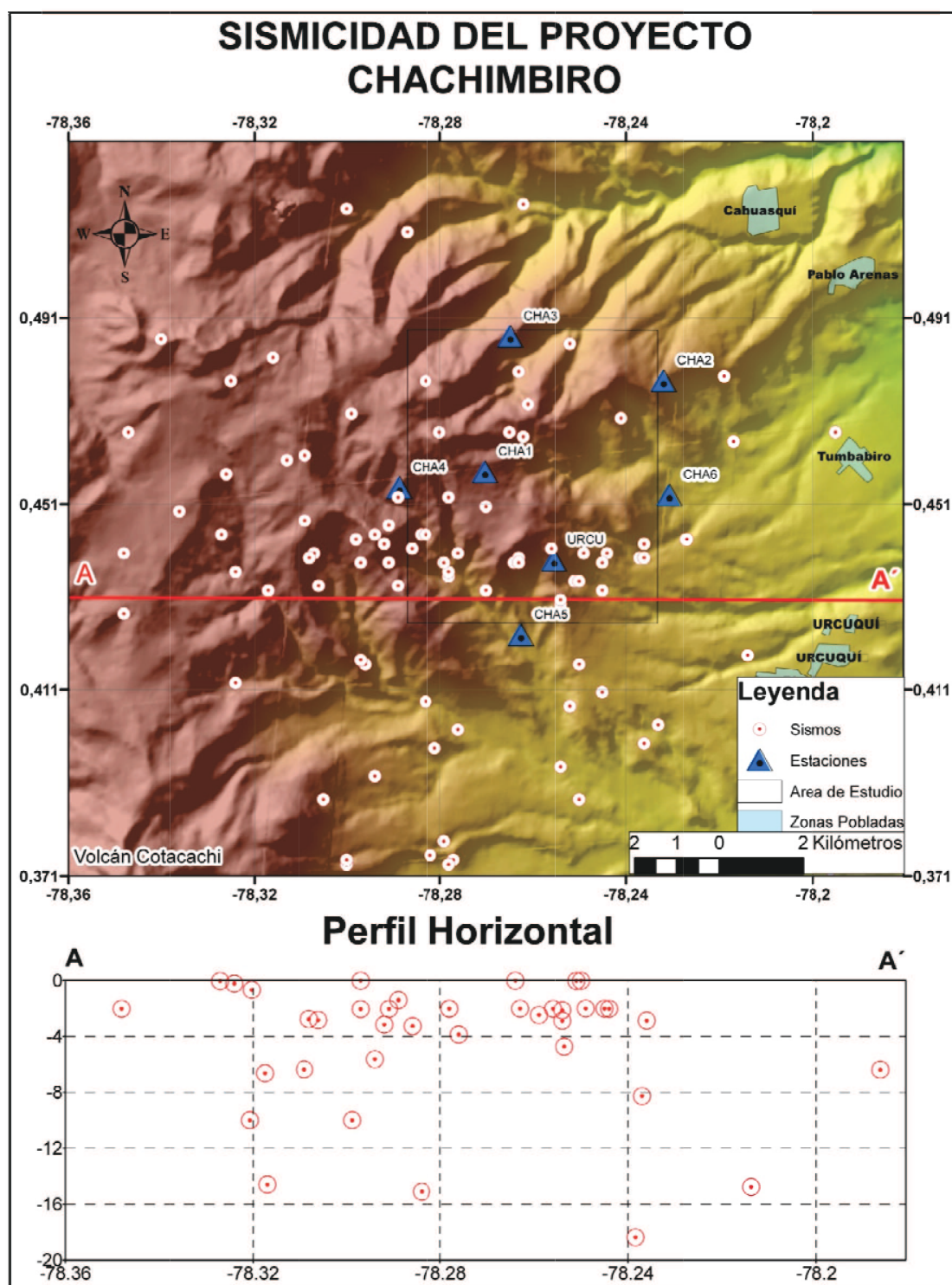


Figura 3.8.- Mapa de sismicidad para el proyecto Chachimbiro. El ancho del perfil A-A' es de 4.4 km.

## **CAPÍTULO 4.- CÁLCULO DE LA MAGNITUD Y VALOR $b$ DE LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES**

### **4.1.- CÁLCULO DE MAGNITUD PARA LOS EVENTOS TECTÓNICOS LOCALES**

Uno de los intereses primordiales en la sismología ha sido conocer el tamaño de los sismos.

Antiguamente se medía el tamaño de los sismos en función de una escala de intensidad, que tiene como base a los efectos que produjo el movimiento sísmico.

A lo largo de la historia se utilizaron varias escalas de intensidades, pero la más aceptada hoy en día es la Escala de Mercalli Modificada. Esta escala expresa las intensidades sísmicas se expresan en números romanos del I al XII. El primer grado indica que el sismo no fue sentido, del segundo al quinto, se refiere a sismos sentidos por pocos hasta sismos sentidos por casi todos. El sexto y el séptimo corresponden a movimientos que ocasionan leves hasta grandes daños de las estructuras sin daños en la naturaleza. Los dos últimos grados se refieren a sismos en los cuales hay daños desde pequeños a muy considerables incluso en la naturaleza.

El concepto de magnitud está diseñado para medir el tamaño de los sismos en base a una corrección de amplitud por la dispersión geométrica y la atenuación (Stein y Wysession, 2003). Es un número logarítmico arbitrario, proporcional al tamaño del evento con una escala abierta entre 0 y 9 grados. Los cálculos de magnitud están basados en la definición original de Richter, quien concluyó que un sismo de magnitud 3 tiene una amplitud máxima de 1 mm en un sismógrafo Wood-Anderson a una distancia epicentral de 100 km (Havskov. y Ottemöller., 2010).

La determinación de las magnitudes de los eventos sísmicos es un procedimiento importante en el tratamiento de datos, ya que esto permite cuantificar el tamaño de

los terremotos sobre una base instrumental, la energía relacionada con los sismo y aportan información para la predicción del riesgo sísmico.

Existen varias ecuaciones que definen magnitudes utilizando diferentes parámetros.

#### **4.1.1 MAGNITUD DE CODA O DE DURACIÓN $M_c$**

Es usada solo para sismos locales y con magnitudes menores 5. La ecuación de esta magnitud se basa en la duración de la coda del evento en segundos.

#### **4.1.2 MAGNITUD DE LAS ONDAS SUPERFICIALES $M_s$**

Esta ecuación de magnitud usa la máxima amplitud de las ondas superficiales con frecuencias que se encuentran alrededor de los 20 segundos. Esta magnitud es apropiada para sismos con distancias epicentrales mayores a 600 y 1000 km y menores a 160 km. (Havskov y Ottemöller., 2010).

#### **4.1.3 MAGNITUD DE ONDAS DE CUERPO $M_b$**

Introducida por Gutenberg y Richter (1936) y posteriormente modificada por Gutenberg (Gutenberg, 1945). La ecuación toma como base las amplitudes de las ondas de cuerpo por lo cual es ampliamente utilizada en sismos con distancias telesísmicas.

#### **4.1.4 MAGNITUD DE MOMENTO $M_w$**

Esta magnitud se basa principalmente en medir la relación de la energía total liberada por el sismo y el momento tensor. Esta magnitud es utilizada para sismos de gran tamaño, ya que no satura en valores altos (Havskov y Ottemöller 2010).

#### **4.1.5 MAGNITUD LOCAL $M_l$**

Fue establecida para medir terremotos en un área en particular y está definida por la ecuación 4.1. Se utilizó esta escala de magnitud ya que fue diseñada para calcular los sismos ocurridos dentro de un área en particular, como es nuestro caso. Además la escala de la magnitud local se ajusta bien a sismos menores a 6,9°.

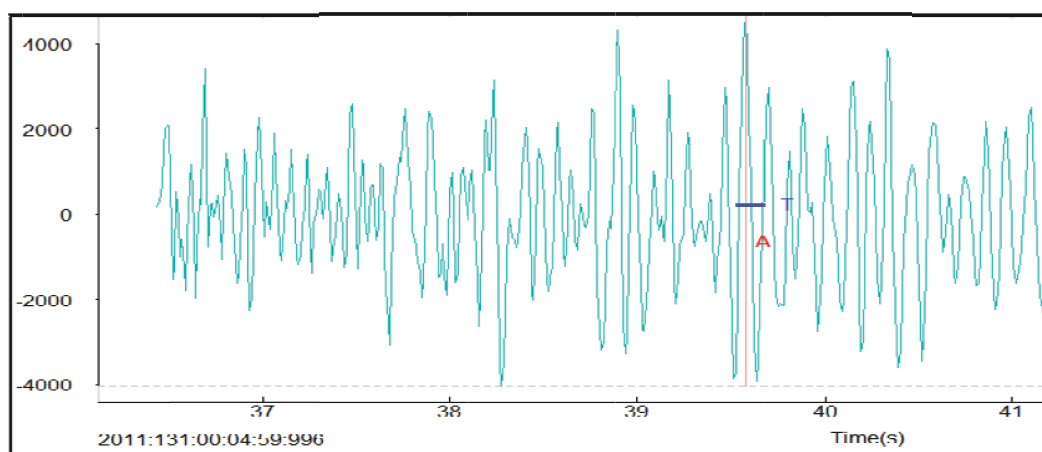
(4.1)

Donde  $A_{\max}$  es el valor de la amplitud máxima pico a pico en el evento,  $\Delta x$  es la distancia del epicentro a la estación y  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son constantes.

Se realizó el cálculo la magnitud local de 146 sismos para el proyecto Chachimbiro y 74 sismos para el proyecto Chacana. Los criterios para la selección de los eventos para el cálculo de las magnitudes se basó en:

- El evento debe poseer un número igual o mayor a 4 fases bien reconocidas, para su localización hipocentral.
- Un bajo nivel del ruido y una buena señal de las ondas del terremoto.

Para cada uno de los sismos seleccionados se midieron los parámetros de amplitud máxima pico a pico, el periodo asociado a la amplitud máxima y la distancia entre la estación y el epicentro del evento sísmico, para cada una de las estaciones tal como se indica en la Figura 4.1.



**Figura 4.1.-** Medida de la amplitud y el periodo del sismo de mayo 20 2011 a las 04:59 UTC.

Además de los sismos locales se escogieron 10 sismos regionales localizados y calculados con el sistema seiscomp3. Los eventos fueron relativamente cercanos a la zona de estudio con magnitudes locales mayores a 3.5 y menores a 5; para estos



sismos se midió la amplitud máxima pico a pico, el periodo de la amplitud máxima, y la distancia epicentral a las estaciones de las redes temporales de los proyectos geotérmicos.

Con los datos de los eventos regionales, se establecieron dos matrices de datos conocidos que son G y D para poder calcular la matriz modelo de los coeficientes M.

Entonces siendo la ecuación  $M_{LV} = a \cdot \log(A_{max}) + b \cdot \log(\Delta x) + c \cdot \Delta x + d$ , se generan las matrices G, D y M, las cuales estarían definidas de la siguiente forma:

Matriz G.- Matriz de 53x4, formulada con datos de amplitud y distancia en las estaciones temporales de los proyectos Chacana, Chachimbiro y de 10 sismos regionales localizados con el software Seiscomp3.

Matriz D.- Matriz de 53x1, consta de los valores de  $M_{LV}$  para los 10 sismos regionales calculados con el sistema seiscomp3.

Matriz M.- Matriz de 4x1, son los coeficientes que se buscan para la ecuación.

**Tabla 4.1.-** Matrices de datos para el cálculo del coeficiente de correlación.

<b>G</b>				<b>D</b>
<i>Log (A<sub>i</sub> max)</i>	<i>Log (Δx)</i>	<i>Δx</i>	<i>1</i>	<i>ML sc3</i>
0,08	2,23	171,31	1,00	3,9
0,08	2,23	167,95	1,00	3,9
0,32	2,21	163,88	1,00	3,9
0,18	2,24	172,76	1,00	3,9
-0,76	2,22	167,25	1,00	5,8
-0,88	2,19	154,57	1,00	5,8
-0,99	2,21	162,93	1,00	5,8
-0,93	2,20	159,41	1,00	5,8
-1,32	2,21	163,25	1,00	5,8
-0,62	2,21	161,98	1,00	5,8
-0,94	2,23	170,55	1,00	5,8

-0,17	1,99	96,98	1,00	3,5
0,36	2,00	99,45	1,00	3,5
-0,01	2,02	104,99	1,00	3,5
0,08	2,02	104,92	1,00	3,5
0,29	2,00	99,71	1,00	3,5
-0,24	1,99	98,16	1,00	3,5
0,00	1,99	97,13	1,00	3,5
0,13	1,97	92,92	1,00	3,5
-0,83	2,19	153,55	1,00	3,6
-0,40	2,15	140,66	1,00	3,6
-0,58	2,17	146,52	1,00	3,6
-0,56	2,16	143,05	1,00	3,6
-1,01	2,19	153,12	1,00	3,6
0,58	2,23	171,09	1,00	4,6
0,39	2,25	177,78	1,00	4,6
0,42	2,24	174,35	1,00	4,6
-0,16	2,24	174,80	1,00	4,6
-0,47	2,25	177,96	1,00	4,6
0,16	2,26	181,48	1,00	3,8
0,45	2,26	181,14	1,00	3,8
0,24	2,26	183,41	1,00	3,8
0,29	2,27	184,96	1,00	3,8
0,18	2,27	185,85	1,00	3,8
0,51	2,48	303,80	1,00	4,19
-0,19	2,49	307,82	1,00	4,19
0,48	2,49	306,71	1,00	4,19
-0,26	2,48	304,95	1,00	4,19
-0,54	2,48	302,21	1,00	4,19
0,16	2,21	160,87	1,00	3,8

0,06	2,21	162,08	1,00	3,8
0,06	2,22	165,27	1,00	3,8
-0,17	2,22	164,94	1,00	3,8
0,23	1,16	14,55	1,00	3,6
0,42	1,26	18,40	1,00	3,6
0,42	1,26	18,22	1,00	3,6
-0,22	1,32	20,75	1,00	3,6
0,62	1,34	21,67	1,00	3,6
-0,25	2,22	166,16	1,00	3,9
-0,31	2,23	170,01	1,00	3,9
-0,23	2,23	169,53	1,00	3,9
-0,24	2,24	173,25	1,00	3,9
0,00	2,24	172,20	1,00	3,9

<b>M</b>
a
b
c
d

Donde:

$$\mathbf{G} * \mathbf{M} = \mathbf{D} \quad (4.2)$$

Multiplicando por la matriz transpuesta de G:

$$\mathbf{G}^T * \mathbf{G} * \mathbf{M} = \mathbf{G}^T * \mathbf{D} \quad (4.3)$$

Por la matriz inversa de  $\mathbf{G}^T * \mathbf{G}$ :

$$(\mathbf{G}^T * \mathbf{G})^{-1} * \mathbf{G}^T * \mathbf{G} * \mathbf{M} = (\mathbf{G}^T * \mathbf{G})^{-1} * \mathbf{G}^T * \mathbf{D} \quad (4.4)$$

Siendo  $(\mathbf{G}^T * \mathbf{G})^{-1} * \mathbf{G}^T * \mathbf{G} = 1$ , Entonces:

$$\mathbf{M} = (\mathbf{G}^T * \mathbf{G})^{-1} * \mathbf{G}^T * \mathbf{D} \quad (4.5)$$

Resolviendo la ecuación 4.5 con los datos de los 10 sismos regionales escogidos para la regresión lineal se obtiene la siguiente matriz de los coeficientes a, b, c y d respectivamente es:

**Tabla 4.2.-** Matrices coeficiente de correlación.

<b>M</b>
0,7883
0,2779
0,0014
2,879

A partir de los coeficientes encontrados con la regresión lineal se obtiene la ecuación 4.6.

$$\mathbf{M}_{LV} = 0,7883 * \log(\mathbf{Amax}) + 0,2779 * \log(\Delta\mathbf{x}) + 0,0014 * \Delta\mathbf{x} + 2,8709 \quad (4.6)$$

Con la ecuación 4.6 se calculan los valores de magnitudes en los dos proyectos geotérmicos para los sismos locales en cada una de las estaciones instaladas y posteriormente se procede a calcular el promedio de magnitudes en las distintas estaciones para obtener un valor de magnitud único que represente al evento sísmico. Ver anexo 4.1 y 4.2.

Para comprobar que el ajuste de la regresión lineal es suficiente, se calculó el coeficiente correlación  $r$  con la ecuación 4.7 y los datos expuesto en la Tabla 4.1.

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{SDML}}{\mathbf{SD SML}} \quad (4.7)$$

**Tabla 4.3.-** Matrices de datos de correlación y de resultado de la inversión.

<b>G</b>				<b>D</b>	<b>M</b>
0,08	2,23	171,31	1	3,9	3,795
0,08	2,23	167,95	1	3,9	3,785
0,18	2,24	172,76	1	3,9	3,873
0,36	2,00	99,45	1	3,5	3,852
0,08	2,02	104,92	1	3,5	3,643
0,29	2,00	99,71	1	3,5	3,794
0,13	1,97	92,92	1	3,5	3,649
0,45	2,26	181,14	1	3,8	4,110
0,06	2,21	162,08	1	3,8	3,759
0,23	1,16	14,55	1	3,6	3,399
0,42	1,26	18,40	1	3,6	3,580
0,42	1,26	18,22	1	3,6	3,575
0,42	1,26	18,22	1	3,6	3,575
0,00	2,24	172,20	1	3,9	3,736

Donde **SDML** es la sumatoria de todas las magnitudes conocidas de los sismos regionales obtenidas con el sistema Seiscomp3, más las magnitudes de los sismos regionales obtenidos con la ecuación a través de la regresión lineal, y todo dividido para el número de datos. **SD** es la sumatoria de todos los datos de la matriz D elevada al cuadrado y dividida para el número de datos. **SML** es la sumatoria de todos los datos de la matriz ML elevada al cuadrado y dividida para el número de datos. Entonces:

$$r = \frac{3,989}{2,707 * 2,735}$$

$$r = 0,54$$

El valor del coeficiente de correlación  $r$  debe encontrarse entre valores -1 a 1 para que la regresión sea aceptable, un valor de 1 indicaría que la regresión lineal es exacta y un valor de 0 indica la no existencia de relación lineal estocástica.

El valor de  $r$  obtenido para la regresión lineal de la ecuación de magnitudes es 0.54; es positivo debido a que la recta es creciente y el valor intermedio se justifica porque las medidas de amplitudes y periodos fueron tomadas en crudo, es decir no se aplicaron filtros, no se realizaron correcciones de sitio ni de efectos de propagación. Ver anexo 4.1 y 4.2.

#### **4.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS DE LOS PROYECTOS GEOTÉRMICOS CHACANA Y CHACHIMBIRO POR SU MAGNITUD**

En 1964 Hagiwara describió una clasificación de los sismos en base a la magnitud establecida por Richter.

**Tabla 4.4.-** Clasificación de eventos por magnitud. (Hagiwara., 1964).

<b>MAGNITUD (M)</b>	<b>CLASIFICACION</b>
$M < 1$	Ultra-microsismo
$1 \leq M \leq 3$	Microsismo
$3 \leq M \leq 5$	Sismo pequeño
$5 \leq M \leq 7$	Sismo moderado
$M \geq 7$	Sismo mayor

Es importante tomar en cuenta el rango dinámico de la instrumentación utilizada en el registro de los sismos y las ecuaciones de escalas de magnitudes diseñadas para estudiar los terremotos. Las magnitudes de los sismos de los campos geotérmicos de Chacana y Chachimbiro están entre los 1.9 y 3.8, ubicando los eventos como microsismos y sismos pequeños en la clasificación de Hagiwara (1964); tal como se especifica en la Tabla 4.4. El 63% corresponde a microsismos y 37% corresponde a

sismos pequeños para la zona de Chachimbiro, y para Chacana el 72% corresponde a microsismos y 28% corresponde a sismos pequeños.

Se observaron sismos de menor tamaño que podrían estar en la clasificación de ultra-microsismos, pero no fueron localizados ni calculados debido a que las fases P y S no eran claras por la relación entre la señal y el ruido.

#### **4.3.- CÁLCULO DEL VALOR $b$ POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS**

EL cálculo del valor  $b$  es importante, ya que nos permite tener una idea del nivel de fracturamiento de las zonas de estudios, la cantidad de esfuerzos que son capaces de acumular y en el caso de los estudios geotérmicos permite relacionarlo con el incremento del grado geotérmico.

Los sismos más pequeños ocurren con mayor frecuencia que los sismos más grandes. Esta expresión puede ser cuantificada en términos de una relación de frecuencia magnitud. Gutenberg y Richter notaron que esta relación obedece a la relación logarítmica expresada en la ecuación 4.8.

$$\log_{10} N = a - bM \quad (4.8)$$

El método de los mínimos cuadrados consiste en ajustar los valores de las magnitudes a una recta:

$$y = a - bx \quad (4.9)$$

la cual está en función de la densidad de los datos que existan en una zona determinada. (Press et al, 1987).

Los valores de las constantes  $a$  y  $b$  (ecuación 4.9) son calculados a través del diagrama  $\log(N>m)$  vs  $m$ , el cual es realizado con los valores de las magnitudes ( $m$ ) y el logaritmo del número de eventos observados a una determinada magnitud.

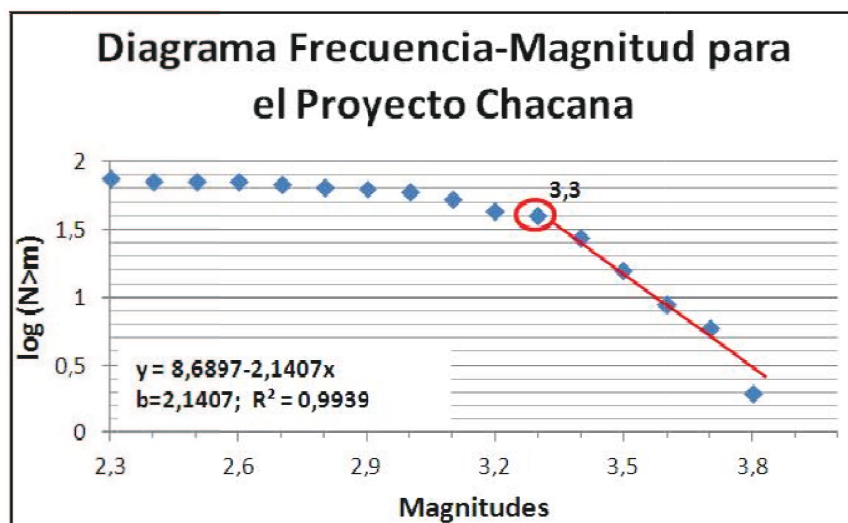
El valor  $b$  de la recta es la pendiente de la recta, el mismo que es inversamente proporcional a la magnitud media. El valor  $b$  se encuentra entre 0.66 y 1.0 para muchas parte de la corteza, pero se han encontrado valores mayores a 3.0 en zonas con alta actividad volcánica, donde los esfuerzos cambian continuamente según la tasa de material intruído.

Para el proyecto Chacana las matrices utilizadas para el cálculo de  $b$  se encuentran expresadas en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5.-** Valores de magnitudes y  $\log(N>M)$  para el proyecto Chacana

<b>Magnitud</b>	<b>Log(N&gt;m)</b>
2,3	1,87506126
2,4	1,86332286
2,5	1,86332286
2,6	1,8573325
2,7	1,83250891
2,8	1,81954394
2,9	1,79934055
3	1,77815125
3,1	1,73239376
3,2	1,64345268
3,3	1,60205999
3,4	1,44715803
3,5	1,20411998
3,6	0,95424251
3,7	0,77815125
3,8	0,30103





**Figura 4.2.-** Diagrama Frecuencia – Magnitud para los eventos tectónicos del proyecto Chacana.

De la Figura 4.2 se obtiene que el catalogo de magnitudes es completo desde la magnitud mínima de homogeneidad  $M_0 = 3.3$  y el valor del parámetro  $b$  es de **2.1**. Este valor indicaría una zona muy fracturada, incapaz de resistir los esfuerzos necesarios para disparar eventos de gran tamaño. Además Warren y Latham (1970) proponen que pueden existir valores anómalamente altos en zonas con gradientes termales elevados al normal en la corteza terrestre. Los valores altos de  $b$  son condiciones necesarias pero no suficientes en las proximidades a un cuerpo magmático. (Warren & Lattam, 1970).

En el proyecto Chachimbiro se obtuvieron las matrices expresadas en la Tabla 4.6 para el cálculo de  $b$ .

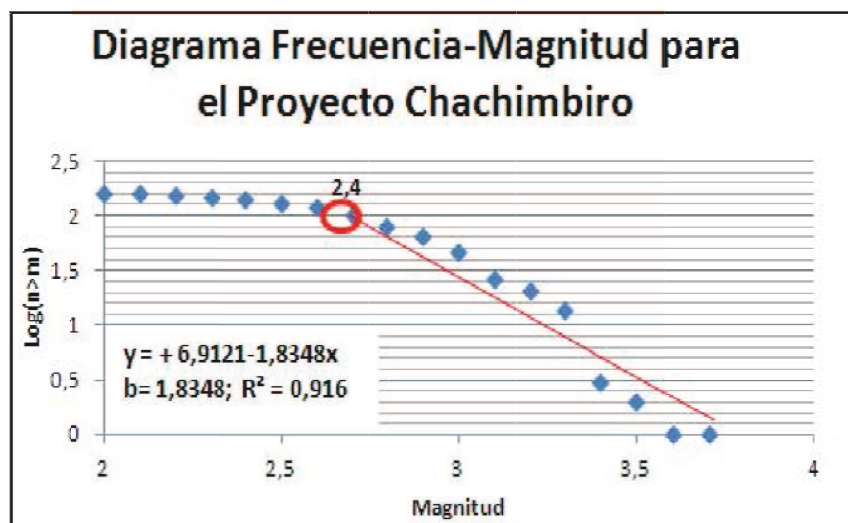
**Tabla 4.6.-** Valores de magnitudes y  $\log(N>M)$  para el proyecto Chachimbiro.

