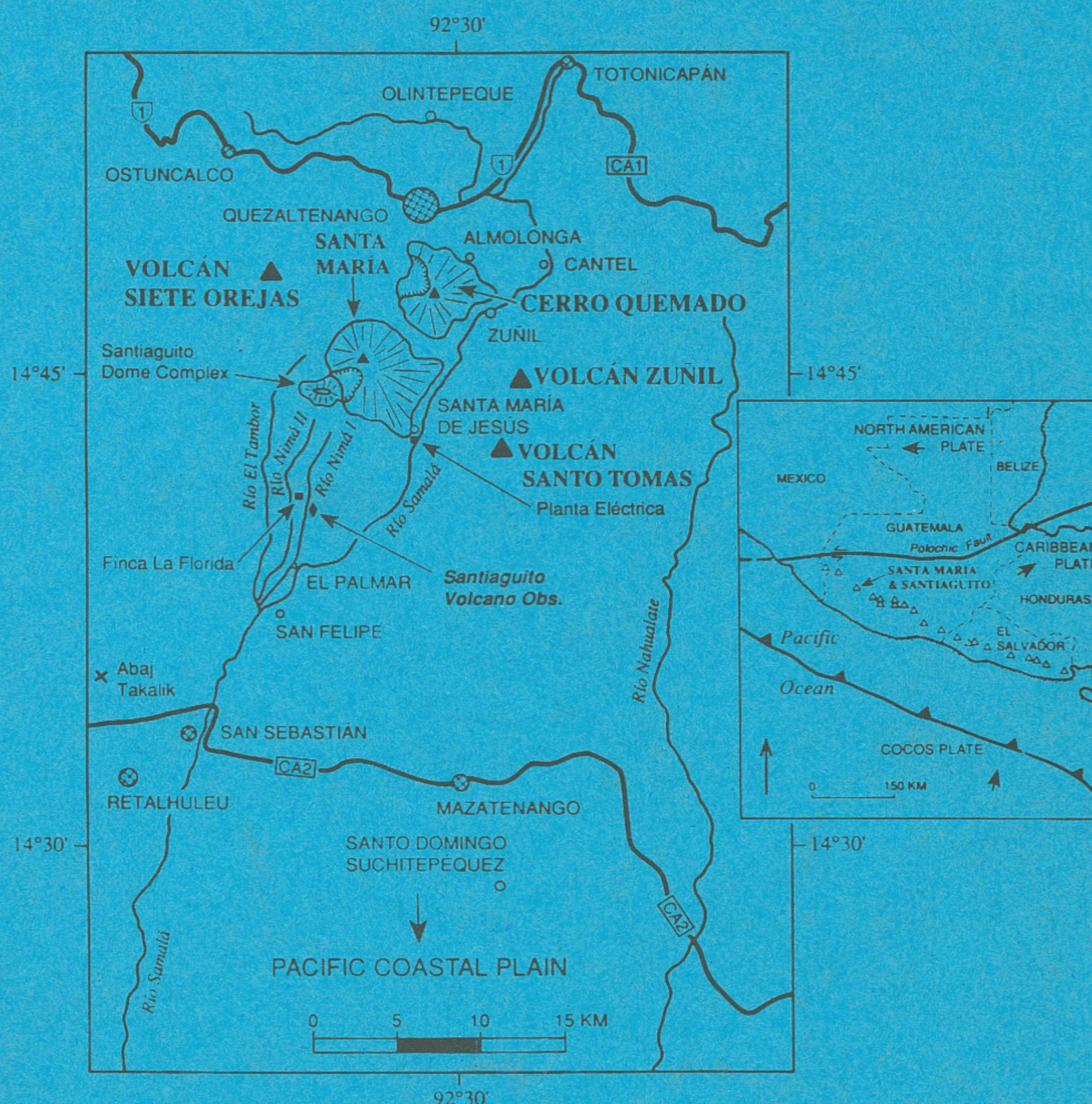


Informe Final del Taller Internacional del Volcán de la Década Santa María Quezaltenango, Guatemala Noviembre 7-13 de 1993



Final Report of the Workshop on the Decade Volcano Santa María Quezaltenango, Guatemala November 7-13, 1993

Table of Contents



Primera Parte en Español

Lista de Participantes del Taller Sobre Santa María	1
(Santa María Workshop Participant List)	
Premisa General	4
Introducción	4
Informes:	
Impacto Económico de la Amenaza	5
Lahares (flujos de escombros).....	8
Transferencia Intercultural de Amenaza	10
Petrología y Geoquímica	11
Gases Volcanicos	13
Crecimiento del Domo	16
Viligancia y Pronósticos Volcánicos	20
Sismicidad Volcán-Tectónico	23
Interacción Volcán-Aguas Subterránea	25
Conclusiones	30

Part Two in English

General Premise	31
Introduction	31
Reports:	
Economic Impact of Volcanic Hazards	32
Lahar Group (debris flow group)	35
Intercultural Hazard Communications	37
Petrology/Geochemistry	38
Volcanic Gases	40
Dome Growth	42
Monitoring and Forecasting	47
Volcano-Tectonic Seismology	50
Volcano-Groundwater Interaction	52
Conclusions	56

El Taller Sobre el Volcán Década Santa María (Santa María Decade Volcano Workshop)

