ONE 1095
C.1

GOBIERNO DE CHILE
OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA



INFORME FINAL

PROYECTO

"GESTION DE RIESGO DEL VOLCAN ISLUGA

REGION DE TARAPACÁ"

OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA
DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN CIVL

Con la participación de: Leonardo Céspedes
Klaus Bataille
Jorge Clavero

FEBRERO 2004

CONTENIDOS

N° página

I,. INTRODUCCIÓN 3

II.- OBJETIVOS 4

III,. MICROZONIFICACION DE RIESGOS Y RECURSOS CON PARTICIPACIÓN COMUNITARIA 5
- a) Metodología 5
- b) Capacitación Equipo Municipal y en Participación Comunitaria 7
- c) Trabajo directo de Expertos con la Comunidad 10

IV.- INFORME PRELIMINAR PELIGROS VOLCÁNICOS: VOLCAN ISLUGA, I[a] REGION 12
- a) Introducción 12
- b) Geología preliminar del Volcán Isluga 12
- c) Principales peligros volcánicos asociados al Volcán Isluga 15
- d) Zonas habitadas aledañas al Volcán 16
- e) Conclusiones 17
- f) Recomendaciones 18
- g) Referencias 19

V.- ANTECEDENTES DE VULNERABILIDAD 20
- a) Antecedentes Generales 20
- b) Análisis Histórico, Area de Estudio 21
- c) Análisis de Vulnerabilidad 26
- d) Conclusiones 33
- e) Referencias 39
- f) Anexo 41

VI.- INFORME DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCAN ISLUGA. 45
- a) Introducción 46
- b) Objetivos 47
- c) Método de Trabajo 47
- d) Desarrollo 50
- e) Discusión 60
- f) Conclusiones 62
- g) Agradecimientos 63

VII.- CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS GENERALES DEL PROYECTO 64

VIII.- AGRADECIMIENTOS 65

I.- INTRODUCCIÓN

La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI, como organismo técnico del Estado a cargo de la Protección Civil, ha venido desarrollando durante los últimos años, acciones sostenidas y sistemáticas para el manejo integral, frente a variados escenarios de riesgos presentes en el país.

Dada la importancia de la actividad volcánica de Chile, debido a su ubicación en el margen suroriental del "Cinturón del Fuego del Pacífico", donde convergen las placas de Nazca y Sudamericana, desastres de estas manifestaciones son recurrentes a lo largo de toda la cordillera de los Andes del territorio nacional.

En tal sentido, los escenarios de riesgos derivado de esta condición geográfica, en especial el riesgo volcánico, reviste especial atención. Para llevar acciones directa frente a esta temática, ONEMI en conjunto con la Dirección de Protección Civil y Emergencia de la Intendencia Regional de Tarapacá, desarrollaron durante el año 2003, el proyecto "Gestión de Riesgo del Volcán Isluga, Región de Tarapacá", cuyo propósito fue "Realizar un estudio integral de la vulnerabilidad del entorno social del volcán Isluga, a partir de un análisis preliminar de la amenaza que pueda presentar ante una posible actividad eruptiva".

De acuerdo a los mecanismos y procedimientos establecidos en el Plan Nacional de Protección Civil, para llevar a cabo este proyecto se conformó un equipo multidisciplinario en las áreas de protección civil de ONEMI, de geografía, sismología y volcanología de instituciones científico-técnicas. Es así que se contó con la colaboración y participación de profesionales de la Escuela de Geografía de la Universidad de Chile, del Departamento Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción y del Servicio Nacional de Geología y Minería.

Para el desarrollo del proyecto, se efectuaron tres misiones en terreno a la comuna de Colchane. La primera entre el 13 y 18 de enero, la segunda entre el 17 y 22 de marzo y finalmente entre el 29 de septiembre y 4 de octubre de 2003.

El presente trabajo corresponde al Informe Final del proyecto el que contiene los siguientes tópicos:

1. Microzonificación de Riesgos y Recursos con Participación Comunitaria, Metodologías para la Gestión de Riesgo.
2. Peligros Volcánicos, volcán Isluga.
3. Estudio de Vulnerabilidad del entorno social del volcán Isluga.
4. Actividad Sísmica del volcán Isluga durante Enero-Marzo 2003.

II.- OBJETIVOS

Para el desarrollo de este estudio, que aborda acciones en protección civil, de vulnerabilidad, estudios preliminares de peligros volcánico y de monitoreo sísmico del volcán Isluga, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Capacitar al Comité Comunal de Protección Civil y Emergencia en herramientas específicas para la gestión integral de riesgos, con acento especial en riesgo volcánico.
2. Capacitar a la comunidad en herramientas específicas para la gestión de seguridad, tanto en el ámbito preventivo como de respuesta, a partir de la percepción del riesgo y del rol concreto que ésta pueda asumir, tomando como principal parámetro el riesgo volcánico.
3. Realizar un diagnóstico de la actividad actual que presenta el volcán Isluga, estudiando preliminarmente los peligros volcánico asociado a éste, como identificando los depósitos volcánicos en áreas poblacionales aledañas a él y determinando sus características sísmicas actuales.

4. Establecer un diagnóstico de la vulnerabilidad y los recursos con que cuenta la zona aledaña al volcán Isluga.

III.- MICROZONIFICACION DE RIESGOS Y RECURSOS CON PARTICIPACIÓN COMUNITARIA.

La gestión de riesgo no es sólo una labor que realizan las autoridades, sino también la comunidad debe jugar un papel importante en la detección de los peligros o riesgos presentes en su medio, con el propósito crear una cultura preventiva por parte de las personas, donde el concepto de autoprotección, juega un rol fundamental.

La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, ONEMI, en el año 1996 comenzó a aplicar el proceso de Microzonificación de Riesgos y de Recursos con Participación Comunitaria, en tres comunas como proyecto piloto: San Antonio, Curacaví y Estación Central. Dado el éxito de esta experiencia, se ha aplicado a nivel nacional en las diversas variables de riesgo.

En el desarrollo del presente proyecto, también se aplicó este proceso en la comuna de Colchane, Provincia de Iquique, principalmente enfocado al riesgo volcánico.

a) METODOLOGÍA

La Metodología utilizada para el trabajo comunitario es AIDEP, que fue dada a conocer por especialistas de ONEMI, en reuniones ampliadas, al equipo municipal, a las instituciones del Estado que se encuentran en la comuna de Colchane y a representantes de la comunidad. Esta metodología constituye una forma de recopilar información, es decir, representa un diagnóstico de los variados riesgos

del entorno social, que en este caso se trabajó considerando principalmente el riesgo volcánico.

La palabra AIDEP es un acróstico, la que está formada por la primera letra del nombre de cada una de las cinco etapas a cumplir:

A: Análisis Histórico
I : Investigación en Terreno
D: Discusión de prioridad de Riesgos y Recursos detectados
E: Elaboración del Mapa
P: Plan Comunal de Protección Civil

Las cuatro primeras etapas constituyen en sí, el diagnóstico. La importancia de la aplicación de esta metodología, es que la propia comunidad fue dando a conocer la forma cómo percibe el riesgo frente al volcán Isluga. La última etapa, se refiere específicamente al Plan de Protección Civil o de Seguridad Local.

Para la elaboración del plan de contingencia frente al riesgo volcánico, destinado a la respuesta o atención ante un evento eruptivo del volcán Isluga, se dio a conocer la metodología ACCEDER, la que constituye el Plan Comunitario de Coordinación de Emergencia, que aborda las acciones de Respuesta. Este trabajo quedó como compromiso municipal para su realización y aplicación con la comunidad frente a una futura actividad eruptiva del Isluga. Sin embargo, la importancia que tiene esta metodología es su aplicación al riesgo que tienen en forma recurrente, que dice relación con las lluvias estivales, por lo que en esas circunstancias es posible efectuar una aplicación a mediano plazo y una evaluación técnica a través de su utilización en estas emergencias de origen hidrometeorológica.

b) CAPACITACION EQUIPO MUNICIPAL Y EN PARTICIPACIÓN COMUNITARIA

En el entendido de que una mejor calidad de vida, se puede hacer a través de una adecuada gestión del riesgo con una clara perspectiva preventiva, el Director de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior, Dr. Alberto Maturana Palacios, dio a conocer la importancia y los alcances de este proyecto a la comunidad de Colchane (Foto 1).



Foto 1. El director de ONEMI, Dr. Alberto Maturana, junto al Alcalde de la comuna de Colchane, Sr. Honorio Mamani, da a conocer a la comunidad los alcances del proyecto.

En esta capacitación participaron además del equipo municipal, representante de la comunidad e instituciones del sector público presentes en la comuna como Carabineros, Investigaciones, Aduanas, Servicio Agrícola y Ganadero, además, personal del Servicio País. Constituyendo la participación de aproximadamente 30 personas (Foto 2).



Foto 2. Fuerzas vivas de la comuna participantes en jornada de capacitación.

Las localidades de Colchane, Pisiga Centro, Pisiga Carpa, Cariquima, Escarpiña y Mauque, estuvieron representadas (Foto 3).



Foto 3. Dirigentes vecinales en jornada de capacitación.

Las jornadas de capacitación al equipo municipal y a los representantes de la comunidad se efectuaron en la localidad de Colchane (Foto. 4). Además, se llevó a cabo una jornada con la comunidad de la localidad de Enquelga (Foto. 5), poblado distante unos 10 km. del cráter, probablemente sea el poblado más

vulnerable frente a una actividad eruptiva futura del volcán Isluga, tanto por su cercanía al volcán, como por el hecho de que esta localidad se encuentra emplazada sobre depósitos piroclásticos, reconocidos como resultado de este proyecto.



Foto 4. El Director Regional de Protección Civil y Emergencia, junto a algunos especialistas participantes del proyecto, en jornada de trabajo con la comunidad.



Foto 5. Habitantes de la localidad de Enquelga, reunidos en la Escuela del lugar, participando y analizando la percepción del riesgo volcánico en relación al Isluga.

c) TRABAJO DIRECTO DE EXPERTOS CON LA COMUNIDAD

Uno de los hechos importante en el desarrollo del proyecto, fue la relación directa entre los diferentes especialistas participantes del proyecto con la comunidad, con el objetivo de dar a conocer los alcances del proyecto propiamente tal, como también para mostrar las formas y técnicas de investigar y además, permitió entregar en forma simple las características que tiene una actividad volcánica. Asimismo, esta experiencia permitió conocer, por parte de los especialistas, la forma que tiene la población en cuanto a la percepción del riesgo volcánico.

Fue así como el geólogo-volcanólogo del SERNAGEOMIN, Dr. Jorge Clavero, en un lenguaje sencillo explicó a los habitantes, adultos y escolares, de la localidad de Enquelga (Foto 6), las características de la actividad que presenta el volcán Isluga. Asimismo, la comunidad tuvo oportunidad de consultar sobre las distintas creencias populares que existen sobre los fenómenos volcánicos, en especial del Isluga.



Foto 6. El Dr. Jorge Clavero expone a los habitantes de la localidad de Enquelga las características de la actividad del volcán Isluga.

Por otro lado, el geofísico-sismólogo de la Universidad de Concepción, Dr. Klaus Bataille, se reunió con profesores y estudiantes de la Escuela de Colchane (Foto 7), donde pudieron conocer una estación sísmica, instrumental que estuvo instalado en las laderas del volcán Isluga para su monitoreo temporal, en el marco del proyecto. Los propios alumnos pudieron manipular dicho instrumental, lo que constituyó para estos jóvenes una experiencia única e inolvidable.



Foto 7. El Dr. Klaus Bataille mostrando una estación sísmica a los alumnos y profesores de la Escuela de Colchane.

IV.- INFORME PRELIMINAR PELIGROS VOLCÁNICOS VOLCÁN ISLUGA, Iª REGIÓN

Jorge Clavero Ribes
Geólogo, PhD

a) Introducción

El presente informe tiene por objetivo principal analizar, de manera preliminar, los peligros volcánicos asociados al volcán Isluga, Iª Región. Los resultados aquí presentados fueron obtenidos a partir de una salida a terreno efectuada entre los días 29 de Septiembre y 4 de Octubre del presente año, en la que participó el suscrito en representación del Sernageomin, por una solicitud de la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI).

Debido al escaso tiempo dedicado a estudiar los productos del volcán Isluga en terreno y a la ausencia absoluta de datos analíticos, ya sea geocronológicos como geoquímicos, este informe tiene un carácter netamente preliminar. Al final del mismo se efectúa una serie de recomendaciones las cuales, de ser consideradas, pueden llevar a obtener información más precisa.

b) Geología preliminar volcán Isluga

El volcán Isluga (Fig. 1; 19°15' LS, 68°83' LO, 5050 m snm) corresponde a un estratovolcán cuaternario de la cadena andina de los Andes Centrales del norte de Chile, el cual presenta actividad fumarólica de forma casi permanente (Simkin y Siebert, 1994). Estos mismos autores señalan que este centro eruptivo habría tenido, al menos, cuatro erupciones en tiempos históricos, la última el año 1960. Éstas habrían correspondido a erupciones explosivas de poca magnitud (IEV <2, Newhall y Self, 1982), y una de ellas habría generado un flujo de lava.



Fig. 1 Volcán Isluga visto desde Escuela de Enquelga (S)

De acuerdo a lo observado en terreno, se puede establecer que el volcán Isluga corresponde principalmente a un estratocono, formado por lavas, domos, un depósito de avalancha volcánica y depósitos piroclásticos de composición predominantemente andesítica a dacítica. El edificio principal está formado esencialmente por flujos lávicos y domos de las composiciones señaladas anteriormente, con sus correspondientes depósitos de bloques y ceniza (Fig. 2). Estos últimos se disponen principalmente en el flanco septentrional del volcán y su alcance es menor. En sus flancos se dispone una serie de depósitos piroclásticos, así como depósitos volcanoclásticos (lahares).