Magnitud	Log(N>m)
2	2,20951501
2,1	2,20682588
2,2	2,19589965
2,3	2,16731733
2,4	2,14612804

2,5	2,12057393
2,6	2,08635983
2,7	2,00860017
2,8	1,89762709
2,9	1,81291336
3	1,67209786
3,1	1,43136376
3,2	1,32221929
3,3	1,14612804
3,4	0,47712125
3,5	0,30103
3,6	0
3,7	0

De la Figura 4.3 se obtiene los valores de  $M_0 = 2.4$  y parámetro  $b$  es de **1.8**. Este valor indicaría una zona muy fracturada al igual que Chacana e implica que el área no tiene mucha capacidad de resistir los esfuerzos grandes: Además el valor alto de  $b$  podría sugerir un gradiente termal elevado en comparación de otras zonas de la corteza terrestre.

En las relaciones entre  $\log(N>M)$  y magnitudes expresadas en las Figuras 4.2 y la 4.3 para cada proyecto, se observa que no hay una relación completamente lineal a partir del valor de  $M_0$ . Esto se puede deber a dos razones: la primera es que la ley de Gutenberg-Richter no se ajusta adecuadamente en ambientes volcánicos y/o geotérmicos, y la segunda es debido a que los datos no son completos por los pocos meses de investigación en cada área de estudio. Además en los cálculos de  $b$  para las dos zonas de prospección se tienen valores de  $R^2$  cercanos a uno, por lo tanto se demuestra que los cálculos y los valores son aceptables.

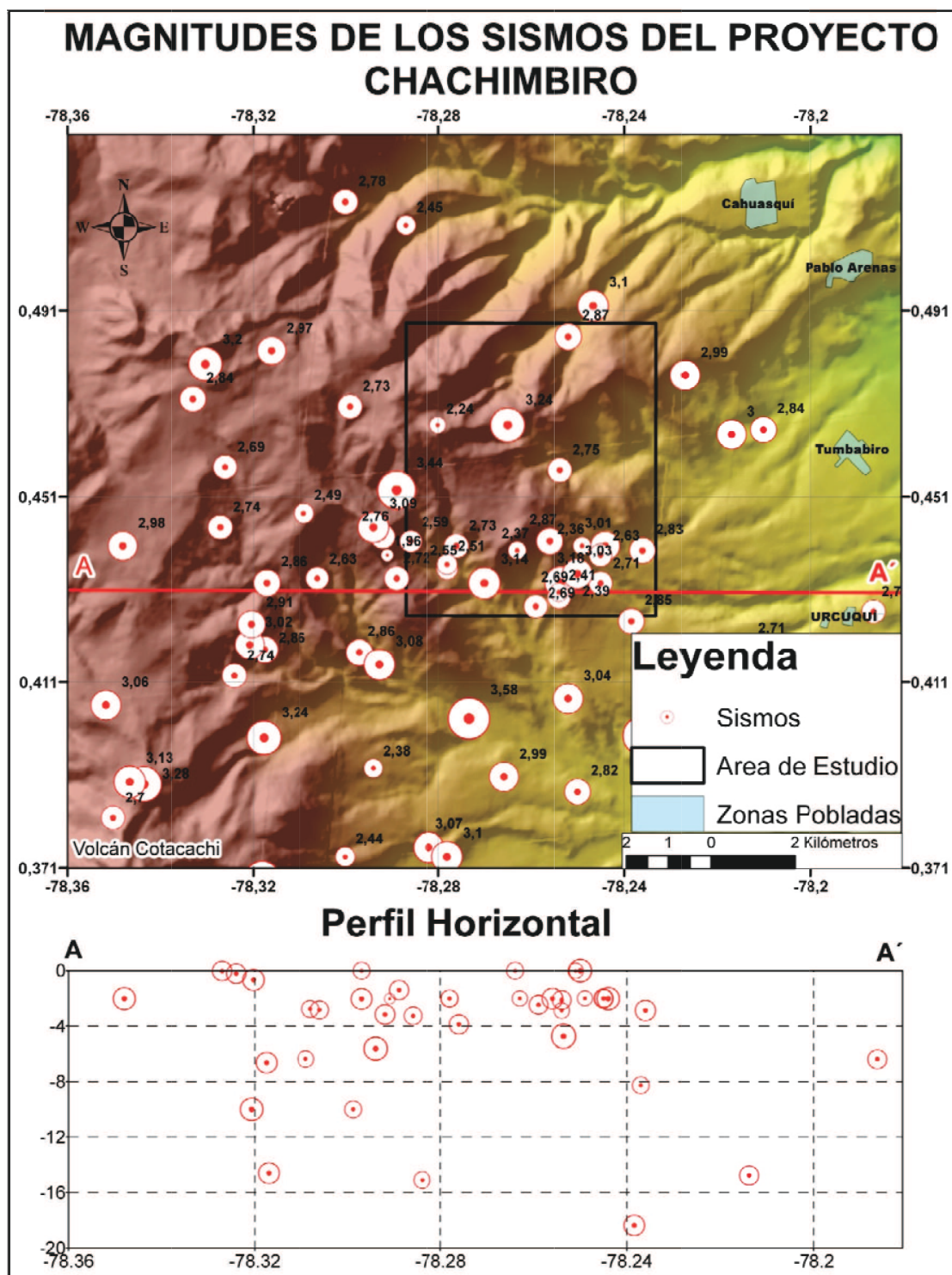


**Figura 4.3.-** Diagrama Frecuencia – Magnitud para los eventos tectónicos del proyecto Chachimbiro.

Las magnitudes en el proyecto Chacana muestran una agrupación de los sismos más grandes en el centro del área del proyecto, aunque los dos sismos de magnitud 3.5 se ubican en el límite sur la caldera. (Figura 4.4).

En el proyecto Chachimbiro se observa que las magnitudes mayores ocurren en la parte sur, fuera del área del proyecto y a profundidades superiores a los 10 km de profundidad. Se nota una fuerte concentración en las profundidades del volcán Cotacachi. (Figura 4.5).





**Figura 4.5.-** Mapa de magnitudes para los sismos del Proyecto Chachimbiro. El ancho del perfil A-A' es de 4.4 km.

## **CAPÍTULO 5.- CÁLCULO DE MECANISMOS FOCALES, ESFUERZOS DOMINANTES E IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE FRACTURAS Y FALLAS ACTIVAS**

### **5.1.- INTRODUCCIÓN**

Los mecanismos focales son el resultado del análisis de las formas de onda generadas por un sismo y registradas en un cierto número de sismógrafos. Un mecanismo focal contempla la orientación de la falla y la dirección del deslizamiento, lo que puede permitir en algunos casos diferenciar el tipo de falla involucrada en el sismo y el régimen de esfuerzos que intervienen en la región. (Cronin, 2008).

Para la determinación de mecanismos focales, la sismología se basa en los patrones de radiación que emiten las fuentes sísmicas. Las ondas sísmicas tienen diferentes amplitudes y polaridades en diferentes direcciones, lo que depende del mecanismo de fallamiento, ubicación del origen del evento y ubicación de la estación sísmica. Estas propiedades son usadas para el cálculo de mecanismos focales. (Havskov y Ottemöller, 2010).

Un método muy avanzado para el cálculo de los mecanismos focales toma en cuenta la forma de onda completa con modelos de inversión, proporcionando información de localización hipocentral, momento sísmico y magnitud. (Havskov y Ottemöller, 2010).

### **5.2.- CÁLCULO DE MECANISMOS FOCALES PARA LOS SISMOS DE LOS PROYECTOS CHACANA Y CHACHIMBIRO**

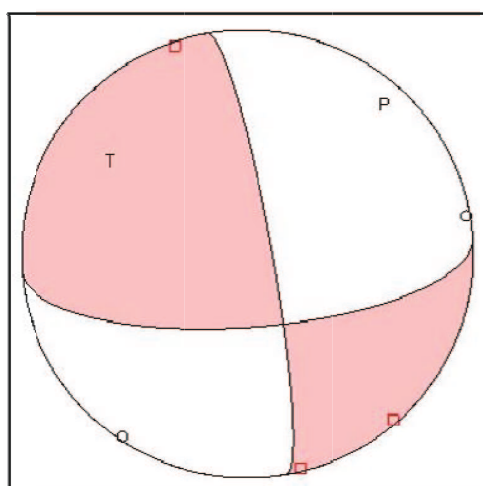
El método más común para el cálculo de mecanismos focales, y el cual será utilizado en este estudio es el de primeros arribos, en esta técnica se utilizan las polaridades de los arribos de las ondas P y se traza la orientación de cada rayo desde el foco a la estación, para esto se ubica una esfera unitaria en el origen, y se determina la orientación del rayo que arriba a cada una de las estaciones. Las polaridades de las



sirve para graficar los mecanismos focales en base a los azimut de las polaridades identificadas para cada evento.

La aplicación bb dibuja un diagrama tipo pelota de playa, la cual es la proyección sobre un plano horizontal de la mitad de una esfera imaginaria que rodea la fuente del sismo. El plano de falla es descrito por la proyección de una línea que corta la esfera.

El diagrama de pelota de playa representa también la orientación del campo de esfuerzos predominantes. (Figura 5.2). En el esquema los cuadrantes rosados contienen los ejes de tensión y los blancos contienen el eje de presión.

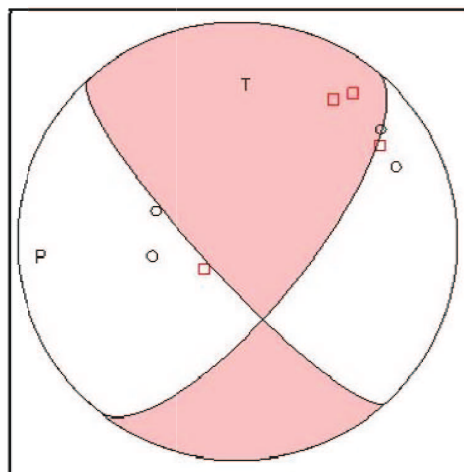


**Figura 5.2.-** Mecanismo focal inverso del evento del día 12 de noviembre del 2011 del proyecto Chacana. P1: azimut 355.00, inclinación 80.00, ángulo de desplazamiento 150.00; P2: azimut 85.73, inclinación 60.50, ángulo de desplazamiento 11.51; eje de compresión: dirección 41.06, incl. 13.03 y eje de tensión: dirección 303.96, incl. 29.0.

Para el proyecto Chacana (Anexo 5.1), se calcularon mecanismos focales en 8 eventos sísmicos, de los cuales, 4 tienen orígenes cercanos, con lo que se puede asumir que su fuente de origen es la misma y las características similares, aptas para realizar mecanismos focales compuestos. Dos mecanismos focales tienen componente normal, el resto de sismos muestran un carácter transcurrente con



componente inversa. En la mayor parte de mecanismos focales el esfuerzo principal presenta una dirección N30°E. (Figura 5.2).



**Figura 5.3-** Mecanismo focal compuesto del proyecto Chachimbiro. P1: azimut 39.00, inclinación 61.00, ángulo de desplazamiento 163.00; P2: azimut 137.43, inclinación 75.18, ángulo de desplazamiento 30.10; eje de compresión: dirección 265.74 incl. 9.32 y eje de tensión: dirección 1.53 incl. 31.58.

En el Proyecto Chachimbiro (Anexo 5.2), se calcularon los mecanismos focales de 8 eventos, 3 son cercanos por lo que se asumió que la fuente generadora es la misma, además tuvieron similares características para realizar mecanismos focales compuestos. Mientras que la mayoría de los mecanismos focales calculados para este proyecto muestran un carácter dextral con componente inverso (Figura 5.3), el evento del 2011/06/21 a las 00h33 es netamente inverso y solo el evento del 2011/05/12 a las 20h28 presenta carácter transcurrente con una muy leve componente normal y los esfuerzos principales predominan en dirección E-W. Ver anexo 5.2

### **5.3.- CÁLCULO DE ESFUERZOS DOMINANTES POR EL MÉTODO DE RIGHT DIHEDRA**

Uno de los métodos más usados para el cálculo de los esfuerzos es el Right Dihedra, el cual fue descrito por (Angelier . y Mechler., 1977). El método consiste en colocar

un plano perpendicular al movimiento de la falla dividiendo el conjunto en cuatro diedros o cuadrantes, de los cuales dos estarán en extensión y dos en compresión; la orientación del eje de tensión máxima está limitada al cuadrante de presión, mientras que el eje de menor esfuerzo está restringido al cuadrante de tensión. Para la determinación de los esfuerzos principales en los prospectos se usó el programa T-Tecto 3.0 (Zalohar., 2012), el cual contiene la herramienta para el cálculo de esfuerzos principales con el método Right Dihedra.

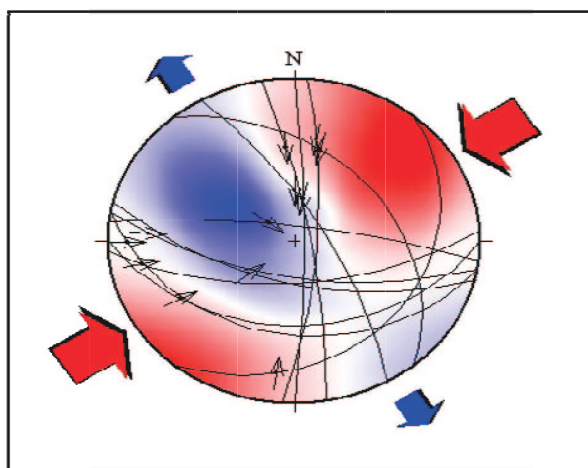
Corredor (2003) realizó un análisis de los esfuerzos mayores y distribución de la deformación continental a partir del análisis del momento tensor de sismos con magnitudes superiores a 5. Los resultados determinan un eje de compresión este-noreste, directamente relacionado con una transpresión dextral.

En el 2009 Segovia y Alvarado estudiaron la sismicidad y los campos de esfuerzos en el Ecuador, los resultados definen un eje de compresión variable NE-SE y para el Callejón Interandino los valores son menos variables. Los valores promedios se pueden atribuir a la compresión que ejerce la placa de Nazca contra la Sudamericana aproximadamente en dirección E-O.

Para el análisis de datos del proyecto Chacana se utilizaron todos los planos de mecanismos focales, los valores para el eje de presión son  $N58^{\circ}$  y para el eje de tensión es  $N327^{\circ}$ . Se nota una rotación de  $48^{\circ}$  en sentido anti-horario (Figura 5.4), de los esfuerzos en Chacana con respecto a lo encontrado en Chachimbiro y al valor del esfuerzo promedio encontrado. (Segovia y Alvarado., 2009).

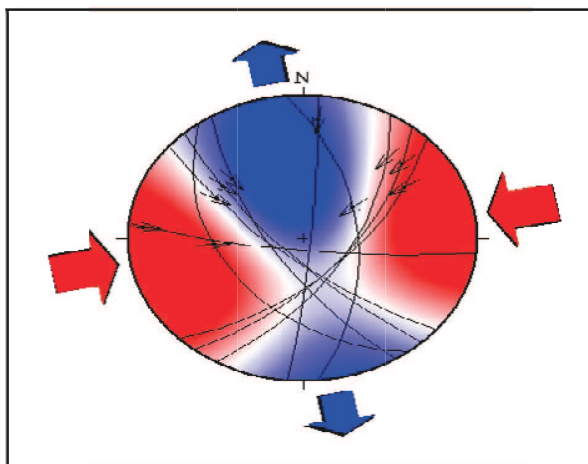
La variación encontrada en el área de Chacana quizá muestra una interacción de los esfuerzos regionales con los generados por la actividad asociada al volcán Antisana, desde el 2002, también puede verse por la gran fractura denominada el Rift de Chacana descrita por SYR, en el 2012. Además se debe tomar en cuenta que Chacana se encuentra ubicada más al SE, por tanto podría mostrar un empuje distinto al de Chachimbiro, el cual se ubica en el centro del empuje del Bloque Nor-andino.

Debido a la variación en los esfuerzos en esta área se realizó una estadística retirando uno por uno los planos de los mecanismos focales para analizar cual las variaciones en la suma de los esfuerzos al retirar dichos campos, pero el esfuerzo resultante siempre coincidieron con una variación de entre 40° y 48°. Figura 5.4.



**Figura 5.4.-** Esfuerzos principales para el proyecto Chacana:  $\sigma_1=58^\circ/13^\circ$ ,  $\sigma_2=212^\circ/76^\circ$  y  $\sigma_3=327/6^\circ$ .

Para la zona de Chachimbiro se usaron 11 planos de los mecanismos focales. A través del T-Tecto 3.0 se obtienen los resultados en una pantalla estadística; los ejes de presión tienen una dirección de 260° y el eje de tensión posee una orientación de 351° (Figura 5.5); estos datos se aproximan al valor de N258° para los esfuerzos principales calculados en la región del sistema transpresivo donde se encuentra nuestro campo de estudio. Además se ajuste al régimen de esfuerzos dominantes en el país (Segovia. y Alvarado., 2009), (Corredor., 2003).



**Figura 5.5.-** Esfuerzos principales para el proyecto Chachimbiro:  $\sigma_1=260^\circ/2^\circ$ ,  $\sigma_2=164^\circ/72^\circ$  y  $\sigma_3=351,18^\circ$ .

Los valores de los esfuerzos encontrados en esta área de prospección, sugieren que no existe un esfuerzo vertical, producto de la ascensión de nuevo material magmático, actuando predominantemente en la zona.

Aunque en el área de Chacana existe una variación en el campo de esfuerzos, no se observan indicativos de que exista un esfuerzo vertical efectivo en la zona.

#### **5.4.- IDENTIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL SISTEMA DE FRACTURAS Y FALLAS ACTIVAS**

A partir de las localizaciones obtenidas para los sismos en las áreas de los campos geotérmicos, se trató de observar indicativos y lineamientos que muestren la presencia de fallas activas, las cuales tengan o no manifestaciones superficiales.

Con el estudio de los sismos del área de Chacana no se pudo diferenciar lineamientos preferenciales para identificar fallas cubiertas por material reciente, más bien la mayor parte de los sismos se ubica entre las fallas transcurrentes de dirección NE-SW. Así las direcciones concuerdan con uno de los sistemas que conforman la falla Papallacta (Yepes y Ramón, 2000) y las fallas ya identificadas en el mapa geológico realizado para el estudio geotérmico del proyecto Chacana (Figura 5.6); los

mecanismo focales en la zona coinciden con las descripciones del mapa para las fallas (SYR., 2012). Dos de los tres sismos ubicados en el borde sur-occidental de la caldera, muestran mecanismos focales normales (Ver anexo 5.1), con lo que puede asumir que marcan borde estructural de la caldera de Chacana y que existe una subsidencia de la misma.

Por la ubicación y los mecanismos focales encontrados para los sismos de las fechas 23/11/2011 a las 01h31 y 25/11/2011 a las 03h58, se interpretaría como una posibilidad de que los sismos son generados por este sistema de falla Tambo o por una segunda posibilidad es que delimitan una pequeña cuenca pull apart, dentro del área del proyecto, lo que fue sugerido por SYR (2012).

Por otra parte, varios de los sismos tectónicos se localizaron alrededor de los domos Chaupiurco y Tumiguina, sugiriendo que están relacionados a fallas que conectan dichos domos. (Figura 5.6). Los sismos en Chacana son someros, por lo general no supera los 10 km de profundidad.

Además se observa una ausencia de sismos en la zona de la estación CH09. Esta estación es cercana a las Termas Papallacta, sugiriendo que el sistema perteneciente a la falla Papallacta que atraviesa la zona, es altamente fracturado y/o posee una buena lubricación por los fluidos hidrotermales, que impiden la acumulación de esfuerzos.

En cuanto a la sismicidad de la zona de Chachimbiro, en la Figura 5.7 se observa que la mayoría de los epicentros de los sismos tectónicos se localizan fuera del área de estudio delineada por las estaciones sísmicas instaladas, mas esto se compensa con las estaciones de la red del IG-EPN. De la distribución espacial de la sismicidad se notan 3 lineamientos claros. En este estudio se los nombraron como las fallas Huarmiyacu y Pan de Azúcar las cuales tienen una dirección NW-SE contrarias a la mayor parte de las fallas descubiertas en esta zona de estudio. La falla Rumipamba también fue establecida gracias a estudio micro-sísmico sigue el tren NE-SW y se presume que es una falla dextral.

Buena parte de los sismos localizados se encuentran asociados a la actividad de la falla La Florida (SYR, 2011), cuyos mecanismo focales sugieren un movimiento transcurrente dextral con un eje de compresión NW-SE

En el año 2011 se detectaron periodos de alta actividad sísmica aledaña a los volcanes Cotacachi y Cuicocha. Con la red temporal de Chachimbiro, en el periodo correspondiente al mes de Junio del 2011 se logró evidenciar un enjambre de 10 sismos con orientación ENE- WSW al norte del domo Peribuela.

En el tiempo que funcionó la red temporal de Chachimbiro, se registraron pocos sismos que podrían estar asociados al movimiento de la falla de *Billecocha-Huayrapungo*. (Ego et al., 1996). Pero no son pruebas suficientes de su actividad.

Además, es importante recalcar que existe una mayor actividad sísmica a la esperada en el área, con la mayoría de los hipocentros entre los 0 y 10 km de profundidad. Pero, de toda esta actividad registrada en el proyecto Chachimbiro. Las características de la sismicidad muestran un alto nivel de fallamiento con fallas lubricadas que impiden la acumulación de esfuerzos dentro del cuadrante del prospecto.

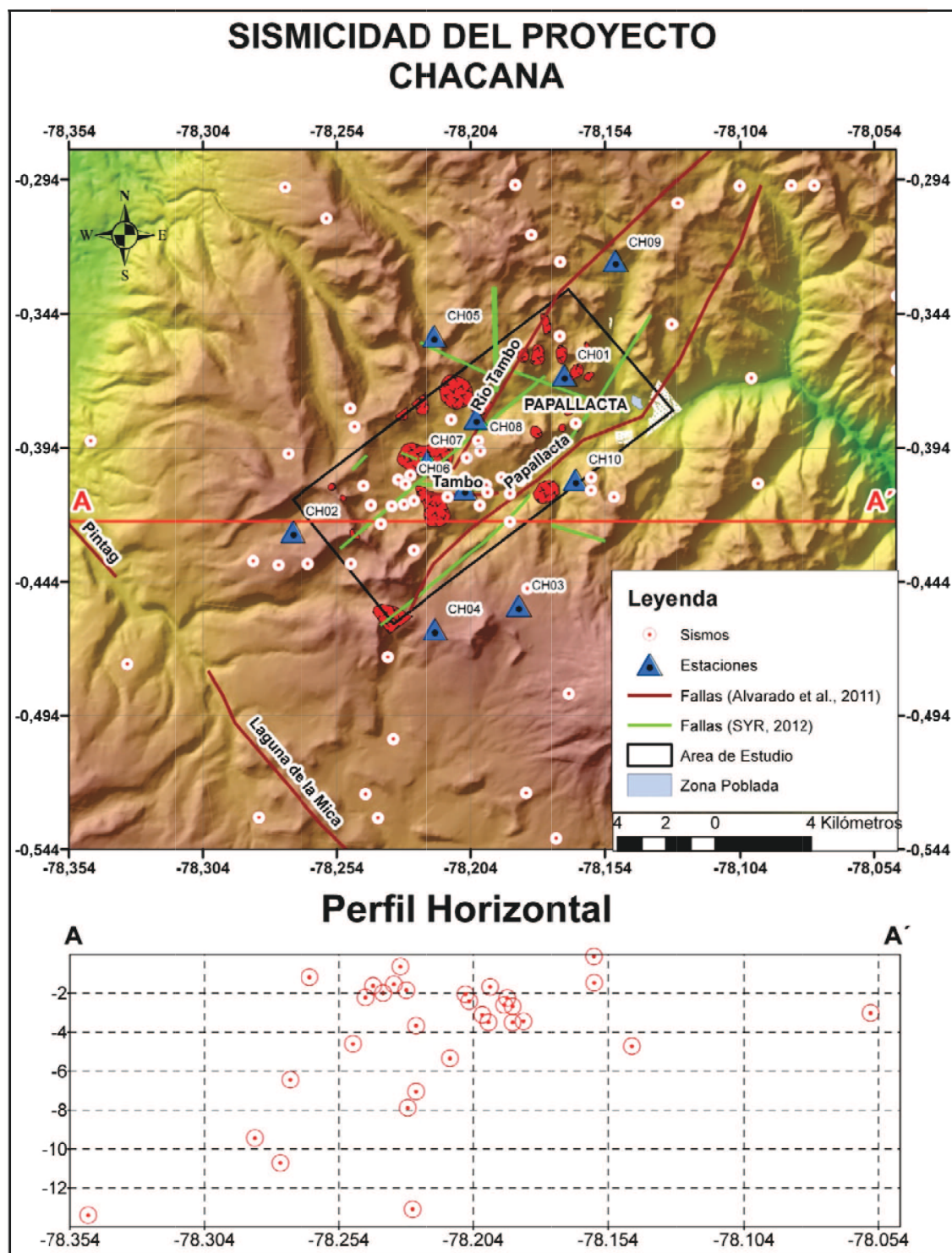


Figura 5.6.- Mapa de sismicidad total para el proyecto Chacana. El ancho del perfil A-A' es de 5.5 km.