- Steve Anderson**, Math, Phys. Sci & Technology, Black Hills State Univ, Spearfish, SD 57799-9102 (605-642-6506; 605-642-6214 fax; e-mail: BASW@sdsumus.sdstate.edu) Dome growth, gases, groundwater interaction.
- Roberto Baldizon**, INSIVUMEH, Guatemala, Subterranean Water
- Bernardo Beate**, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional Casilla 2759 Quito, Ecuador (593-567-847; 593-2-567-847 fax)
- Karen Bemis**, Geological Sci, Rutgers Univ, Wright lab campus, Piscataway, NJ 08855-1179 (908-932-2044; e-mail: bemis@cancer.rutgers.edu) volcanic edifices
- Rafael Barquero**, Departamento de Geología, Apartado No. 10032-1 000, San Jose, Costa Rica, C.A. (506-20-7741; 506-31-4744 fax)
- Samuel Bonis**, 23Av 7-76, Zona 15; Guatemala CA (502 2 600927; 502 2 693115 fax) Hydrologic effects, forecasting
- Edgar Bran**, Centro Universitario del Norte-CONE-USAC, Guatemala
- Barry Cameron**, Dept. of Geology, Northern Illinois University, Dekalb, IL, 60178: 317 Crescent Dr., Sycamore, IL, 60178 (815-899-3922 Hm, 815-753-1945 fax; e-mail: barry@geol.niu.edu) Igneous geochemistry, physical volcanology
- John Carpenter**, Humanities, Michigan Technological University, 2011 Woodmar Apt. F, Houghton, MI. 49931 (906-482-9114)
- Mike Carr**, Geology, Rutgers Univ, New Brunswick, NJ 08903 (908 932 3619; 908-932-3374 fax; e-mail: carr@Zodiac.rutgers.edu) Volcano-tectonic seismicity, forecasting volcanic activity
- Gerardo Carrasco Núñez**, Instituto de Geología, Departamento de Geología Regional, Ciudad Universitaria, 04510 Mexico, D.F. (62-24-288; 550-66-44 fax; e-mail: gerardo@redvax1.dgsca.unam.mx)
- Raul Chang**, Comité Nacional de Emergencia-CONE, Guatemala
- Gustavo Chigna Marroquin**, Sección Vulcanología, INSIVUMEH, 7a Ave 14-57, Z 13, Guatemala (502-2-315005)
- Ing. Mauricio Ciudad Real**, Depto. Investigaciones Sismológicas, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Calle Antigua La Chacra, Costado Oriente de Talleras "El Coro", P.P. 109, San Salvador, El Salvador (503-229499; 503-211933 fax)
- Mike Conway**, Geology, Florida Int Univ, Miami, FL 33199 (305 348-3089; e-mail: conwaym@servax.fiu.edu)
- Gloria Patricia Cortes**, Observatorio Vulcanológico de Pasto INGEOMINAS Carrera 31 #18-07 A.A. 1795 Pasto Colombia (5727-234752 fax; e-mail: ovp@mafalda.univalle.edu.co)
- Erick Fernandez Soto**, OVSICORI, Universidad Nacional Apdo 86-3000 Heredia, Costa Rica (50637-45-70 x2405; 506-380086 fax)
- Tobias Fischer**, Dept. of Geology, Arizona State University, Tempe, AZ. 85287-1404 (602-965-5081 e-mail: agtpf@asuacad.bitnet)
- Luke Flynn**, PGD/SOEST 2525 Correa Rd, Honolulu, HI 96822 (e-mail: flynn@watt.pgd.hawaii.edu)
- Dr. Göran Fredrikson**, Representante Regional de KTH, Real Universidad Tecnológica de Estocolmo, 7a Ave 14-57, Z. 13 Guatemala (502-2-348318; 502-2-348317 fax) Hazard mitigation
- Craig Forster**, Geol & Geophys, 719 W.C. Browning Building, Univ Utah, Salt Lake City, UT 84112-1183 (801-581-3864; 801-581-7065 fax; e-mail: gg-cbf@mines.utah.edu) Volcano/groundwater interactions
- Gustavo Fuente Alba**, Univ de la Frontera, Temuco, Chile (564-5252747; 564-5240815 fax; e-mail: ufro@uchcœvcm.bitnet)
- Carlos Gamez**, Comité Nacional de Emergencia-CONE, Guatemala
- Harold Garbeil**, PGD/SOEST 2525 Correa Rd, Honolulu, HI 96822 (808-956-6325; 808-956-6322 fax; e-mail: harold@wingepgd.hawaii.edu) Remote Sensing
- Jorge Girón Mazariegos**, Comité Nacional de Emergencia, Av. Hincapié 21-72, Z. 13, Guatemala

Barry Green, School of Business and Engineering Administration, Michigan Technological University, Academic Office Building, (715-362-2866)

Dr. Federico Güendel, OVSICORI, Universidad Nacional Apdo 86-3000 Heredia, Costa Rica (506 37-45-70 ; 506-380086 fax; e-mail: fguendel@ucrvm2.bitnet)

Ing. Eduardo Gutierrez, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Calle Antigua La Chacra, Costado Oriente de Talleras "El Coro", P.P. 109, San Salvador, El Salvador (503-229499; 503-211933 fax)

Dave Harris, Dept. of Forest Resources, Utah St. Univ, Logan UT 84322-5215 (801 750-2453; e-mail: dharris@zircon.nr.usu.edu)

Dave Harlow, USGS, MS 77, 345 Middlefield Rd, Menlo Park, CA 94015 (415 329-4791) Volcanic seismology

Richard Harwood, Geology, Rutgers Univ, New Brunswick, NJ 08903 (908-932-2044; e-mail: harwood@zodiac.rutgers.edu)

Martin Heiligmann, Dept. de Geologie, Université de Montreal, CP 6128 Succursa Ce A, Montreal. PQ H3L 3J7, Canada; 2128 Prud' Homme, Montreal, PQ H4A 3H2, Canada (514-369-1592; 514-369-1591 fax; e-mail: heiligmm@ere.umontreal.ca)

Joaquin Hernandez, INSIVUMEH, Guatemala

Michael C. Jackson, Earth and Planetary Sci, McGill Univ, Montreal PQ H3A 2A7 : Hm; 2260 Panet St., Montreal, Quebec H2L 3A6 (514-398-4893; 514-398-4680 fax; e-mail: mcj@geosci.lan.mcgill.ca) Petrology of Mixed Magmas

Steve Jordi, Université de Geneve Centre d'Etude des Risques Géologiques, GERG-UNIGE, Section des Sciences de la Terre, 13 rue des Maraichers, CH-1211, Geneve 4 (4122-702-6648; 4122-320-5732 fax; e-mail: jordi@scsun.unige.ch)

Zinzuni Jurado-Chichay, Geology and Geophysics Dept, Univ of Hawaii, 2525 Correa Rd Honolulu, HI 96822 (808-956-6220; e-mail: zinzuni@elepaio.soest.hawaii.edu)

Paul Kimberly, Geological Engng, Michigan Tech, Houghton, MI 49931 (906 487 3199; 906-487-3371 fax; e-mail: pgkimber@mtu.edu)

Shiguro Kitamura, Instituto de Geografía, Universidad de Tohoku, Japan

Andy Lockhart, CVO, 5400 MacArthur Blvd, Vancouver WA 98663 (206 696-7693; 206 696-7866 fax; e-mail: ablock@pwavan.wr.usgs.gov)

Dina L. Lopez, Geol Sci, UBC 6339 Stores Rd Vancouver BC V6T 1Z4 (602 822-5735; 602-822-6088 fax; e-mail: dina@geology.ubc.ca)

Julio Luna, Fac. Ingeniería, CESEM-USAC, Guatemala

Luz Luna, Centro de Investigaciones Geotérmicas, GEOCEL, Comisión Ejecutiva del Río Lempa CEL, Colonia Utila, DM 11 1/2 Carretera al Puerto de la Libertad, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador (503-28-4582; 503-28-0781 fax)

Dr. Eduardo Malavassi, OVSICORI, Universidad Nacional Apdo 86-3000 Heredia, Costa Rica (506 37-45-70 ; 506-380086 fax)

Otoniel Matías, Sección Vulcanología, INSIVUMEH, 7a Ave 14-57, Z 13, Guatemala (502-2-315005; e-mail: sunguat!seismo@sun.com) Monitoring and hazards

Alfred McEwan, U. S. G. S. 2255 N Gemini Dr, Flagstaff, AZ 86001 (e-mail: amcewen@astrog.span.nasa.gov)

María Luisa Monsalve, INGEOMINAS, Regional Sur; Calle 5B No. 2-14 Popayan, Cauca, Colombia (57-28-240210; 57-28-241255 fax) Dome growth Mechanisms, Volcanic Hazards

Hector Monzón Despang, Ave Reforma 12-01, Z. 10 Guatemala (502-2- 322323; 502-2-342251 fax) Civil Engineer