Una avalancha de detritos volcánicos está expuesta en la parte baja del flanco norte del volcán, cubriendo una extensión de unos km^2.

Hacia el este del volcán se observó un potente depósito piroclástico de caída pumíceo, el cual podría ser el producto de una gran erupción pliniana del volcán.

En la parte baja del flanco austral del edificio volcánico se dispone una serie de depósitos piroclásticos, entre los que destacan principalmente dos: el "flujo piroclástico Aravilla" y la "oleada piroclástica Enquelga".



Fig. 2 Detalle de depósito de bloques y ceniza, flanco norte volcán Isluga.

Flujo piroclástico Aravilla: Corresponde a un depósito de flujo piroclástico constituido principalmente por materil juvenil pumíceo y escoriáceo, con bombas de hasta 80 cm de diámetro, en una matriz de ceniza, masiva con incipiente estratificación paralela. Tiene un espesor mínimo de 4 m a xx km del volcán.



Fig.3 Depósito de flujo piroclástico pumíceo, sector Aravilla.

Oleada piroclástica Enquelga: Corresponde a un depósito de oleada piroclástica constituido por material juvenil escoriáceo de pequeño tamaño (lapilli fino a medio), con laminación paralela muy bien desarrollada y sin matriz fina. Tiene un espesor mínimo de 2 m a xxx km del volcán.



Fig. 4 Depósito de Oleada piroclástica con fina laminación paralela, sector Enquelga.

c) Principales Peligros volcánicos asociados al volcán Isluga

De acuerdo a los antecedentes recogidos en terreno, los principales peligros volcánicos asociados a este centro eruptivo, sin descartar la posibilidad de ocurrencia de otro tipo, corresponden a:

-Flujos y oleadas piroclásticos: Dependiendo de su origen (se ha establecido al menos dos tipos en este volcán, asociados al colapso parcial de domos y asociados a colapsos parciales de columnas eruptivas), podrían afectar principalmente las zonas bajas de los flancos norte y sur del edificio volcánico. El alcance de estos flujos dependerá de la magnitud de la erupción y/o del volumen del domo, pudiendo afectar las localidades de Enquelga y Aravilla.

-Caída de piroclastos: Asumiendo que los vientos de altura predominantes en la zona se dirigen de W a E (hay excepciones), la ceniza producida en caso de una erupción explosiva se dispersará hacia el Este del volcán. El alcance de la

ceniza, dependerá necesariamente de la magnitud de la erupción, pudiendo alcanzar en algunos casos la zona de Colchane.

-Flujos laháricos: Flujos volcanoclásticos (lahares) remobilizan habitualmente los fragmentos sueltos de las laderas del volán. Éstos se distribuyen esencialmente hacia los flancos noroeste y sur del volcán. En este último caso, dependiendo de su volumen, podrían alcanzar las localidades de Enquelga y Aravilla. Este tipo de flujos ocurren habitualmente en época estival debido a las lluvias asociadas al invierno boliviano, pero también pueden generarse en caso de ocurrir una erupción en invierno, cuando el volcán presenta nieve acumulada en su parte alta.

d) Zonas habitadas aledañas al volcán

Enquelga

El poblado de Enquelga se encuentra ubicado en la parte baja del flanco austral del edificio volcánico, aproximadamente a unos 10 km del cráter.

El pueblo se ha edificado sobre depósitos piroclásticos, de los cuales el más cercano corresponde a la Oleada piroclástica Enquelga (Fig. 4), y depósitos volcanoclásticos (aluviales-laháricos).

Aravilla

El poblado de Aravilla se encuentra ubicado en la parte baja del flanco suroccidental del volcán, aproximadamente a unos 9 km del cráter.

El pueblo está edificado sobre depósitos volcanoclásticos (lahares) y, posiblemente, sobre un depósito de flujo piroclástico pumíceo (Fig. 3). Si bien éste no fue visto en Aravilla, su ocurrencia menos de 1 km al norte, sugiere que se encuentra por debajo de los depósitos volcanoclásticos.

Colchane

El principal centro poblado del área corresponde a Colchane, ubicado al este del volcán, cerca de la frontera con Bolivia.

Si bien esta localidad no se encuentra, aparentemente, edificada sobre depósitos del volcán Isluga, su ubicación hacia el Este del centro eruptivo, la convierten en una zona vulnerable a posible caída de ceniza, en caso de ocurrencia de una erupción explosiva.

e) Conclusiones

El volcán Isluga presenta una serie de lavas y depósitos piroclásticos de aspecto bastante reciente. Esto sumado a los registros históricos, sugieren que potencialmente podría reactivarse en un futuro cercano.

Aunque no se dispone de datos geocronológicos, la actividad más reciente del volcán corresponde a la efusión de lavas (y/o lavas-domo) con su consiguiente actividad piroclástica asociada (piroclastos de caída y flujos piroclásticos de bloques y ceniza).

La identificación de un importante depósito de caída, producto de una gran erupción explosiva, hacia el Este del volcán, sugiere que en algún momento de su historia eruptiva este volcán ha generado erupciones de gran magnitud que, de ocurrir nuevamente, podrían afectar notablemente la actividad humana y económica del área.

En la actualidad el volcán presenta una actividad fumarólica casi permanente, principalmente en el cráter y flanco sur. Los gases emitidos corresponden básicamente a vapor de agua y dióxido de azufre (aunque no existen análisis de gases que permitan señalar esto con certeza). La magnitud de las fumarolas (altura y cantidad de gases) fluctúa, dependiendo

esencialmente del viento predominante y, de la cantidad de agua infiltrada hacia el sistema magmático (mayor en los meses de Diciembre a Marzo debido al invierno boliviano).

f) Recomendaciones

De acuerdo a los antecedentes expuestos anteriormente es posible efectuar las siguientes recomendaciones:

1.- Es altamente necesario efectuar un levantamiento volcanológico de mayor detalle en el área. Con esto se debe determinar la distribución y características de los principales depósitos asociados a la actividad reciente de este centro eruptivo.

2.- Se debe efectuar una cronoestratigrafía de detalle, en base a dataciones radiométricas (C^{14} y Ar-Ar). Con esto se podrá hacer un análisis de recurrencia eruptiva y, por ende, de probabilidad de ocurrencia de una erupción.

3.- Los dos puntos anteriores son imprescindibles para poder efectuar un estudio de peligros volcánicos de este centro eruptivo, el cual pueda ser utilizado para un estudio de riesgo volcánico de la zona (incorporando el factor vulnerabilidad).

4.- Se sugiere no utilizar la magnitud de la actividad fumarólica como parámetro indicativo de mayor o menor actividad volcánica, sin que se haga análisis de gases en forma periódica.

g) Referencias

Newhall C, Self S (1982) The volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. Journal of Geophysical Research 87. 1231-1238.

Simkin T, Siebert L (1994) Volcanoes of the world, 2nd Edition. Smithsonian Institution, Geoscience Press, USA, 349p.

V.- ANTECEDENTES DE VULNERABILIDAD

Leonardo Céspedes M.

ANTECEDENTES GENERALES:



El volcán Isluga se encuentra ubicado en la Comuna de Colchane, I Región de Tarapacá en la zona altiplánica fronteriza con Bolivia. Administrativamente está dentro de la comuna de Colchane; ésta depende de la Provincia de Iquique y de la Intendencia de la I región. Es considerado un volcán activo, dado que habitualmente presenta actividad fumarólica, compuesta principalmente por vapor de agua, emisiones de azufre, actividad solfatárica y termal.

A partir de Abril del año 2002, el volcán ha presentado un aumento de su actividad habitual, la que fue reportada por lugareños con las siguientes características:

- Aumento en la altura de la fumarola.
- Emanaciones olor a azufre.

- Ruidos subterráneos.
- Sismicidad local de baja intensidad.

Razones por las cuales autoridades regionales y nacionales decidieron consultar el apoyo de los expertos de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), que decidió realizar un estudio del área circundante al volcán y así determinar algunos parámetros para el manejo del posible riesgo que se presentaría al momento de una erupción.

Un estudio preliminar de Riesgo del volcán Isluga involucraría un estudio de peligros volcánicos (identificación tanto de los peligros como de las zonas bajo amenaza ante un determinado peligro) y un diagnóstico de Vulnerabilidad ante un evento eruptivo.

a) ANALISIS HISTÓRICO, ÁREA DE ESTUDIO

1 Entorno físico;

En la Región de Tarapacá están ubicados cuatro de los cinco centros eruptivos de los Andes Centrales chilenos con actividad eruptiva holocena documentada: los volcanes Parinacota, Guallatiri e Isluga y el Centro Volcánico Taapaca (González-Ferran[i], 1995; Clavero et al[ii]., 2002; Clavero[iii], 2002). Dentro de éstos, los únicos que presentan actividad fumarólica permanente y tienen registros históricos de erupciones son los volcanes Guallatiri e Isluga (Clavero J. comunicación verbal). Si bien existe una serie de estudios geológicos de detalle en algunos de estos centros volcánicos, no existe hasta la fecha ningún estudio de peligro volcánico en volcanes activos de la Región, y ningún estudio detallado de riesgo volcánico en Chile.

El volcán Isluga se encuentra al interior de Iquique en el altiplano Chileno en la I Región de Tarapacá limítrofe con Bolivia, sobre los 4.000 m s.n.m. Su altura total es de 5.501 m s.n.m. siendo la altura especifica del edificio volcánico de aproximadamente 1.200 m.

Es considerado un volcán activo dado su historial, éste posee características de un estrato volcán con un cráter central el cual emana constantemente una fumarola, probablemente compuesta principalmente por vapor de agua dado el color de ésta (no existen estudios de geoquímica concluyentes de este volcán).

El edificio actual del Isluga aparentemente se encuentra sobreyaciendo a una antigua cadena volcánica que posee una orientación cóncava orientada hacia el nor-noroeste (Shanaka L. et al 1990)[iv] (Ver Anexo: Foto 2 Satelital).

El volcán Isluga tiene registros históricos de erupciones, el más antiguo de los cuales se remonta al año 1863. Entre esta erupción y la última registrada en el año 1960, ha habido 8 eventos eruptivos ("Volcanoes of the world")[v] (Ver Anexo: Cronología eruptiva del volcán Isluga).

Si bien estos eventos han sido de baja explosividad como indica el Índice de Explosividad Volcánica (IEV<2), según la definición internacional Newhally Self 1982, la cual establece una escala abierta partiendo desde el reposo absoluto (EIV=0), la ocurrencia de un evento eruptivo mayor en el futuro no puede ser descartada, dado que existen antecedentes geológicos de erupciones altamente explosivas en el pasado reciente del volcán (con flujos piroclásticos y otras manifestaciones asociadas).

A partir de los primeros días de Abril del año 2002, de acuerdo a información proporcionada por lugareños y ratificada por personal de la DIREMER, el volcán Isluga habría incrementado su actividad fumarólica habitual. Este incremento está acompañado por intenso olor a azufre, ruidos subterráneos y sismicidad local de baja intensidad. Poco tiempo después, se informó también de la mortandad de fauna en algunos bofedales aledaños al volcán, la cual podría estar asociada al incremento de la actividad del mismo.

En forma paralela a estas informaciones, recientemente se ha corroborado este incremento de la actividad fumarólica del volcán Isluga mediante métodos de observación satelital (University of Hawai'i, http://goes.higp.hawaii.edu/goes). Las imágenes satelitales fueron obtenidas expresamente para ser utilizadas en el presente programa de estudios.

2 Población:

Los asentamientos humanos que se encuentran en torno al volcán, debido a la explotación de los bofedales en su base, los cuales brindan recursos hídricos para la agricultura tradicional, así como por el aprovechamiento de los pastizales que allí se dan. Estos sirven de forraje al ganado de camélidos y caprinos, pertenecientes a las comunidades Aymaras que habitan esta zona.

La población de esta comuna es de 1.649 habitantes, según el censo del año 2001, asentada en las siguientes localidades aledañas al volcán (Ver Anexo: Carta topográfica Volcán Isluga).

1. Colchane (Capital comunal)*
2. Enquelga*
3. Cachaguano*
4. Chapicollo*
5. Ancollo*
6. Arabilla*
7. Mauque*
8. Vilacollo o Parajalla*
9. Pisiga baquedano*
10. Pisiga choque*
11. Pisiga achauta*
12. Escapiña*
13. Mucomucone
14. Latarana
15. Coipoma
16. Coraguane
17. Alsore
18. Isluga
19. Sitani
20. Cotasaya
21. Pisiga Chile (frontera)
22. Pansuta

* Localidades reconocidas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) las otras por el Instituto Geográfico Militar (IGM)

La comunidad de Isluga, al igual que la mayoría de las comunidades altiplánicas, presenta un alto grado de aislamiento, tanto con el quehacer nacional como con

otras comunidades Aymara. Éstas mantienen vínculos importantes con centros urbanos, en este caso con Huara, como primer paso, y luego con Iquique. Esta situación reafirma los ámbitos de interés y desplazamiento de las comunidades altiplánicas en sentido vertical para proveerse de productos y servicios que el altiplano no ofrece (Murra J. 1975)[vi].

El carácter de la economía de Isluga es esencialmente de subsistencia; es decir existe una relación directa entre la unidad de producción y la unidad de consumo familiar, también este sistema es denominado como "economía primitiva". Aquí es la familia la unidad que produce y consume lo que produce, con un pequeño excedente el cual es destinado a la obtención de productos externos al altiplano.

La producción familiar se fundamenta en un régimen de propiedad comunal en cuanto a los pastos para los animales, y familiar en cuanto a los terrenos destinados a producción agrícola (Provoste P. 1977)[vii].