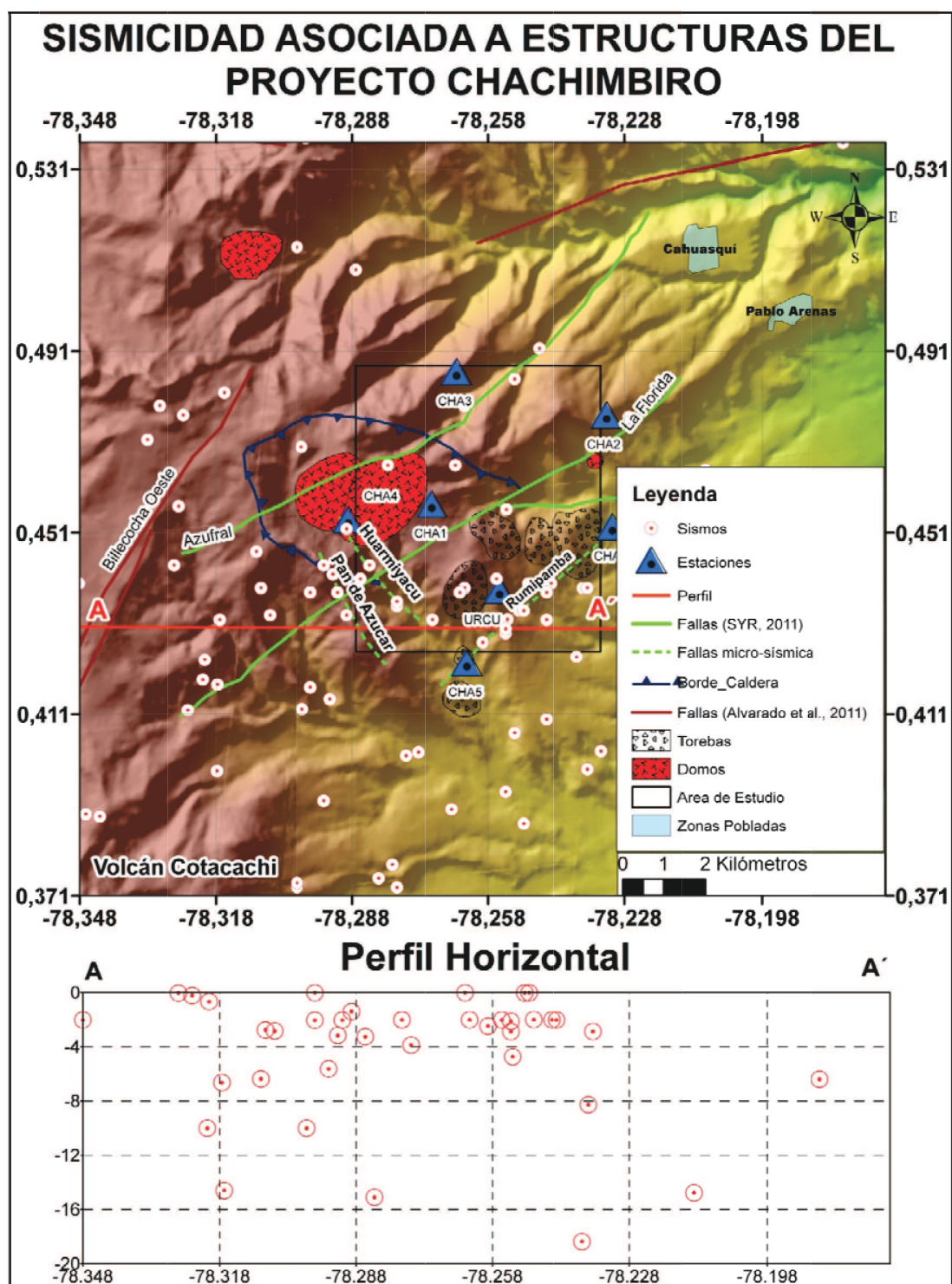


Figura 5.7.- Mapa de sismicidad total para el proyecto Chachimbiro. El ancho del perfil A-A' es de 4.4 km.



## CONCLUSIONES

- El estudio de micro-sismicidad de los campos geotérmicos Chacana y Chachimbiro, durante sus cuatro meses de observación, permitieron registrar niveles importantes de sismicidad. En el caso de Chacana se contabilizaron 2334 sismos, con 909 sismos locales. En el caso de Chachimbiro se contabilizaron 1994, de los cuales 862 pertenecen a la sismicidad local de esta zona. Esto confirma que los equipos instalados en estos prospectos son adecuados para el estudio, tienen un alto nivel de detección y una muy buena relación señal-ruido, tal como se demuestra en el anexo 1.1 del capítulo 1 y en los histogramas del anexo 2.1 del capítulo 2.
- Tanto en Chacana como en Chachimbiro se registraron señales sísmicas de baja frecuencia y eventos híbridos, cuya presencia sugiere que existen movimientos de fluidos dentro de los sistemas hidrotermales. Adicionalmente, en el análisis y clasificación de eventos para Chacana se determinó que la mayoría de los sismos de largo periodo (LP), sobre todo los que ingresan por las estaciones aledañas al volcán Antisana, proceden de un sistema hidrotermal – magmático relacionado con el volcán, o que su fuente generadora esté relacionada a procesos glaciales y/o el deslizamiento de hielo en el volcán, esto debido a la amplia duración de su espectro. En cambio, en la zona de Chachimbiro los LP's y los tremores encontrados, arriban primero en las estaciones ubicadas al noreste del área de prospección, esto indicaría que la parte con mayor circulación de fluidos estaría relacionada con actividad en las fallas tectónicas que atraviesan dicha parte del prospecto.
- En las dos áreas de estudio se encontraron pocos sismos híbridos. No obstante los pocos eventos híbridos encontrados denotan que en ambos campos existen presiones que fallan la roca y luego ocurre la inyección de fluidos magmáticos y/o hidrotermales.

- A partir del análisis y procesamiento de los sismos tectónicos en Chacana se determinó un modelo de velocidades de 5 capas (Figura 3.5), en donde la velocidad de la onda P de 2.85 km/s corresponde a la capa de los volcánicos consolidados y tiene una profundidad de 3 km. Debajo de esta capa, se encuentran capas con velocidades de P cercanas a 7 km/s las cuales están relacionadas con el basamento metamórfico que se ubicaría entre los 3 y los 30 km de profundidad. A los 50 km de profundidad aproximadamente se definió la ubicación del Moho con una velocidad de las ondas P de 8.1 km/s. Con este modelo de velocidades se localizaron los hipocentros de 109 eventos con parámetros aceptables, 59 con buena confiabilidad y 38 con soluciones hipocentrales de alta calidad y confiabilidad.
- Para Chachimbiro con el análisis y procesamiento de los sismos tectónicos se encontró un modelo de velocidades de 6 capas (Figura 3.6). La primera capa es de 1.4 km de profundidad con velocidades de P de 2.42 km/s, pertenece a los volcánicos no consolidados de la zona. La segunda capa de 3.3 km de profundidad con velocidades de P de 3.9 km/s pertenece a las volcánicos consolidados de la zona. Entre los 3.3 y 30 km de profundidad con velocidades de 6.7 y 6.8 km/s se encontró al basamento oceánico. A los 50 km de profundidad se localizó la discontinuidad de Mohorovich. Con el modelo encontrado para esta área, se determinó un nivel de actividad sísmica local mucho más elevado al esperado, habiéndose localizado 182 sismos con parámetros aceptables, 79 con una buena confiabilidad y 27 eventos tectónicos de alta calidad y confiabilidad.
- El cálculo de los coeficientes de Poisson obtenidos para cada zona lleva valores para Chacana de 0.21 y Chachimbiro de 0.24, cercano al valor de 0.25 correspondiente a rocas elásticas consolidadas.
- Se encontraron magnitudes de los sismos en los campos geotérmicos de Chacana y Chachimbiro entre 1.9 y 3.8. De acuerdo a la clasificación de Hagiwara (1964) en la zona de Chachimbiro, el 63% de los eventos

corresponde a microsismos y 37% corresponde a sismos pequeños, mientras que en el área de Chacana el 72% corresponde a microsismos y 28% corresponde a sismos pequeños.

- En las zonas de Chacana y Chachimbiro se determinó que el parámetro  $b$  se ubica entre 2.1 y 1.8, respectivamente, lo que indica que son zonas altamente fracturadas, incapaces de resistir grandes esfuerzos. Además los valores altos de  $b$  como los obtenidos en este estudio podrían inferir altos gradientes termales, lo cual es muy importante en un estudio de prospección geotérmica.
- Para Chacana se calcularon 10 mecanismos focales, la mayoría de los cuales presentan un mecanismo transcurrente con dirección NE-SW con componente inversa, por lo que se les asocia con las fallas tectónicas asociadas con el movimiento hacia el NE del Bloque Norandino. Dos sismos presentan mecanismos focales con componente normal, ubicados cerca del borde estructural de la caldera y sugieren que las fallas generan un pull apart con fallas normales de orientación  $N300^\circ$ , corroborando la teoría de SYR., 2012.
- En el Proyecto Chachimbiro se calcularon los mecanismos focales de 15 eventos sísmicos, 5 de los cuales presentaron similares características por lo que fue posible mecanismos focales compuestos. La mayoría de los sismos presenta mecanismos focales dextrales con componente inversa, excepto un sismo netamente inverso y otro con una ligera componente normal.
- Los esfuerzos dominantes para la zona de Chachimbiro, determinan que el eje de compresión es sub-horizontal y tiene una dirección de  $80^\circ$  y el eje de tensión posee una orientación de  $171^\circ$ , estos resultados son similares a los valores encontrados por Segovia, M. y Alvarado, A (2009) y Corredor (2003), lo cual coincide con la dirección del régimen de esfuerzos dominantes en el país.
- En el proyecto Chacana se encontraron valores para el eje de compresión de  $N58^\circ$  y para el eje de tensión de  $N327^\circ$ . Se nota una rotación de aproximada

de 40° con respecto a la dirección de los esfuerzos principales, lo cual podrían estar relacionado con la actividad asociada del volcán Antisana, desde el 2002 o a la apertura del Rift de Chacana descrita por SYR en el 2012.

- Para el área de Chacana los sismos son someros, por lo general no superan los 10 km de profundidad, son muy dispersos y no permiten observar lineamientos preferenciales. En todo caso, la mayor parte de los sismos se ubica entre las fallas transcurrentes de dirección NE-SW, ya identificadas en el mapa geológico. Además bordean los domos Chaupiyurco y Tuminguina.
- En Chachimbiro se observa que la mayoría de los sismos tectónicos se localizan entre la superficie hasta los 10 km de profundidad, sugiriendo un alto nivel de fracturamiento somero con fallas aparentemente lubricadas que impiden la acumulación de esfuerzos dentro del cuadrante del prospecto. De la distribución espacial de los epicentros en Chachimbiro se pueden identificar 3 lineamientos claros, nombrados como las fallas Huarmiyacu y Pan de Azúcar con dirección NW-SE y la falla Rumipamba, la cual tiene una dirección preferencial NE-SW. Los sismos localizados en el centro del área se encuentran asociados a la actividad de la falla La Florida y evaluando las características de los eventos se sugiere que dicha falla tiene un movimiento transcurrente dextral con un buzamiento hacia el NW. En el mes de Junio del 2011 se registró un enjambre de 10 sismos con orientación ENE- WSW al norte del domo Peribuela, al norte del volcán Cotacachi.
- De la micro-sismicidad encontrada en las zonas de los proyectos Chacana y Chachimbiro está asociada con fallas tectónicas que podrían incrementar su actividad después de la explotación geotérmica. La presencia de sistemas de fallas en estas zonas puede incrementar la permeabilidad en las zonas de interés y facilitar el transporte de fluidos calientes desde las zonas de reservorio. También se debe destacar la presencia de sismos relacionados con la resonancia de fluidos, los cuales pueden ser atribuidos a una actividad volcánica o a movimientos de agua freática.

## RECOMENDACIONES

- Es importante evaluar la sismicidad de estos campos durante un periodo mayor para poder determinar con mayor precisión sus niveles de sismicidad, la ubicación de sus principales fuentes sísmicas y caracterizar mejor la ocurrencia de sismos relacionados con resonancia de fluidos.
- Si los campos resultan efectivos para la explotación, es importante contar con un sistema de monitoreo sísmico antes y después de la esta etapa a fin de reconocer sus actividad niveles de actividad y cuantificar la actividad símica inducida.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarado A., Audin L., Eras M.,** (2011). *Mapa de fallas y pliegues activos del Ecuador*, reporte interno (inédito) Instituto Geofísico-EPN.
- Andrade D y Bernard B.,** (2011). Base Volcanes Cuaternarios del Ecuador Continental. Quito, Pichincha, Ecuador: IRD/IG-EPN.
- Angelier J y Mechler P.,** (1977). Sur un méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull. Soc. Géol. France* (7) XIX,6, 1309-1318.
- Aspen J y Litherland M.,** (1992). The geology and *Mesozoic collisional history of the Cordillera Real*, Ecuador. *Tectonophysics* 205, 187-204.
- Beauval C., Yepes H., Bakun W., Egred J., Alvarado A., Singaicho JC.,** (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra (1587-1996). *Geophysical Journal International*, 1-45.
- Bernard B.,** (2011). Nuevo modelo evolutivo y actividad reciente del volcán Chachimbiro. *Memorias Séptimas Jornadas de Ciencias de la Tierra*. Quito.
- Boland M., Pilatasig M., Ibadango E., Court W., Aspen J., Hughes R., Beate B.,** (2000). *Geologi of the cordillera occidental of Ecuador between 0°00'AND 1°00' N*. Quito: CODIGEM - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. Quito-Ecuador.
- Bristow R y Hoffstetter.R.,** (1977). *Léxico Estratigráfico*. Paris: Union Internationale des Sciences Géologiques. Paris. 399p
- Chouet B.,** (2011). Long-period volcano seismicity: its source and use in eruption forecasting. *Nature* 380, 309-316.
- Chouet B.,** (1992). A seismic model for the source of long period events and harmonic tremor paper. *IAVCE Proceedings in Volcanology* 3, 133-156.
- Corredor F.,** (2003). Seismic strain rates and distributed continental deformation in the northern Andes and three-dimensional seismotectonics of northwestern South America. *Tectonophysics* 372, 147-166.
- Cronin V.,** (2008). *A draft primer on focal mechanism solutions for geolog*. Baylor University.
- Ego F., Sébrier M., Cary-Gailhardis E., Beate B.,** (1996). Do the Billecocha normal faults (Ecuador) reveal extensión due to lithospheric body forces in the northern Andes? *Tectonophysics*, 265, 255-273.

- Ego F., Sébrier M., Lavenu A., Yepes H., Egües A.** (1996). Quaternary state of stress in the Northern Andes and the restraining bend model for the Ecuadorian Andes. *Tectonophysics* 259, 101-116.
- Eguez A., Alvarado A., Yepes H., Machette M., Costa C., Dart R.**, (2003). *Database and Map of Quaternary faults of Ecuador and its offshore regions*. Open-File Report 03-289 Quito: USGS, 1-77.
- Feininger T., Seguin M.**, (1983). Simple Bouguer gravity anomaly field and the inferred crustal structure of continental Ecuador. *Geology*, 40-44.
- Font Y.**, (2010). Aplicación fast2bb2.exe para mecanismos focales en Matlab. Francia.
- Gupta H.**, (2011). Encyclopedia of solid earth geophysics. *Encyclopedia of earth sciences series*.
- Gutenberg B.**, (1945). Magnitude determination of deep-focus earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 35, 117-130.
- Gutscher, M.; Malavieille, J.; Lamelland, S y Collot, J.**, (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters* 168, 255-270.
- Hagiwara.**, (1964). Brief description of the project proposed by the earthquake prediction research group of Japan. *Proc. J.S.-Japan Conf Res. Relat. Earthquake Prediction*, 10-12.
- Hall M., y Mothes P.**, (2010). La provincia riolítica ecuatoriana: Una anomalía petrográfica y química en el arco andesítico y su significado. Quito, Pichincha, Ecuador: IG-EPN.
- Hall M., y Mothes P.**, (2008). The Chacana Caldera Complex-Ecuador. *2nd Workshop: Collapse Calderas*. Queretaro-México.
- Hamilton M., y Muffler P.**, (1972). Microearthquakes The Geysers GeothermaAl rea, Californ. *Journal of Geophysical Research* 77, 2081-2086.
- Havskov J., y Ottemöller L.**, (2010). *Routine data procesing in earthquake seismology*. Norway: Springer.
- Hill D.**, (1977). A Model for Earthquake Swarms. *Journal of Geophysical Researcf* 82, 1347-1352.
- Hughes R., y Pilatasig L.**, (2002). Cretaceous and Tertiary terren accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics* 345, 29-48.
- IG-EPN.**, (2012). *Fallas Ecuador*. Quito: IG-EPN.
- INEC.**, (2010). *Censo de población y vivienda*. Quito-Ecuador.

- Jones H., y Stewar C.**, (1997). A method for determining significant structures. *Journal of Geophysical Reserch* 102, 8245-8254.
- Kerr A., Aspen J., Tarney J., Pilatasig L.**, (2002). The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society*, Vol. 159, 577–594.
- Kissling E.**, (1995). *Program VELEST USER`S GUIDE- Short introduction*. Zurich: Institute of Geophysics.
- Lahr J C.**, (1994). Earthquake classification location, and error analysis in a volcanic enviroment: implications for the magmatic sistem of 1989-1990 euptions at Redoubt volcano, Alaska. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137-151.
- Lee W., Jahr, J.**, (1975). HYPO 71: A computer program for derterminig hypocenter, magnitude, and firdt motion pattern of local earthquakes. *U. S. Geological Survey Open File Report*, 75-311.
- Lees J.**, (1998). Multiplet Analysis at Coso Geothermal. *Bulletin of the Seismological Society of America* 88, 1127-1143,.
- Lees J.**, (2012). Rquaeke: Seismic Hypocenter Determination.
- McNutt.**, (1996). Seismic Monitoring and Eruption Forecasting of volcanoes: A review of the state-of-the-art and case histories. En: *Monitoring and Mitigation on Volcano Hazard*, Editado por Scarpa R. y Tilling R. I. Edit. Springer, 99-146.
- Michael A., y Betoux N.**, (2010). Aplicación bb en matlab para el cálculo de mecanismos focales. Francia.
- Pratt W., Duque P., Ponce M.**, (2005). An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics* 399, 251-278.
- Pérez.** (1986). *Estudio Geológico-Vulcanológico de la Parte SSE del Proyecto Geotérmico Valle de Los Chillos*. Tesis de Grado (Inédita). Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 214 pp.
- Press W., Flannery B., Teukolsky S.,Vetterlin W.**, (1987). *Numerical Recipes*. Cambridge University Press, Cambridge, 818p.
- Peterson J.**, (1993). *Observations and modeling seismic background noise*. New Mexico: U.S. Department of interior geological survey. Open-File Report 93-322.
- Segovia M., y Alvarado A.**, (2009). Breve análisis de la sismicidad y del campor de esfuerzos en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador: IG-EPN.

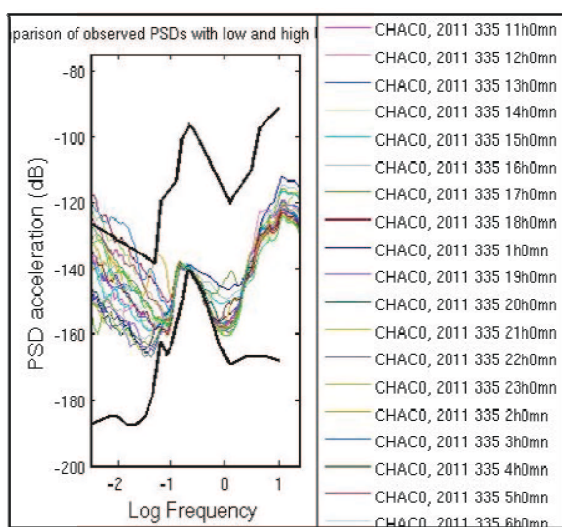


- Soulas J., Egüez A., Yepes H., Pérez H.,** (1991). Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes Ecuatorianos y el extremo sur de Colombia. *Boletín Geológico Ecuatoriano Vol 2 N° 1, 3\_-11.*
- Stein S., y Wysession M.,** (2003). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure.* Malden, MA, USA: Blackwell Publishing.
- SYR.,** (2011). *Modelo Geológico del Prospecto Geotérmico Chachimbiro.* Informe Inédito Quito: SyR
- SYR.,** (2012). *Geología del Prospecto Geotérmico Chacana.* Informe Inédito Quito: SyR.
- Trenkamp R., Nellogg J., Freymueller J., Mora H.,** (2002) Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences 15, 157-171.*
- Vallejo C.,** (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene).* Tesis de Grado (Inédita). Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 215p
- Villagómez D.,** ( 2000). Sismicidad del volcán Guagua Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador Tesis de Grado (Inédita). Facultad de Geología, Minas y Petróleos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 112 pp
- Warren N., y Lattam G.,** (1970). An experimental study of thermally induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity. *Journal Geophysics Research 75, 4455-4464.*
- Yepes H., y Ramón, P.,** (2000). *Proyecto Petroecuador.* Informe Inédito: Petroecuador-Quito
- Zalohar, J.** (2012). Program T-Tecto 3.0.

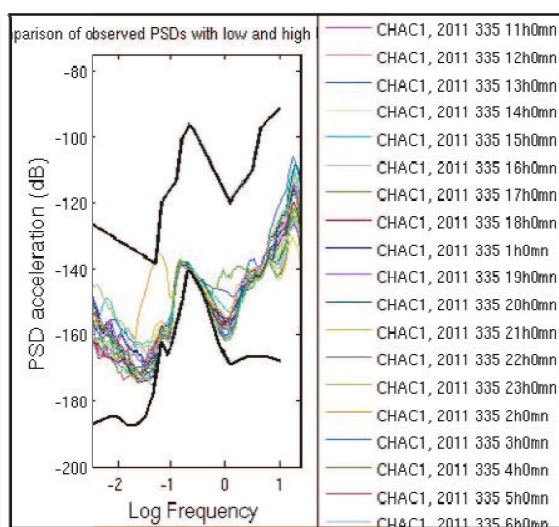
## ANEXOS

### ANEXO 1.- PRUEBAS DE RUIDO PARA LAS ESTACIONES DE LAS REDES SÍMICAS TEMPORALES EN LOS PROYECTOS CHACANA Y CHACHIMBIRO

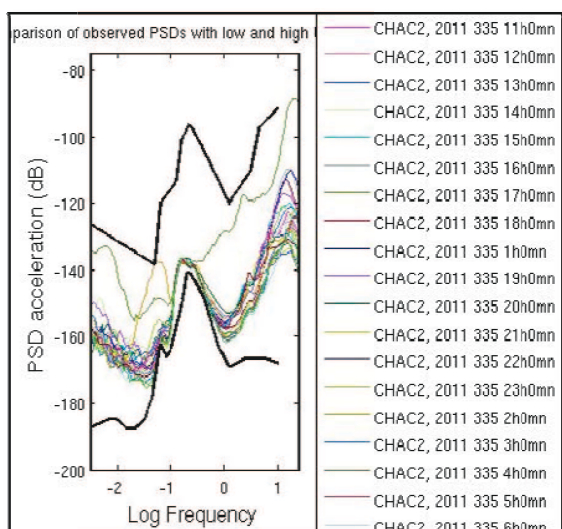
- 1.1.- PRUEBAS DE RUIDO PARA LAS ESTACIONES DEL PROYECTO CHACANA



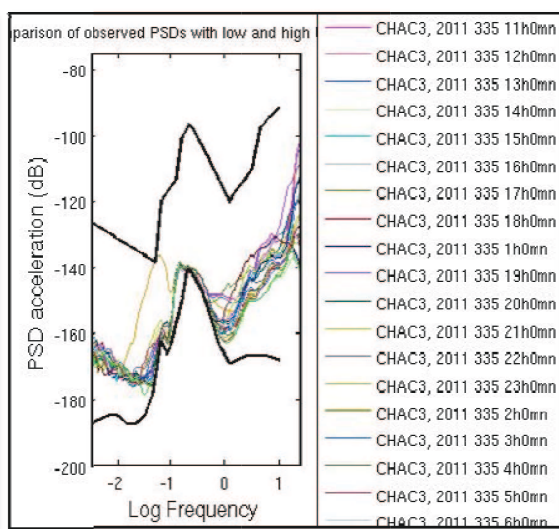
A.1.1.1.- Prueba de ruido de la estación CHAC0



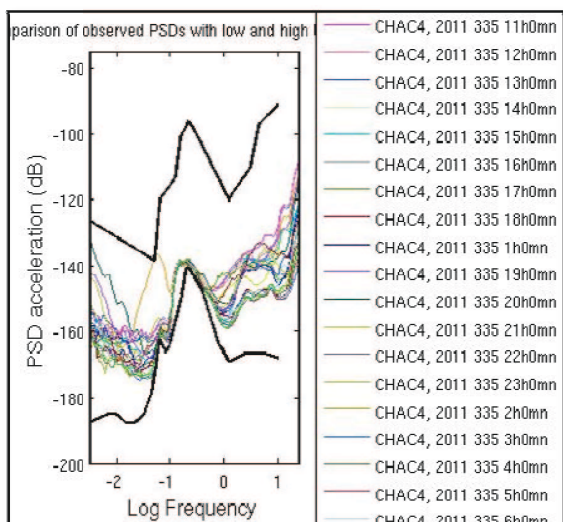
A.1.1.2.- Prueba de ruido de la estación CHAC1



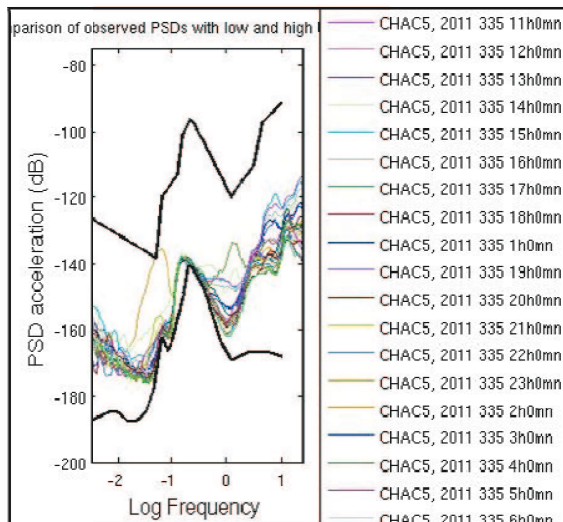
A.1.1.3.- Prueba de ruido de la estación CHAC2