Leonel Morales, INSIVUMEH, Guatemala, Redes Sismológicas

Rodolfo Morales, Sección Vulcanología, INSIVUMEH, 7a Ave 14-57, Z 13, Guatemala

Guillermo Morán, Centro de Investigaciones Geotérmicas, GEOCEL, Comisión Ejecutiva del Río Lempa CEL, Colonia Utila, DM 11 1/2 Carretera al Puerto de la Libertad, Santa Tecla, La Libertad, El Salvador (503-28-4582; 503-28-0781 fax)

Dr. Hugo Moreno R., Depto. de Geología y Geofísica, Universidad de Chile Casilla 13518, Correo 21 Santiago, Chile (56-2-6963050 fax)

Dr. Fernando Muñoz, INGEOMINAS Observatorio Vulcanológico de Colombia, Apartado Aéreo 1296 Manizales, Colombia (57-68-843005; 57-68-826735 fax)

Martha Navarro Collado, Depto. Vulcanología, INETER, Apartado 2110, Managua, Nicaragua (505-2-496987 fax; e-mail: wil@ineter.ni)

Johannes Obenholzner, Inst Geowissenschaften/Prospektion MUL Franz-Josef Str 18 A
8700 Leoben Austria (43-3842-403-242; 43-3842-402-640 fax; e-mail:
obenholz@grz08u.unileoben.ac.at) volcanic ash, eruptive history

Milton Ordoñez, Observatorio Vulcanológico de Pasto INGEOMINAS Carrera 31 #18-07
A.A. 1795 Pasto Colombia (5727-234752 fax; e-mail:
ovp@mafalda.univalle.edu.co)

Michael Ort, Geology, Northern Ariz. Univ, Flagstaff, PO Box 4099, AZ 86011 (e-mail:
mho@nauvax.ucc.nau.edu 602-523-0644 Hm. 602-523-9363 School 602-523-
9975 fax)

Tom Pierson, CVO, 5400 Macarthur Blvd, Vancouver WA (206 696-7693; 206 696-7866
fax) Volcanic Debris flows

Carlos Pulinger, Centro de Investigaciones Geotérmicas, GEOCEL, Comisión Ejecutiva del
Río Lempa CEL, Colonia Útila, DM 11 1/2 Carretera al Puerto de la Libertad, Santa
Tecla, La Libertad, El Salvador (503-28-4582; 503-28-0781 fax)

Vince Realmuto, MS 183-501 Jet Propulsion Lab, 4800 Oak Grove Dr, Pasadena CA 91109
(818-354-1824; 818 354-0966 fax; email: vince@vulcano.jpl.nasa.gov) Remote
sensing of active flows and plumes

Alfredo Roldan, Instituto Nacional Electrificación-INDE, Guatemala

William I. Rose, Geological Engng, Michigan Tech, Houghton, MI 49931 (906 487 2367;
906-487-3371 fax; e-mail: raman@mtu.edu)

Scott Rowland, Planetary Geosciences, Univ. Hawaii, Honolulu, HI 96822 (808 956-6488;
808-956-6322 fax; e-mail: scott@godiva.pgd.hawaii.edu) Remote Sensing

Mario Ruiz, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional Casilla 2759 Quito, Ecuador
(593-2-567-847)

Eddy H. Sanchez Bennett, Director, INSIVUMEH, 7a Ave 14-57, Z 13, Guatemala (502-2-
315005)

Ciro Sandoval, Humanities, Michigan Tech, Houghton MI 49931 (906 487-3257; 906
487-3347 fax; 903 482-5069) Intercultural hazard communications

Claus Siebe, Inst. Geofísica, UNAM, Ciudad Universitaria CP 04510 Coyoacan, MEXICO
(525-622-4119; 525-550-2486 fax) Dome growth mechanisms

Lee Siebert, NHB MS 119 Smithsonian Institution, Washington, DC 20560 (202 357-3041;
202-357-2476 fax; e-mail: mnhms017@sivm.bitnet) Debris Avalanches

Dr. Wilfried Strauch, Depto Sismología, INETER, Apartado 2110, Managua, Nicaragua
(505-2-496987 fax; e-mail: wil@ineter.ni)

Virginia Tenorio Bellanger, Depto Sismología, INETER, Apartado 2110, Managua,
Nicaragua (505-2-496987 fax; e-mail: wil@ineter.ni)

Sharon Templeton, Dept. of Geology, Northern Illinois University, De Kalb, IL. 60115:
Home address 317 Crescent Dr., Sycamore, IL. 60178 (815 899-3922 Hm, 815-
753-7936 815-753-1945 fax, e-mail: sharon@geol.niu.edu) Volcano/groundwater
interactions

Rodolfo van der Laat, OVSICORI, Universidad Nacional Apdo 86-3000 Heredia, Costa
Rica (506 37-45-70; 506-380086 fax)

Fredy Vargas, INSIVUMEH, Guatemala, Volcanic Seismology

Jim Walker, Geology, N. Ill Univ, DeKalb, IL 60115 (815 753-7936; 815-753-1945 fax; e-
mail: jim@geol.niu.edu) Igneous petrology

Premisa General

Los desastres volcánicos pueden prevenirse. El Estudio del pasado de los volcanes, el monitoreo de su presente y la interpretación de sus procesos, ayuda a los vulcanólogos a anticipar erupciones. Cuando estos estudios se usan conjuntamente con discusiones públicas de riesgos y la cooperación de los líderes comunales, pueden evitar desastres volcánicos en forma demostrable. *La mitigación de peligros volcánicos es un esfuerzo a largo plazo.* Un equipo interdisciplinario de trabajo de personas comprometidas a nivel local, es crítica para el éxito de este esfuerzo. El Taller Internacional sobre el volcán de la Década "Santa María" ha generado un gran interés internacional y un equipo interdisciplinario de buena voluntad podrá ayudar en este esfuerzo -pero el trabajo real debe provenir de Guatemala- .

Recomendaciones Unánimes del Taller Internacional

- *Un compromiso local sostenido durante un número de años necesario para suministrar *entrenamiento avanzado para el personal de Guatemala*. Este entrenamiento avanzado de especialistas es *vital* para el desarrollo de personal clave que pueda dirigir y mantener un monitoreo *continuo* y una conciencia del peligro desde la perspectiva local.
- *Este personal capacitado *debe* recibir el apoyo *efectivo de Guatemala* (jeeps, gasolina, viáticos y salarios apropiados). Si este apoyo no es consistente, la colaboración internacional será extremadamente limitada.
- **El apoyo de las organizaciones líderes* que tienen la responsabilidad en la mitigación de riesgos debe tener una alta prioridad nacional para hacer posible la colección continua de datos importantes y para retener al mejor personal en su trabajo.
- *La *colaboración* entre las varias instituciones (INSIVUMEH, CONE, Universidades, etc.) que puedan ayudar a aunar el mejor esfuerzo para la mitigación de riesgos debe *fortalecerse e impulsarse*.
- *Reconociendo el progreso alcanzado por Guatemala en los últimos 3 años anteriores, recomendamos que *CÉPREDENAC finacie un programa de vigilancia volcanica* para la región y que parte de este pueda ser utilizado para complementar el monitoreo volcánico en el volcán de la Década Santa María. Recomendamos que la instrumentación y el entrenamiento tambien sean componentes importantes de este programa.