Al igual que en muchas comunidades altiplánicas su población se distribuye de manera dispersa en el territorio ocupando distintos sectores de los bofedales, esta ocupación divide a la población de Isluga en dos, los del Alto y los del Bajo; Arax Saya y Manqha Saya respectivamente, las cuales cuentan con caciques elegidos, tradicionalmente cada año, estos tienen labores casi exclusivamente en la organización de las festividades religioso-sociales y en algunas funciones de trabajo colectivo.

Las actividades económicas tradicionales en esta comunidad han sido el pastoreo de animales y el trabajo de la tierra. Sin embargo, estas dos actividades se desarrollan de manera diferenciada en la comunidad, siendo la del Bajo la que más se ha dedicado al trabajo de la tierra y la comunidad del Alto la que más desarrolla la ganadería, esto no significa que sean actividades excluyentes dentro del que hacer respectivo de cada comunidad.

Esta diferenciación de actividades económicas, sin descartar las de usos culturales, podría estar indicando diferencias en la composición de los suelos así como del agua, particularidades que estarían influenciadas por la acción del volcanismo reciente del volcán Isluga, el cual evidencia grandes flujos piroclásticos hacia su vertiente norte y abundantes coladas de lava hacia su flanco sur (ver anexos. foto aérea), sin embargo esta probable relación entre entorno físico y diferenciación de actividades antrópicas se podría establecer con estudios de geoquímica acabados, de los cuales no se dispone, por consiguiente esta hipótesis deberá permanecer sólo como tal sin poder ser confirmada o rechazada.

c) ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD:

El Riesgo esta dado por dos variables que se entrelazan, la Amenaza y la Vulnerabilidad:

RIESGO = AMENAZA */+ VULNERABILIDAD

Sin embargo, el análisis y estudio del **RIESGO** debe ser desarrollado por separado.

La **Amenaza** es el estudio de los componentes físicos, de los peligros en sí, para este caso concreto, el tipo de erupción y los productos que de ella se generen, directa o indirectamente.

La **Vulnerabilidad** es estrictamente una componente de análisis antrópico que involucra los sistemas sociales que se puedan ver afectados, así *"El concepto de Vulnerabilidad, es relativo y debe ser analizado con relación a las condiciones particulares de cada comunidad (Fernández C. 2001).*[viii]"

Los parámetros para el **Diagnóstico de Vulnerabilidad** se pueden a su vez subdividir en tres áreas;

- **1 Factores Físicos y Ambientales**: Están en relación con el lugar físico de los o el asentamiento, las formas y maneras en las que una comunidad, grupo humano o cultura se posesiona en el territorio, lo ocupa, utiliza o explota.

- **2 Factores Sociales:** Maneras de actuar de las personas en lo individual como en lo social, formas de organización, creencias, organizaciones de base, etc.

- **3 Factores Económicos:** Referidos a organización o utilización de recursos económicos así como el acceso a estos, la calidad de sus servicios, accesos y condiciones técnicas propias de cada localidad.

De este desglose se deduce que en la variable de Vulnerabilidad están básicamente en relación dos sistemas: el **sociocultural**, la población, su composición etárea, su organización social, su vinculación con el medio natural, etc, y el **estructural,** infraestructuras, servicios, viviendas, transportes, utilización de recursos económicos, etc.

Sin embargo, no debe agotarse la investigación o diagnóstico de la realidad sólo en estos antecedentes. La memoria histórica de los habitantes es también fundamental para poder reconstruir los posibles escenarios de una erupción volcánica en un área altamente sensible en sus ecosistemas y socialmente.

1 Factores Físicos y Ambientales

En términos generales, esta unidad geográfica denominada altiplano, está situada al Este de la cordillera de los Andes, presenta un relieve de meseta elevada de edad geológica principalmente Terciaria y Holocena, la cual tiene una altura de base promedio de 4000 m s.n.m.

La subdivisión natural de las cuencas altiplánicas es producto de la sobre imposición de los grandes edificios volcánicos, los cuales generan un número considerable de depresiones cerradas o endorreicas y algunas pampas, su extensión es variable y por lo general han desarrollado sistemas de drenaje hacia la vertiente Este de la cordillera, como son los ríos del área de estudio; Todos Santos en la vertiente Norte del volcán Isluga y el río Isluga al Sur del volcán que le da su nombre, (I.G.M. 1985)[ix], ambos drenan sus aguas hacia el enorme salar de Coipasa en el lado Boliviano del altiplano.

El área de estudio se encuentra ubicada en la puna de Atacama, esto plantea para el caso de una emergencia de tipo volcánica, problemas de aislamiento adicionales para una posible evacuación.

Debido a que las localidades se encuentran ubicadas en torno al volcán formando un semicírculo que recorre desde su flanco Norte hasta el borde Sur de éste, cualquier operativo de evacuación deberá, necesariamente, tomar en cuenta la magnitud de la erupción y la orientación que ésta tome, es decir por qué flanco se está desbordando ya que el único camino de acceso de las localidades corre precisamente en torno al centro eruptivo (Ver Anexo: Foto 1. Aérea del Volcán Isluga) .

Otro factor a tomar en cuenta al momento de producirse una posible erupción, es la época del año en que ésta ocurra, debido principalmente al fenómeno climático de las lluvias estivales o Invierno altiplánico o también conocido como Invierno Boliviano, el cual se presenta entre los meses de Diciembre a Marzo.

Este fenómeno climático particular de la zona puede presentar precipitaciones que oscilan entre los 100 y 200 mm anuales. Concentradas estas lluvias intensas en los pocos meses del verano, desestabilizan el equilibrio en las laderas de los cerros, generando peligrosos aluviones que en numerosas ocasiones han cortado los caminos de acceso a las localidades del área en estudio, dejándolas en aislamiento o imposibilitando o dificultando cualquier comunicación con éstas y su posible evacuación.

Dado que los asentamientos del área en estudio se encuentran distribuidos en el territorio siguiendo un patrón semi circular en torno al centro eruptivo y que la ruta de acceso a éstos es una, la cual en algunos lugares pasa a distancias menores de los 10 Km. del centro eruptivo, se debe tener en cuenta los puntos factibles en que ésta se puede ver interrumpida, ya sea por cualquiera de los dos fenómenos de origen natural antes mencionados.

Los Bofedales o Vegas son una asociación vegetacional típica de esta zona, que debe su origen a la acumulación de aguas lluvias en el subsuelo de rocas volcánicas de características impermeables y a fenómenos de circulación de ésta en torno a los edificios volcánicos, formándose numerosas fuentes termales y

surgencias. Estas aguas son aprovechadas por la vegetación la cual, a su vez, es comida por animales mayores como los camélidos y al ganado doméstico, produciéndose una interdependencia sobre este elemento vital. Este ha sido el motivo y soporte que ha permitido la existencia de la ocupación humana. La contaminación química que el volcanismo es capaz de provocar en las fuentes de agua, es un factor no menos importante para tomar en cuenta al momento de una erupción, ya que obligaría a las comunidades a surtirse de éste por medio de camiones aljibes y a traerla desde distancias considerables debido a la escasez de este elemento en el altiplano en general.

2 Factores Sociales

La ocupación por parte del hombre de estos ecosistemas de bofedales en la Puna de Atacama tiene orígenes prehispánicos, en algunos lugares data desde hace aproximadamente 10.000 años A.P. (Motsny. G. 1983)[x].

Las localidades del área en cuestión poseen algunos sitios declarados áreas arqueológicas protegidas, así como monumentos nacionales y de ecosistemas extremadamente frágiles, este conjunto de factores es el motivo que da origen a que se haya declarado toda esta zona un área protegida, creándose el Parque Nacional Volcán Isluga.

Una posible erupción del volcán podría dañar seriamente este conjunto de factores que hacen de esta zona un parque nacional.

Si bien no existe forma de controlar una erupción y su impacto en el medio ambiente, en la pérdida de patrimonio cultural, sí es posible realizar un catastro, así como una documentación detallada de ésta. Esta labor debería realizarse por parte de las autoridades pertinentes en conjunto con los equipos científicos y la comunidad aledaña a estos sitios, que en muchos casos es heredera directa de este patrimonio.

Mayoritariamente la composición de la población de esta zona es de origen Aymara. La cultura desarrollada por este pueblo a lo largo de su historia es el producto de su prolongada resistencia y adaptación a la variada geografía nortina.

A consecuencia de las peculiaridades de su cultura y economía, el patrón de ocupación del territorio es bastante disperso, lo que a su vez genera que los Aymara se organizan socialmente en Ayllus o Jatha las cuales son unidades de parentesco. Estos Ayllus, a su vez, están divididos en dos parcialidades Arax Saya la mitad del alto y Manqha Saya la mitad de abajo (Gundermann H. et al. 1989)[xi], estructura que se repite en esta zona al nivel de macro estructura social, es decir, en la comuna; tener en cuenta este factor de organización social y de ocupación del territorio para planificar estrategias frente a una posible emergencia volcánica puede ser de extrema utilidad, ya que como se dijo anteriormente, la población está dispersa en el territorio y en largos periodos del año su permanencia en un lugar definido esta sujeta a los quehaceres de la agricultura o la ganadería.

En los factores de vulnerabilidad asociados a los fenómenos generados por la actividad volcánica, se deben considerar aspectos propios de la organización social y de la gestión que posee la comunidad para hacer frente a una emergencia de origen volcánico, como por ejemplo:

- Factores culturales de la comunidad local, para este caso en particular, como se ha dicho, la etnia Aymara.
- Nivel de conocimiento de la comunidad de las Amenazas a que está expuesta.
- Nivel de conocimiento de la comunidad de sus Vulnerabilidades.
- Densidad y distribución de la población
- Tipo y diseño de viviendas.
- Nivel de equipamiento e infraestructura de servicios.
- Nivel de gestión frente al riesgo, en este caso, volcánico.

- Nivel de capacitación y preparación de los organismos e instituciones componentes del Sistema Local de Protección Civil.

Para operar con la mayoría de esto factores, los cuales no son todos medibles o cuantificables, sino más bien del orden de la percepción, se elaboró una ficha – encuesta, para ser llenada por localidad. En ella hay ciertos parámetros necesarios para determinar la vulnerabilidad de cada uno de estos asentamientos, es decir, saber qué se verá posiblemente afectado en el caso de que una erupción alcance una localidad en particular (Ver Anexo: Carta Topográfica, localidades vulnerables ante una erupción del volcán Isluga).

Estos últimos factores son antecedentes factibles de recabar en las etapas de terreno, ya que estos constituyen información primaria que sólo es factible de ser levantada en terreno y con una debida programación, para su análisis posterior.

En el contexto de esta primera etapa en la elaboración de este informe no se pudo completar esta información debido a problemas de orden administrativo, quedando para futuras gestiones complementar esta parte del informe.

3 Factores Económicos

Economía local:

El extremadamente exigente medio ambiente de la puna, ha condicionado desde tiempos prehispánicos la economía de estos asentamientos, si bien las innovaciones en tecnología han permitido el desarrollo de una variedad de actividades mayores que en el pasado, las actividades económicas principales siguen siendo la agricultura especialmente de quínoa, papas y ajos, el pastoreo de animales como camélidos domésticos y el comercio que se sigue practicando como se ha hecho desde los primeros tiempos de ocupación permanente de estos lugares, para poder variar la dieta y permitir suplir las carencias que impone el medio, esta actividad se realiza principalmente en los mercados locales.

En este sentido las actividades que se verían seriamente comprometidas en el caso de una erupción volcánica, son la agricultura tradicional y la ganadería, debido principalmente a la contaminación de los acuíferos y la pérdida de suelo por la posible caída de tefra o ceniza volcánica, casos como estos se han visto en las erupciones del Volcán Hudson en 1991 (Moreno H. et al. 1993)[xii] o la del Lonquimay 1989.

Debido al aislamiento, lo abrupto de la zona y las exigencias extremas de este medio ambiente, es esperable un impacto importante en estas actividades así como la posterior recuperación de ellas y del ecosistema, en el caso de producirse la erupción.

Infraestructura de caminos:

Éstas no poseen una gran diversidad de destinos ni la densidad necesaria como para conectar todas las localidades de la zona en forma expedita y hacia lugares seguros, por el contrario, el único camino que une las localidades de la zona norte del volcán (Vilacollo o Parajalla, Mucomucone y Pansuta) con su centro comunal y administrativo, pasa en algunos tramos a pocos kilómetros del centro eruptivo por las laderas de éste, dicho camino es el que comunica las localidades situadas en el extremo sur del volcán (Arabilla, Ancollo, Enquelga, Chapicollo, Coraguane e Isluga.) dejándolas en una situación de vulnerabilidad muy alta.

Además, de lo precario de la red vial, está el factor de que son de ripio, a lo cual se suma el fenómeno de que las vías se transforman en zonas artificiales de concentración de la escorrentía y el drenaje durante el invierno altiplánico. La mayoría de los caminos de la zona se transforman en riadas por donde el agua acumulada de las lluvias aprovecha de drenar hacia sectores más bajos, inutilizando o dañando amplios sectores de vías, esto ha traído como consecuencia la existencia de numerosos taludes cortados, inestables y expuestos a los procesos de erosión.

d) CONCLUSIONES:

El área de estudio se encuentra ubicada en la puna de Atacama, esto para el caso de una emergencia de tipo volcánica, genera problemas adicionales de ser necesaria una evacuación.

La subdivisión de las cuencas de los ríos del área deben su origen, en gran medida, a la sobre imposición del volcán, éste ha formado depresiones endorreicas y algunas pampas.

Casi la mayoría de las fuentes termales del altiplano están asociadas a algún aparato volcánico en sus inmediaciones, a esto deben su temperatura y su gran contenido de minerales.

En el caso de los bofedales que se encuentran entorno al volcán Isluga, estos deben su origen a la surgencia de agua que se da en los flancos del volcán, existe una relación directa entre estas aguas y el volcanismo activo del Isluga.