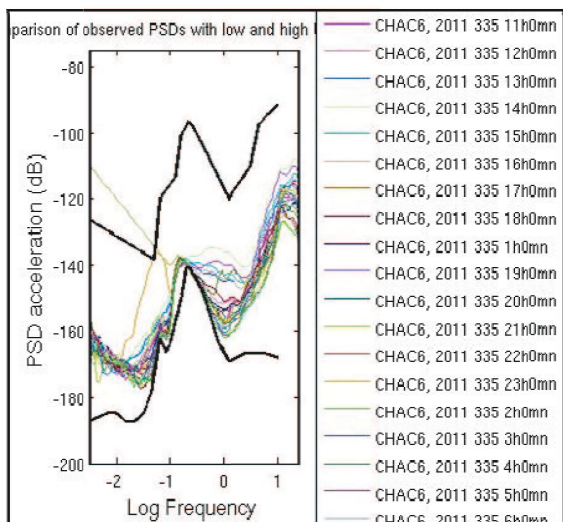
A.1.1.4.- Prueba de ruido de la estación CHAC3



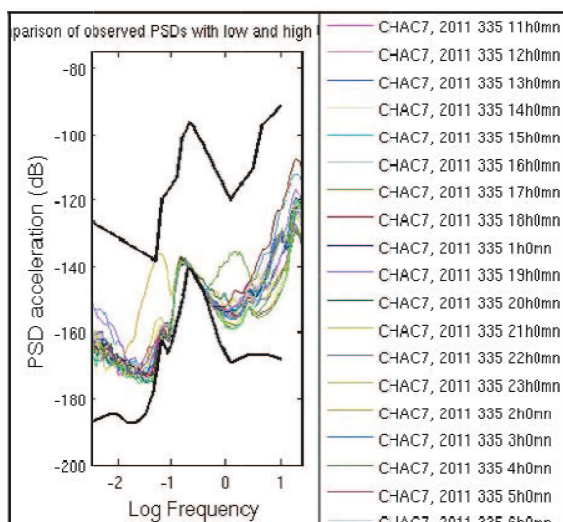
A.1.1.5.- Prueba de ruido de la estación CHAC4



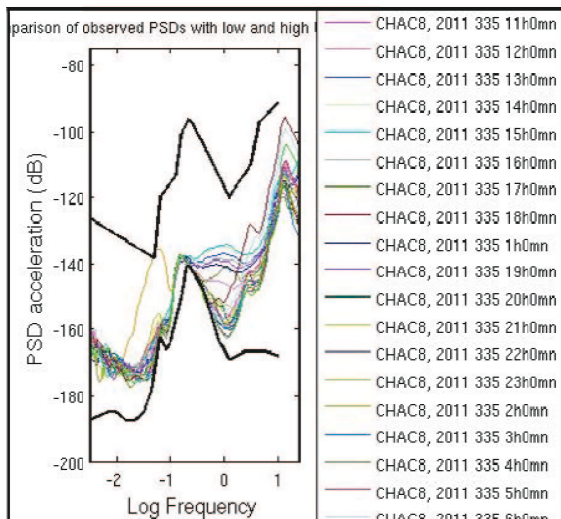
A.1.1.6.- Prueba de ruido de la estación CHAC5



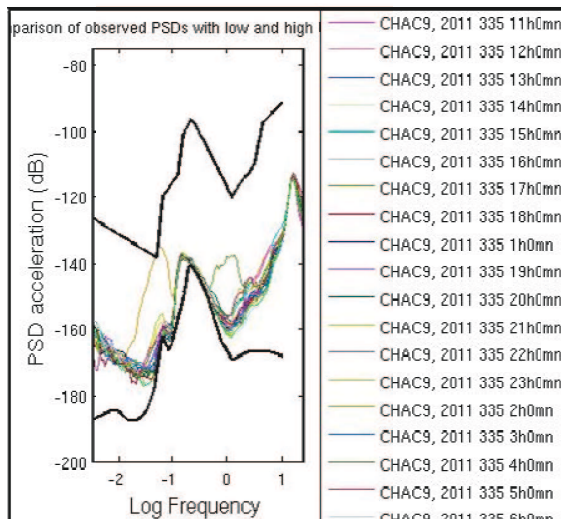
A.1.1.7.- Prueba de ruido de la estación CHAC6



A.1.1.8.- Prueba de ruido de la estación CHAC7

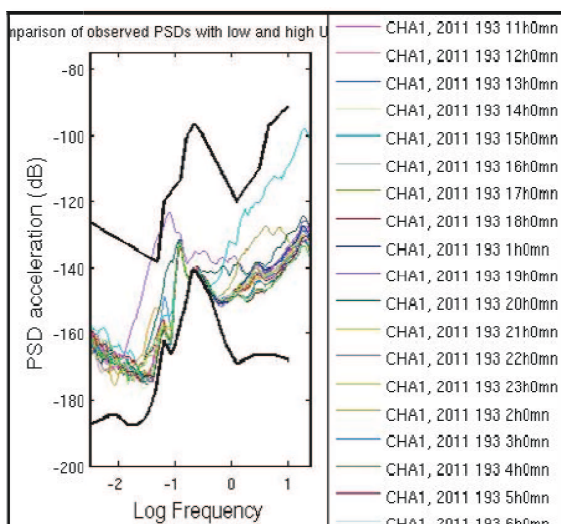


A.1.1.9.-Prueba de ruido de la estación CHAC8

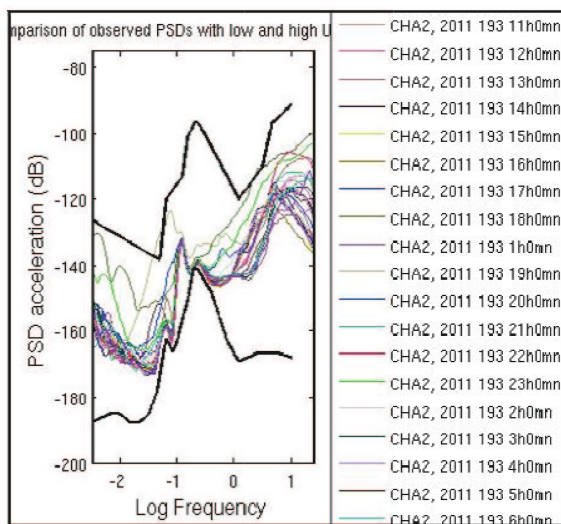


A.1.1.10.-Prueba de ruido de la estación CHAC9

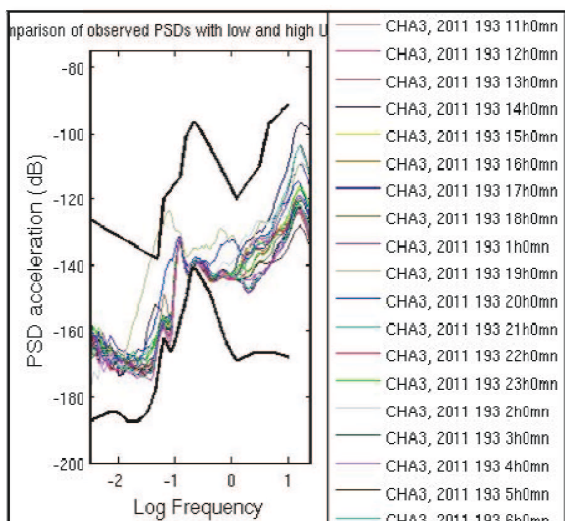
**• 1.2.- PRUEBAS DE RUIDO PARA LAS ESTACIONES DEL PROYECTO CHACHIMBIRO**



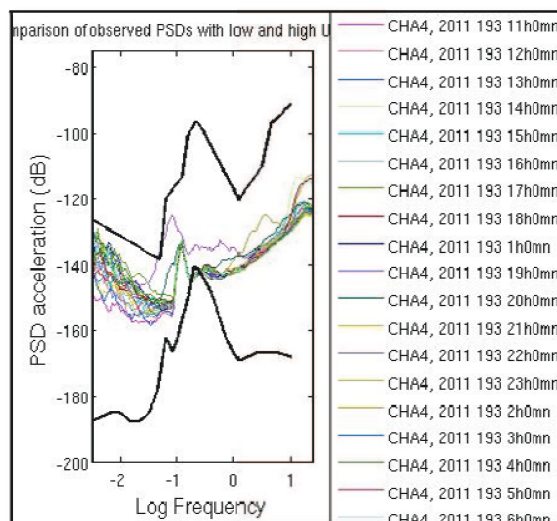
A.1.2.1.- Prueba de ruido de la estación CHA1



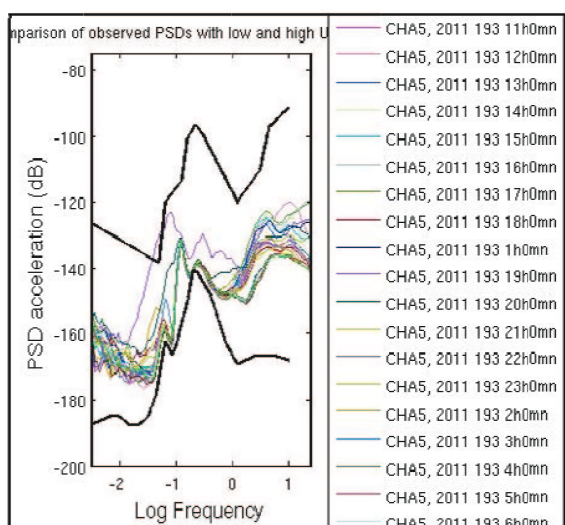
A.1.2.2.- Prueba de ruido de la estación CHA2



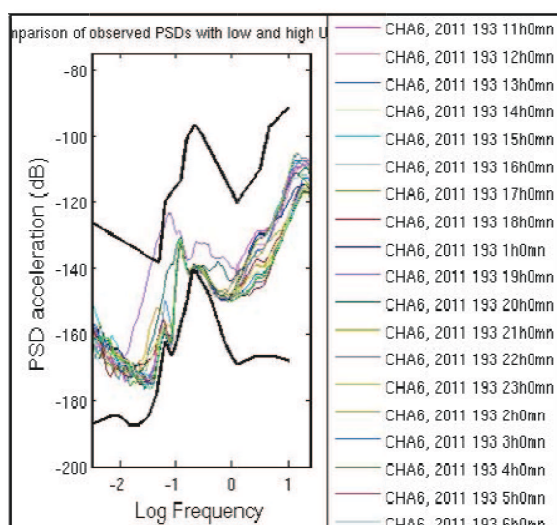
A.1.2.3.- Prueba de ruido de la estación CHA3



A.1.2.4.- Prueba de ruido de la estación CHA4



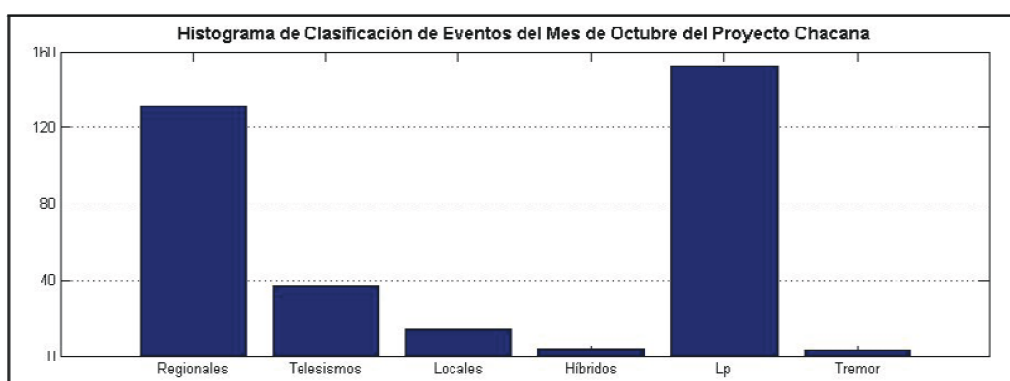
A.1.2.5.- Prueba de ruido de la estación CHA5



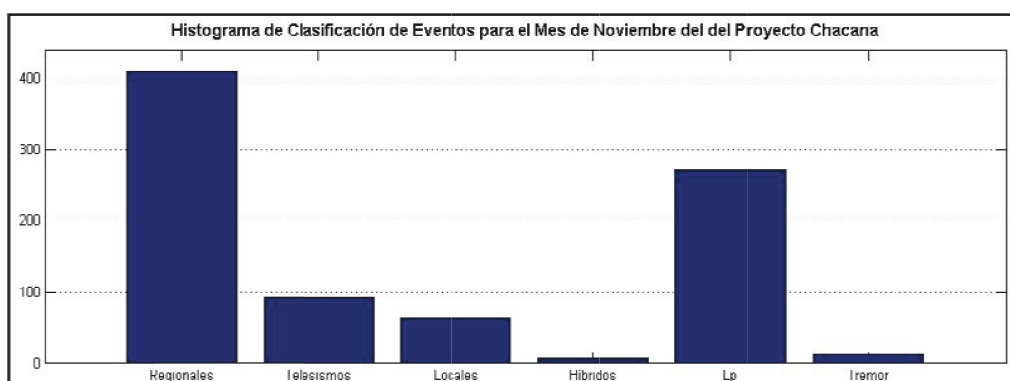
A.1.2.6.- Prueba de ruido de la estación CHA6

## ANEXO 2.1.- ESTADÍSTICA DE EVENTOS PARA LOS MESES QUE OPERARON LAS REDES TEMPORALES DE MONITOREO EN LAS ZONAS DE CHACANA Y CHACHIMBIRO

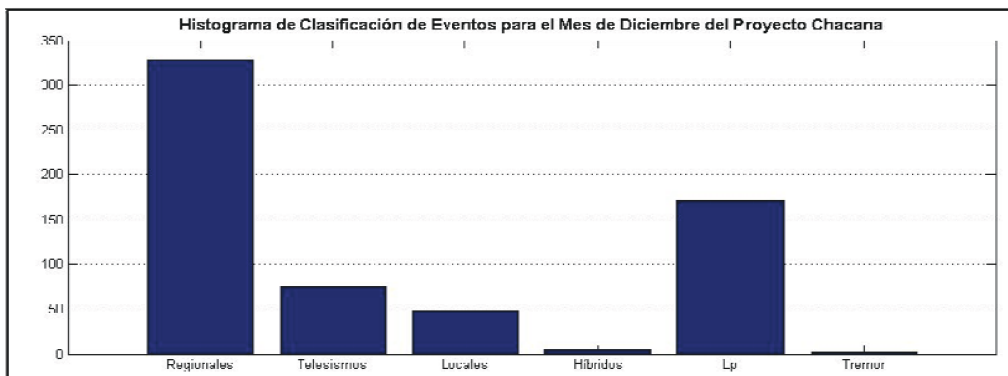
- 2.1.- ESTADÍSTICA DE EVENTOS PARA EL PROYECTO CHACANA



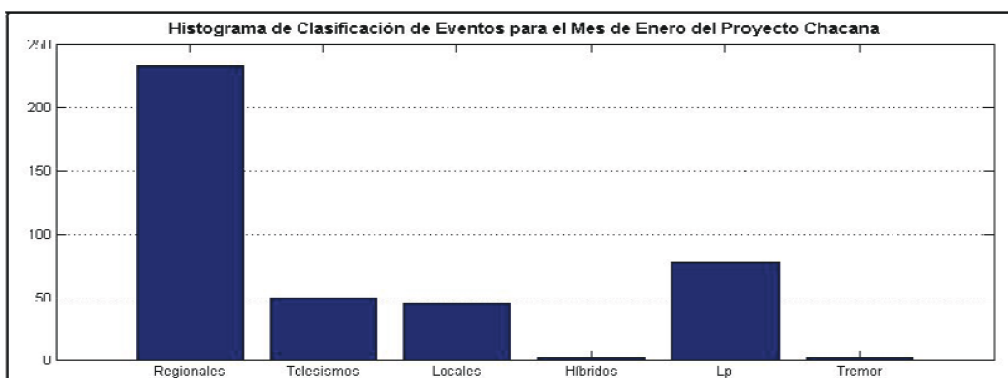
A.2.1.1.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Octubre 2011



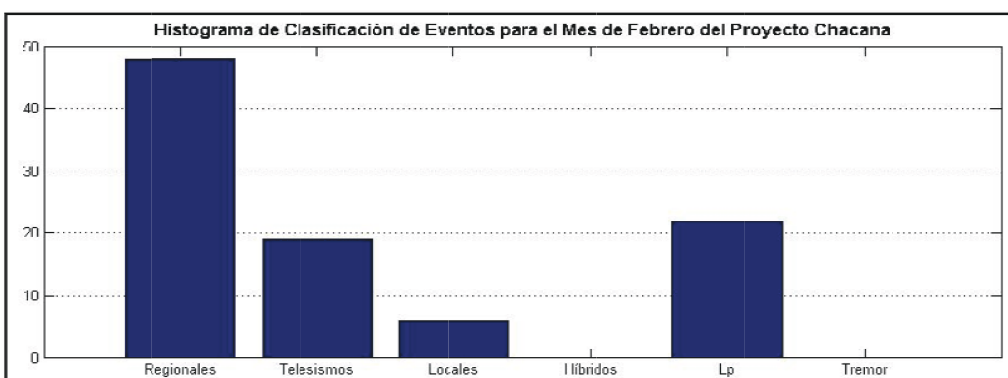
A.2.1.2.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Noviembre 2011



A.2.1.3.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Diciembre 2011

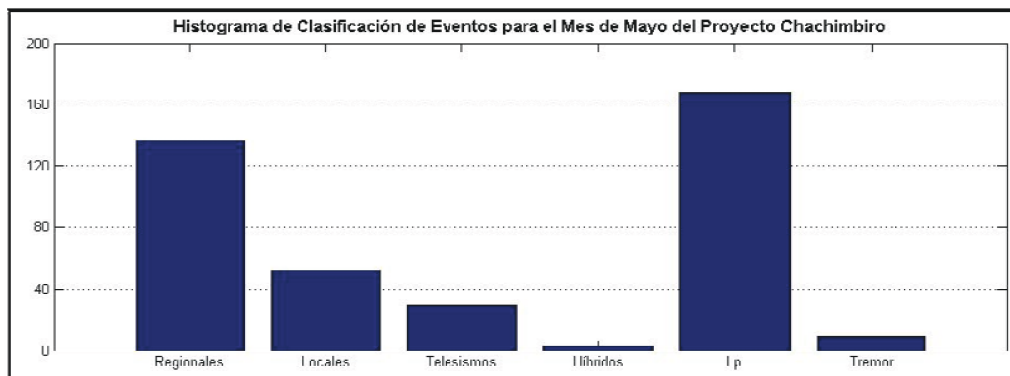


A.2.1.4.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Enero 2012

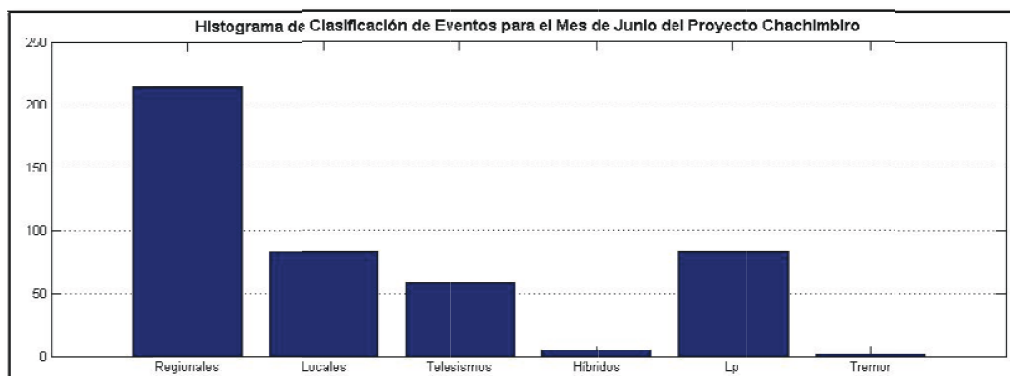


A.2.1.5.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Febrero 2012

- **2.2.- ESTADÍSTICA DE EVENTOS PARA EL PROYECTO CHACHIMBIRO**

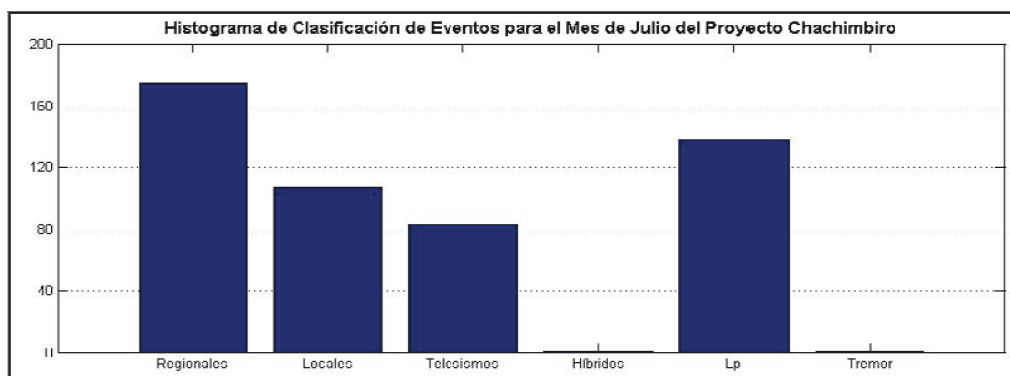


A.2.2.1.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Mayo 2011

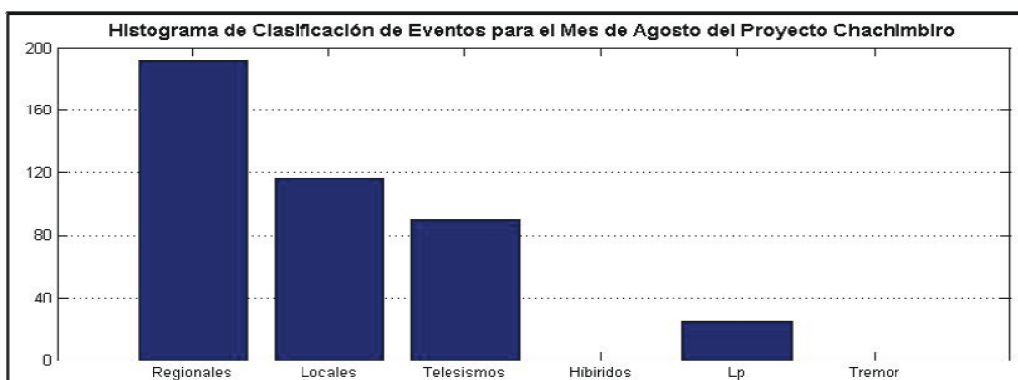


A.2.2.2.- Histograma de clasificación de eventos para el mes de Junio 2011

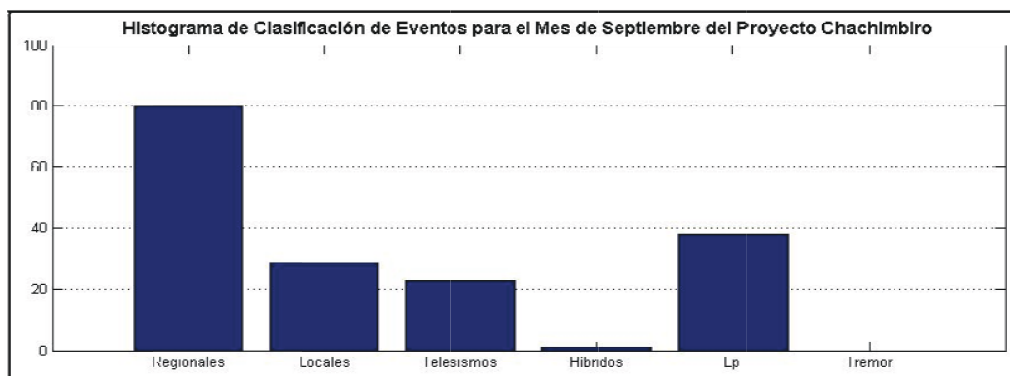




**A.2.2.3.-** Histograma de clasificación de eventos para el mes de Julio 2011





**A.2.2.4.-** Histograma de clasificación de eventos para el mes de Agosto 2011




**A.2.2.5.-** Histograma de clasificación de eventos para el mes de Junio 2011

### ANEXO 3.1.- TABLA DE HIPOCENTROS Y MAGNITUDES DE LOS SISMOS LOCALES PARA LA RED TEMPORAL DE MONITOREO DEL PROYECTO CHACANA.

 Sismos escogidos para el cálculo de modelo de velocidades.

 Mlv no calculada por parámetros no aptos del sismo.

*Cusivas* Sismos de alta calidad.