Introducción

En 1990, al comienzo de la Década Internacional para la reducción de desastres naturales, la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (International Association of Vulcanology and Chemistry of the Earth's Interior, IAVCEI) empezó a identificar un conjunto pequeño de volcanes de alto riesgo, volcanes de la década, para el trabajo intensivo interdisciplinario como herramienta para mejorar y demostrar la prevención de desastres volcánicos. Pero, por qué enfocar la atención en solo algunos volcanes trabajando con gente que incluso no conocemos? Porque hay un sinergismo motivante y creador en equipos con variadas pericias e ideas diferentes de las nuestras. Dados los recursos humanos y fuentes de financiamiento limitados podemos incrementar al máximo nuestra contribución de esfuerzos en proyectos de equipos.

Situado al Sur-oeste de Guatemala el volcán Santa María es el volcán más notorio en Centro América. En Octubre de 1902 Santa María fue el sitio de una de las 10 mayores erupciones de la tierra. Esa erupción causo miles de muertes. Desde 1922 ha venido ocurriendo la extrusión del domo volcánico desde un cráter llamado "Santiaguito" situado en el flanco Sur-oeste del Santa María. En 1929, flujos piroclásticos, que resultaron aparentemente del colapso del domo activo, alcanzaron más de 10 km al Sur de Santiaguito, causando cientos de muertes y devastamiento extenso de vías y plantaciones. Santiaguito se ha mantenido activo desde entonces y produce erupciones verticales de ceniza, avalanchas, flujos de lava, flujos piroclásticos, flujos de lodo y otros peligros que son preocupantes para la población creciente y el desarrollo comercial a los alrededores del volcán. Porque este volcán representa una variedad de peligros Volcánicos, porque su actividad es consistente, porque esta situado en una región poblada y porque existen organizaciones locales dedicadas a la mitigación de desastres volcánicos, Santa María ha sido designado como uno de los 13 volcanes de la década en el mundo por el IAVCEI.

De noviembre 7 a noviembre 13 de 1993 se celebró el Taller Internacional sobre el volcán Santa María en Quezaltenango-Guatemala. Ese taller incluyó 73 participantes profesionales representando 13 países en muchos aspectos interdisciplinarios de la mitigación de peligros volcánicos. Los participantes aceptaron la tarea de desarrollar un plan integrado para prevenir peligros Volcánicos en Santa María. Ellos se dividieron en 9 equipos de trabajo que constituyeron a enfocar aspectos particulares del tema general.

Cada uno de los equipos tuvo una diversa representación y escribió sus propios objetivos, enumeró metodologías e hizo recomendaciones sobre esfuerzos investigativos, para el desarrollo de un plan efectivo para la mitigación de peligros Volcánicos. Los equipos esperan que los planes desarrollados estimulen la actividad de equipos de guatemaltecos y de expertos extranjeros.

Los siguientes son los informes de los equipos individuales:

Impacto Económico de la Amenaza

Miembros

- Samuel Bonis, Estados Unidos
- Gloria Patricia Cortes, Colombia
- Harold Garbeil, Estados Unidos
- Barry Green, Estados Unidos
- Shigeru Kitamura, Japon
- María Luisa Monsalve, Colombia
- Héctor Monzon, Guatemala
- Hugo Moreno, Chile
- Martha Navarro, Nicaragua
- Fredy Vargas, Guatemala

Objetivos

Presentar a las entidades del gobierno (Bancos, Ministerios, etc.) el impacto económico que incluye factores tales como pérdidas de vidas humanas, de infraestructura económica y el efecto social, como consecuencia de una eventual actividad volcánica destructiva.

Metodología

- 1) Crear un grupo interdisciplinario formal (Economistas, Geógrafos, Ingenieros, Planificadores, además de Vulcanólogos), que trabajen en conjunto, tomando como base el mapa de amenaza perfeccionado.
- 2) Aplicar los estudios del grupo interdisciplinario en los mapas de amenaza, con el fin de lograr los objetivos planteados.

Recomendaciones

- 1) Solicitar ayuda externa apropiada, para formar profesionales y técnicos nacionales que puedan elaborar estos trabajos (mapas de amenaza e impacto económico), enfatizando que el producto final debe ser netamente nacional.
- 2) Los mapas de amenaza actuales, deben ser revisados y actualizados por vulcanólogos.
- 3) Se adjuntan las recomendaciones de especialistas de Colombia y Chile, para el análisis del impacto económico, que debe tomarse en cuenta como una pauta en el desarrollo de futuros estudios.
- 4) Que los vulcanólogos y miembros del equipo interdisciplinario hagan esfuerzos para proporcionar datos de probabilidades de eventos vulcanológicos, para poder ser más efectivos en la evaluación del impacto económico. En consecuencia, se recomienda una investigación de probabilidad de eventos vulcanológicos peligrosos.

***Nota**

La comisión encontró con asombro, el estado actual en que se encuentra el observatorio vulcanológico del Volcán Santiaguito y esta realidad influyó en ocupar mucho tiempo en las discusiones del grupo, por lo cual recomendamos. El inmediato reestablecimiento de la red sísmica para mejorar la calidad del monitoreo y la visión internacional del mismo.

Recomendaciones Generales y Específicas Dadas por Especialistas de Colombia y Chile

- 1) Levantamiento geológico 1:50,000 detallado.
- 2) Confección de un mapa de amenaza 1:50,000 muy riguroso.
- 3) Formar un grupo multidisciplinario, con:
 - *Geólogos, Vulcanólogos
 - *Geógrafos humanos, y/o Sociólogos
 - *Geógrafos históricos
 - *Especialistas en análisis de vulnerabilidad y probabilidad
 - *Economistas
- 4) Evaluar la economía y condiciones humanas del área.
- 5) Confeccionar el mapa de riesgo volcánico.

Evaluación del Impacto Económico de las Erupciones del Volcán Santiaguito

Anexo: Chile-Colombia

Objetivos

La evaluación del impacto económico por actividad eruptiva debe tener como documento base los mapas de amenaza.

El mapa de amenaza existente es insuficiente para realizar la evaluación del impacto económico de las erupciones de los volcanes Santa María-Santiaguito.

Para cumplir este objetivo, es necesario complementar la información existente con:

- 1) Elaboración de un mapa geológico escala 1:50,000.
- 2) Actualización y modificación del mapa actual de amenaza que involvera el complejo volcánico Santa María-Santiaguito.
- 3) Conformación de un grupo interdisciplinario (preferiblemente interinstitucional) con la participación del siguiente personal:

- *Geólogo-Vulcanólogo
- *Geógrafo humano y/o Sociólogo
- *Geólogo o Ingeniero Catastral
- *Geógrafo-Historiador
- *Ingeniero Industrial y/o Economista
- *Especialista en Análisis de Vulnerabilidad

Este personal tendrá a cargo las siguientes actividades:

- *Evaluación cuantificada de efectos volcánicos por zona de amenaza.
- *Recopilar información del censo de población en las áreas que puedan ser afectadas.
- *Recopilar información sobre actividades, uso de suelos e infraestructura en las zonas potencialmente amenazadas.