Muy probablemente, de no existir este centro eruptivo, el asentamiento de las comunidades entorno a éste, no habría sido posible ya que las condiciones de agua, pastos, y tierras fértiles para la agricultura no se darían y la vida del hombre se habría hecho imposible en estas alturas.

En el sector de Isluga las zonas acuíferas más importantes se encuentran en los flancos del volcán y a escasos kilómetros del cráter, en el lado Nor-Oeste del volcán las que dan origen al río "Todos Santos" y hacia el Sur-Oeste, uniéndose estas aguas al río Isluga. Ambos acuíferos forman parte de cuencas hídricas separadas y endorreicas que van a drenar hacía salares del altiplano Chileno-Boliviano.

Las localidades se encuentran ubicadas en torno al volcán formando un semicírculo, cualquier operativo de evacuación deberá necesariamente tomar en cuenta la magnitud de la erupción y la orientación que ésta tome debido a la característica de los asentamientos aledaños al volcán y las vías de acceso a éstos.

En general, éstas se pueden dividir en tres áreas que conforman un semicírculo entorno al volcán las cuales fueron visitadas.



Partiendo desde el extremo Sureste, desde la frontera con Bolivia, están las localidades de **Colchane, Cotasaya, Central Citani, Isluga, Alsore, Enquelga, Coraguane y Chapicoyo,** todas localidades visitadas por el equipo en terreno y en las cuales se comprobó la existencia de familias viviendo en ellas, gran número de ganado de camélidos andinos y tierras de cultivo así como la importante ruta internacional que comunica Chile con Bolivia.

1° Cuadrángulo;

Colchane es la localidad que administrativamente tiene más importancia en la zona ya que es la capital comunal y en ella se encuentra el centro administrativo, Casa Consistorial, Posta Rural, Servicios de Aduana, Policía de Investigaciones y Carabineros, Servicio Agrícola y Ganadero y otros servicios a la comunidad. Además, en esta localidad se encuentra la Escuela Rural E-50 con 6 profesores y aproximadamente 119 alumnos de todas las edades. Esta localidad tiene aproximadamente 610 personas, es desde todas las perspectivas el poblado que requiere de una mayor atención en caso de una emergencia.

2° Cuadrángulo;

Enquelga es un asentamiento que dista a escasos 7 a 8 Km. del centro eruptivo del volcán en las laderas de Sur-Oste y sobre escoriales de lava emanados por él en el pasado. En este pueblo está la Escuela Básica G-69 con 1 profesor y aproximadamente 11 alumnos, una posta rural y unos 30 habitantes.

Dada la cercanía del poblado al volcán, debería ser uno de los primeros en ser evacuados, dependiendo del tipo de erupción y las características que ésta adopte.

Las restantes localidades de este cuadrángulo Sureste posen una población importante pero bien conectada a su centro comunal, y se encuentran a distancias mayores del volcán, aunque no por eso se deben desatender en el caso de una emergencia.

3°Cuadrangulo;

El siguiente cuadrángulo ubicado en el lado Suroeste del volcán, se encuentran las localidades de **Arabilla, Chigranta, Ancollo y Taipicollo.**

Arabilla es la más expuesta de estas localidades por encontrarse, al igual que Enquelga, a muy corta distancia del volcán, no superior a los 10 Km. del centro

eruptivo y en una zona de difícil acceso y por ende de evacuación en caso de una emergencia, en la zona también se observa gran cantidad de animales y terrazas de cultivo.

Taipicollo es posiblemente, de las localidades visitadas, la más protegida de el volcán, pese a su proximidad, ya que encuentra tras los cerros llamados de Alpajeres, los cuales corresponden a un antiguo Volcán, posiblemente ya extinguido, conformando una barrera protectora de la posible actividad del Isluga. Sin embargo, dado el tamaño del volcán cualquier zona que se pueda considerar segura deberá serlo tomando en cuenta la magnitud de la erupción en curso y su evolución *in situ.*

Las otras dos localidades de este sector se encuentran casi deshabitadas durante gran parte del año y poseen una localización más distante del centro eruptivo, sus accesos son desde el lado sur de los bofedales del entorno volcánico, por lo cual su posible advertencia y evacuación se podría realizar rápida y oportunamente de ser necesaria.

Lado Norte del Volcán;

Hacia el lado Norte del volcán Isluga, en el sector del **río Todos Santos** y sus localidades: **Paserijo, Santa flor de Parajaya (o Virgen del Carmen) Vilacoyo (o Parajaya) y Pansuta** siguiendo la ruta altiplánica A-395 que va hacia el salar de Surire y continua hacia el Norte.

Esta zona es de particular interés para este estudio, así como para el conocimiento científico del volcán. En la ladera Norte, existen evidencias geológicas de una enorme avalancha volcánica proveniente del Isluga.

La erupción que dio origen a esta remoción en masa, de todo un sector de la ladera del volcán, se encuentra sin datación específica ni estudios que puedan dar indicios de la magnitud de las erupciones del volcán Isluga, así como de las circunstancias que rodearon la avalancha y los efectos que este evento dejó en el

ecosistema circundante al volcán y en los sistemas sociales afectados, de haber estado presente el hombre al momento de dicho evento (estos fenómenos normalmente persisten en la memoria colectiva de los pueblos en forma de mitos y leyendas).

Este tipo de erupciones son de inusitada violencia y han ocurrido pocas veces desde que el registro científico se comenzó a escribir, por consiguiente las localidades de la zona Norte del volcán están en un área de influencia del volcán pero a distancia moderada de éste y en el camino de grandes erupciones provenientes del Isluga.

Sin embargo, dado que éstas se ubican al borde de la ruta A-395 su evacuación así como sus comunicaciones no se verían comprometidas al momento de una erupción, sí es posible que quedasen aisladas de su centro comunal (Colchane), pero se podrían vincular a otros centros poblados de importancia que los podrían ayudar.

La época del año en que un evento eruptivo pudiera ocurrir, plantea un segundo problema, debido principalmente al fenómeno climático de las lluvias del "Invierno Altiplánico" el cual se presenta entre los meses de Diciembre a Marzo dejando gran parte de los caminos dañados o intransitables y a algunas localidades aisladas.

La existencia de agua en la puna de atacama ha permitido la ocupación humana animal y vegetal. La contaminación química que el volcanismo es capaz de provocar en las fuentes de agua es un factor no menos importante para tomar en cuenta al momento de una erupción, por las consecuencias que esto conllevaría para el hombre y el medio ambiente.

Las actividades que se verían seriamente comprometidas en el caso de una erupción volcánica son la agricultura tradicional y la ganadería, debido

principalmente a la contaminación de los acuíferos y la pérdida de suelo por la posible caída de ceniza volcánica.

La pérdida de patrimonio cultural así como natural en la zona declarada parque nacional, es otro punto que resaltar en las futuras medidas, ya que si bien los ecosistemas se recuperan, según la experiencia internacional y nacional (ver Monte Santa Helena 1981 en EEUU, o la erupción del volcán Hudson 1991 en Chile), la pérdida del patrimonio cultural puede ser irremediable, de no existir catastros o documentaciones de éste.

La organización socio cultural de la etnia Aymara en los ayllus es tal vez uno de los puntos más fuertes y destacables de esta zona, ya que dicha organización de base y de origen ancestral es un medio de comunicación y de articulación de la sociedad, que puede ofrecer una acción organizada y una participación de la comunidad en su conjunto para socorrerse ante un evento volcánico, facilitando las labores de evacuación o simple vigilia y monitoreo del volcán.

e) REFERENCIAS

[i] GONZÁLEZ-FERRAN, O. (1995).
"Volcanes de Chile"
Santiago de Chile. Edit. I.G.M.

[ii] CLAVERO J., SPARKS S., HUPPERT H., DEADE B. (2002).
"Geological constraints on the emplacement mecanism of the parinacota debris avalanche, Northen Chile"
Bulletin of volcanology N° 64.

[iii] CLAVERO J. (2002).
"Evolution of Parinacota volcano and taapaca volcanic complex, Centrral Andes of Northen Chile"
Unpublished. PhD Thesis, U. of Bristol – UK.

[iv] SHANAKA, L. DE SILVA PETER W. FRANCIS; (1990).
"Volcanoes of the Central Andes"
Editorial Springer-Verlag.

[v] CASERTANO, L. (1965).
"Volcanoes of the world"
International Volcanological Association.

[vi] MURRA, J. (1975).
"Formaciones económicas y políticas del mundo andino"
Cap. Control vertical de pisos ecológicos.
I.E.P. ediciones.

[vii] PROVOSTE, P. (1977).
"Antecedentes Socioeconómicos para el desarrollo del sector de Isluga"
Universidad del Norte. Sede Iquique.

[ix] GOBIERNO DE CHILE, FERNÁNDEZ, C.
"Relaciones entre variables de riesgo"
Plan Nacional de Capacitación. Bases para la Acción Integral en Protección Civil.
Modulo Medio Nivel 2. ONEMI.

[ix] V.V.A.A. (1985).
"Geografía de Chile", Geografía I Región de Tarapacá
Santiago de Chile. Instituto Geográfico Militar.

[x] MOTSNY G. (1983)
"Prehistoria de Chile"
Santiago de Chile. Editorial Universitaria.

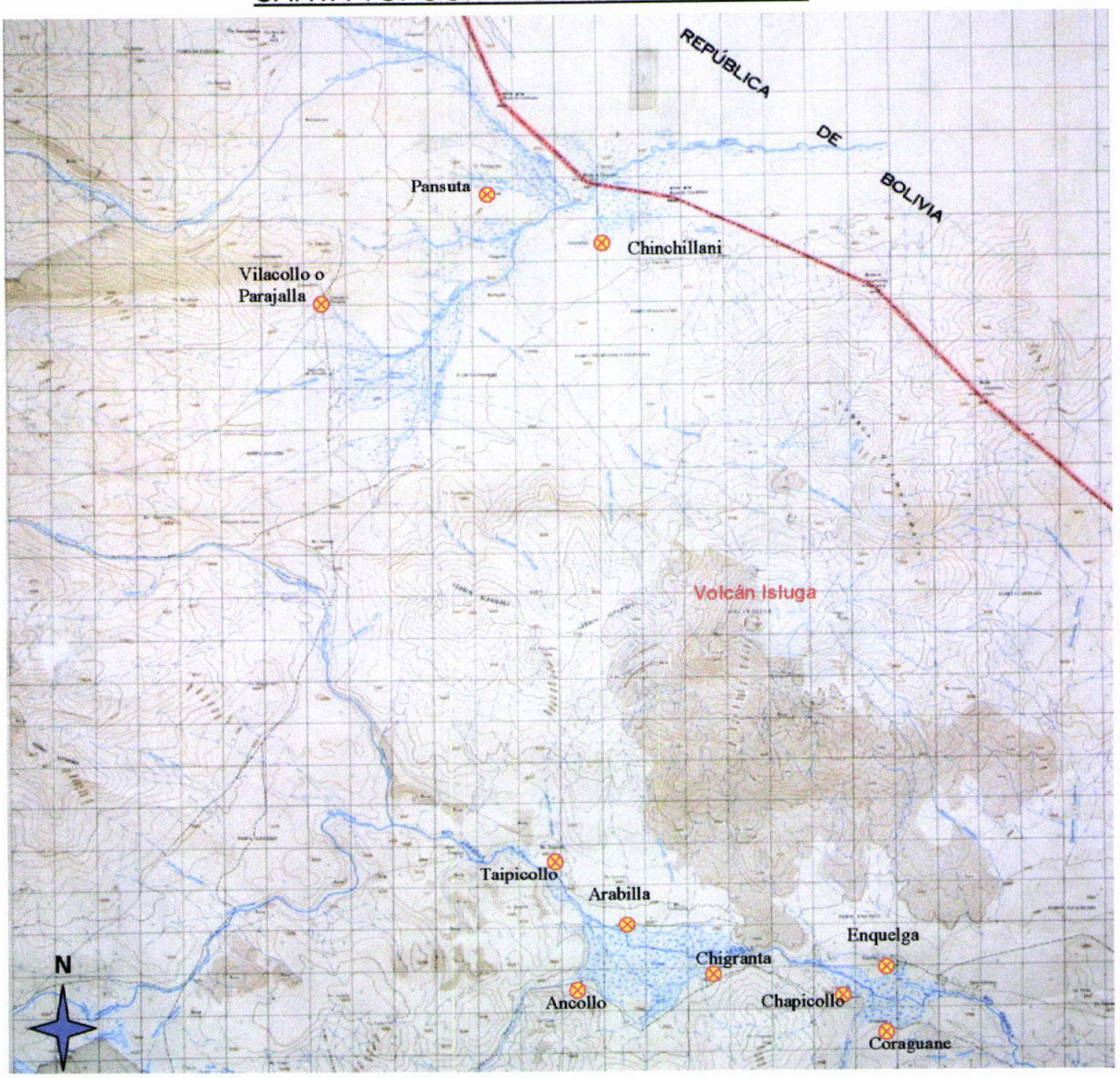
[xi] GUNDERMANN, H. GONZALEZ, H. (1989)
"Cultura Aymara artesanías y tradiciones del altiplano"
Serie Patrimonio Cultural Chileno.
Ministerio de Educación y Museo Chileno de Arte Precolombino.

[xii] NARANJO, J. MORENO, H. BANKS, N. (1993).
"La erupción del volcán Hudson en 1991. XI región de Aysén, Chile"
Boletín N° 44. Servicio Nacional de Geología y Minería.