ID	Latitud	Longitud	Profundidad	Año	Mes	Día	Hora	Min	Seg	RMS	MLv
1	-0,3	-78,188	1,62	2011	11	2	6	10	18,63	0,08	2,6
2	-0,26	-78,137	1,07	2011	11	3	4	4	14,35	0,14	3
3	-0,574	-78,196	8,745	2011	11	4	21	01	18:956	0,11	3
4	-0,486	-78,168	6,367	2011	11	4	21	34	10:911	0,05	2,7
5	-0,41	-78,151	10,73	2011	11	5	10	22	54,79	0,57	2,8
6	-0,4	-78,206	6,33	2011	11	5	11	5	5,57	0,25	2,6
7	-0,37	-78,1	15,79	2011	11	6	5	44	8	0,28	3
8	-0,397	-78,206	2,400	2011	11	12	01	23	24:969	0,15	2,6
9	-0,5	-78,233	23,19	2011	11	15	11	45	42,98	0,46	
10	-0,52	-78,184	21,29	2011	11	15	12	17	34,54	0,49	2,8
11	-0,47	-78,235	28,41	2011	11	15	13	53	8,1	0,43	2,8
12	-0,391	-78,201	3,021	2011	11	18	11	23	14:633	0,20	2,7
13	-0,39	-78,192	4,27	2011	11	18	11	27	58,6	0,10	3
14	-0,36	-78,046	21,49	2011	11	20	1	51	42,31	0,02	2,7
15	-0,604	-78,279	6,516	2011	11	20	08	08	43:823	0,00	3,5
16	-0,337	-78,046	20,589	2011	11	21	10	14	21:641	0,11	3
17	-0,35	-78,171	33,28	2011	11	21	10	14	20,87	0,39	3
18	-0,24	-78,13	7,89	2011	11	21	20	30	51,96	0,31	3,6
19	-0,405	-78,159	1,456	2011	11	23	01	31	33:244	0,06	2,7
20	-0,302	-78,127	2,418	2011	11	24	06	13	59:479	0,37	2,8


21	-0,395	-78,201	1,450	2011	11	25	03	58	07:059	0,03	3,3
22	-0,396	-78,272	6,439	2011	11	26	06	26	46:293	0,05	3,1
23	-0,504	-78,008	7,277	2011	12	1	11	05	47:229	0,32	3,1
24	-0,149	-78,332	3,000	2011	12	1	12	16	48:684	0,26	3,2
25	-0,308	-78,258	12,395	2011	12	1	12	17	27:893	0,10	
26	-0,552	-78,346	7,057	2011	12	1	13	20	30:842	0,16	3
27	-0,558	-78,021	3,005	2011	12	2	04	26	04:362	0,28	3
28	-0,365	-77,861	17,470	2011	12	2	07	01	10:213	0,14	3,5
29	-0,279	-78,259	-2,121	2011	12	4	06	05	24:198	0,10	2,7
30	-0,295	-77,726	6,263	2011	12	8	14	10	45:369	0,13	3,8
31	-0,432	-77,917	3,730	2011	12	8	22	41	31:089	0,11	2,9
32	-0,650	-78,316	4,327	2011	12	9	00	53	23:301	0,08	2,4
33	-0,589	-78,440	10,567	2011	12	9	01	16	56:386	0,14	2,7
34	-0,53	-78,511	3,53	2011	12	9	2	33	49,2	0,24	2,9
35	-0,58	-78,017	8,96	2011	12	12	15	57	48,67	0,25	3,1
36	-0,684	-77,987	3,000	2011	12	13	05	47	41:364	0,11	2,7
37	-0,079	-78,365	3,000	2011	12	13	06	18	49:291	0,09	2,6
38	-0,47	-78,332	3,1	2011	12	13	9	53	21,23	0,20	2,8
39	-0,38	-78,249	14,96	2011	12	13	15	48	46,34	0,20	2,7
40	-0,264	-78,281	5,550	2011	12	13	23	12	34:090	0,20	3,3
41	-0,523	-78,243	17,881	2011	12	14	01	21	27:613	0,32	2,4
42	-0,44	-78,367	19,41	2011	12	15	14	5	22,72	0,15	2,6
43	-0,35	-78,412	19,75	2011	12	17	0	2	36,31	0,02	2,8
44	-0,02	-78,73	17,35	2011	12	18	2	33	29,23	0,27	2,7
45	-0,22	-77,98	24,97	2011	12	18	9	24	-3,11	0,33	2,9
46	-0,41	-78,098	9,15	2011	12	18	23	57	31,08	0,29	3,3
47	-0,08	-78,183	3,51	2011	12	19	11	7	33,68	0,29	2,9
48	-0,177	-78,340	9,846	2011	12	19	18	37	25:087	0,37	3,2
49	-0,248	-78,464	5,586	2012	1	5	08	33	00:341	0,40	2,3


50	-0,161	-78,383	6,259	2012	1	5	08	33	42:468	0,28	2,3
51	-0,386	-78,248	0,225	2012	1	10	02	43	17:326	0,40	2,7
52	-0,532	-78,283	13,416	2012	1	10	08	51	21:083	0,12	2,7
53	-0,296	-78,274	-1,890	2012	1	15	07	49	51:856	0,44	2,8
54	-0,365	-77,937	3,003	2012	1	16	08	37	33:151	0,01	2,8
55	-0,408	-77,954	0,631	2012	1	16	09	20	24:165	0,49	2,5
56	-0,262	-78,093	6,722	2012	1	17	07	08	43:640	0,36	2,3
57	-0,141	-78,251	5,970	2012	1	17	09	13	26:845	0,34	2,4
58	-0,567	-78,305	12,687	2012	1	17	13	01	48:474	0,39	2,8
59	-0,446	-78,183	0,885	2012	1	19	20	38	31:989	0,54	3,5
60	-0,383	-78,211	3,669	2012	1	20	03	08	15:638	0,32	3,1
61	-0,472	-78,419	5,667	2012	1	20	21	47	29:943	0,35	2,6
62	-0,450	-77,967	3,013	2012	1	21	12	16	00:853	0,33	3,1
63	-0,640	-78,370	3,483	2012	1	21	14	32	17:795	0,35	3
64	-0,406	-78,186	-3,432	2012	1	22	10	07	01:996	0,35	2,5
65	-0,507	-78,040	1,899	2012	1	24	08	14	43:136	0,34	2,5
66	-0,903	-78,207	3,036	2012	1	25	11	48	19:644	0,43	2,8
67	-0,532	-78,239	3,001	2012	1	26	07	45	59:375	0,37	2,4
68	-0,437	-78,276	10,710	2012	1	29	04	18	34:939	0,35	2,6
69	-0,437	-78,265	1,166	2012	1	29	07	46	55:027	0,31	3
70	-0,405	-78,231	0,625	2012	1	29	07	57	52:860	0,15	
71	-0,391	-78,346	1,179	2012	1	29	08	14	30:630	0,09	2,7
72	-0,404	-78,227	13,082	2012	1	30	00	03	43:375	0,24	3,4
73	-0,415	-78,229	1,837	2012	1	30	00	37	05:734	0,28	
74	-0,415	-78,201	3,105	2012	1	30	11	35	28:980	0,41	
75	-0,405	-78,193	2,594	2012	1	30	11	44	48:401	0,15	3,1
76	-0,411	-78,190	3,492	2012	1	30	11	51	12:437	0,17	
77	-0,692	-78,278	15,929	2012	1	30	11	51	13:794	0,13	
78	-0,478	-78,515	7,617	2012	1	31	12	24	42:849	0,15	3,2

79	-0,422	-78,238	1,981	2012	1	31	17	01	15:546	0,08	3,4
80	-0,421	-78,190	2,664	2012	2	1	14	32	46:978	0,17	3
81	-0,408	-78,244	2,213	2012	2	1	15	24	02:797	0,06	2,8
82	-0,412	-78,213	5,338	2012	2	1	23	15	22:686	0,12	
83	-0,407	-78,198	3,481	2012	2	2	02	01	16:524	0,04	2,8
84	-0,415	-78,241	1,614	2012	2	2	02	58	14:773	0,77	
85	-0,437	-78,249	4,593	2012	2	7	16	54	42:403	0,30	3,5
86	-0,436	-78,285	9,431	2012	2	11	15	15	31:147	0,34	2,7
87	-0,309	-78,519	3,256	2012	2	11	23	33	03:814	0,54	2,8
88	-0,384	-78,534	5,648	2012	2	12	00	17	59:605	0,02	2,9
89	-0,274	-78,246	6,371	2012	2	12	12	21	34:379	0,28	3
90	-0,415	-78,234	1,534	2012	2	12	18	07	00:093	0,45	2,9
91	-0,407	-78,229	-7,879	2012	2	13	05	23	58:230	0,36	3
92	-0,410	-78,198	-1,665	2012	2	13	07	46	41:623	0,33	3,3
93	-0,572	-77,981	6,037	2012	2	13	12	00	28:382	0,39	2,7
94	-0,309	-78,401	6,920	2012	2	13	18	31	18:826	0,49	2,8
95	-0,413	-78,226	-3,663	2012	2	14	18	19	10:315	0,36	3,3
96	-0,296	-78,104	-3,476	2012	2	14	23	43	25:295	0,34	2,7
97	-0,406	-78,207	-2,042	2012	2	15	12	34	36:918	0,39	2,6
98	-0,347	-78,129	0,963	2012	2	18	02	33	19:549	0,54	2
99	-0,244	-78,428	14,179	2012	2	18	22	37	54:737	0,32	2
100	-0,324	-78,171	3,002	2012	2	20	18	24	47:175	0,35	2,8
101	-0,483	-78,381	3,773	2012	2	23	20	16	16:098	0,33	
102	-0,409	-78,159	0,097	2012	2	24	00	12	34:006	0,35	2,6
103	-0,384	-78,165	-8,480	2012	2	25	10	49	42:910	0,35	2,3
104	-0,314	-78,182	-8,045	2012	2	25	11	02	07:968	0,34	2,7
105	-0,296	-78,076	2,549	2012	2	25	11	44	38:345	0,43	3,6
106	-0,296	-78,085	19,905	2012	2	27	08	13	04:985	0,37	2,7
107	-0,432	-78,226	-7,042	2012	2	28	06	55	07:969	0,35	2,1







108	-0,191	-78,125	-12,385	2012	2	29	01	12	50:015	0,56	2,3
109	-0,539	-78,172	3,227	2012	2	29	18	56	59:088	0,51	2,4

### ANEXO 3.2.- TABLA DE HIPOCENTROS Y MAGNITUDES DE LOS SISMOS LOCALES PARA LA RED TEMPORAL DE MONITOREO DEL PROYECTO CHACHIMBIRO.

 Sismos escogidos para el cálculo de modelo de velocidades.

 MLv no calculada por parámetros no aptos del sismo.

*Cusivas* Sismos de alta calidad.

ID	Latitud	Longitud	Profundidad	Año	Mes	Día	Hora	Min	Seg	Rms	MLv
1	0,444	-78,284	15,10	2011	5	10	13	9	4,103	0,08	
2	0,439	-78,263	2,01	2011	5	10	20	26	-0,094	0,20	2,4
3	0,479	-78,263	2,01	2011	5	10	22	0	47,328	0,15	
4	0,451	-78,426	3,62	2011	5	11	2	39	46,507	0,17	2,7
5	0,205	-78,238	2,02	2011	5	11	2	40	32,185	0,32	2,4
6	0,438	-78,383	3,44	2011	5	11	10	50	46,116	0,20	3,0
7	0,441	-78,256	2,02	2011	5	11	15	8	51,479	0,08	2,9
8	0,653	-78,288	0,03	2011	5	12	0	2	49,330	0,27	
9	0,249	-78,3287	0,26	2011	5	12	20	28	40,15	0,28	3,4
10	0,412	-78,2988	10	2011	5	13	15	49	9,32	0,36	
11	0,418	-78,3175	6,64	2011	5	14	1	53	8,75	0,14	2,9
12	0,485	-78,252	9,10	2011	5	14	4	42	23,699	0,61	2,9
13	0,648	-78,263	17,43	2011	5	14	7	8	38,445	0,37	
14	0,438	-78,264	0,01	2011	5	14	9	35	19,543	0,19	
15	0,437	-78,371	4,17	2011	5	15	9	20	36,890	0,26	2,8
16	0,443	-78,382	8,92	2011	5	16	5	39	8,049	0,11	2,5
17	0,434	-78,251	0,02	2011	5	16	9	15	52,059	0,25	2,4
18	0,305	-78,242	2,00	2011	5	16	13	1	11,918	0,08	2,5
19	0,466	-78,280	2,02	2011	5	16	14	29	5,701	0,09	2,2
20	0,440	-78,249	2,00	2011	5	16	14	55	5,635	0,15	2,4

21	0,290	-78,157	25,97	2011	5	16	16	13	27,527	0,10	3,1
22	0,375	-78,282	2,01	2011	5	16	19	5	21,024	0,06	3,1
23	0,592	-78,269	3,55	2011	5	17	0	55	18,687	0,20	2,8
24	0,418	-78,214	14,77	2011	5	17	11	9	33,265	0,01	2,7
25	0,416	-78,0525	40,2	2011	5	18	10	38	46,39	0,21	3,4
26	0,412	-78,324	0,22	2011	5	18	19	49	44,292	0,25	2,7
27	0,410	-78,245	4,79	2011	5	19	8	15	26,618	0,15	
28	0,427	-78,259	2,47	2011	5	19	18	51	2,590	0,15	2,7
29	0,432	-78,2536	4,73	2011	5	19	19	5	28,34	0,20	3,2
30	0,39	-78,2658	9,16	2011	5	19	19	52	43,73	0,09	3,0
31	0,561	-78,282	0,00	2011	5	20	2	11	49,244	0,91	2,4
32	0,660	-78,287	2,01	2011	5	20	9	34	16,059	0,16	2,8
33	0,497	-78,1332	10	2011	5	21	5	53	10,1	3,83	3,1
34	0,444	-78,327	0,03	2011	5	23	19	16	12,651	0,15	2,7
35	0,168	-78,3236	3,18	2011	5	24	8	13	39,82	0,44	3,4
36	0,457	-78,326	0,03	2011	5	24	8	42	-0,893	0,63	2,7
37	0,403	-78,233	2,01	2011	5	24	9	23	1,670	0,31	
38	0,444	-78,423	3,92	2011	5	24	16	8	31,943	0,15	3,1
39	0,440	-78,244	2,02	2011	5	24	17	53	13,805	0,09	3,0
40	0,432	-78,245	2,01	2011	5	26	0	11	15,585	0,24	2,7
41	0,313	-78,242	2,01	2011	5	26	0	40	44,619	0,28	2,5
42	0,592	-78,290	2,01	2011	5	27	10	49	3,264	0,41	2,7
43	0,439	-78,237	8,27	2011	5	29	16	38	30,603	0,15	
44	0,394	-78,254	3,77	2011	5	30	7	59	26,959	0,17	
45	0,340	-78,388	0,05	2011	5	30	8	20	-1,310	0,13	3,2
46	0,346	-78,380	4,08	2011	5	30	13	13	2,929	0,15	2,9
47	0,560	-78,282	2,02	2011	6	2	15	22	40,379	0,08	2,8
48	0,337	-78,415	3,48	2011	6	3	19	50	-3,054	0,17	3,5
49	0,356	-78,288	2,01	2011	6	9	5	17	11,269	0,06	3,1



50	0,440	-78,348	2,02	2011	6	10	6	41	34,346	0,12	3,0
51	0,556	-78,239	6,94	2011	6	11	20	56	36,305	0,04	
52	0,439	-78,236	2,87	2011	6	12	5	21	4,033	0,77	2,8
53	0,396	-78,381	7,88	2011	6	12	16	37	45,378	0,30	
54	0,418	-78,376	6,80	2011	6	13	6	38	34,616	0,34	2,7
55	0,335	-78,280	0,01	2011	6	13	9	14	52,882	0,54	3,0
56	0,339	-78,337	1,79	2011	6	13	13	39	17,938	0,02	2,8
57	0,291	-78,4085	25,56	2011	6	14	10	21	13,66	0,41	3,0
58	0,614	-78,5622	3,34	2011	6	16	21	32	40,68	0,43	3,3
59	0,509	-78,287	2,01	2011	6	16	22	55	48,694	0,27	2,5
60	0,363	-78,370	10,03	2011	6	17	3	53	31,325	0,45	3,0
61	0,407	-78,252	3,31	2011	6	17	12	57	-1,457	0,36	3,0
62	0,477	-78,325	2,27	2011	6	18	3	21	28,535	0,33	
63	0,470	-78,299	2,01	2011	6	18	4	27	43,773	0,39	2,7
64	0,315	-78,302	2,02	2011	6	18	4	43	-1,621	0,49	2,8
65	0,343	-78,458	3,59	2011	6	19	10	23	17,400	0,36	2,8
66	0,482	-78,316	2,13	2011	6	19	21	50	23,718	0,34	3,0
67	0,438	-78,297	0,01	2011	6	20	2	33	48,741	0,39	
68	0,293	-78,296	0,00	2011	6	20	10	51	0,678	0,54	2,7
69	0,442	-78,292	3,16	2011	6	20	16	56	39,989	0,32	2,8
70	0,359	-78,438	16,31	2011	6	21	0	4	44,57	0,38	3,3
71	0,384	-78,4798	13,52	2011	6	21	0	33	37,6	0,38	3,0
72	0,439	-78,308	2,76	2011	6	21	5	33	1,614	0,35	
73	0,324	-78,312	2,50	2011	6	21	7	19	12,026	0,35	2,6
74	0,565	-78,377	3,41	2011	6	21	21	5	45,031	0,34	2,7
75	0,437	-78,399	3,53	2011	6	21	21	49	27,970	0,43	3,1
76	0,362	-78,4669	10	2011	6	22	11	19	20,74	0,44	2,8
77	0,294	-78,4506	18,31	2011	6	22	13	33	12,08	0,39	3,0
78	0,372	-78,196	0,33	2011	6	23	11	10	48,945	0,56	

79	0,555	-78,381	6,65	2011	6	23	23	39	33,320	0,51	3,0
80	0,356	-78,2775	4,05	2011	6	25	7	46	14,65	0,38	2,5
81	0,373	-78,300	2,02	2011	6	26	12	50	34,287	0,26	2,4
82	0,441	-78,3705	23,47	2011	6	26	13	30	24,78	0,35	3,4
83	0,472	-78,3329	6,15	2011	6	26	16	39	27,33	0,37	2,8
84	0,433	-78,306	2,83	2011	6	27	2	7	28,208	0,34	2,6
85	0,562	-78,396	12,21	2011	6	29	1	7	15,501	0,28	
86	0,374	-78,300	1,40	2011	6	29	2	6	20,015	0,38	
87	0,446	-78,400	3,68	2011	6	29	7	9	11,850	0,37	
88	0,286	-78,3773	25,97	2011	6	29	8	15	46,63	0,52	
89	0,479	-78,3302	6,86	2011	6	30	4	10	11,93	0,36	3,2
90	0,538	-78,298	2,65	2011	6	30	19	40	40,679	0,40	2,7
91	0,429	-78,254	2,12	2011	7	5	2	20	26,939	0,12	2,7
92	0,426	-78,1864	6,39	2011	7	5	6	49	31,18	0,24	2,7
93	0,328	-78,257	4,05	2011	7	6	16	48	27,808	0,01	3,0
94	0,434	-78,250	0,01	2011	7	7	22	52	19,426	0,42	3,0
95	0,466	-78,265	1,05	2011	7	8	0	57	-0,341	0,70	3,2
96	0,438	-78,291	2,03	2011	7	9	7	18	25,863	0,13	2,0
97	0,636	-78,5177	3,47	2011	7	9	8	17	3,01	0,30	3,3
98	0,666	-78,242	1,40	2011	7	10	5	4	16,746	0,80	2,4
99	0,432	-78,270	20,96	2011	7	10	11	31	32,398	0,17	3,1
100	0,381	-78,3501	3,11	2011	7	11	5	53	29,46	0,18	2,7
101	0,378	-78,279	2,01	2011	7	12	4	5	9,722	0,08	
102	0,436	-78,394	0,01	2011	7	12	9	8	10,989	0,50	
103	0,257	-78,4884	19,54	2011	7	12	10	24	39,26	0,26	2,9
104	0,449	-78,420	3,72	2011	7	12	21	45	34,225	0,26	3,1
105	0,389	-78,3434	10	2011	7	12	21	50	7,74	0,62	3,3
106	0,365	-78,3073	20,54	2011	7	13	0	47	30,53	0,17	3,3
107	0,447	-78,309	6,37	2011	7	13	2	31	44,943	0,05	2,5

108	0,433	-78,289	1,40	2011	7	13	10	55	40,159	0,47	2,7
109	0,392	-78,294	3,03	2011	7	14	7	55	26,985	0,31	2,4
110	0,452	-78,289	2,02	2011	7	15	3	45	26,121	0,19	3,4
111	0,22	-78,5512	4,24	2011	7	17	9	8	54,58	1,59	3,5
112	0,264	-78,5428	3,27	2011	7	17	9	12	26,63	0,53	3,0
113	0,387	-78,3668	0,32	2011	7	18	2	51	46,27	1,22	3,0
114	0,514	-78,300	2,02	2011	7	18	4	11	48,564	0,53	2,8
115	0,450	-78,418	9,82	2011	7	20	16	15	50,735	0,20	
116	0,319	-78,3521	29,2	2011	7	20	18	30	33,81	0,23	3,6
117	0,424	-78,2384	18,37	2011	7	21	6	19	2,77	0,15	2,9
118	0,430	-78,254	2,88	2011	7	21	6	33	29,600	0,00	2,4
119	0,696	-78,273	4,51	2011	7	21	9	53	5,234	0,11	2,5
120	0,432	-78,317	14,60	2011	7	21	17	6	25,351	0,10	2,9
121	0,308	-78,3597	26,05	2011	7	22	0	38	40,31	0,14	2,9
122	0,456	-78,2538	18,52	2011	7	22	2	15	19,57	0,16	2,8
123	0,406	-78,3516	3,08	2011	7	23	6	53	51,97	0,25	3,1
124	0,395	-78,2274	19,38	2011	7	23	9	2	6,71	0,16	3,3
125	0,246	-78,2607	26,37	2011	7	23	12	31	50,49	0,28	3,4
126	0,439	-78,402	14,05	2011	7	23	18	12	12,108	0,32	2,9
127	0,376	-78,3889	3,84	2011	7	23	19	11	21,38	1,18	2,9
128	0,454	-78,378	0,80	2011	7	25	13	36	52,511	0,10	
129	0,373	-78,278	2,00	2011	7	26	6	1	32,199	0,16	3,1
130	0,450	-78,438	3,67	2011	7	26	16	14	4,757	0,28	3,1
131	0,438	-78,412	6,71	2011	7	28	2	28	23,861	0,14	3,0
132	0,464	-78,217	2,25	2011	7	28	9	6	17,276	0,10	3,0
133	0,419	-78,3207	10	2011	7	29	12	50	11,98	0,17	3,0
134	0,368	-78,318	21,39	2011	7	29	14	23	1,31	0,21	3,4
135	0,387	-78,250	17,54	2011	7	31	20	6	4,441	0,08	2,8
136	0,402	-78,276	2,03	2011	8	1	8	25	33,322	0,14	

137	0,439	-78,494	0,01	2011	8	1	8	39	32,522	0,22	2,9
138	0,440	-78,276	3,87	2011	8	1	14	46	12,027	0,11	2,7
139	0,399	-78,3176	1,75	2011	8	3	2	44	38,65	0,12	3,2
140	0,345	-78,248	23,54	2011	8	3	5	53	17,555	0,09	
141	0,435	-78,278	2,02	2011	8	3	12	51	32,996	0,17	2,6
142	0,403	-78,2733	11,35	2011	8	3	17	40	27,31	0,21	3,6
143	0,537	-78,1799	10	2011	8	4	0	12	46,72	1,63	3,1
144	0,381	-78,147	3,99	2011	8	4	3	56	-0,223	0,32	
145	0,436	-78,278	2,01	2011	8	4	10	8	29,134	0,13	2,5
146	0,444	-78,294	5,63	2011	8	4	20	12	24,685	0,04	3,1
147	0,492	-78,2466	11,71	2011	8	4	23	18	2,43	0,20	3,1
148	0,438	-78,245	2,01	2011	8	6	0	8	41,409	0,07	2,6
149	0,474	-78,488	0,06	2011	8	7	2	28	46,146	0,56	3,2
150	0,389	-78,3465	3	2011	8	7	22	23	5,54	0,14	3,1
151	0,348	-78,274	2,08	2011	8	9	7	10	32,405	0,12	
152	0,423	-78,3203	0,67	2011	8	9	12	49	36,91	0,15	2,9
153	0,49	-78,5807	10	2011	8	12	2	14	1,93	0,36	3,4
154	0,359	-78,2573	14,75	2011	8	12	15	41	36,8	0,18	3,5
155	0,366	-78,360	3,59	2011	8	12	23	43	-2,093	0,10	3,3
156	0,623	-78,5142	3,49	2011	8	14	8	38	12,86	0,25	3,1
157	0,507	-78,1557	10	2011	8	16	21	4	29,8	0,48	3,0
158	0,465	-78,2102	0,73	2011	8	17	2	31	37,42	0,22	2,8
159	0,399	-78,236	0,72	2011	8	17	5	29	14,996	0,19	3,5
160	0,416	-78,590	9,95	2011	8	19	7	33	8,495	0,29	2,7
161	0,322	-78,0221	6,42	2011	8	19	10	26	-0,06	0,88	2,9
162	0,583	-78,6806	3,08	2011	8	20	14	34	2,51	0,47	3,6
163	0,422	-78,410	3,68	2011	8	21	11	50	33,794	0,32	3,5
164	0,417	-78,297	2,04	2011	8	22	4	14	15,752	0,45	2,9
165	0,477	-78,2269	6,94	2011	8	24	2	11	25,99	0,26	3,0

166	0,429	-78,515	26,66	2011	8	24	2	26	40,050	0,26	3,3
167	0,558	-78,7795	3,31	2011	8	25	11	33	43,15	0,57	3,3
168	0,414	-78,2927	21,91	2011	8	25	12	30	34,08	0,31	3,1
169	1,091	-78,4417	4,05	2011	8	27	4	28	40,69	0,53	3,4
170	0,441	-78,286	3,26	2011	8	27	8	24	44,851	0,31	2,6
171	0,829	-78,4719	3,54	2011	8	30	4	41	52,75	0,42	3,2
172	0,738	-78,6375	22,37	2011	8	30	15	6	25,95	0,28	3,6
173	0,442	-78,376	9,72	2011	8	30	15	6	27,688	0,27	3,0
174	0,469	-78,434	0,04	2011	8	30	22	21	2,040	0,20	3,2
175	0,360	-78,303	7,74	2011	8	31	0	11	40,349	0,38	
176	0,465	-78,449	0,03	2011	8	31	3	56	50,711	0,24	2,8
177	0,76	-78,5974	3,11	2011	8	31	10	37	18,49	0,47	3,5
178	0,373	-78,5567	17,96	2011	8	31	20	22	9,39	0,36	3,7
179	0,199	-78,3332	13,46	2011	9	1	2	33	-1,46	0,29	3,6
180	0,371	-78,369	3,39	2011	9	1	0	59	20,569	0,41	3,5
181	0,489	-78,388	3,64	2011	9	1	1	16	52,488	0,37	3,0
182	0,448	-78,368	2,88	2011	9	1	2	33	-1,337	0,39	3,2

### ANEXO 4.1.- TABLA DE MAGNITUDES LOCALES PARA EL PROYECTO CHACANA.

Tabla de valores de amplitudes, distancias, MLv calculadas por estación y MLv promedio para el Proyecto Geotérmico Chacana.