Con base en la información anterior realizar la evaluación económica de las zonas potencialmente amenazadas por diversos procesos.

Cumplidos los anteriores pasos, se puede elaborar el mapa de riesgo volcánico (entendiendo riesgo como: amenaza+vulnerabilidad) el cual es imprescindible para la planificación territorial, la confección de planes de emergencia adecuados y de planes de educación a la comunidad.

Recomendaciones

- 1) Conformación de grupo interdisciplinario, con participación interinstitucional.
- 2) Mediante convenios internacionales, capacitar geólogos vulcanólogos en vulcanología y amenazas.
- 3) Confeccionar un mapa geológico a escala 1:50,000 o 1:25,000 que comprenda cronoestratigrafía detallada, ojalá de por lo menos 10,000 años.
- 4) Complementar el mapa de amenazas existente, con toda la información geológica y cronología eruptiva histórica disponible.
- 5) Realizar por etapas; según recursos disponibles, los métodos propuestos.
- 6) Difundir los peligros del complejo volcánico Santa María-Santiaguito, acercarse a las diferentes autoridades y presentar proyectos específicos con el fin de obtener recursos económicos suficientes para lograr las metas propuestas.

Lahares

Miembros

- Paul Kimberly, Estados Unidos
- Gerardo Carrasco Núñez, Mexico
- Tom Pierson, Estados Unidos
- Scott Rowland, Estados Unidos
- Claus Siebe, Mexico

Introducción

Los *lahares* son flujos rápidos, a veces catastróficos, de mezclas densas de partículas de roca y agua, que ocurren en corrientes y que fluyen de los volcanes. Estos ocurren cuando las inundaciones de agua por fuertes lluvias por desbordamientos de aguas de lagos que se mezclan con fragmentos de roca volcánica de tamaños que varían desde partículas microscópicas de arcilla hasta grandes rocas. En la última década tales flujos han causado la muerte de decenas de miles de personas. Entre 1979 y 1983, se perdieron las vidas y propiedades de El Palmar debido a los lahares del Volcán Santa María y todavía hoy un número de pueblos, aldeas, carreteras, puentes, y áreas agrícolas están bajo las amenazas de futuros lahares del Santa María.

Objetivos

- * *Evaluar y designar áreas que estén bajo riesgo de futuros lahares.*
- * Entender la historia pasada de los lahares del Santa María con el objeto de predecir el tamaño del lahar y con qué frecuencia estos ocurren. Los estudios deben determinar el escenario del peor caso.
- * Suministrar una mitigación efectiva a los peligros del lahar.

Metodología

1. Evaluar y mitigar los peligros debidos a los lahares.

A) *Preparar un mapa de riesgos de lahares.*

- 1) Este mapa identificaría áreas, población e infraestructura que estén más en riesgo.

B) Desarrollar maneras de monitorear las condiciones que producen los lahares.

- 1) Medida de la intensidad de la lluvia y su duración.
- 2) Medidas periódicas de las condiciones del lecho del río.
- 3) Observación y evaluación de la fuente potencial de material que se origina en el cono del volcán de Santiaguito.

C) Desarrollar maneras de monitorear la ocurrencia de lahares.

- 1) *Desarrollar un sistema de alerta efectivo para las poblaciones que puedan estar bajo riesgo.*
- 2) Monitorear regularmente el efecto de los lahares en el lecho del río.

- 2) Llevar a cabo estudios científicos que señalen necesidades críticas de investigación.
- A) Determinar el tipo hidráulico y el comportamiento de lahares previos.
 - B) Elucidar el tamaño, la frecuencia, y los mecanismos de disparo de lahares previos.
 - C) Identificar recursos humanos e institucionales para llevar a cabo los estudio.
 - 1) Proyectos financiados localmente por instituciones incluyendo INSIVUMEH y CEPREDENAC.
 - 2) Estudios financiados por instituciones extranjeras incluyendo proyectos de tesis de estudiantes de posgrado.
 - 3) *Empleo de ciudadanos locales para ayudar a los investigadores con el objeto de mejorar el estado de alerta de la comunidad.*
- 3) Implementar la información de la comunicación efectiva de riesgos.
- A) *Educar* a los residentes locales bajo riesgo.
 - B) *Educar* a las autoridades locales.
 - C) *Educar* a las organizaciones estatales y nacionales de la defensa civil.
 - 1) Fomentar la coordinación entre la comunidad científica y las agencias de manejo de emergencias.

Recomendaciones

- * *Apoyar al INSIVUMEH* en la preparación del mapa de riesgos.
- * *Apoyar los estudios críticos y científicos* que se necesitan para entender los peligros de lahares del Santa María, incluyendo las observaciones regulares sobre el lecho del río y la colección de datos de precipitación pluvial.
- * *Establecer un sistema apropiado de alerta* para las poblaciones que puedan estar bajo riesgo.
- * *Involucrar a las comunidades locales* en proyectos de investigación con el objeto de construir una red de comunicación de peligros.
- * *Iniciar un programa educacional* sobre los riesgos de lahares para los residentes locales bajo riesgo, las autoridades locales, y las organizaciones de defensa civil, estatales y nacionales.

Transferencia Intercultural de Amenazas

Miembros

- John Carpenter, Estados Unidos
- Mario Chang, Guatemala
- Carlos E. Gamez, Guatemala
- Jorge Raul Girón, Guatemala
- Alfredo McEwen, Estados Unidos
- Hugo Moreno, Chile
- Fernando Muñoz, Colombia
- Bill Rose, Estados Unidos
- Ciro Sandoval, Estados Unidos

Objetivos

Objetivos Generales

Aprovechar los conocimientos científicos para:

- Lograr una respuesta positiva de la comunidad frente a los fenómenos volcánicos.
- Mejorar la toma de decisiones del Comité Nacional de Emergencia, a través de la participación activa de la comunidad científica en los momentos de Crisis Volcánica.

Objetivos Específicos

- Divulgar el conocimiento científico sobre amenaza volcánica en un lenguaje entendible por la población en general.
- Propiciar una adecuada aplicación de los conocimientos científicos sobre volcanes para reorientar los programas de desarrollo.
- Establecer las bases para lograr la divulgación, educación y capacitación en la administración de Crisis Volcánicas.
- Mejorar la capacidad de respuesta de la comunidad frente a situaciones de crisis volcánicas.
- Favorecer el trabajo interdisciplinario que permita una adecuada definición del riesgo volcánico.
- Propender porque los programas de desarrollo en zonas volcánicas que contengan un estudio de riesgo.

Metodología

Involucrar activamente a la población en general mediante:

- 1) Promoción de reuniones de planificación y organización con diferentes sectores de la comunidad.

- 2) Establecimiento de proyectos de divulgación, educación y capacitación a las poblaciones que puedan ser afectadas por fenómenos volcánicos.
- 3) Diseño y aplicación de ejercicios de simulaciones y simulacros de manejo de Crisis Volcánicas con la participación de diferentes sectores.
- 4) Favorecimiento del trabajo interdisciplinario que permita una adecuada definición de riesgo volcánico.