ANEXO

CARTOGRÁFICO, FOTO AÉREA Y SATELITAL

CARTA TOPOGRÁFICA VOLCÁN ISLUGA



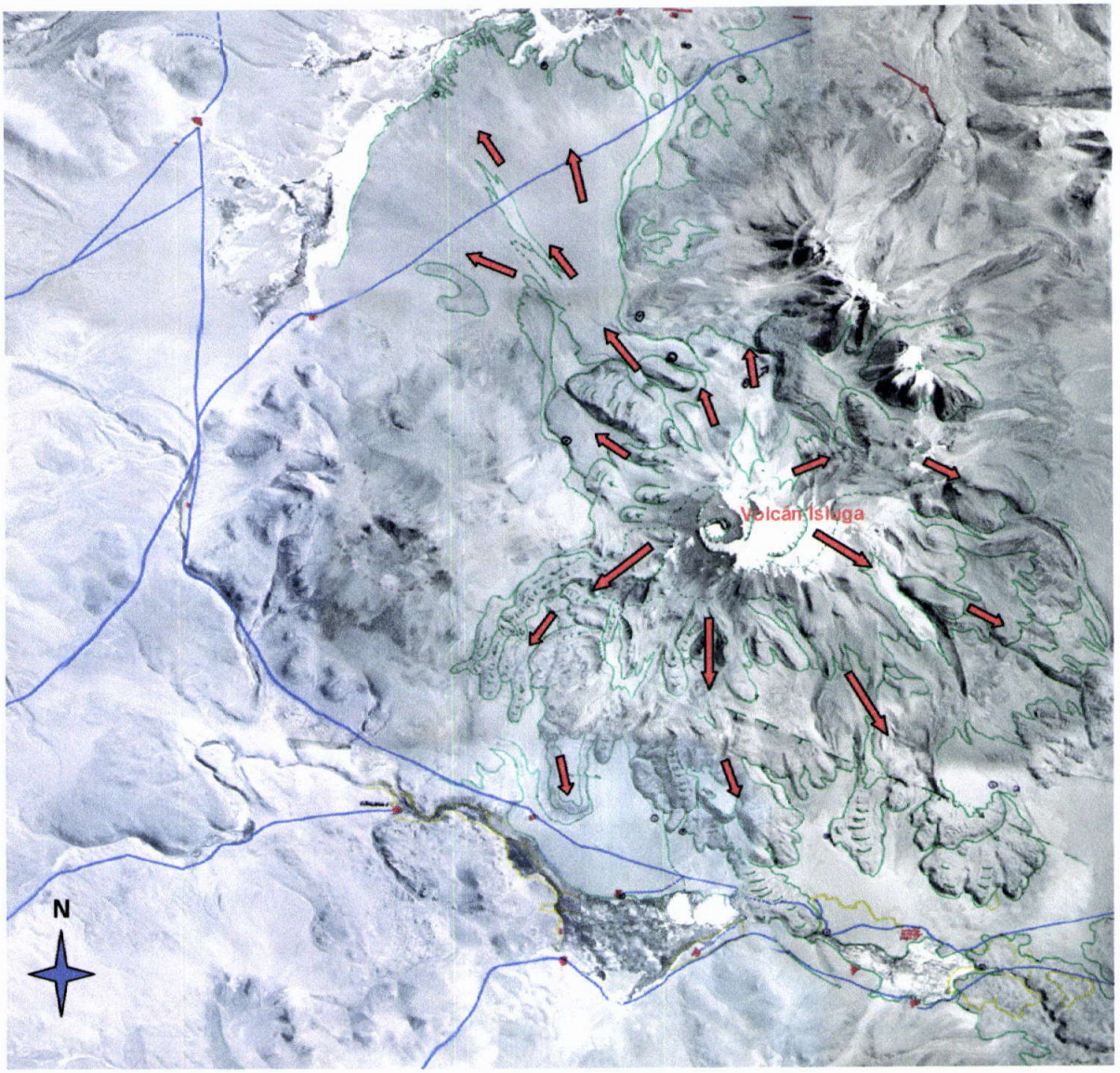
Fuente: hoja topografica1:50.000 IGM

SIMBOLOGIA

- Localidades
- Ríos
- Bofedal
- Caminos

FOTO 1.

AÉREA DEL VOLCÁN ISLUGA.



Fuente: SAF.

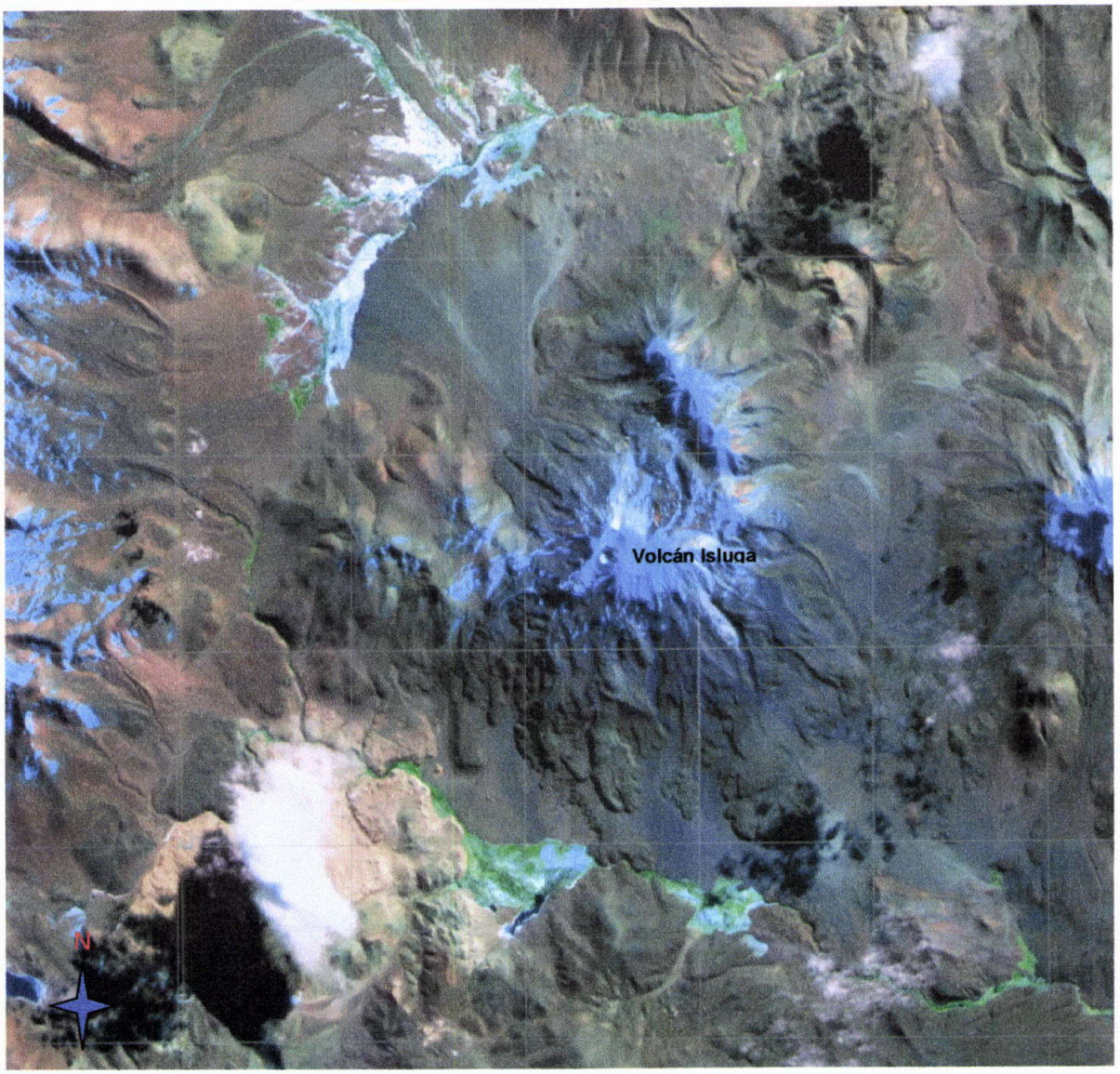
Foto Interpretación de Peligros Volcánicos y Sistemas Sociales.

SIMBOLOGIA:

- Direcciones de flujos de coladas y piroclastos.
- Caminos.
- Localidades
- Lavas o flujos volcánicos
- Puntos de muestreo o monitoreo del volcán

FOTO 2

SATELITAL DEL VOLCÁN ISLUGA.



Fuente: LANDSAT TM5. RGB741. 1987.

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA.
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS.
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

VI.- INFORME DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN ISLUGA DURANTE ENERO-MARZO 2003.

(REQUERIDO POR ONEMI, OREMI-IQUIQUE).

Klaus Bataille y Gonzalo Hermosilla

2 de junio del 2003.

a) INTRODUCCIÓN

El volcán Isluga está ubicado en el altiplano chileno-boliviano en los 5195000E 788450N (UTM), de longitud y latitud, respectivamente, y a mas de cinco mil metros de altitud. Se sitúa en el denominado "Cordón de Fuego del Pacifico", el cual está caracterizado por una importante actividad volcánica y sísmica, gran parte de la cual se concentra en territorio chileno. Este aparato volcánico se encuentra actualmente activo, emitiendo fumarolas, y presentando un comportamiento normal para un ambiente geotectónico controlado por la subducción (Figura 1) de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental).

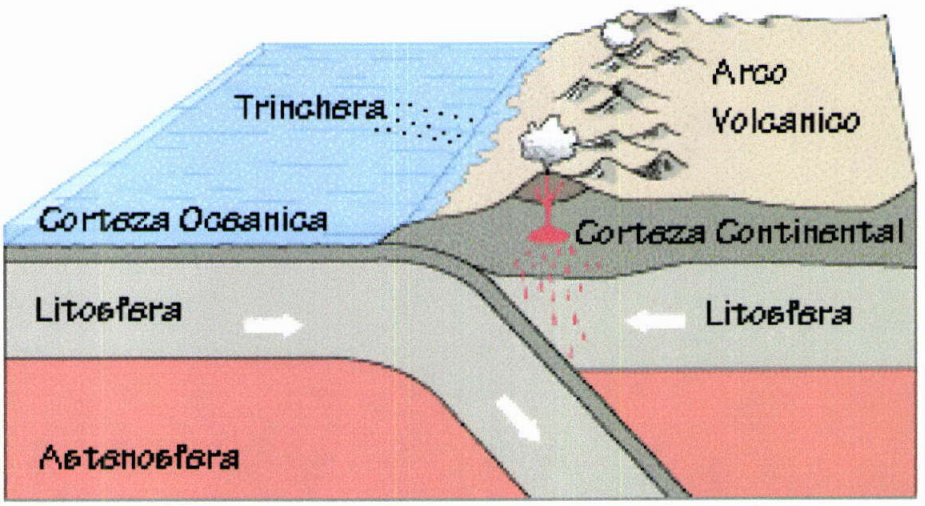


FIGURA 1. ESQUEMA DE SUBDUCCION Y LA PRESENCIA DE UN ARCO VOLCÁNICO.

El volcán Isluga corresponde a un estratovolcán (contiene una sucesión de coladas de lava y alternancias de material piroclástico). Dada su posición dentro de un ambiente geotectónico, este destaca por situarse en un arco volcánico, para cuya situación en particular, es que la corteza continental donde reposa tiene un considerable espesor (60-70 km.). Esto último permite prever que el magma generado en profundidad será destinado a sufrir una invariable contaminación (por parte de la corteza continental, representada por la placa sudamericana) durante

su ascenso (producto de una asimilación de la placa), por efectos de presión, temperatura y presencia de componentes ajenos al magma parental.

b) OBJETIVOS

Determinar la actividad sísmica del volcán Isluga para poder inferir sobre los posibles procesos de la génesis de esta actividad, y así poder especular sobre posibles escenarios en el futuro próximo. Este estudio proveerá de información para que las autoridades tomen las medidas pertinentes.

c) METODO DE TRABAJO

El volcán Isluga se ubica dentro de la cordillera andina de la Primera Región de Tarapacá, Provincia de Iquique, Comuna de Colchane (Figura 2).



FIG.2. UBICACIÓN DEL VOLCÁN ISLUGA

Para conocer la sismicidad asociada a la actividad del volcán Isluga se instalaron dos estaciones sísmicas digitales de banda ancha. Estas estaciones se ubicaron en las cercanías del volcán, hacia los pueblos de Arabilla y Enquelga (Figura 3).

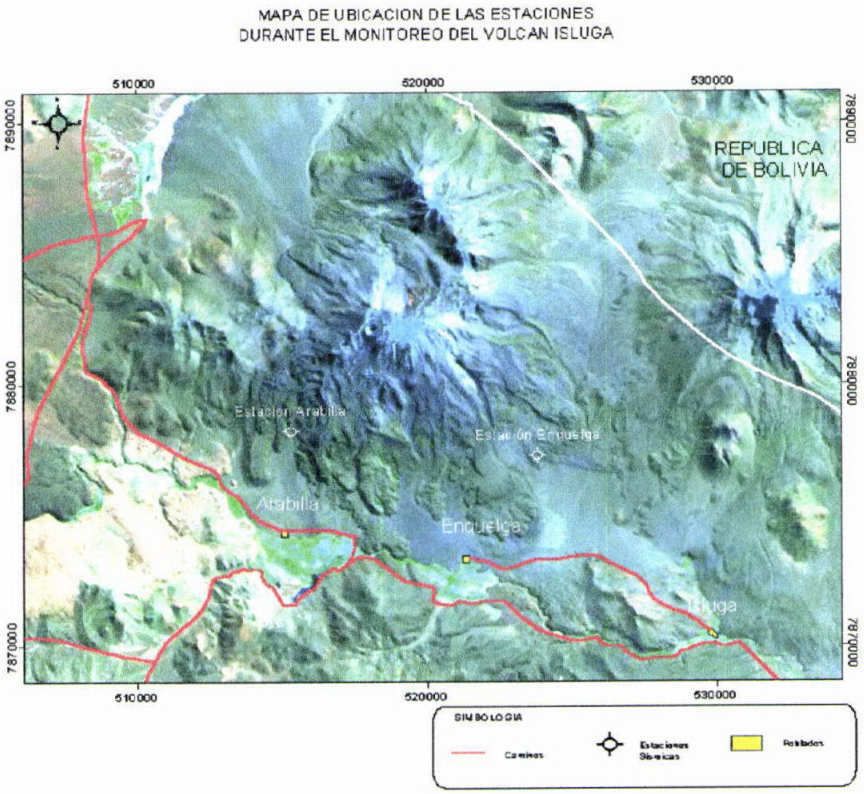


FIGURA 3. UBICACIÓN DE ESTACIONES SÍSMICAS EN TORNO AL VOLCÁN ISLUGA.