Fecha	Hora	Estación	A (m/s)	$\Delta X$ (km)	MLv por estación	MLv
02/11/2011	06:10:20.060	CH9	0,4597	3,6	2,764	<b>2,6</b>
		CH1	0,1710	6,6	2,503	
		CH8	0,2685	8,9	2,697	
		CH7	0,0930	10,8	2,360	
		CH6	0,5077	11,7	2,952	
		CH3	0,0877	17,9	2,411	
03/11/2011	04:04:16.520	CH9	1,2816	11,5	3,267	<b>3,0</b>
		CH1	0,8519	16,1	3,174	
		CH8	1,0004	19,7	3,258	
		CH0	0,8894	17,4	3,200	
		CH7	0,4912	21,6	3,029	
		CH6	1,5628	22,2	3,429	
		CH3	0,5339	27,6	3,095	
		CH2	0,5842	27,3	3,124	
04/11/2011	21:01:20.380	CH3	0,5969	29,5	3,144	<b>3,0</b>
		CH4	0,2092	30,5	2,791	
		CH8	0,5564	39,6	3,170	
		CH7	0,1702	38,1	2,757	
		CH2	0,3000	37,3	2,948	
	21:34:20.380	CH3	0,1440	20,4	2,600	<b>2,7</b>
		CH4	0,1072	22,2	2,512	
		CH6	0,4372	27,1	3,024	
		CH7	0,1185	29,0	2,588	
	05/11/2011	10:22:56.730	CH8	0,9434	8,3	3,118
CH6			2,4957	5,7	3,402	
CH7			0,3839	7,9	2,804	
CH1			0,5474	7,7	2,922	

		CH0	0,3532	5,8	2,735		
		CH3	0,3510	4,9	2,711		
		CH2	0,1275	12,3	2,486		
		CH4	0,1237	13,8	2,492		
	11:05:06.890	CH8	0,4619	2,6	2,725		<b>2,6</b>
		CH6	1,1046	0,8	2,879		
		CH7	0,1920	1,8	2,379		
		CH1	0,3330	5,8	2,715		
		CH3	0,1545	7,5	2,485		
		CH0	0,1965	6,2	2,543		
06/11/2011	05:44:10.350	CH4	0,0622	19,6	2,307		
		CH0	1,1901	5,0	3,132		
		CH1	1,9902	7,4	3,358		
		CH9	0,8886	9,1	3,110		
		CH3	0,4724	11,8	2,929		
		CH8	1,3131	11,5	3,275		
		CH4	0,2400	10,9	2,686		
		CH7	0,5699	12,2	2,997		
12/11/2011	01:23:26.220	CH2	0,1042	18,1	2,472	<b>3,0</b>	
		CH8	0,9531	2,1	2,947		
		CH7	0,5054	1,2	2,661		
		CH6	0,8099	1,3	2,832		
		CH1	0,0967	5,9	2,294		
		CH3	0,1935	8,0	2,571		
15/11/2011	12:17:37.980	CH2	0,0375	7,3	1,997	<b>2,6</b>	
		CH2	0,9974	13,9	3,207		
		CH7	0,4162	13,0	2,899		
		CH8	0,4822	14,3	2,962		
		CH6	0,7814	11,0	3,091		
		CH4	0,1140	15,5	2,480		
		CH1	0,1020	15,4	2,441		
		CH3	0,2460	4,3	2,573		
	CH9	0,6974	19,8	3,136			
	13:53:12.100	CH2	0,7979	10,1	3,087	<b>2,8</b>	

		CH7	0,2992	12,3	2,778	
		CH8	0,4289	14,2	2,921	
		CH6	0,6524	11,2	3,032	
		CH1	0,0967	17,2	2,439	
		CH3	0,1650	6,5	2,489	
		CH9	0,4694	21,8	3,014	
18/11/2011	11:23:16.370	CH8	0,8931	1,4	2,875	<b>2,7</b>
		CH6	1,1039	2,2	3,003	
		CH7	0,2520	2,0	2,485	
		CH1	0,1500	4,7	2,415	
	11:27:59.820	CH8	1,2928	11,4	3,269	<b>3,0</b>
		CH6	1,7825	12,3	3,389	
		CH7	0,4274	12,9	2,907	
		CH1	0,2880	6,3	2,676	
CH3		0,4807	15,9	2,976		
20/11/2011	01:51:50.730	CH2	0,3585	17,5	2,890	<b>2,7</b>
		CH4	0,3495	12,0	2,828	
		CH7	0,1192	15,5	2,495	
		CH3	0,3165	7,3	2,727	
	08:08:47.330	CH2	2,2205	103,0	3,848	<b>3,5</b>
		CH4	0,9741	11,3	3,170	
		CH3	0,9456	102,4	3,554	
		CH6	1,2441	107,3	3,660	
		CH7	0,7072	108,0	3,469	
		CH8	0,7971	110,0	3,515	
		CH1	0,2955	113,5	3,183	
		CH9	0,3772	118,1	3,278	
21/11/2011	10:14:25.750	CH8	0,8121	5,7	3,018	<b>3,0</b>
		CH7	0,3480	7,6	2,765	
		CH9	0,8031	3,1	2,937	
		CH2	0,9636	13,7	3,193	
		CH1	0,6772	2,7	2,861	
		CH6	0,8481	8,1	3,078	
		CH0	3,4683	5,2	3,503	



		CH4	0,2197	20,5	2,745	
		CH3	0,3854	14,0	2,883	
	20:30:54.070	CH9	8,9688	5,0	3,823	<b>3,6</b>
		CH1	4,6659	8,5	3,668	
		CH0	12,9186	8,8	4,022	
		CH8	6,1357	13,4	3,824	
		CH7	1,5313	15,1	3,366	
		CH3	4,8519	19,0	3,794	
		CH4	1,0589	18,3	3,267	
		CH2	1,1856	21,5	3,330	
23/11/2011		01:31:34.730	CH0	3,5208	3,9	
	CH1		0,3675	6,5	2,763	
	CH6		0,3030	8,1	2,726	
	CH8		0,4702	9,5	2,898	
	CH9		0,2775	9,7	2,720	
	CH3		0,1875	8,9	2,574	
	CH7		0,1207	9,9	2,438	
	CH4		0,0450	11,9	2,125	
24/11/2011	06:14:01.220	CH9	0,4882	8,1	2,889	<b>2,8</b>
		CH8	0,2767	15,6	2,784	
		CH6	0,4207	16,4	2,935	
		CH7	0,1462	17,1	2,579	
		CH3	0,1792	19,4	2,667	
25/11/2011	03:58:07.900	CH7	1,9048	8,2	3,357	<b>3,3</b>
		CH8	4,3382	8,1	3,637	
		CH4	0,4109	13,2	2,896	
		CH6	6,3352	6,3	3,734	
		CH1	0,4799	6,2	2,848	
		CH3	0,9029	7,1	3,082	
		CH0	3,6243	3,9	3,481	
26/11/2011	06:26:46.830	CH7	1,4046	6,1	3,214	<b>3,1</b>
		CH4	0,2250	15,4	2,712	
		CH8	2,6269	6,5	3,437	
		CH6	4,5991	4,0	3,566	

		CH1	0,3929	6,5	2,786	
		CH3	0,5497	5,2	2,872	
01/12/2011	11:05:51.120	CH0	0,6712	23,8	3,150	3,1
		CH3	0,8984	20,9	3,230	
		CH1	0,2797	26,4	2,867	
		CH6	0,8519	25,9	3,245	
		CH8	0,6869	28,5	3,187	
		CH9	0,7177	28,9	3,204	
		CH7	0,4027	28,1	3,001	
		CH2	0,1552	31,2	2,692	
		12:16:52.570	CH5	0,8736	10,5	
	CH9		0,8091	14,5	3,141	
	CH8		0,8714	12,7	3,148	
	CH7		0,4762	13,8	2,953	
	CH1		0,4537	15,0	2,948	
	CH2		2,1597	15,2	3,484	
	CH6		3,5275	15,8	3,658	
	CH0		0,6352	17,5	3,085	
	CH3		0,7679	22,4	3,187	
	13:20:33.580	CH4	0,5932	29,6	3,142	3,0
		CH2	1,2936	49,5	3,499	
		CH6	0,3112	45,3	2,995	
		CH5	0,3735	50,4	3,077	
		CH3	0,2107	39,5	2,837	
		CH7	0,1725	47,5	2,802	
		CH8	0,4117	48,2	3,102	
		CH1	0,2092	46,6	2,864	
		CH9	0,1770	49,2	2,817	
	02/12/2011	04:26:08.750	CH3	0,5114	19,9	3,030
CH1			0,2970	23,8	2,871	
CH6			0,9599	24,1	3,275	
CH8			0,7776	26,5	3,217	
CH9			0,5174	25,9	3,074	
CH2			0,1987	30,1	2,771	

	07:01:16.290	CH0	2,8376	22,7	3,637	<b>3,5</b>	
		CH9	2,7754	21,5	3,621		
		CH5	0,6217	29,6	3,158		
		CH1	2,6269	23,8	3,617		
		CH4	0,6307	19,3	3,097		
		CH3	2,5969	30,6	3,653		
		CH8	1,8748	28,9	3,533		
		CH6	2,2010	29,2	3,589		
		CH7	1,1953	30,2	3,386		
		CH2	0,6614	36,5	3,215		
04/12/2011	06:05:27.130	CH5	0,3030	19,0	2,844	<b>2,7</b>	
		CH1	0,1282	25,0	2,591		
		CH9	0,1732	27,2	2,707		
		CH0	0,1987	26,8	2,752		
08/12/2011	14:10:52.270	CH0	6,9688	44,9	4,058	<b>3,8</b>	
		CH9	3,3288	44,7	3,804		
		CH5	1,5740	52,4	3,577		
		CH1	2,5917	46,4	3,725		
		CH3	4,3382	50,8	3,918		
		CH8	2,6449	51,4	3,751		
		CH6	6,0330	51,1	4,033		
		CH7	2,6067	52,5	3,750		
	22:41:35.990	CH3	0,2625	39,4	2,912	<b>2,9</b>	
		CH1	0,1590	41,4	2,749		
		CH6	0,6839	43,0	3,255		
		CH7	0,1867	45,1	2,819		
	09/12/2011	00:53:27.810	CH6	0,1545	21,4	2,631	<b>2,4</b>
			CH2	0,0855	17,6	2,400	
CH3			0,0937	17,2	2,428		
CH7			0,0607	22,1	2,316		
01:17:01.380		CH2	0,2587	28,6	2,853	<b>2,7</b>	
		CH5	0,1575	36,4	2,723		
		CH3	0,1957	35,8	2,794		

		CH7	0,1507	35,0	2,701	
		CH0	0,0712	42,4	2,478	
	02:33:54.470	CH2	0,3090	44,3	2,988	<b>2,9</b>
		CH5	0,2010	51,9	2,871	
		CH8	0,5752	52,2	3,232	
		CH7	0,1620	50,6	2,792	
		CH1	0,1102	57,2	2,684	
		CH0	0,1012	58,1	2,658	
12/12/2011	15:57:53.030	CH0	0,7004	27,7	3,189	
		CH7	0,3839	31,1	3,002	
		CH1	0,3442	30,2	2,959	
		CH8	0,7477	31,8	3,233	
		CH9	0,7739	33,1	3,252	
13/12/2011	05:47:47.000	CH3	0,2917	14,0	2,787	<b>2,7</b>
		CH1	0,0585	23,0	2,310	
		CH7	0,4319	22,4	2,990	
		CH8	0,1627	23,5	2,663	
		CH0	0,1860	20,7	2,690	
		CH2	0,2197	24,0	2,769	
	06:18:54.600	CH5	0,1897	3,4	2,454	<b>2,6</b>
		CH2	0,1357	6,6	2,424	
		CH9	0,1597	11,9	2,558	
		CH1	0,3075	9,4	2,751	
		CH6	0,4274	7,1	2,826	
		CH0	0,1447	11,3	2,518	
	09:53:23.220	CH2	0,3607	38,4	3,016	<b>2,8</b>
		CH3	0,1380	42,5	2,705	
		CH7	0,0772	44,6	2,515	
		CH6	0,3787	44,8	3,060	
		CH5	0,0892	46,8	2,573	
		CH8	0,1140	46,4	2,655	
15:48:49.080	CH0	0,2467	9,8	2,681	<b>2,7</b>	
	CH1	0,2782	8,6	2,705		
	CH2	0,6697	4,7	2,927		

		CH5	0,4147	3,8	2,736	<b>3,3</b>
		CH6	0,4334	4,3	2,767	
		CH7	0,4529	2,3	2,704	
		CH8	0,2880	3,5	2,601	
	23:12:38.610	CH5	1,4091	6,0	3,213	
		CH9	1,3333	11,4	3,279	
		CH8	1,3341	8,2	3,235	
		CH7	0,6892	9,3	3,026	
		CH1	0,7844	10,9	3,091	
		CH2	3,5650	11,5	3,617	
		CH6	6,2384	11,3	3,806	
		CH0	1,1256	13,4	3,243	
		CH3	1,2951	18,0	3,333	
14/12/2011	01:21:31.010	CH2	0,0795	16,0	2,361	<b>2,4</b>
		CH7	0,0390	20,9	2,156	
		CH3	0,0937	16,8	2,424	
		CH6	0,1275	20,4	2,558	
		CH5	0,0952	24,0	2,483	
15/12/2011	14:05:26.410	CH2	0,3877	14,0	2,885	<b>2,6</b>
		CH5	0,1320	19,0	2,560	
		CH6	0,1777	20,9	2,676	
		CH7	0,0705	19,2	2,346	
17/12/2011	00:02:39.910	CH5	0,2017	31,9	2,785	<b>2,8</b>
		CH2	0,1965	32,9	2,782	
		CH7	0,0825	34,4	2,492	
		CH6	0,4447	36,6	3,079	
		CH3	0,1455	42,5	2,723	
18/12/2011	02:33:39.640	CH5	0,1305	25,5	2,600	<b>2,7</b>
		CH7	0,1102	29,0	2,563	
		CH6	0,2715	30,9	2,882	
		CH3	0,1567	37,6	2,727	
	09:24:02.100	CH9	0,4229	27,6	3,015	<b>2,9</b>
		CH0	0,7304	30,2	3,217	
		CH5	0,1440	36,2	2,691	

		CH1	0,6554	30,8	3,183		
		CH6	0,4514	36,8	3,085		
		CH3	0,3637	39,1	3,022		
		CH7	0,1200	37,5	2,635		
		CH2	0,0960	43,8	2,586		
	23:57:33.780	CH3	0,7986	13,5	3,127		3,3
		CH0	2,4972	8,0	3,446		
		CH5	0,5347	16,1	3,014		
		CH1	3,5170	10,4	3,599		
		CH9	2,2122	11,6	3,455		
		CH8	3,9820	14,4	3,686		
		CH6	4,8496	13,5	3,744		
		CH7	0,8189	15,1	3,151		
		CH2	0,1762	20,8	2,672		
19/12/2011	11:07:38.520	CH5	0,1567	32,0	2,700	2,9	
		CH7	0,0795	35,4	2,484		
		CH6	1,0041	36,5	3,358		
		CH3	0,2257	42,7	2,874		
	18:37:32.800	CH5	1,4323	7,9	3,254	3,2	
		CH8	1,2396	10,1	3,238		
		CH2	0,9666	12,3	3,179		
		CH7	0,4799	11,0	2,924		
		CH1	1,1518	13,0	3,247		
		CH6	1,6948	13,1	3,380		
05/01/2012	08:33:08.155	CH2	0,0870	16,0	2,392	2,3	
		CH3	0,0577	17,0	2,260		
10/01/2012	02:43:20.015	CH5	0,1605	4,5	2,432	2,7	
		CH2	0,5827	7,9	2,946		
		CH6	0,4627	1,2	2,631		
		CH4	0,2460	19,6	2,777		
		CH3	0,2070	7,8	2,590		
	08:51:24.245	CH4	0,2857	10,8	2,744	2,7	
		CH2	0,2602	31,3	2,869		
CH3		0,1680	21,0	2,657			

		CH6	0,1275	26,2	2,597		
15/01/2012	07:49:54.795	CH5	0,7222	2,3	2,863	<b>2,8</b>	
		CH0	0,5279	9,7	2,940		
		CH8	0,3382	3,2	2,645		
		CH9	0,4544	11,0	2,906		
		CH2	0,2130	6,4	2,574		
		CH1	0,4229	8,0	2,838		
		CH4	0,1140	24,4	2,547		
16/01/2012	08:37:37.515	CH0	0,3854	17,4	2,914	<b>2,8</b>	
		CH9	0,3989	12,9	2,883		
		CH5	0,1432	21,5	2,606		
		CH1	0,1807	17,0	2,651		
		CH8	0,7679	21,6	3,182		
		CH6	0,8324	23,4	3,221		
		CH4	0,1267	23,8	2,580		
		CH2	0,0682	29,7	2,403		
	09:20:24.335	CH2	0,0322	101,3	2,394	<b>2,5</b>	
		CH0	0,1222	113,7	2,882		
		CH1	0,0300	113,8	2,401		
		CH4	0,0405	117,2	2,512		
	17/01/2012	07:08:52.055	CH4	0,0600	51,9	2,457	<b>2,3</b>
			CH2	0,0652	53,2	2,490	
CH1			0,0157	59,5	2,026		
09:13:32.405		CH2	0,1200	31,1	2,603	<b>2,4</b>	
		CH4	0,0285	39,4	2,151		
13:01:52.135		CH2	0,1515	56,7	2,791	<b>2,8</b>	
		CH4	0,1260	55,0	2,722		
		CH6	0,2932	57,9	3,022		
19/01/2012		20:38:30.755	CH8	1,6393	38,2	3,533	<b>3,5</b>
	CH6		1,6108	38,6	3,529		
	CH4		0,1222	27,4	2,589		
	CH5		20,8188	38,8	4,406		
20/01/2012	03:08:16.995	CH8	2,5309	8,0	3,451	<b>3,1</b>	
		CH5	0,6299	9,6	2,999		

		CH3	0,4694	9,9	2,903	
		CH6	2,3779	7,4	3,419	
		CH4	0,1702	13,9	2,602	
	21:47:33.995	CH3	0,0555	26,2	2,312	<b>2,6</b>
		CH4	0,1365	27,3	2,626	
		CH6	0,1845	33,0	2,760	
21/01/2012	12:16:08.545	CH9	0,7529	46,5	3,302	<b>3,1</b>
		CH3	0,5662	41,7	3,185	
		CH6	0,7462	46,1	3,298	
		CH1	0,2430	45,2	2,910	
		CH5	0,0952	50,3	2,609	
	14:32:21.835	CH3	0,5002	66,3	3,233	<b>3,0</b>
		CH4	0,5879	68,1	3,294	
		CH8	0,4049	76,1	3,191	
		CH5	0,2295	78,0	3,002	
		CH1	0,0540	77,7	2,506	
22/01/2012	10:07:02.075	CH6	0,5234	3,8	2,816	<b>2,5</b>
		CH8	0,3022	6,0	2,686	
		CH3	0,0592	6,0	2,128	
		CH5	0,0667	8,2	2,210	
24/01/2012	08:14:45.875	CH3	0,0532	32,4	2,332	<b>2,5</b>
		CH6	0,1020	39,0	2,586	
25/01/2012	11:48:27.015	CH3	0,3742	12,5	2,857	<b>2,8</b>
		CH6	0,4477	19,0	2,978	
		CH4	0,2017	21,4	2,723	
		CH0	0,2077	22,4	2,739	
		CH8	0,6404	22,2	3,124	
		CH5	0,0915	24,2	2,471	
26/01/2012	07:46:01.695	CH3	0,0555	12,3	2,201	<b>2,4</b>
		CH2	0,1230	20,3	2,545	
		CH4	0,0675	19,2	2,332	
		CH1	0,0780	23,5	2,411	
29/01/2012	04:18:38.715	CH2	0,2685	20,5	2,814	<b>2,6</b>
		CH6	0,1920	24,9	2,729	



		CH3	0,1425	20,9	2,600		
		CH5	0,0600	28,6	2,352		
		CH4	0,0690	34,7	2,432		
	07:46:55.175	CH2	0,7612	9,2	3,058		<b>3,0</b>
		CH6	0,7679	6,8	3,021		
		CH3	1,1736	1,6	2,985		
		CH5	0,4987	12,1	2,951		
		CH4	0,4687	18,0	2,985		
	08:14:29.165	CH6	0,4417	7,4	2,843		<b>2,7</b>
		CH3	0,2077	10,2	2,627		
		CH5	0,2940	9,5	2,737		
	30/01/2012	00:03:46.665	CH6	0,7907	6,7		3,029
CH3			2,0254	0,4	3,002		
CH2			8,4296	10,6	3,900		
CH1			2,8204	11,4	3,536		
CH8			2,9372	10,0	3,532		
CH5			2,2661	12,2	3,470		
CH4			1,0063	16,1	3,231		
CH9			1,2306	15,9	3,298		
CH0		2,8331	10,0	3,519			
11:44:49.515		CH6	1,5380	7,5	3,272	<b>3,1</b>	
		CH2	1,7975	11,6	3,384		
		CH3	2,0045	1,3	3,142		
		CH1	0,2085	11,8	2,649		
		CH0	0,2250	10,2	2,655		
		CH8	1,7525	10,8	3,365		
	CH4	0,8549	15,2	3,167			
CH5	0,8421	12,9	3,139				
31/01/2012	12:24:44.205	CH6	1,9760	5,7	3,322	<b>3,2</b>	
		CH2	2,0615	11,3	3,427		
		CH3	2,1642	2,9	3,268		
		CH1	0,2497	9,2	2,677		
		CH5	1,1009	10,9	3,207		
		CH4	0,8751	14,7	3,170		

		CH6	3,9767	6,7	3,582	<b>3,4</b>
		CH5	2,1755	11,3	3,445	
		CH3	4,4244	5,6	3,596	
		CH8	3,5838	9,1	3,587	
		CH4	1,9505	12,7	3,424	
		CH0	0,4477	5,8	2,816	
01/02/2012	14:32:48.235	CH6	0,4678	6,4	2,844	<b>3,0</b>
		CH1	0,5302	5,7	2,872	
		CH8	5,6805	7,9	3,726	
		CH5	0,8534	9,9	3,107	
		CH4	0,4057	13,4	2,894	
		CH0	0,5422	3,4	2,814	
	15:24:05.185	CH2	0,5339	3,2	2,801	<b>2,8</b>
		CH6	0,6127	4,2	2,882	
		CH8	0,2797	5,7	2,653	
02/02/2012	02:01:19.305	CH4	0,2857	12,1	2,760	<b>2,8</b>
		CH5	0,3240	13,7	2,820	
07/02/2012	16:54:43.025	CH6	9,4660	7,6	3,896	<b>3,5</b>
		CH2	6,8069	10,4	3,825	
		CH3	1,7923	1,1	3,084	
		CH8	1,7615	10,9	3,368	
		CH5	2,3869	13,0	3,497	
		CH4	1,7150	17,0	3,421	

## ANEXO 4.2.- TABLA DE MAGNITUDES LOCALES PARA EL PROYECTO CHACHIMBIRO

Tabla de valores de amplitudes, distancias, MLv calculadas por estación y MLv promedio para el Proyecto Geotérmico Chachimbiro.