Estrategias

- 1) Capacitar profesionales y personas de diferentes disciplinas y niveles.
- 2) Incluir el uso de tecnologías tales como el correo electrónico, las comunicaciones con redes electrónicas y otras similares.
- 3) Hacer que las organizaciones realicen investigaciones vulcanológicas y asignen parte de su presupuesto a renglones tales como equipo, infraestructura, capacitación de personal y otros.
- 4) Utilizar los medios de comunicación masiva para lanzar campañas de divulgación.

Petrología y Geoquímica

Miembros

- Barry Cameron, Estados Unidos
- Michael Jackson, Estados Unidos
- Luz Luna, El Salvador
- Jim Walker, Estados Unidos

El principal interés de nuestro grupo es la erupción de 1902 del Santa María. La erupción involucro dos tipos distintos de magmas: Uno Básico (ca. 53 wt.% SiO_2) y uno más rico SiO_2 (ca. 66 wt. % SiO_2). Este es un tema muy común en las erupciones grandes en Guatemala, erupciones explosivas en Ayarza, Amatitlan, Atitlan (Los Chocoyos) y Cerro Quemado. Todas involucraron por lo menos dos tipos distintos de magmas. Por lo tanto, es muy importante entender tales erupciones mixtas y cómo se desarrollan, debido a que potencialmente son muy peligrosas.

Más específicamente, esperamos llegar a entender si los dos tipos de magmas coexistieron por un largo periodo de tiempo en una misma cámara ubicada bajo el volcán y si éstos están petrogenéticamente relacionados. Por otra parte, el evento de mezcla involucró dos magmas distintos que en realidad causaron la erupción.

Estos dos escenarios en sí tienen implicaciones diferentes, tanto para el crecimiento y desarrollo de domos en Santiaguito, como para la emisión de gases volcánicos, movimiento de magmas y almacenamiento, sismicidad volcánica y monitoreo petrológico.

Los datos químicos existentes sobre los dos tipos de magmas, incluyen análisis de elementos mayores y trazas de fragmentos de pómez pertenecientes a la erupción de 1902. Agregaremos el de elementos tales como Sr, Nd y datos de isótopos de Pb en pómez, así como análisis de minerales por microsonda de fragmentos de pómez.

Los últimos incluirán un estudio detallado de zonación de plagioclasas, ocurrencia y composición de Anfíoles, y su significado en la mezcla de magmas.

Consideramos importante como parte de la investigación incluir el estudio de "xenolitos mágicos" en las lavas del domo del Santiaguito como indicadores (residuos) de una mezcla de magma, y de los flujos piroclásticos de 1902 del volcán de Santa María como evidencia de eventos tempranos de tal mezcla.

- 1) Un estudio de las inclusiones fundidas de los componentes magmáticos y de las lavas y piroclásticas del Santiaguito para determinar el contenido de volátiles pre-eruptivos, y cómo estas cambian con el tiempo.
- 2) Un estudio de crecimiento de cristal es de plagioclasa en las lavas del domo de Santiaguito, para estimar el tiempo de residencia del magma bajo superficie.
- 3) Un estudio de desequilibrio U-Th en los fenocristales de las lavas y piroclásticos, de Santa María/Santiaguito para estimar el tiempo de residencia del magma bajo la superficie.
- 4) Un estudio geocronológico y geoquímico del complejo de las lavas y piroclásticos de la fundación volcánica antigua de Santa María para entender en forma completa la evolución magmática de la región.
- 5) Un estudio isotópico combinado (radiogénico/estable) de las lavas y piroclastos del Santa María para entender en forma completa la evolución magmática del volcán y poder explicar su naturaleza rica.
- 6) Continuar el monitoreo petroológico/geoquímico de los productos recientes del Santiaguito para anticipar de alguna manera cualquier cambio químico que pueda predecir cambios en el sistema magmático.
- 7) Un estudio isotópico de Nd de los productos de Santa María buscando evidencia de cambios isotópicos antes de cualquier erupción explosiva de gran dimensión.
- 8) Una comparación geoquímica del Santiaguito y el domo del Cerro Quemado, incluyendo el uso de inclusiones fundidas para asegurarse si algunas características químicas influyen en el crecimiento de domos endógenos versus domos exógenos.

Gases Volcánicos

Miembros

- Tobias Fischer, Estados Unidos
- Eduardo Gutiérrez, El Salvador
- David M. Harris, Estados Unidos
- Martin Heiligmann, Estados Unidos
- Erick Fernández Soto, Costa Rica
- Vince Realmuto, Estados Unidos

Introducción

El taller sobre el volcán Santa María suministró la posibilidad de estimar el valor del monitoreo de los gases volcánicos para suplementar otros enfoques de monitoreo. La actividad del Santiaguito se caracteriza actualmente por explosiones pequeñas y numerosas, esencialmente sin emisiones de bloques y solo una proporción pequeña de cenizas en la erupción "calhemus." Actualmente, estas erupciones pequeñas no son peligrosas. Puesto que el estilo eruptivo del volcán puede cambiar con el tiempo debido al incremento magmático u otros factores, es necesario monitorear constantemente las sustancias liberados por el sistema. Esto mejorar la previsión de erupciones mayores y peligrosas. Los gases volcánicos, los manantiales geotérmicos y el radón pueden suministrar información sobre las condiciones de la sub-superficie que se relacionan con los sistemas magmáticos e hidrotérmicos.

El valor principal del muestreo y del análisis de las fases fluídas en los ambientes volcánicos se debe a la regla de las sustancias volátiles como propulsoras de erupciones (magmática, freática y freatomagmática) y como indicadores cuantitativos potenciales de los procesos de la sub-superficie que incluyen cristalización, ascenso del magma, desarrollo de fracturas, y las interacciones de fluidos y rocas. Enfatizamos la importancia de un enfoque integrado que incluya muestreo, análisis e interpretación de las observaciones de la fase fluída mediante el modelo de los procesos de gobierno.

Objetivos

- 1) Obtener una línea base para las medidas de los flujos elementales de S, Cl, y C de origen presumiblemente magmático para el uso de monitoreo, predicción y modelo de la dinámica magmática.
- 2) Monitorear los cambios temporales en el ratio S/Cl, S/F, y C/S en los gases volcánicos como indicadores posibles de cambios (intrusión de magma, cierre de chimeneas, profundidad de gasificación) en el sistema de magma que más tarde puede ser útil en la predicción de erupciones.
- 3) Medir y detectar los cambios temporales en los flujos diarios y semanales del total de sustancias volátiles por erupciones de vapor y cenizas. El estimado directo de los flujos de azufre durante las erupciones de vapor y ceniza quedan obtenerse por medio de las medidas COSPEC. La determinación remota de los flujos de otras clases importantes no es aún rutinaria.
- 4) Estimar el flujo total y relativo de las sustancias volátiles en las erupciones por la amplitud integral del temblor volcánico o preferiblemente el desplazamiento reducido que puede proporcionar el total de la masa. Determinar si el flujo de las sustancias volátiles de las erupciones se relaciona con la precipitación local.