Las estaciones se instalaron el 18 de enero y se retiraron el 19 de marzo del año en curso. Las figuras 4 y 5 muestran el equipo en terrenos ubicados a las faldas del volcán.



FIGURA 4. INSTALACIÓN DE LA ESTACIÓN ARABILLA .



FIGURA 5. ESTACIÓN ENQUELGA.

Los datos sísmicos fueron procesados sistemáticamente, con el objeto de identificar los distintos tipos de eventos: tectónicos, volcánicos, telesismos. Tras el análisis preliminar se determinó que la señal del volcán se encuentra concentrada entre 1 y 10 Hz de frecuencia, por lo que se filtró en esa banda para una resolución más clara de los datos. Esta operación se realizó sistemáticamente a archivos de una hora de duración. La posibilidad de ampliar la escala temporal permite el chequeo e individualización de cada uno de los eventos contenidos dentro del registro, con el fin de confeccionar una tabla de datos que permita agrupar de forma ordenada y clasificada los sismos volcánicos, corticales y regionales.

Un análisis exhaustivo, tendiente a reconocer distintas fuentes generadoras de eventos volcánicos ha sido desarrollada en detalle. Así mismo, se cuantificaron los sismos de cualquier naturaleza para ser representados en gráficos, a modo de tener una visión regional de la actividad sísmica que se desarrolla en la región.

d) DESARROLLO

Los eventos se clasificaron según sus características y se agruparon en: corticales, regionales y aquellos de naturaleza exclusivamente volcánica. La clasificación se efectuó bajo los patrones de: diferencia en el tiempo de arribo entre ondas P y S, apoyado de filtros de rangos de frecuencia específicas y observación temporal de cada uno de los eventos. Para aquellos de origen volcánico se presenta en detalle los resultados del análisis realizado.

Sismos profundos

Se caracterizan por presentar muy claras llegadas de ondas P y S. La duración de estos eventos no supera los 25 segundos. Las diferencias de llegada de ondas P y S van de 1.1 hasta 2.6 segundos. Un ejemplo de este tipo se ilustra en la Figura 6. Un filtrado entre 1 y 5 Hz permite ver la limpia llegada de la señal en la estación ARABILLA, el 19 de enero del 2003 a las 11:00 horas (GMT). En la traza inferior (componente vertical , Z) se distingue la onda P y en las trazas superiores (componentes horizontales N y E) es clara la llegada de la onda S.

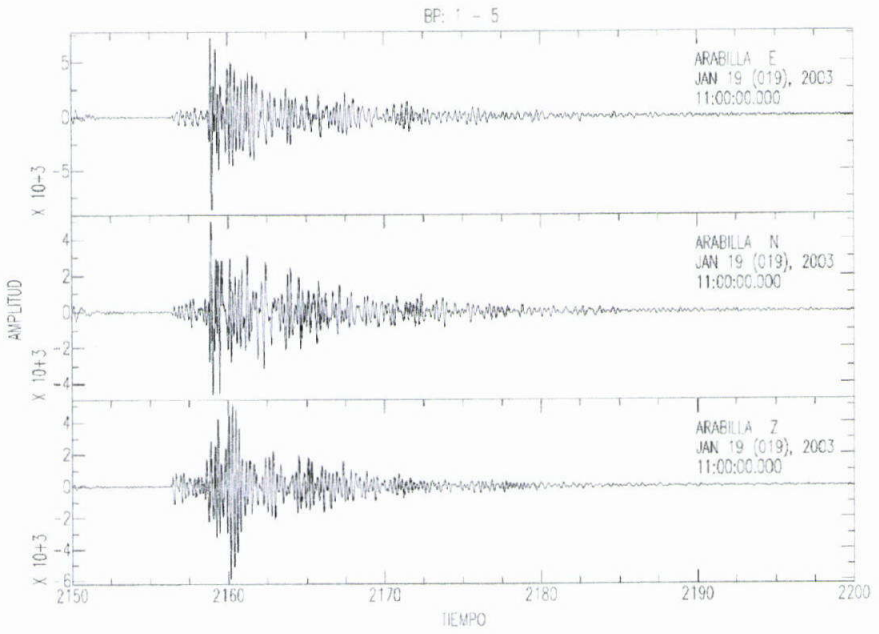


FIGURA 6. SISMOGRAMA CON SUS TRES COMPONENTES, PARA UN SISMO VOLCÁNICO PROFUNDO.

La amplitud espectral máxima alcanza un valor de 7500 para una frecuencia espectral de 9,5 Hz. Valores medios de amplitud espectral, entre 5000 y 1500 corresponden a frecuencias de entre 4 y 18 Hz (Figura 7).

La misma Figura permite comparar el espectro de la fractura versus espectro del ruido, dentro de la misma hora de duración del archivo, donde se destaca el amplio dominio de frecuencia espectral de la misma fractura presentada en la Figura 4, que va desde 1 a 27 Hz..

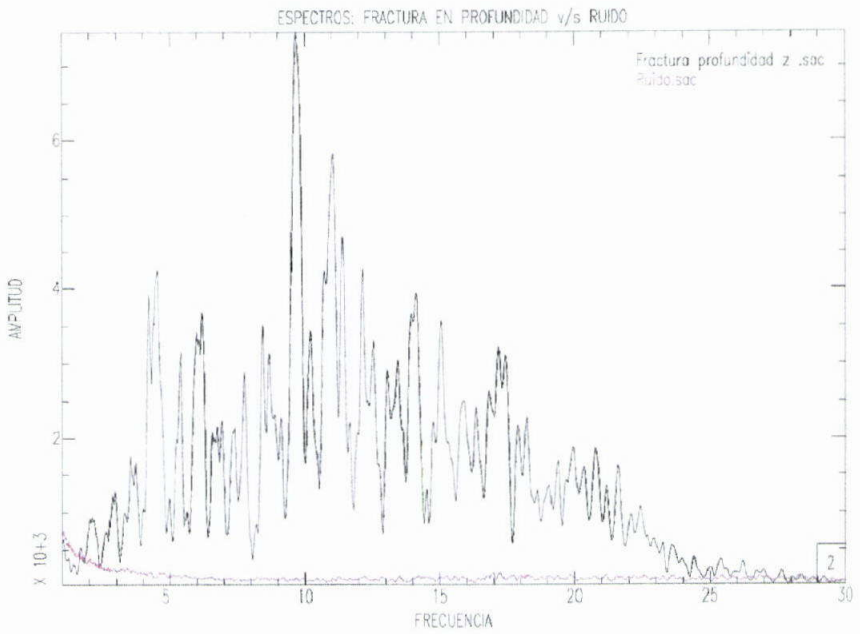


FIGURA 7. ESPECTRO PARA SISMOS VOLCÁNICOS PROFUNDOS v/s RUIDO

Sismos someros

Caracterizados por presentar llegada de onda P muy clara y una onda S enrarecida, producto de una amplia y aglutinada coda, que deriva de la refracción y, en especial, de la reflexión de las ondas sísmicas, a medida que atraviesan distintos horizontes litológicos. Su duración podría alcanzar los 30 segundos. La diferencia en el tiempo de arribo de ondas P y S ocurre entre 0,8 y 3 segundos. La Figura 8 muestra el registro en la estación ARABILLA el día 03 de febrero cerca de la 02:00 (GMT); el filtro de frecuencias es entre 1 y 5 Hz. Nótese la coda entre llegadas de ondas P y S; la onda S parece indistinguible.

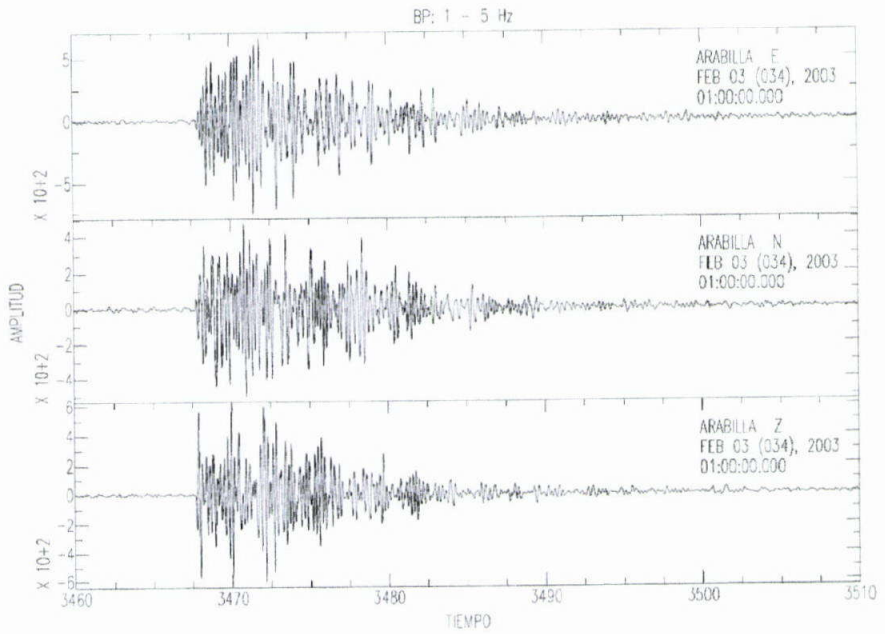


FIGURA 8. SISMOGRAMA CON SUS TRES COMPONENTES, PARA UN SISMO VOLCÁNICO DE RUPTURA SUPERFICIAL.

El espectro para un sismo originado en zonas someras (Figura 9) muestra picos agudos y dispersos sobre un amplio dominio de frecuencias espectrales, que van de 1 a cerca de 30 Hz; presenta amplitudes espectrales irregulares que promedian valores de 400. La máxima amplitud espectral llega a 775 con frecuencia de 9,5 Hz.

Tienen un amplio dominio de frecuencia espectral, que va de 1-1,5 a 30 Hz. En color rojo se presenta el espectro del ruido durante la misma hora de ocurrencia de este evento a modo de comparación.

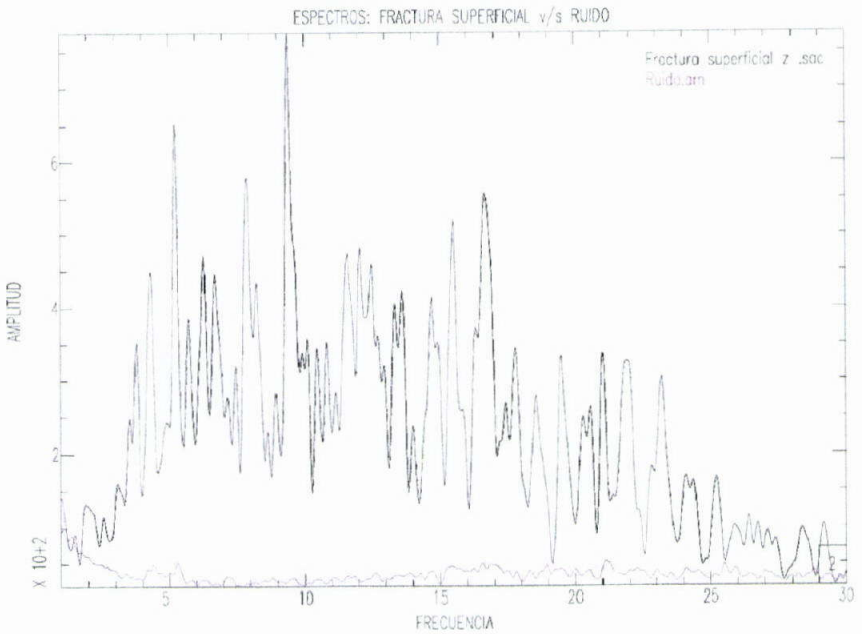


FIGURA 9. ESPECTRO DE UN SISMO VOLCÁNICO SUPERFICIAL v/s RUIDO.

Esta subdivisión se hace bajo criterios visuales de sismogramas e interpretación de parámetros espectrales.

Una clara diferencia entre las fuentes profunda y superficial se muestra en la comparación de espectros que muestra la Figura 10, donde se aprecia el dominio energético por parte de los sismos de mayor profundidad por sobre aquellos cuyo origen es más superficial. Si bien, el dominio en frecuencias es casi compartido, la amplitud espectral refleja notorias diferencias; los de mayor profundidad superan los 7500 de amplitud espectral, mientras que aquellos someros llegan a un valor inferior a 1000.