Fecha	Hora	Estación	A (m/s)	$\Delta X$ (km)	MLv por estación	MLv
10.05.2011	20:26:03.375	CHA5	0,145	3,4	2,363	2,4
		CHA1	0,138	4,4	2,377	
11.05.2011	00:05:38.945	CHA5	0,725	25,4	3,187	2,7
		CHA3	0,271	28,2	2,867	
		CHA2	0,025	30,7	2,068	
	02:39:52.175	CHA5	0,042	31	2,245	2,7
		CHA1	0,235	34	2,848	
		CHA6	0,362	35,7	3,004	
		CHA3	0,609	37,4	3,191	
		CHA2	0,043	38	2,286	
	02:40:34.305	CHA2	0,034	2,4	1,820	2,4
		CHA1	0,957	5	3,057	
	02:47:44.975	CHA5	0,278	16,7	2,796	2,3
		CHA2	0,011	19	1,719	
	10:50:50.755	CHA5	1,076	14,4	3,238	3,0
		CHA1	0,286	16,5	2,804	
		CHA3	0,490	19,5	3,012	
		CHA2	0,398	20,9	2,952	
15:08:53.795	CHA6	1,390	4,7	3,177	2,9	
	CHA5	0,711	0,8	2,728		
	CHA1	0,360	4,5	2,709		
12.05.2011	20:28:42.520	CHA5	2,706	18,2	3,587	3,4
		CHA1	1,300	19,8	3,349	
		CHA3	0,666	22,6	3,139	
		CHA2	1,576	24,4	3,446	
14.05.2011	01:53:09.925	CHA5	0,429	5,1	2,785	2,9
		CHA6	0,920	9,7	3,130	

	04:42:26.775	CHA3	0,788	9,9	3,080	<b>2,9</b>
		CHA2	0,124	11,2	2,463	
		CHA5	0,314	9,2	2,755	
		CHA6	1,431	12,7	3,318	
		CHA2	0,054	15,4	2,221	
15.05.2011	09:20:40.995	CHA5	0,149	20,3	2,611	<b>2,8</b>
		CHA1	0,259	22,2	2,814	
		CHA6	0,260	25,1	2,834	
		CHA2	0,324	26,7	2,919	
16.05.201	05:39:12.725	CHA1	0,060	16,6	2,271	<b>2,5</b>
		CHA2	0,202	21	2,720	
		CHA6	0,129	19,2	2,554	
	09:15:54.385	CHA2	0,227	2,7	2,487	<b>2,4</b>
		CHA3	0,138	2,2	2,290	
	13:01:14.145	CHA6	0,029	7,4	1,906	<b>2,5</b>
		CHA2	0,471	6,9	2,856	
		CHA1	0,250	11,4	2,706	
		CHA5	0,203	12	2,642	
	14:29:09.235	CHA5	0,190	6	2,526	<b>2,2</b>
		CHA1	0,152	7,8	2,485	
		CHA3	0,014	11	1,703	
	14:55:07.865	CHA6	0,068	0,9	1,938	<b>2,4</b>
		CHA5	0,387	3,9	2,716	
		CHA1	0,164	4,1	2,429	
	16:13:38.315	CHA2	1,041	30,1	3,338	<b>3,1</b>
CHA6		1,573	29,6	3,476		
CHA5		0,431	32,9	3,051		
CHA1		0,052	34	2,330		
CHA3		0,481	33,9	3,093		
19:05:23.485	CHA5	0,445	5,4	2,805	<b>3,1</b>	
	CHA1	1,971	6,2	3,332		
17.05.2011	00:55:20.915	CHA5	0,354	20,2	2,907	<b>2,8</b>
		CHA6	0,202	22,1	2,728	

	11:09:40.785	CHA3	0,273	20,2	2,818	<b>2,7</b>
		CHA1	0,172	13,4	2,600	
18.05.2011	10:38:51.445	CHA6	0,626	32,2	3,175	<b>3,4</b>
		CHA2	0,380	33,9	3,012	
		CHA5	1,455	33,5	3,470	
		CHA1	3,205	36,1	3,753	
	19:49:47.855	CHA1	0,017	20,3	1,864	<b>2,7</b>
		CHA5	2,759	21,8	3,621	
19.05.2011	18:51:05.015	CHA6	1,289	2,2	3,056	<b>2,7</b>
		CHA5	0,019	2,7	1,639	
		CHA1	0,888	3,7	2,993	
		CHA3	1,017	6,1	3,103	
	19:05:28.875	CHA6	2,620	3,6	3,360	<b>3,2</b>
		CHA1	1,310	4	3,136	
		CHA2	1,175	5,9	3,149	
		CHA3	0,882	7	3,072	
	19:52:45.295	CHA5	0,126	1,8	2,235	<b>3,0</b>
		CHA6	0,317	5,6	2,693	
		CHA1	3,637	5,7	3,531	
		CHA2	3,093	8	3,520	
20.05.2011	02:11:51.085	CHA5	0,171	32,6	2,732	<b>2,4</b>
		CHA1	0,019	35,7	1,988	
	09:34:18.675	CHA1	0,259	14,9	2,755	<b>2,8</b>
21.05.2011	05:53:14.165	CHA5	0,300	22,5	2,866	<b>3,1</b>
		CHA1	0,876	24,3	3,245	
		CHA3	0,697	27,2	3,184	
		CHA2	0,601	28,9	3,143	
23.05.2011	19:16:16.675	CHA5	0,245	23	2,800	<b>2,7</b>
		CHA1	0,144	25,3	2,632	
		CHA3	0,225	28,3	2,803	
24.05.2011	08:13:42.180	CHA5	1,716	23,2	3,468	<b>3,4</b>
		CHA1	1,229	25,3	3,367	
		CHA3	1,537	28,3	3,461	
		CHA6	1,097	28	3,344	

		CHA2	1,684	29,8	3,501	
	08:42:02.605	CHA5	0,164	28,7	2,698	<b>2,7</b>
		CHA1	0,131	29,9	2,626	
		CHA3	0,135	32,4	2,650	
		CHA6	0,219	33,4	2,822	
	16:08:37.765	CHA2	1,006	31,6	3,334	<b>3,1</b>
		CHA5	0,225	32,1	2,823	
		CHA6	0,846	33,1	3,282	
	17:53:15.995	CHA6	1,358	4,2	3,155	<b>3,0</b>
		CHA2	1,320	3,2	3,111	
		CHA1	0,502	7,8	2,894	
		CHA3	0,993	7	3,113	
		CHA5	0,362	9	2,801	
	00:11:20.755	CHA6	1,941	1,8	3,171	<b>2,7</b>
		CHA2	0,997	1,2	2,893	
		CHA1	0,238	3,8	2,545	
		CHA3	0,228	3,8	2,531	
		CHA5	0,143	5,7	2,424	
	00:40:46.755	CHA6	0,607	2,2	2,798	<b>2,5</b>
		CHA2	0,091	0,5	1,967	
		CHA1	0,214	4,5	2,530	
		CHA3	0,373	4	2,706	
		CHA5	0,089	6,5	2,278	
27.05.2011	10:49:00.845	CHA1	0,405	1,3	2,595	<b>2,7</b>
		CHA5	0,302	3,6	2,620	
		CHA6	0,363	5,5	2,737	
		CHA2	0,583	6,1	2,913	
30.05.2011	08:20:03.815	CHA5	0,183	28,5	2,735	<b>3,2</b>
		CHA1	0,473	29,5	3,065	
		CHA6	1,221	33,1	3,408	
		CHA3	0,829	31,8	3,269	
		CHA2	2,090	34,2	3,597	
30.05.2011	13:13:08.665	CHA5	0,366	33	2,995	<b>2,9</b>
		CHA1	0,211	35,6	2,820	

		CHA2	0,322	39,8	2,983	
02.06.2011	15:22:41.985	CHA5	0,417	7,3	2,822	<b>2,8</b>
		CHA1	0,428	8,7	2,854	
		CHA3	0,366	11,7	2,840	
03.06.2011	19:50:01.765	CHA5	1,619	26,6	3,469	<b>3,5</b>
		CHA1	1,095	28,1	3,344	
		CHA6	1,459	31,3	3,460	
		CHA2	1,858	32,8	3,550	
09.06.2011	05:17:17.085	CHA5	0,588	10,6	2,989	<b>3,1</b>
		CHA1	1,054	10,9	3,192	
		CHA2	0,688	15,7	3,097	
10.06.2011	06:41:38.105	CHA5	0,305	7,1	2,711	<b>3,0</b>
		CHA1	0,396	7,5	2,808	
		CHA3	0,461	10,2	2,900	
		CHA6	2,603	11,2	3,506	
12.06.2011	05:21:06.285	CHA6	0,929	6,5	3,081	<b>2,8</b>
		CHA2	0,745	5,2	2,976	
		CHA5	0,339	11,3	2,809	
		CHA1	0,130	9,9	2,462	
13.06.2011	06:38:38.425	CHA5	0,180	13,2	2,614	<b>2,7</b>
		CHA3	0,186	17,5	2,665	
		CHA2	0,289	19,3	2,830	
	09:14:54.465	CHA1	0,401	79,5	3,198	<b>3,0</b>
		CHA2	0,130	83,4	2,824	
	13:39:22.835	CHA3	0,410	20,8	2,961	<b>2,8</b>
CHA2		0,187	23,7	2,712		
CHA1		0,264	23,7	2,830		
14.06.2011	10:21:17.580	CHA5	0,612	19,2	3,086	<b>3,0</b>
		CHA6	0,724	24	3,178	
		CHA3	1,095	24	3,319	
		CHA2	0,028	25,6	2,074	
		CHA1	2,082	21	3,519	
16.06.2011	21:32:46.165	CHA1	1,032	32,3	3,346	<b>3,3</b>
		CHA5	0,891	28,9	3,278	

		CHA6	0,425	29,3	3,027		
		CHA2	2,110	31,6	3,588		
		CHA1	0,241	3,2	2,529		<b>2,4</b>
		CHA5	0,193	7,1	2,555		
	22:55:51.245	CHA6	0,088	6	2,265		
17.06.2011	03:53:36.175	CHA3	1,423	21,7	3,393	<b>3,0</b>	
		CHA1	0,170	23,5	2,678		
		CHA5	0,238	27	2,814		
	12:57:00.785	CHA6	4,722	3,3	3,551	<b>3,0</b>	
		CHA5	1,196	4,8	3,128		
		CHA1	0,689	1,6	2,802		
CHA2		0,816	3,1	2,942			
		CHA3	0,508	2,6	2,758		
18.06.2011	04:27:46.095	CHA5	0,675	5,9	2,959	<b>2,7</b>	
		CHA1	0,336	5,5	2,711		
		CHA3	0,227	8	2,625		
		CHA2	0,205	10,2	2,623		
	04:43:02.215	CHA5	0,455	16,9	2,966	<b>2,8</b>	
		CHA1	0,231	18,7	2,749		
CHA3		0,153	21,6	2,630			
19.06.2011	10:23:21.680	CHA5	0,156	25,4	2,660	<b>2,8</b>	
		CHA1	0,383	25,8	2,971		
		CHA3	0,291	27,9	2,889		
		CHA2	0,204	30,6	2,783		
	21:50:26.585	CHA5	0,481	6,7	2,859	<b>3,0</b>	
		CHA6	0,605	10,5	2,997		
		CHA1	0,459	6,6	2,841		
		CHA3	1,139	9,2	3,196		
20.06.2011	10:51:03.365	CHA5	0,201	9,5	2,606	<b>2,7</b>	
		CHA1	0,161	7,9	2,506		
		CHA6	0,398	12,3	2,876		
		CHA2	0,331	12,4	2,814		
	16:56:44.885	CHA1	0,181	5	2,486	<b>2,8</b>	
		CHA6	1,145	9,2	3,198		



		CHA3	0,215	7,4	2,596	
21.06.2011	00:04:49.710	CHA5	0,371	20,9	2,928	<b>3,3</b>
		CHA1	2,045	21,2	3,514	
		CHA6	1,657	25,2	3,468	
		CHA3	1,160	23,2	3,334	
		CHA2	1,616	26	3,465	
	00:33:40.680	CHA5	1,192	21,2	3,329	<b>3,0</b>
		CHA1	1,381	21,4	3,381	
		CHA6	0,044	25,4	2,231	
		CHA3	0,103	23,3	2,507	
		CHA2	1,618	26,1	3,466	
	07:19:14.915	CHA1	0,277	14,5	2,774	<b>2,6</b>
		CHA3	0,187	15,2	2,647	
		CHA2	0,100	18,7	2,463	
	21:05:48.765	CHA5	0,151	24,1	2,641	<b>2,7</b>
		CHA1	0,221	24,5	2,775	
CHA3		0,282	26,6	2,871		
CHA2		0,111	29,3	2,568		
21:49:30.900	CHA5	0,737	19,6	3,153	<b>3,1</b>	
	CHA1	0,454	21,3	3,000		
	CHA6	0,449	24,4	3,017		
22.06.2011	11:19:24.270	CHA5	0,115	24,3	2,548	<b>2,8</b>
		CHA1	0,142	24,4	2,623	
		CHA3	0,170	26,3	2,695	
		CHA6	1,045	28,5	3,330	
	13:33:15.019	CHA5	1,464	24,4	3,421	<b>3,5</b>
		CHA1	0,646	25,2	3,146	
		CHA6	1,863	28,9	3,530	
		CHA2	2,126	29,9	3,581	
		CHA3	1,988	27,4	3,544	
	23.06.2011	23:39:37.165	CHA5	0,610	10,3	2,998
CHA6			0,719	14,1	3,097	
CHA1			0,399	10	2,848	
25.06.2011	07:46:15.505	CHA5	0,025	7,4	1,861	<b>2,5</b>
		CHA1	0,315	9,1	2,755	

		CHA6	0,254	12,1	2,719	
		CHA3	0,328	12,2	2,808	
26.06.2011	12:50:36.835	CHA5	0,097	7,5	2,325	<b>2,4</b>
		CHA1	0,177	8,4	2,546	
	13:30:28.335	CHA5	2,061	9,9	3,409	<b>3,4</b>
		CHA1	2,112	9,9	3,417	
		CHA6	1,764	13,9	3,402	
		CHA2	2,375	14,6	3,511	
		CHA3	1,661	12,1	3,362	
	16:39:28.415	CHA5	1,312	8,7	3,237	<b>2,8</b>
		CHA4	0,021	4,8	1,739	
		CHA1	0,916	6,8	3,082	
CHA6		1,174	11,2	3,233		
CHA2		0,485	11,2	2,930		
27.06.2011	02:07:30.945	CHA1	0,215	8	2,608	<b>2,6</b>
		CHA2	0,129	12,6	2,493	
		CHA3	0,334	9,7	2,784	
29.06.2011	02:26:47.310	CHA5	0,957	21,9	3,259	<b>3,1</b>
		CHA1	0,364	22	2,929	
		CHA3	0,582	23,8	3,101	
		CHA6	0,515	26	3,074	
		CHA2	0,754	26,7	3,208	
30.06.2011	04:10:13.055	CHA5	0,888	6,4	3,063	<b>3,2</b>
		CHA1	1,523	4,7	3,208	
		CHA6	1,193	9	3,209	
		CHA2	1,457	9,3	3,282	
		CHA3	1,474	6,6	3,241	
	19:40:42.375	CHA3	0,296	5	2,656	<b>2,7</b>
		CHA5	0,177	11,5	2,588	
		CHA1	0,454	7,6	2,856	
05.07.2011	02:20:29.325	CHA1	0,447	3	2,732	<b>2,7</b>
		CHA5	0,288	4,9	2,644	
		CHA3	0,389	3,8	2,714	
	06:49:35.395	CHA2	0,322	2,6	2,602	<b>2,7</b>

		CHA5	0,458	4,5	2,792	
		CHA1	0,432	2,4	2,693	
		CHA3	0,427	3,5	2,736	
06.07.2011	16:48:30.365	CHA6	1,479	1,6	3,064	<b>3,0</b>
		CHA5	1,564	3,3	3,173	
		CHA1	0,521	3,3	2,796	
07.07.2011	22:52:21.585	CHA2	1,064	6,2	3,121	<b>3,0</b>
		CHA3	0,818	6,2	3,031	
		CHA6	1,084	8,9	3,175	
		CHA1	0,693	9,4	3,029	
		CHA5	0,289	12,7	2,770	
08.07.2011	00:57:02.735	CHA3	0,014	24,5	1,841	<b>3,2</b>
		CHA1	1,923	27,4	3,533	
		CHA2	4,299	23,1	3,781	
		CHA6	1,723	25,2	3,482	
		CHA5	1,967	29,9	3,554	
09.07.2011	07:18:31.025	CHA1	0,079	12,4	2,322	<b>2,0</b>
		CHA2	0,009	17,1	1,609	
	08:17:08.405	CHA3	1,077	22,2	3,302	<b>3,2</b>
		CHA1	0,487	23,3	3,037	
		CHA2	1,073	26	3,325	
		CHA5	0,490	26,3	3,058	
	CHA6	0,633	27,3	3,152		
10.07.2011	05:04:19.115	CHA6	0,117	9,5	2,422	<b>2,4</b>
	11:31:37.385	CHA2	0,899	24,9	3,257	<b>3,1</b>
		CHA6	1,265	22,7	3,360	
		CHA5	0,673	23,3	3,148	
		CHA1	0,235	26,3	2,807	
11.07.2011	05:53:31.325	CHA5	0,345	7	2,751	<b>2,7</b>
		CHA1	0,244	8,8	2,663	
		CHA6	0,161	11,7	2,559	
		CHA3	0,257	11,9	2,721	
		CHA2	0,331	13,3	2,824	
12.07.2011	10:24:43.150	CHA5	0,184	27,4	2,729	<b>2,9</b>

		CHA1	0,483	28,4	3,066	
		CHA3	0,215	30,8	2,802	
	21:45:38.569	CHA5	0,275	19,3	2,813	<b>3,1</b>
		CHA1	0,723	20,9	3,156	
		CHA6	0,863	24,1	3,238	
		CHA3	0,511	23,8	3,057	
		CHA2	1,003	25,6	3,299	
	21:50:09.355	CHA5	1,269	2	3,039	<b>3,3</b>
		CHA1	1,851	3,3	3,230	
		CHA6	1,244	6	3,170	
		CHA3	1,488	6,7	3,246	
		CHA2	5,831	7,5	3,728	
13.07.2011	00:47:33.795	CHA5	2,665	7,6	3,462	<b>3,3</b>
		CHA6	0,153	12,5	2,550	
		CHA1	2,050	10,1	3,410	
		CHA2	2,140	14,3	3,472	
		CHA3	2,792	13,4	3,554	
	02:31:48.464	CHA5	0,111	11	2,423	<b>2,5</b>
		CHA1	0,156	13,2	2,566	
	10:55:42.775	CHA5	0,578	14,6	3,027	<b>2,7</b>
		CHA6	0,020	19	1,915	
		CHA1	0,304	18,2	2,839	
		CHA2	0,599	21,4	3,095	
	14.07.2011	07:55:29.495	CHA5	0,039	6,4	1,992
CHA1			0,227	6,4	2,596	
CHA2			0,167	11,1	2,564	
15.07.2011	03:45:28.545	CHA5	0,122	4,6	2,341	<b>2,4</b>
		CHA1	0,150	5,9	2,445	
		CHA3	0,163	9,1	2,529	
17.07.2011	09:09:00.215	CHA5	0,940	31	3,308	<b>3,5</b>
		CHA1	5,068	32,3	3,891	
		CHA6	4,338	35,7	3,855	
		CHA3	0,532	34,9	3,132	
		CHA2	0,818	37,1	3,290	

		CHA5	0,495	31,3	3,090	<b>3,0</b>
		CHA1	0,301	33,4	2,930	
	09:12:29.080	CHA2	0,676	37,9	3,229	
		CHA6	0,156	36,2	2,718	
		CHA3	0,282	36,4	2,922	
18.07.2011	02:51:47.815	CHA5	0,798	3,8	2,960	<b>3,0</b>
		CHA1	0,659	5,5	2,942	
		CHA6	0,703	8,4	3,019	
	04:11:50.785	CHA5	0,144	54,3	2,766	<b>2,8</b>
		CHA1	0,170	56,7	2,831	
		CHA6	0,132	59,1	2,752	
20.07.2011	18:30:38.735	CHA5	2,509	14,3	3,527	<b>3,6</b>
		CHA1	1,772	16,3	3,426	
		CHA6	2,900	19,1	3,618	
		CHA2	4,510	20,8	3,782	
		CHA3	2,625	19,3	3,586	
21.07.2011	06:19:05.455	CHA6	0,891	3,3	2,980	<b>2,8</b>
		CHA5	1,088	1,6	2,959	
		CHA1	0,351	3,6	2,672	
		CHA3	0,376	6,5	2,771	
	06:33:32.015	CHA5	0,282	4,1	2,614	<b>2,4</b>
		CHA1	0,086	3,8	2,199	
	09:53:07.965	CHA5	0,284	1	2,441	<b>2,5</b>
		CHA6	0,333	4,1	2,670	
		CHA1	0,151	3	2,360	
	17:06:29.815	CHA5	0,218	13,6	2,683	<b>2,9</b>
		CHA1	0,233	16,2	2,731	
		CHA2	0,354	20,4	2,908	
		CHA3	0,680	19,4	3,124	
22.07.2011	00:38:44.340	CHA5	0,363	13,7	2,859	<b>2,9</b>
		CHA1	0,166	16,5	2,617	
		CHA6	0,422	18,5	2,954	
		CHA2	0,214	20,6	2,738	
		CHA3	0,716	19,8	3,145	

	02:15:22.275	CHA6	0,709	2,1	2,846	<b>2,8</b>
		CHA5	0,778	2,9	2,917	
		CHA1	0,249	3,1	2,535	
		CHA3	0,334	5,4	2,707	
23.07.2011	06:53:53.685	CHA5	0,605	15,4	3,050	<b>3,1</b>
		CHA1	0,691	17,1	3,111	
		CHA6	0,623	20,2	3,100	
		CHA2	0,419	21,7	2,975	
	09:02:09.665	CHA5	2,143	4	3,305	<b>3,3</b>
		CHA6	2,736	7	3,460	
		CHA1	0,980	7,9	3,125	
		CHA2	1,645	9,7	3,329	
		CHA3	0,794	11	3,097	
	12:31:54.580	CHA5	2,354	13,6	3,498	<b>3,4</b>
		CHA1	1,151	15,7	3,273	
		CHA6	1,845	18,4	3,458	
		CHA2	1,868	20,2	3,476	
	18:12:17.015	CHA5	0,502	9,6	2,921	<b>2,8</b>
		CHA3	0,215	15,9	2,700	
		CHA6	0,616	14,5	3,048	
CHA1		0,250	12,5	2,719		
19:11:23.185	CHA5	0,226	1,6	2,421	<b>2,9</b>	
	CHA1	0,932	2,6	2,966		
	CHA6	1,181	4,8	3,124		
	CHA2	1,018	6,3	3,108		
26.07.2011	06:01:34.525	CHA5	0,924	5,3	3,053	<b>3,1</b>
		CHA1	0,885	7,2	3,077	
		CHA6	0,807	10	3,089	
		CHA3	0,967	10,5	3,158	
		CHA2	0,843	11,6	3,125	
	16:14:09.030	CHA5	1,071	17,5	3,264	<b>3,1</b>
		CHA3	0,456	21,9	3,005	
		CHA6	0,805	23,2	3,209	
CHA1		0,577	19,5	3,069		

		CHA2	0,501	24,2	3,053	
27.07.2011	14:08:35.505	CHA5	0,032	76,8	2,326	<b>2,6</b>
		CHA1	0,026	79,8	2,264	
		CHA3	0,307	81,5	3,111	
28.07.2011	02:28:27.950	CHA5	0,392	15,6	2,904	<b>3,0</b>
		CHA1	0,380	18,1	2,914	
		CHA3	0,629	21,3	3,111	
	09:06:20.735	CHA2	0,527	15,1	3,000	<b>3,0</b>
		CHA3	0,278	16,9	2,797	
		CHA1	0,382	19,6	2,928	
30.07.2011	12:50:14.145	CHA5	0,379	6,9	2,782	<b>3,0</b>
		CHA1	0,847	8,8	3,089	
		CHA6	1,131	11,6	3,225	
		CHA3	0,533	11,9	2,971	
	14:23:04.705	CHA5	1,827	8	3,339	<b>3,4</b>
		CHA6	1,371	12,8	3,305	
		CHA1	1,570	10,5	3,324	
		CHA2	1,962	14,7	3,447	
		CHA3	2,268	13,8	3,487	
	31.07.2011	20:06:00.665	CHA1	0,299	11,1	2,764
CHA2			0,493	11,5	2,940	
CHA6			0,657	8,8	3,002	
CHA3			0,429	13,8	2,917	
CHA5			0,145	7,6	2,466	
01.08.2011	08:39:39.478	CHA5	0,183	48,8	2,827	<b>2,9</b>
		CHA1	0,126	50,5	2,706	
		CHA2	0,369	55,2	3,091	
	14:46:14.715	CHA5	0,274	4,5	2,616	<b>2,7</b>
		CHA1	0,466	3,7	2,772	
		CHA3	0,419	6,5	2,808	
03.08.2011	02:44:40.245	CHA5	1,289	5,3	3,166	<b>3,2</b>
		CHA1	1,482	7,2	3,254	
		CHA6	1,156	10	3,212	
		CHA3	1,608	10,5	3,332	

	12:51:35.325	CHA5	0,301	4,9	2,658	<b>2,6</b>
		CHA1	0,143	6,7	2,444	
	17:40:28.865	CHA5	4,061	4,8	3,547	<b>3,6</b>
		CHA1	3,790	6,6	3,564	
		CHA6	3,476	9,4	3,581	
		CHA3	3,943	9,8	3,630	
04.08.2011	00:12:49.805	CHA2	1,021	9,4	3,162	<b>3,1</b>
		CHA6	1,239	11,7	3,257	
		CHA3	0,734	11	3,070	
		CHA1	0,408	13,7	2,899	
	10:08:32.485	CHA5	0,154	5,3	2,440	<b>2,5</b>
		CHA1	0,133	6,6	2,417	
		CHA3	0,169	9,8	2,551	
		CHA2	0,206	11,2	2,637	
	20:12:27.655	CHA5	0,908	8	3,100	<b>3,1</b>
		CHA1	0,684	10,4	3,038	
		CHA2	0,560	14,7	3,018	
		CHA3	0,987	13,7	3,202	
	23:18:04.155	CHA2	2,970	1,3	3,277	<b>3,1</b>
		CHA1	1,171	3,5	3,081	
		CHA5	0,659	5,9	2,951	
	06.08.2011	00:08:43.785	CHA2	0,985	7,7	3,123
CHA3			0,267	9,3	2,701	
CHA1			0,038	12	2,070	
07.08.2011	02:28:50.119	CHA1	0,283	52,3	2,990	<b>3,2</b>
		CHA3	0,731	54,6	3,323	
		CHA2	0,458	57,1	3,172	
	22:23:08.025	CHA5	1,406	5,3	3,196	<b>3,1</b>
		CHA1	0,788	7,1	3,036	
		CHA3	1,117	10,3	3,205	
		CHA2	0,736	11,5	3,077	
09.08.2011	12:49:38.785	CHA5	0,778	4,8	2,981	<b>2,9</b>
		CHA1	0,208	6,2	2,562	
		CHA6	0,684	9,3	3,023	



		CHA3	0,779	9,3	3,068	
12.08.2011	02:14:08.535	CHA1	4,692	27,4	3,838	<b>3,5</b>
		CHA5	2,651	23,6	3,619	
		CHA3	0,825	30,2	3,258	
		CHA6	1,718	25,1	3,480	
		CHA2	0,834	27,7	3,248	
	15:41:39.524	CHA5	4,822	5,9	3,632	<b>3,5</b>
		CHA1	1,890	7,9	3,349	
		CHA2	3,263	12,3	3,596	
		CHA3	2,615	11,1	3,506	
	23:43:02.605	CHA3	2,341	21,6	3,563	<b>3,3</b>
		CHA1	0,756	23	3,186	
		CHA2	1,611	25,3	3,459	
CHA5		0,558	26,2	3,102		
14.08.2011	08:38:18.055	CHA3	1,113	23,6	3,322	<b>3,1</b>
		CHA1	0,327	24,9	2,911	
		CHA2	0,597	27,4	3,132	
16.08.2011	21:04:30.925	CHA6	0,814	2,6	2,919	<b>3,0</b>
		CHA2	1,688	0,4	2,940	
		CHA3	0,940	3,5	3,006	
		CHA1	1,697	4,3	3,234	
		CHA5	0,348	6,6	2,747	
17.08.2011	02:31:37.825	CHA6	2,393	2,3	3,273	<b>2,8</b>
		CHA2	0,793	2,4	2,901	
		CHA1	0,223	6,3	2,589	
		CHA3	0,238	6,1	2,606	
	05:29:16.865	CHA2	3,563	14,2	3,646	<b>3,5</b>
		CHA6	2,392	15,7	3,524	
		CHA3	3,106	16,9	3,624	
		CHA1	1,003	18,9	3,253	
		CHA5	0,896	20,6	3,227	
19.08.2011	07:33:17.255	CHA5	0,144	40,5	2,712	<b>2,7</b>
		CHA3	0,186	44,6	2,816	
		CHA1	0,117	43,2	2,650	