5) Las ratas de escapes de gas radón de los cuerpos de magma de la sub-superficie pueden variar temporalmente debido a los cambios en las ratas de producción o almacenamiento de gases vehículo (H_2O , CO_2) y en los cambios de sistema de fractura en los márgenes del cuerpo magmático. El monitoreo del gas radón debe evaluarse por su potencial mediante la detección del aumento de presión y el desarrollo de fracturas antes de las erupciones.

6) Las emisiones de los gases volcánicos deben correlacionarse con otras observaciones geofísicas contemporáneas incluyendo la deformación, la sismicidad, la gravedad y la tensión de la capa superficial terrestre.

Recomendaciones y Metodología

El muestreo frecuente de los gases volcánicos de las fumarolas en el domo de Santiaguito es extremadamente peligroso y no es recomendado. Los peligros incluyen erupciones, flujos de ceniza, flujos piroclásticos, aludes de rocas y neblina (riesgo de perderse). La información potencial obtenible de unas pocas muestras de gases probablemente no justifique el riesgo.

Otros instrumentos de monitoreo colocados en el domo de Santiaguito deben ser simples, ligeros y de rápida instalación, y no deben requerir mantenimiento a intervalos de menos de seis meses.

Química del agua de manantiales geotérmicos

Muestras de agua de manantiales calientes y cálidos en la base del domo del Santiaguito debe colectarse sobre una base semanal. La muestra debe analizarse en su pH, temperatura, y composición química para obtener datos de base de la química de las corrientes y detectar los cambios en la concentración de SO_4 , Cl , y F , posiblemente relacionados con la actividad volcánica y el ingreso de sustancias volátiles magmáticas. Los análisis deben hacerse por titulaciones, o por electrodos selectivos de iones. La participación posible de estudiantes de universidades locales se recomienda también.

Medida del flujo de dióxido de azufre (COSPEC)

El flujo del SO_2 en Santiaguito debe medirse por COSPEC por lo menos por tres días consecutivos cada tres semanas cuando no hay cambio en la actividad sísmica o volcánica. El flujo de SO_2 debe medirse más frecuentemente (por ejemplo cada día) si el flujo de SO_2 en la actividad eruptiva aumenta en un factor de dos, hasta que se averigüe la causa del cambio.

La detección remota de las emisiones de gases volcánicos se basa primordialmente en las medidas de los flujos de SO_2 con la correlación espectrométrica (COSPEC). El gobierno de Guatemala (INSIVUMEH) tiene un COSPEC pero el costo del emplazamiento del instrumento limita su uso. Se recomienda enfáticamente que se le de una alta prioridad a las observaciones COSPEC de Santiaguito. Las observaciones semanales pueden servir conjuntamente, tanto para establecer una línea base de flujo del SO_2 , como para alejarse de esta misma línea base.

Espectroscopía Fourier de las Transformaciones de la columna de gases

Los espectrómetros infrarojos de transformación Fourier (FTIR) pueden permitir una detección remota de varias constituyentes en la columna de gases de Santiaguito. Se han detectado SO_2 y HCl por este método en otras columnas volcánicas de gases. Futuras detecciones pueden incluir H_2SO_4 , CO_2 , y vapor de agua. La desventaja actual del FTIR es la dificultad en reducir las medidas para estimar las concentraciones de la columna de gases. Mientras el COSPEC tiene una

lectura directa de la concentración de SO_2 en el campo de visual del instrumento, las medidas FTIR deben acomodarse a los modelos de transferencia radioactiva. Esta complicación adicional puede evitarse por la habilidad de detectar remotamente y medir varios constituyentes de la columna de gases con un solo instrumento. Luego de desarrollos futuros, esta técnica puede contribuir a mejorar el monitoreo en Santiaguito.

Medidas de escape de cenizas volcánicas

Las muestras de cenizas deben coleccionarse en tiempos de incrementos de actividades explosivas para obtener cenizas de escapes. La ceniza debe coleccionarse antes de la lluvia. Los escapes pueden analizarse por los mismos métodos recomendados para el análisis de muestras de agua.

Muestreo y análisis de agua líquida de las nubes

Un sistema experimental para coleccionar y analizar SO_2 , Cl, pH y otros constituyentes en el agua líquida de las nubes debe desarrollarse, instalarse y operarse continuamente en el observatorio del volcán Santa María. El sistema debe coleccionar automáticamente el agua líquida de las nubes, de la neblina, y de las nubes que tienen una trayectoria sobre los escapes activos de gas del domo del Santiaguito y llegar a un sistema fijo de recolección. El colector de muestras debe abrirse y cerrarse dependiendo de la dirección del viento y las condiciones meteorológicas. Los análisis químicos deben llevarse a cabo a intervalos de uno a cinco días, usando métodos microquímicos (por ejemplo electrodos selectivo de iones específicos). Esta tecnología se apoya en el uso de agua líquida de las nubes para coleccionar gases volcánicos y aerosoles. La colocación óptima del colector requiere un estudio de campo a largo plazo del viento de campo en sitios posibles.

Muestreo de agua lluvia y análisis

El agua lluvia debe recolectarse en el observatorio (y en otros sitios) y analizarse en su contenido de SO_4 , Cl, y pH, usando métodos microquímicos (e.g. electrodos selectivos de iones). Este método se basa en la captura de agua lluvia de los gases volcánicos y aerosoles en la atmósfera vecina al observatorio.

Monitoreo del radón en el suelo y en los manantiales geotérmicos

El gas radón se libera difusivamente de la cámara del magma y escapa difícilmente a través del edificio volcánico. Dependiendo del equipo y de los requerimientos, el radón puede medirse continuamente o a intervalos en el suelo volcánico y en los manantiales hidrotérmicos. Una vez que una línea base para la degasificación volcánica se haya establecido, los cambios en el patrón de degasificación del volcán pueden monitorearse y evaluarse. Los cambios temporales en los flujos de radón en el suelo pueden compararse con otros datos de monitoreo, incluyendo sismicidad, inclinación, tensión y actividad.

Recomendaciones prácticas de campo

Con el objeto de mantener la logística y los costos a un mínimo, varios sistemas de monitoreo deben instalarse en un sitio, de ser científicamente posible. Por ejemplo, un sismógrafo o un inclinómetro pueden servir también como un sitio para coleccionar cenizas y muestras de agua lluvia.