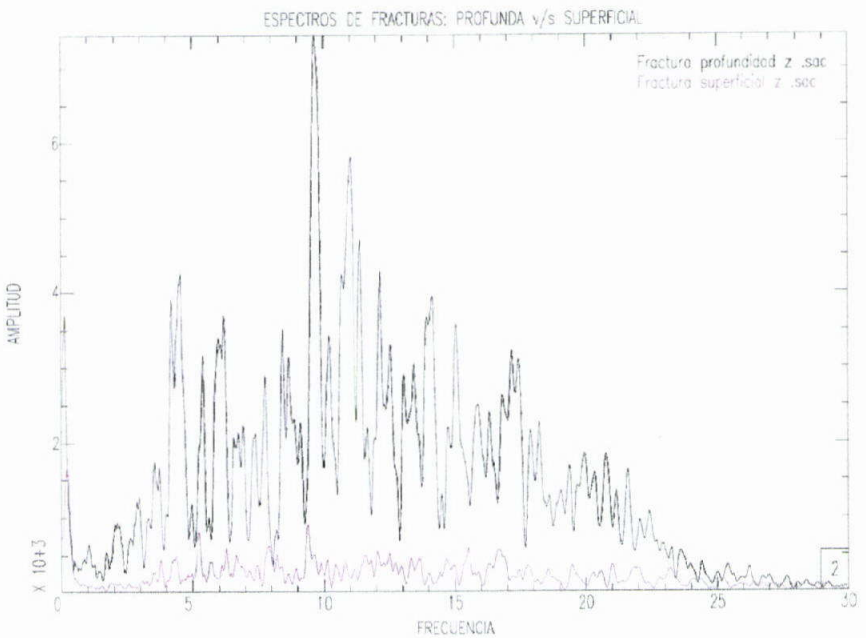


FIGURA 10. ESPECTROS DE FRACTURAS DE DISTINTO ORIGEN.

Eventos de naturaleza volcánica ocurren desde 0 a más de 20 en una hora, aislados o raramente como enjambres. La Figura 11 muestra el archivo completo de una hora (en la estación ENQUELGA) y un filtrado de bandas entre 1 y 10 Hz. Se distinguen, en línea más fina y de mayor amplitud, unos siete eventos de similares características a los expuestos anteriormente.

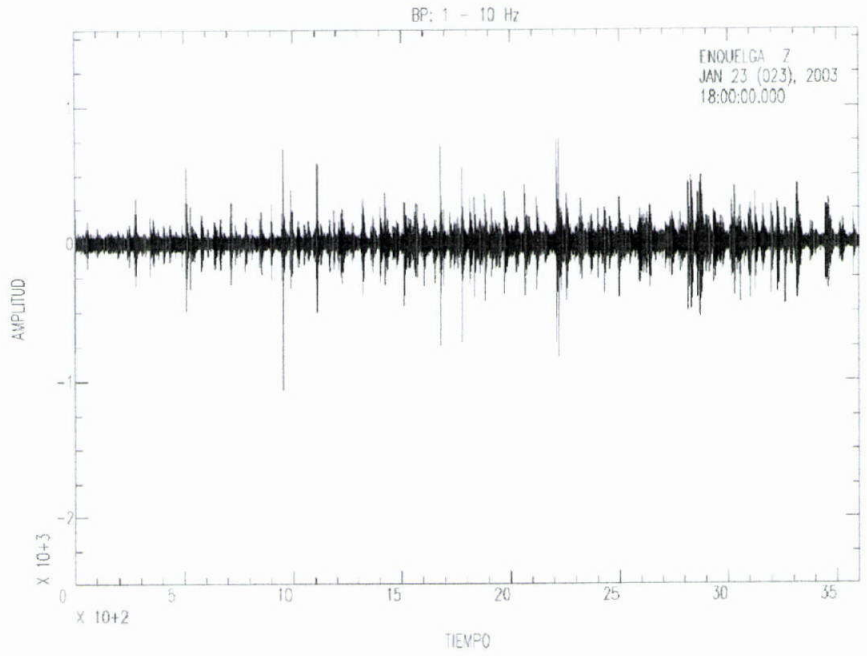


FIGURA 11. UNA HORA DE ARCHIVO EN LA ESTACIÓN ENQUELGA, ACUSANDO ENJAMBRES DE SISMOS VOLCÁNICOS. (SE DISTINGUIERON 25 EVENTOS, SOLO EN ESTA HORA (3600 segundos).

La Figura 12 muestra una ventana de 50 segundos, dentro del archivo de la misma hora (de la figura 11), donde se muestran 2 eventos sucesivos, además, se puede apreciar el ruido presente al momento de ocurrencia de los mismos, lo que llevó a usar bandas de frecuencia entre 5 y 15 Hz.

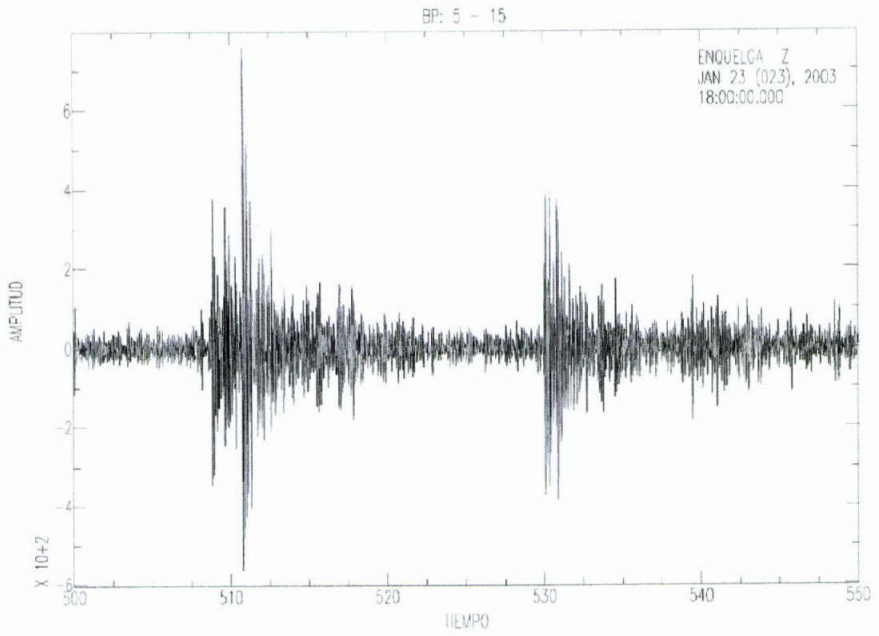


FIGURA 12. 50 SEGUNDOS DE REGISTRO Y LA OCURRENCIA DE 2 SISMOS DE NATURALEZA VOLCÁNICA.

Las Figuras 13 y 14, son ventanas más pequeñas aún. Para la Figura 13, en que el filtrado es de entre 5 y 15 Hz, muestra un sismo cuya diferencia de llegada, en el tiempo, entre ondas P y S es de 2,150 segundos. Para la Figura 14, donde el filtrado de frecuencias es entre 2 y 12 Hz, la diferencia de llegada de las ondas P y S es de 0,816 segundos. Ambos eventos arrojan una fuente del tipo superficial.

Los 50 segundos de registro que se muestran en la Figura 12, fueron divididos en ventanas de tiempo sucesivas, 25 segundos para cada figura (13 y 14).

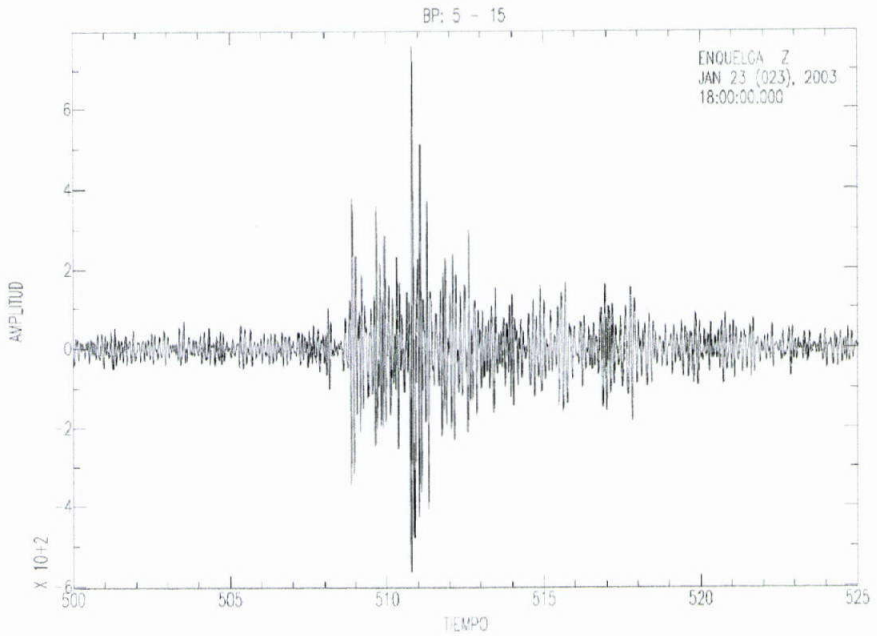


FIGURA 13. SISMO VOLCÁNICO DENTRO EN UNA VENTANA DE 25 SEGUNDOS.

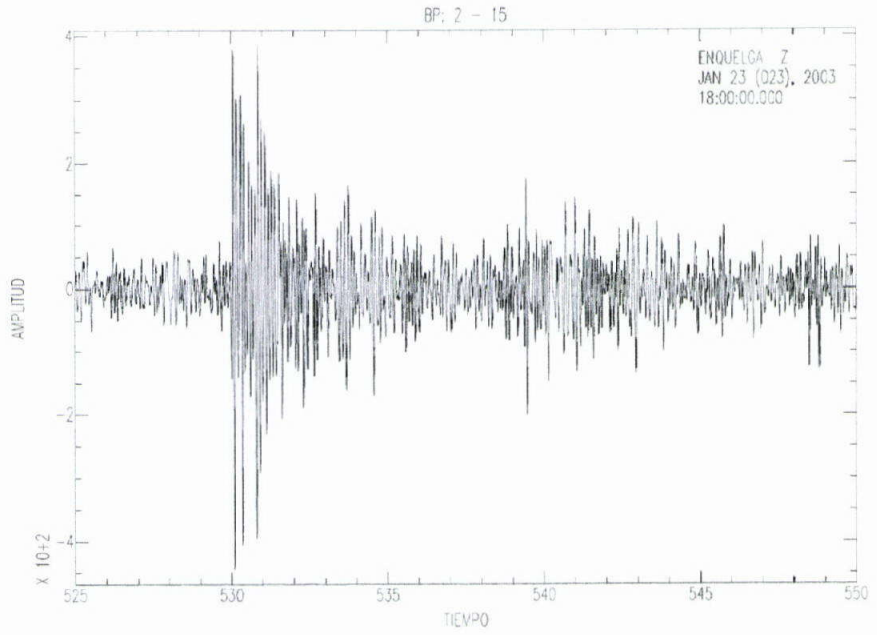


FIGURA 14. SISMO VOLCÁNICO EN UNA VENTANA DE 25 SEGUNDOS.

Además de la identificación de distintas fuentes generadoras de sismos de naturaleza volcánica, se recogió el número total de eventos de todos los tipos de sismos (independiente de su naturaleza) durante los días de obtención de datos, con la finalidad de cuantificar la ocurrencia de estos y poder establecer patrones de comparación con la sismicidad regional. Aquellos clasificados como corticales, se distinguen de los volcánicos por su duración, diferencia de tiempo en el arribo de ondas P y S, forma de onda y rango de bandas de frecuencia característicos. Bajo mismos criterios se han dividido aquellos de carácter regional.

De esta manera, se presentan los gráficos que resumen la actividad sísmica total durante enero y marzo del año 2003 (Figuras 15 y 16).

Entre los días 18 y 31 de enero del 2003, ocurrieron 899 sismos volcánicos, 267 sismos corticales y 405 sismos de carácter regional.

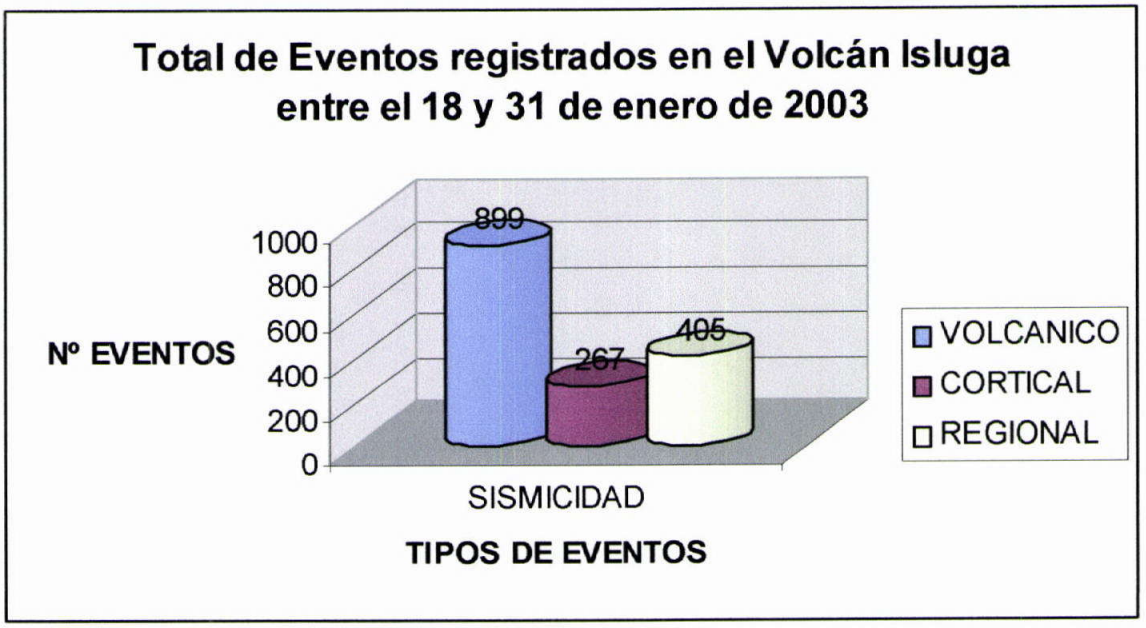


FIGURA 15. SISMICIDAD TOTAL DURANTE EL MES DE ENERO.

Durante los días 1 y 19 de marzo, se acusó una actividad sísmica contenida por 1104 sismos volcánicos, 331 sismos corticales y 783 de índole regional.