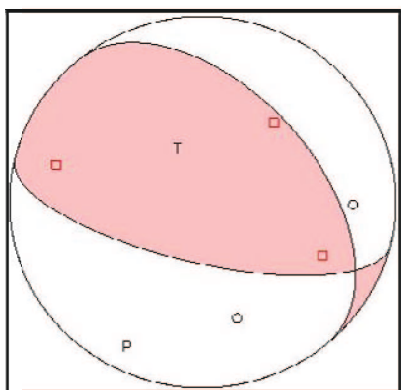
	10:26:02.545	CHA6	0,788	11,1	3,095	<b>2,9</b>	
		CHA5	0,418	15,7	2,926		
		CHA2	0,424	10,4	2,874		
		CHA1	0,228	15	2,713		
20.08.2011	14:34:09.485	CHA1	1,688	38,4	3,544	<b>3,6</b>	
		CHA5	0,993	35,2	3,348		
		CHA3	4,811	40,4	3,912		
21.08.2011	11:50:40.525	CHA3	1,834	39,3	3,577	<b>3,5</b>	
		CHA1	0,650	39,5	3,222		
		CHA2	2,158	35,5	3,615		
		CHA5	0,367	38,4	3,022		
		CHA6	4,087	35	3,831		
22.08.2011	04:14:18.375	CHA5	0,580	12,1	3,002	<b>2,9</b>	
		CHA1	0,769	11,2	3,088		
		CHA3	0,128	12,7	2,491		
24.08.2011	02:11:26.885	CHA6	0,889	1,5	2,882	<b>3,0</b>	
		CHA2	3,264	1,5	3,327		
		CHA1	0,883	3,8	2,995		
		CHA5	0,367	5,5	2,741		
		CHA3	0,922	4,1	3,019		
			CHA5	0,691	47,5	3,277	<b>3,3</b>
			CHA6	0,241	50,8	2,929	
			CHA1	0,572	51,4	3,227	
			CHA2	1,289	53,5	3,513	
			CHA3	1,190	54,7	3,490	
25.08.2011	11:33:52.005	CHA1	0,962	43,9	3,376	<b>3,3</b>	
		CHA5	0,308	45,2	2,991		
		CHA3	1,217	44,4	3,458		
		12:30:37.045	CHA5	0,950	3,1	2,994	<b>3,1</b>
			CHA1	0,868	6,7	3,061	
			CHA3	1,027	10,1	3,173	
27.08.2011	04:28:51.445	CHA3	1,261	53,8	3,507	<b>3,4</b>	
		CHA2	1,706	55,1	3,615		
		CHA1	2,077	57,2	3,690		

		CHA6	0,353	57,8	3,085	
		CHA5	0,369	61	3,111	
		CHA5	0,379	3,7	2,702	
		CHA1	0,140	5,2	2,403	
	08:24:47.255	CHA3	0,243	8,5	2,657	<b>2,6</b>
30.08.2011	04:41:59.825	CHA1	0,160	35,1	2,722	<b>3,2</b>
		CHA2	3,582	31,1	3,766	
		CHA3	2,824	34,9	3,704	
		CHA6	0,693	30,7	3,202	
		CHA5	0,174	34,2	2,747	
	05:32:20.635	CHA3	1,804	40,5	3,576	<b>3,6</b>
		CHA1	0,634	40,4	3,218	
		CHA2	2,226	36,7	3,631	
		CHA5	2,842	39,1	3,726	
		CHA6	4,718	36	3,885	
	15:06:34.485	CHA1	0,006	36,5	1,591	<b>3,0</b>
		CHA3	1,433	33,8	3,466	
		CHA2	2,465	36,7	3,666	
		CHA5	0,562	40,4	3,176	
	22:21:08.725	CHA1	0,907	35,4	3,318	<b>3,2</b>
		CHA3	0,921	34,4	3,318	
		CHA5	0,284	38,2	2,933	
	03:56:57.205	CHA1	0,356	41,2	3,024	<b>2,8</b>
		CHA2	0,078	38,8	2,493	
	31.08.2011	10:37:26.015	CHA3	0,754	32,9	3,242
CHA1			2,874	35,2	3,711	
CHA2			1,028	36,3	3,365	
CHA6			2,496	38,4	3,678	
CHA5			1,227	38,8	3,437	
20:22:14.539		CHA5	4,032	23,3	3,761	<b>3,7</b>
		CHA1	1,998	23,6	3,523	
		CHA6	3,953	27,6	3,781	
		CHA3	3,608	25,6	3,737	
		CHA2	5,524	28,4	3,900	

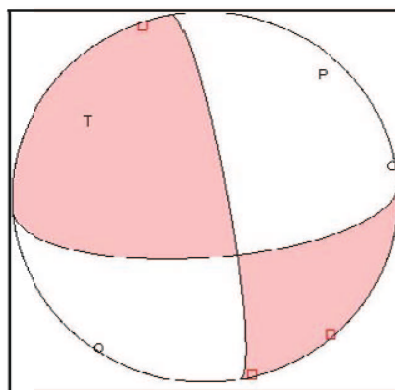
01.09.2011	00:45:38.530	CHA5	3,902	34,4	3,812	<b>3,5</b>	
		CHA1	0,997	34,7	3,346		
		CHA3	1,352	36,5	3,459		
		CHA2	2,503	39,4	3,684		
		CHA6	1,270	38,7	3,448		
	00:59:23.440	CHA5	4,001	20,4	3,738	<b>3,5</b>	
		CHA1	0,946	21,4	3,252		
		CHA2	2,207	26,1	3,572		
		CHA3	1,830	23,8	3,494		
	01:16:55.520	CHA5	0,879	20,3	3,219	<b>3,0</b>	
		CHA1	0,290	22,5	2,854		
		CHA2	0,433	26,9	3,019		
	02:33:01.530	CHA5	1,196	20,7	3,327	<b>3,2</b>	
		CHA3	0,649	24,4	3,143		
	04:16:31.270	CHA5	0,932	20,5	3,240	<b>3,0</b>	
		CHA1	0,240	21,2	2,780		
		CHA2	0,514	26	3,073		
		CHA6	0,246	25	2,814		
	04:38:16.050	CHA5	2,964	14,1	3,582	<b>3,1</b>	
		CHA1	0,308	16,6	2,830		
		CHA6	0,354	19	2,898		
	05:04:33.895	CHA5	0,502	13,2	2,965	<b>3,1</b>	
		CHA1	0,640	13,5	3,051		
		CHA6	0,594	17,4	3,062		
		CHA2	0,970	18,3	3,237		
		CHA3	0,767	15,8	3,135		
	04.09.2011	10:33:07.765	CHA5	1,722	12,9	3,384	<b>2,9</b>
			CHA1	0,257	13,5	2,739	
CHA3			0,209	15,9	2,691		
05.09.2011	08:45:37.595	CHA1	1,241	4,6	3,135	<b>2,9</b>	
		CHA2	0,593	9,2	2,973		
		CHA3	0,233	7,7	2,630		
08.09.2011	05:55:19.654	CHA5	0,895	8,2	3,098	<b>3,2</b>	
		CHA1	0,756	9,6	3,061		
		CHA3	1,707	12,6	3,377		

08.09.2011	07:57:22.685	CHA3	0,364	30,1	2,978	<b>3,1</b>
		CHA2	0,773	29,9	3,235	
		CHA1	0,551	33,5	3,137	
09.09.2011	10:46:22.035	CHA5	0,126	3,5	2,318	<b>2,1</b>
		CHA1	0,173	5,8	2,490	
		CHA2	0,010	10	1,578	

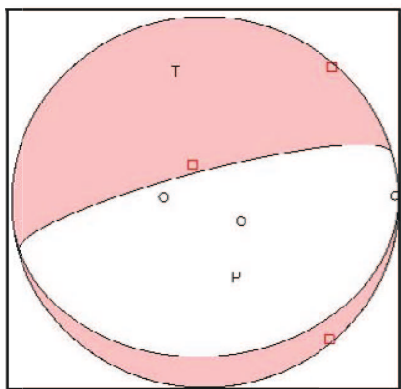
## ANEXO 5.1.- MECANISMOS FOCALES SIMPLES Y COMPUESTOS PARA EL PROYECTO CHACANA



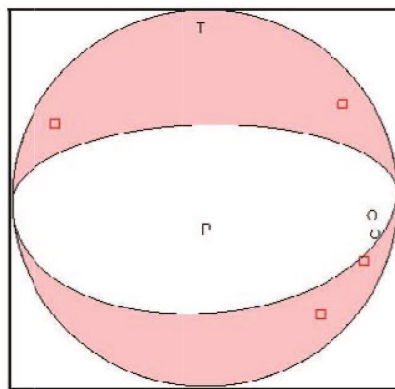
**A.5.1.1.-Mec. Focal simple del evento del 2011/11/05 10H22TU ; Localización:** -0.4119; -78.1507; 10.73km  
**P1:** strike 320.00, dip 35.00, rake 121.00  
**P2:** strike 103.74, dip 60.55, rake 70.17  
**Eje de Presión:** Dirección 208.02 Inclinación 13.39  
**Eje de Tensión:** Dirección 334.02 Inclinación 67.95



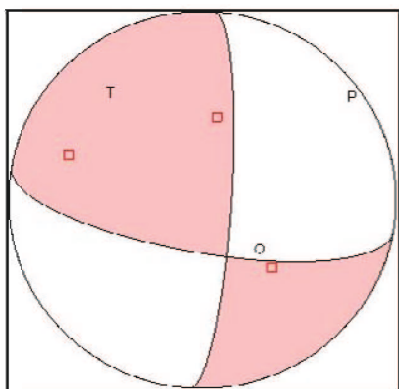
**A.5.1.2.-Mec. Focal simple del evento del 2011/11/12 01H23TU; Localización:** -0.4109; -78.2033; 10.00km  
**P1:** strike 350.00, dip 80.00, rake 150.00  
**P2:** strike 85.73 , dip 60.50, rake 11.51  
**Eje de Presión:** Dirección 41.06 Inclinación 13.03  
**Eje de Tensión:** Dirección 303.96 Inclinación 28.10



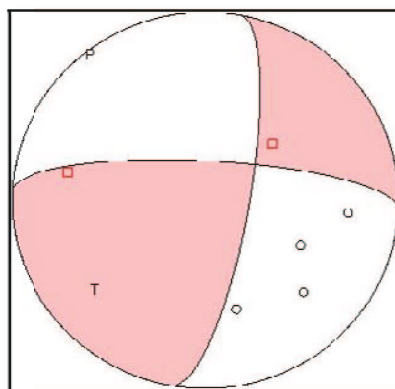
**A.5.1.3.-Mec. Focal simple del evento del 2011/11/23 01H31TU; Localización:** -0.4146; -78.1485; 2.65km  
**P1:** strike 85.00, dip 15.00, rake -80.00  
**P2:** strike 254.65 , dip 75.23, rake -92.66  
**Eje de Presión:** Dirección 160.92 Inclinación 59.68  
**Eje de Tensión:** Dirección 346.83 Inclinación 30.18



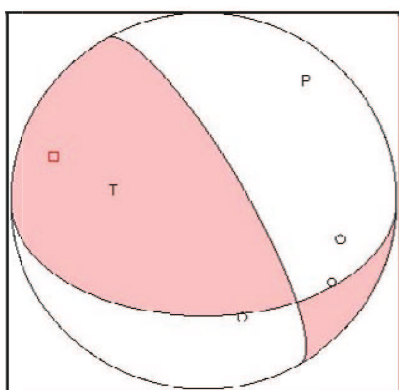
**A.5.1.4.- Mec. Focal simple del evento del 2011/11/25 03H58TU; Localización:** -0.4166; -78.1146; 6.25km  
**P1:** strike 85.00, dip 35.00, rake -93.00  
**P2:** strike 268.66 , dip 55.05, rake -87.90  
**Eje de Presión:** Dirección 187.08 Inclinación 79.82  
**Eje de Tensión:** Dirección 357.15 Inclinación 10.03



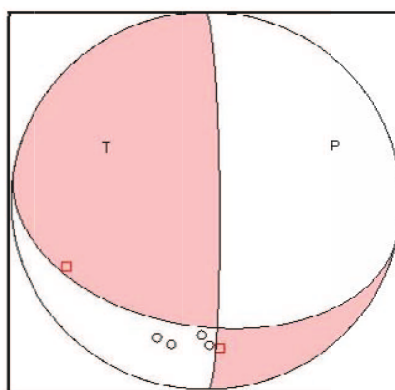
**A.5.1.5.- Mec.Focal simple del evento del 2012/01/20 03H08TU; Localización:** -0.4077; -78.1756; 7.63km  
**P1:** strike 100.00, dip 65.00, rake 15.00  
**P2:** strike 3.54, dip 76.43, rake 154.23  
**Eje de Presión:** Dirección 53.56 Inclinación 7.64  
**Eje de Tensión:** Dirección 319.52 Inclinación 27.69



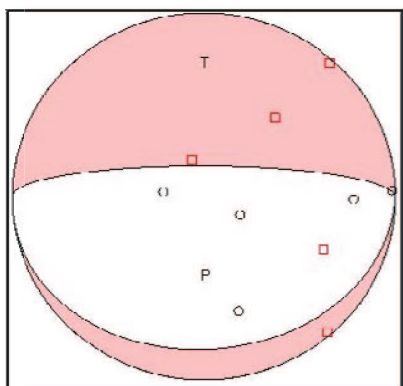
**A.5.1.6.- Mec. Focal simple del evento del 2012/01/31 12H24TU; Localización:** -0.4322; -78.1493; 6.64km  
**P1:** strike 10.00, dip 70.00, rake 20.00  
**P2:** strike 272.90 , dip 71.25, rake 158.83  
**Eje de Presión:** Dirección 321.65 Inclinación 0.84  
**Eje de Tensión:** Dirección 231.20 Inclinación 27.98



**A.5.1.7.- Mec. Focal simple del evento del 2012/01/31 17H01TU; Localización:** -0.4659 -78.1602; 10.01km  
**P1:** strike 90.00, dip 35.00, rake 35.00  
**P2:** strike 330.16, dip 70.79, rake 119.84  
**Eje de Presión:** Dirección 38.13 Inclinación 20.28  
**Eje de Tensión:** Dirección 277.22 Inclinación 54.28



**A.5.1.8.- Mec. Focal simple del evento del 2012/02/01 14H32TU; Localización:** -0.4667 -78.1633 2.45km  
**P1:** strike 100.00, dip 30.00, rake 12.00  
**P2:** strike 359.57 , dip 84.03, rake 119.45  
**Eje de Presión:** Dirección 65.19 Inclinación 32.61  
**Eje de Tensión:** Dirección 298.11 Inclinación 43.30



**A.5.1.9.- Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/11/05 10H22TU y 2011/11/23 01H31TU**

**Localización:** -0.4119; -78.1507; 10.73km

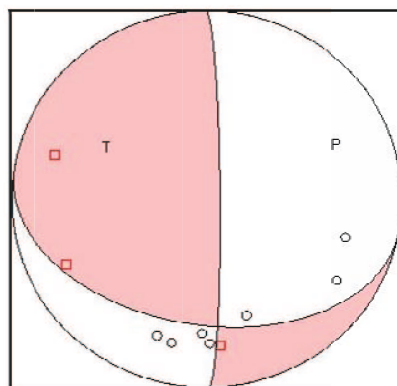
**Localización:** -0.4146; -78.1485; 2.65km

**P1:** strike 85.00, dip 15.00, rake -95.00

**P2:** strike 270.18, dip 75.06, rake 119.15

**Eje de Presión:** Dirección 182.06 Inclinación 59.92

**Eje de Tensión:** Dirección 359.08 Inclinación 30.05



**A. 5.1.10.- Mec. Focal compuesto de los eventos del 2012/01/31 17H01TU y 2012/02/01 14H32TU**

**Localización:** -0.4659 -78.1602; 10.01km

**Localización:** -0.4667 -78.1633 2.45km

**P1:** strike 100.00, dip 30.00, rake 12.00

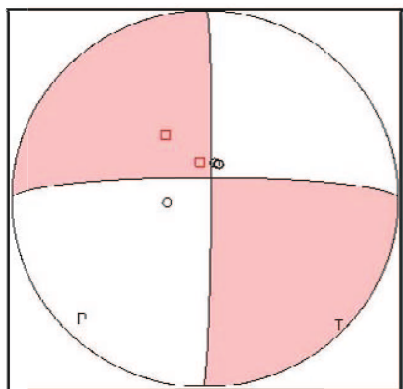
**P2:** strike 359.57, dip 84.03, rake 119.45

**Eje de Presión:** Dirección 65.19 Inclinación 32.61

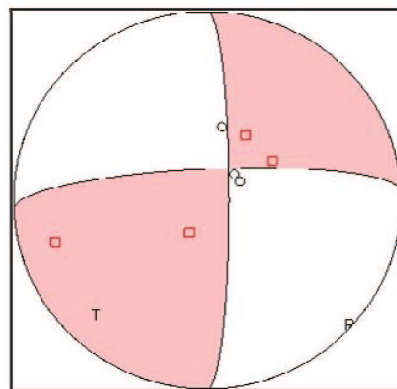
**Eje de Tensión:** Dirección 298.11 Inclinación 43.30



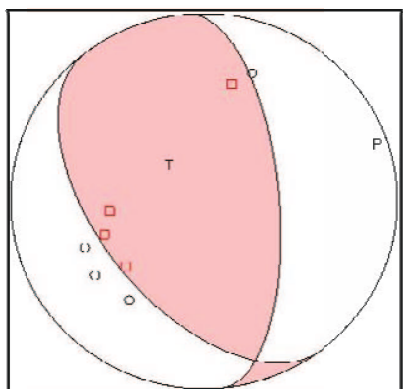
## ANEXO 5.2.- MECANISMOS FOCALES SIMPLES Y COMPUESTOS PARA EL PROYECTO CHACHIMBIRO



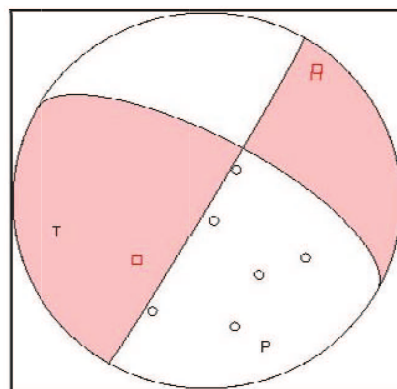
**A.5.2.1.- Mec. Focal simple del evento del 2011/05/12 20H28TU ; Localización:** 0.2491; -78.3287; 0.26km  
**P1:** strike 270.00, dip 80.00, rake -3.00  
**P2:** strike 0.52, dip 87.05, rake -169.99  
**Eje de Presión:** Dirección 225.66 Inclinación 9.16  
**Eje de Tensión:** Dirección 134.86 Inclinación 4.95



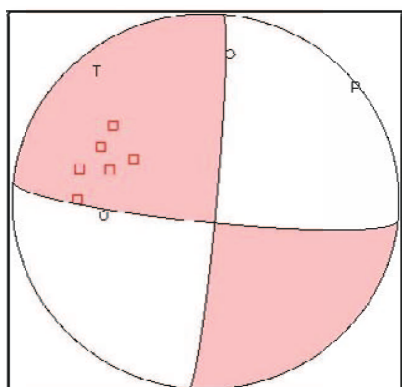
**A.5.2.2.- Mec. Focal simple del evento del 2011/05/13 15H49TU; Localización:** 0.4122; -78.2988; 10.00km  
**P1:** strike 0.00, dip 80.00, rake 15.00  
**P2:** strike 267.34 , dip 75.23, rake 169.65  
**Eje de Presión:** Dirección 133.17 Inclinación 3.29  
**Eje de Tensión:** Dirección 224.22 Inclinación 17.64



**A.5.2.3.- Mec. Focal simple del evento del 2011/05/14 01H53TU; Localización:** 0.4176; -78.3175; 6.64km  
**P1:** strike 355.00, dip 55.00, rake 110.00  
**P2:** strike 142.60 , dip 39.67, rake 63.97  
**Eje de Presión:** Dirección 70.87 Inclinación 7.97  
**Eje de Tensión:** Dirección 315.68 Inclinación 71.78



**A.5.2.4.- Mec. Focal simple del evento del 2011/05/19 19H05TU; Localización:** 0.4321; -78.2536; 4.73km  
**P1:** strike 30.00, dip 88.00, rake 30.00  
**P2:** strike 298.85 , dip 60.02, rake 177.69  
**Eje de Presión:** Dirección 160.42 Inclinación 19.19  
**Eje de Tensión:** Dirección 258.59 Inclinación 22.21



**A.5.2.5.- Mec. Focal simple del evento del 2011/06/30**

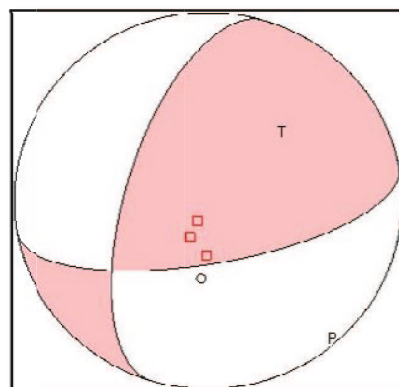
**04H10TU; Localización:** 0.4791; -78.3302; 6.86km

**P1:** strike 5.00, dip 85.00, rake 170.00

**P2:** strike 95.88, dip 80.04, rake 5.08

**Eje de Presión:** Dirección 50.76 Inclinación 3.48

**Eje de Tensión:** Dirección 320.11 Inclinación 10.60



**A.5.2.6.-Mec. Focal simple del evento del 2011/08/03**

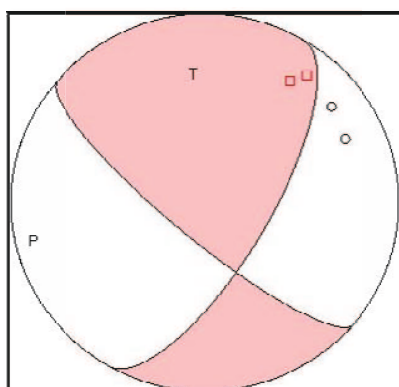
**17H40TU; Localización:** 0.4027 -78.2733; 11.35km

**P1:** strike 80.00, dip 60.00, rake 135.00

**P2:** strike 196.57, dip 52.24, rake 39.23

**Eje de Presión:** Dirección 139.90 Inclinación 4.56

**Eje de Tensión:** Dirección 44.07 Inclinación 51.87



**A.5.2.7.- Mec. Focal simple del evento del 2011/08/16**

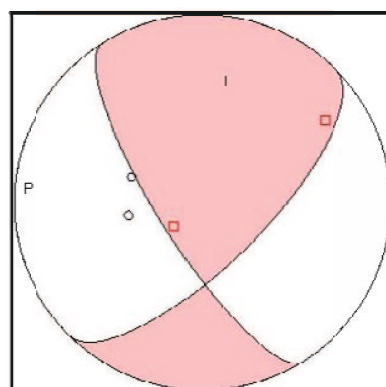
**21H04TU; Localización:** 0.5069 -78.1557; 10km

**P1:** strike 30.00, dip 60.00, rake 160.00

**P2:** strike 130.31, dip 72.77, rake 31.57

**Eje de Presión:** Dirección 257.82 Inclinación 8.29

**Eje de Tensión:** Dirección 353.51 Inclinación 34.26



**A.5.2.8.- Mec. Focal simple del evento del 2011/08/16**

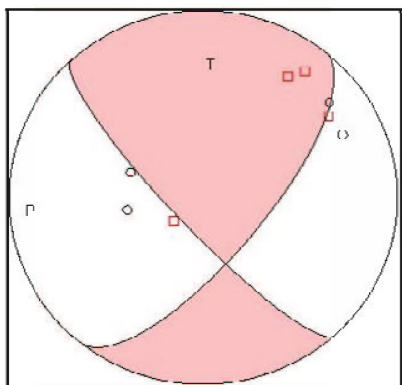
**21H04TU; Localización:** 0.5069 -78.1557; 10km

**P1:** strike 30.00, dip 60.00, rake 160.00

**P2:** strike 130.31, dip 72.77, rake 31.57

**Eje de Presión:** Dirección 257.82 Inclinación 8.29

**Eje de Tensión:** Dirección 353.51 Inclinación 34.26



**A.5.2.9.- Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/05/14 01H53TU y 2011/08/16 21H04TU**

**Localización:** 0.4176; -78.3175; 6.64km

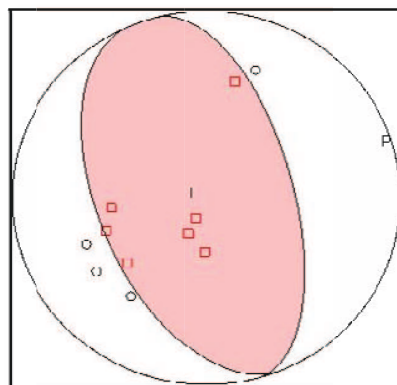
**Localización:** 0.5069 -78.1557; 10km

**P1:** strike 39.00, dip 61.00, rake 163.00

**P2:** strike 137.43, dip 75.18, rake 30.10

**Eje de Presión:** Dirección 265.74 Inclinación 9.32

**Eje de Tensión:** Dirección 1.53 Inclinación 31.58



**A.5.2.10.- Mec. Focal compuesto de los eventos del 2011/05/14 01H53TU y 2011/08/03 17H40TU**

**Localización:** 0.4176; -78.3175; 6.64km

**Localización:** 0.4027 -78.2733; 11.35km

**P1:** strike 106.00, dip 70.00, rake 155.00

**P2:** strike 205.06, dip 66.60, rake 21.88

**Eje de Presión:** Dirección 71.45 Inclinación 4.88

**Eje de Tensión:** Dirección 289.74 Inclinación 83.79