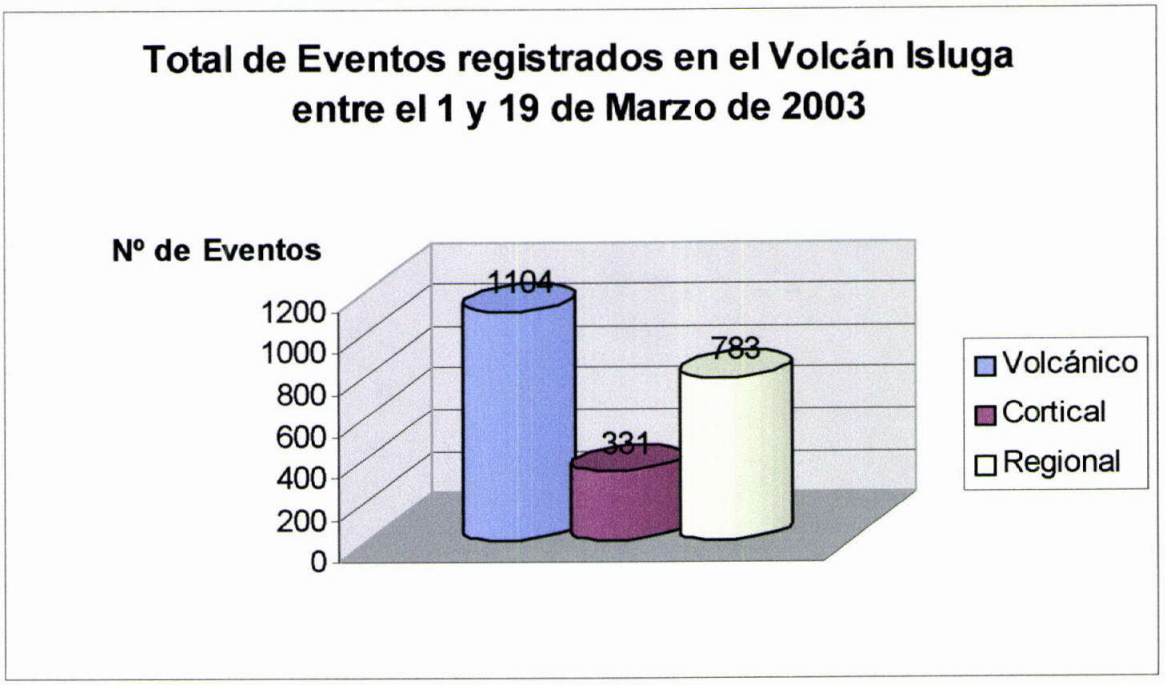


FIGURA 16. SISMICIDAD TOTAL ENTRE LOS DÍAS 1 Y 19 DE MARZO.

e) DISCUSIÓN

El volcán Isluga presenta muchos eventos de ruptura de rocas que corresponden a la base de su propio edificio, así como a zonas de mayor profundidad.

Como una hipótesis preliminar, sugerimos que la fuente que da origen a ambos tipos de eventos, responde a procesos de descompresión y de respuesta a una diferencia de potencial térmico que existe entre la roca caja y la fase fluida presente en la cámara magmática.

Para los sismos superficiales (profundidades menores que 10 km), la hipótesis se basa en que la formación de litologías asociadas a volcanes de magmas ácidos se han generado a menores temperaturas que aquellas rocas generadas por magmas intermedios a básicos, es decir, la diferencia de temperatura entre la roca caja y los fluidos presentes en la cámara magmática da lugar a eventos con una baja liberación de energía, en comparación con aquellos más profundos.

Por su parte aquellos generados a mayor profundidad, responden, también a procesos de diferenciación magmática, encontrándose para ellos la explicación basada en un desarrollo de magma bastante diferenciado, con una elevada acumulación de elementos altamente volátiles con radio iónico grande y de alta explosividad. Esto lleva a suponer rupturas por efecto de una gran descompresión ocurrida en profundidad (que correspondería a niveles someros en comparación con el espesor de la corteza continental).

Tras la culminación del procesamiento de datos en el presente estudio, se destaca la ocurrencia de sismos de naturaleza volcánica de intensidades de clasificación I instrumental), según la escala modificada de Mercalli, es decir, sólo percibidos por instrumental sísmico y no por la población.

Por otro lado, la alta sismicidad cortical presente en la región de estudio, manifiesta una alta deformación en niveles someros de la corteza. También, se reconoce una alta actividad tectónica regional, que afecta zonas más profundas.

El proceso de desgasificación que se observa en superficie a través de las fumarolas emitidas por el volcán (Figura 17), al parecer, no emite suficiente liberación de energía sísmica para ser detectada por los instrumentos. Cabe señalar el gran número de sismos de origen volcánico y de cómo estos reflejan un intenso y continuo fracturamiento, sin embargo los sismos asociados son de baja magnitud.



FIGURA 17. VOLCÁN ISLUGA, EN ENERO DEL 2003. NÓTESE LA FUMAROLA

Los gráficos muestran una tendencia de relación 1:2 para sismos regionales y volcánicos respectivamente. De esta manera se destaca la gran sismicidad presente en la región y permite estimar, de forma preliminar, una relación entre la actividad volcánica del Isluga y la sismicidad regional. Esto no debiera causar una gran sorpresa, puesto que ambos fenómenos responden a patrones tectónicos del proceso de subducción que se desarrolla en esta región.

f) CONCLUSIONES

El volcán Isluga, durante los meses de enero y marzo a acusado una continua actividad sísmica de baja magnitud (M<2), evidenciada por dos estaciones instaladas en su entorno.

Esta actividad no refleja ascensos o descensos en el foco de la fuente, ya que sismos someros y profundos de naturaleza volcánica ocurren durante todo el periodo de muestreo. Además, eventos que caractericen fluctuaciones en el nivel del magma, no han sido registrados.

El volcán Isluga, durante el periodo enero-marzo del año 2003, no refleja un incremento sustancial en su actividad, por lo que no se puede inferir si en un futuro cercano habrá alguna variación importante en su conducta. La figura 18 muestra un gráfico de el número de eventos de origen volcánico y su evolución en el tiempo. Para determinar una variación o evolución de la actividad del volcán, se sugiere realizar una nueva campaña de monitoreo.

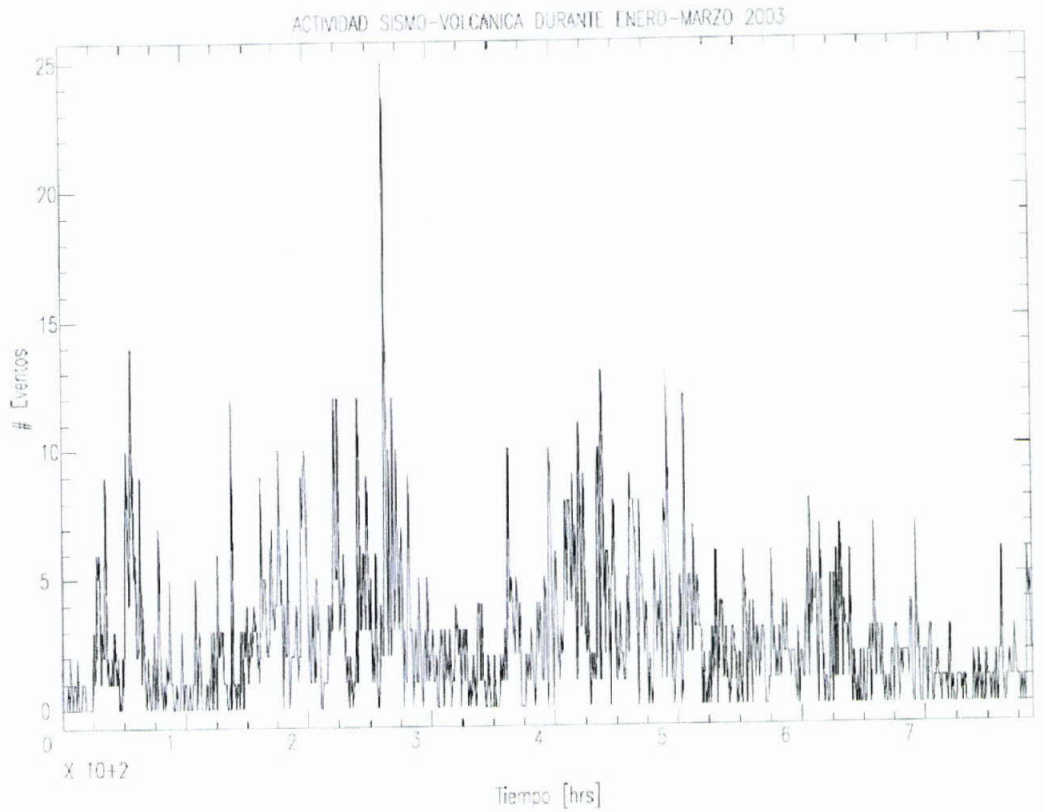


FIGURA 18. SISMICIDAD DEL VOLCÁN ISLUGA, ENERO-MARZO DEL 2003.

g) AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó gracias al financiamiento de la Intendencia de la Región del Tarapacá, gestionados por la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) y la Oficina Regional de Emergencia (OREMI), por los Srs.: Dr. Alberto Maturana, Juan Cayupi, y Manuel Morales, respectivamente. Agradecemos a las personas que prestaron un importante apoyo en terreno: Manuel Morales, Anselmo Durán, Mauricio González, Pablo Merino y en el procesamiento de las señales sísmicas a Rodrigo Mora.

VII.- CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS GENERALES DEL PROYECTO

Es importante señalar que el proyecto se efectuó sobre la plataforma cultural de la etnia Aymara. Este hecho, tuvo dos implicancias importantes para el desarrollo de cada una de las etapas de este trabajo; la primera es que se enfrentó una comunidad de gran riqueza socio-cultural, plasmada en una organización y tejido social fuerte y afiatado con grados importantes de participación y comunicación social, lo que en un primer momento significó importantes problemas de sensibilización y penetración; la segunda implicancia, se da en tanto, una vez penetrado este férreo sistema cultural, la aplicación de las metodologías sufrieron importantes avances. Esta situación se debe principalmente a la coincidencia teórica y metodológica de los contenidos y mecanismos de participación que el modelo contiene y la organización socio cultural de la comunidad Aymara. Esta organización conformada en los Ayllus, es tal vez uno de los puntos más fuertes y destacables de esta zona del Altiplano, ya que dicha organización de base y de origen ancestral, es un medio de comunicación y de articulación de la sociedad, que puede ofrecer una acción organizada y una participación de la comunidad en su conjunto para socorrerse ante un evento volcánico, facilitando las labores de evacuación o simple vigilancia y monitoreo del volcán.

Uno de los hechos importantes, como producto del proyecto, fue la interrelación que se dio entre los tres actores presentes en la gestión de riesgo, esto es: el compromiso de la autoridad en llevar a cabo acciones concretas con la comunidad para mitigar los efectos que puedan presentarse frente a una variable específica de riesgo, en este caso particular, el volcánico; la comunidad integrada en estas acciones como actores directos con un claro compromiso de autoprotección y de trabajo integrado, considerando además, que es la propia comunidad la que conoce su medio, sus peligros en general. Finalmente el conocimiento científico aplicado directamente para caracterizar la actividad del volcán Isluga, permitiendo

con esto, tomar acciones concretas de mitigación y monitoreo por parte de las autoridades correspondientes.

Dado que el volcán Isluga es un volcán activo con permanente emisión fumarólica, por la evaluación preliminar efectuada de los peligros volcánicos que indican la existencia de localidades habitadas emplazadas en importantes depósitos de piroclastos y laháricos, además, de los resultados del monitoreo sísmico temporal que señalan la existencia de una importante actividad sísmica de origen volcánico; por otro lado, la existencia de una alta vulnerabilidad de poblados y caseríos, hacen necesario continuar con un trabajo permanente y sostenido con la comunidad por parte del municipio de Colchane y completar los estudios geológicos y monitoreo instrumental de este importante volcán del altiplano de la Primera Región de Tarapacá.

VIII.- AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto se llevó a cabo gracias al financiamiento otorgado por el Gobierno Regional de Tarapacá, lo que permitió la participación de los colaboradores externos. Se agradece el apoyo dado por el Intendente de la Primera Región, Sr. Patricio Zapata Valenzuela. Particularmente se agradece el apoyo prestado por el Director Regional de Protección Civil y Emergencia, Sr. Manuel Morales González.

A nivel local, se agradece al Sr. Honorio Mamani Castro, Alcalde de la Ilustre Municipalidad de Colchane y a sus funcionarios, por el apoyo logístico y trabajo en terreno.

Muy especialmente se expresan los agradecimientos al geofísico de la Universidad de Concepción, Dr. Klaus Bataille, como asimismo a sus colaboradores y al geólogo-volcanólogo del Servicio Nacional de Geología y Minería, Dr. Jorge Clavero Ribes, por su valiosa participación y contribución en el desarrollo del proyecto. Además, se agradece la contribución dada por el alumno -

tesista de la Escuela de Geografía de la Universidad de Chile, Sr. Leonardo Céspedes, quien tuvo a cargo el estudio de Vulnerabilidad y que formó parte de su Práctica Profesional en ONEMI.

Los agradecimientos son extensivos a los profesionales de ONEMI que participaron directa o indirectamente en el formulación, desarrollo, participación en terreno y en la elaboración final del proyecto.

Finalmente se agradece a todas aquellas personas que no están explicitadas, las que prestaron su colaboración desinteresadamente en forma directa o anónima para llevar a buen término este proyecto.

JCY.

Informe Final Proyecto
"Gestión de Riesgo del Volcan
Isluga"
Región de Tarapaca

ONEMI – L. Cepeda
K. Bataille
J. Olavero

GAYLORD S