Crecimiento del Domo

Miembros

- Steve Anderson, Estados Unidos
- Karen Bemis, Estados Unidos
- Michael Conway, Estados Unidos
- Gloria Patricia Cortes S., Colombia
- Luke Flynn, Estados Unidos
- Richard Harwood, Estados Unidos
- Zinzuni Jurado, Estados Unidos
- Johannes Obenholzner, Austria
- Michael Ort, Estados Unidos
- Claus Siebe, Mexico
- Lee Siebert, Estados Unidos

Objetivos

Desde 1902, el vulcanismo del complejo volcánico Santa María-Santiago ha causado la muerte de más de 5,000 guatemaltecos y ha incidido directa e indirectamente en la muerte y destrucción de tierras agrícolas a lo largo del sistema de drenajes de los ríos Nimá y Samalá. Nuestro principal objetivo es recomendar un curso de monitoreo para la mitigación del peligro volcánico de Santa María-Santiago. Hasta el presente, los peligros volcánicos del complejo persisten en su mayor parte por la actividad en el domo Santiago. Por lo tanto es esencial:

- 1) Comprender la naturaleza del domo y de las erupciones piroclásticas de Santiago desde su nacimiento en 1922 hasta el presente.
- 2) Identificar los peligros asociados con estos procesos eruptivos. Esto incluye hasta el momento los peligros no documentados que no han sido observados en Santiago y que han ocurrido en otros domos y que son un peligro potencial para Santa María-Santiago.

El domo Santiago es un complejo de domos con cuatro cráteres mayores. El crecimiento de domos ha consistido en una alternancia exógena (Ciclos efusivos de lavas dacíticas), y períodos endógenos (inflación de domos) (Rose 1972).

Metodología

Después de discusiones técnicas del monitoreo sobre la actividad del domo, es necesario describir brevemente los peligros volcánicos asociados con el crecimiento del domo.

El principal peligro directamente asociado con el crecimiento del domo incluye:

Colapso de Domo: El colapso de domos tiene como resultado un evento catastrófico de flujos de escombros (p.e. el colapso de Cerro Quemado hace aproximadamente 1150 años atrás). La avalancha resultante puede moverse decenas de kilómetros tierra abajo, devastando todo lo que encuentre a su paso. El colapso en gran escala de edificios domales son comúnmente inducidos por eventos sísmicos o intrusión de magmas hacia el edificio. Si bien el colapso del edificio de Santiago nunca ha ocurrido, la combinación de pendientes escarpadas, estructuras brechosas, alteración hidrotermal y eventual sismicidad hace que el domo sea potencialmente colapsable.

Flujos Piroclásticos: Históricamente los flujos piroclásticos de Santiaguito, se han desplazado desde pocos km hasta un máximo de 12 km. Los flujos piroclásticos se originan de varias formas: erupciones volcánicas, colapsos de tapones de lava, colapso de flujos de lenguas de lava. El flujo piroclástico de 1929 dió muerte a cientos de personas y destruyó propiedades a lo largo del sistema de drenajes de los ríos Nimá Segundo y Tambor hacia el sur en El Palmar.

Desechos de Escombros Volcánicos: En los últimos años fotografías evidencian degradación erosional en el flanco norte de Santiaguito. Una amplia escala de erosión fue vista por primera vez en febrero de 1990 en el Monje, La Mitad y cono Caliente. Con base en la evidencia fotográfica, el área afectada en el flanco norte ha incrementado el volumen de escombros depositados desde aproximadamente 24,000 m² hasta aproximadamente 90,000 m². Desde febrero de 1990 la erosión del flanco norte ha migrado lateralmente incluyendo el Cono Caliente y ahora El Brujo. La erosión sobre el flanco sur no es extensa y recientes escarpas erosionales no son comunes. Hasta el presente, la erosión en el flanco noreste del Cono Caliente parece tener espigas peleanas en la cima.

La causa de este repentino incremento de los desechos volcánicos es problemáticamente conocido. Una hipótesis es la intrusión de magma entre La Mitad y El Monje dilatando la parte central del domo produciendo fracturas radiales a lo largo de las cuales hay presencia de brechas no consolidadas. Una segunda hipótesis son las combinaciones climáticas, edad de los domos y la naturaleza de sus depósitos y probablemente la presencia de un fuerte sistema hidrotermal y subsecuente alteración dando como resultado la inestabilidad y su erosión hacia la base. A medida que grandes volúmenes de material se remueven por la erosión, se aumenta aún más la posibilidad de colapso de la infraestructura del domo.

Colapso de Santa María: La cúpula sobre empinada de la parte sur del Santa María podría colapsar potencialmente. Un evento podría dirigir una avalancha de escombros sobre Santiaguito destruyendo potencialmente el domo y despresurizando la cámara magmática. Esto podría dar como resultado una catastrófica erupción lateral similar a la ocurrida el 18 de mayo de 1980 en Mount Saint Helens.

Técnicas de Monitoreo

En esta sección describimos los métodos que proveen datos fundamentales sobre el crecimiento pasado y presente de Santiaguito. La mayoría de los métodos son de bajo costo y requieren poco entrenamiento y podría ser complementado con los trabajadores de INSIVUMEH de la ciudad capital y del Observatorio Vulcanológico de Santiaguito.

1) Historia fotográfica de Santiaguito

Informaciones de fotografías fechadas y de videos podrían suministrar volúmenes del domo, perfiles, localización y estilo de erupciones a lo largo del tiempo, que provee un mejor entendimiento de la interacción del crecimiento endógeno versus crecimiento exógeno. En este sentido podría proveer datos sobre la naturaleza y probabilidad de los peligros asociados con ambos tipos de crecimiento.

Un programa sistemático fotográfico usando tres sitios escogidos es esencial para continuar documentando la evolución de Santiaguito. Videos periódicos del domo y del cráter de explosión de 1902 podrían ser un importante complemento de este programa.

2) Estación Meteorológica

En los últimos quince años fuertes erupciones piroclásticas han ocurrido en Santiaguito desde 1989 (Matías, 1990). Las erupciones coinciden con la estación lluviosa. Existe una

correlación entre el clima y las erupciones volcánicas en otros domos (p.e. Mt. Saint Helens). Estadísticas de datos meteorológicos, velocidad y cantidad de precipitación pluvial, presión barométrica, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento y/o cobertura de la nubosidad desde el Observatorio Vulcanológico de Santiaguito es necesario para determinar la influencia de Santiaguito en el clima.

3) Observaciones Visuales de la Actividad de Santiaguito

Desde noviembre de 1990 observadores contratados y entrenados por vulcanólogos de INSIVUMEH, han observado el domo diariamente anotando condiciones del tiempo y características de las erupciones verticales, avalanchas de bloques, etc. Este monitoreo es esencial para reconocer los cambios de la actividad de Santiaguito.

4) Deformación

La deformación del domo es el principal indicador de los cambios en el patrón de crecimiento. Un sistema de posicionador geográfico (GPS) y distanciómetro electrónico (EDM) podrían dar datos esenciales sobre cambios en el comportamiento del domo y proveer un sistema de alerta temprana de peligros potenciales.

5) Mapas topográficos base

Es posible y barato a producir mapas-bases apartir de fotografías aéreas. Datos de mapas topográficos a gran escala proveen una línea base para el monitorear los efectos de los desechos de escombros volcánicos durante el crecimiento domal.

6) Análisis de ceniza

El tamaño, forma y composición de las cenizas reflejan la influencia magmática versus gases freatomagmáticos. En tal sentido se obtiene información sobre el estado del volcán.

7) Estudio comparativo de Cerro Quemado

Cerro Quemado es un domo complejo localizado a 5 Km. al norte de Santiaguito. No obstante el proceso similar de las composiciones geoquímicas y la existencia de la misma edad, los dos domos son totalmente diferentes. Estudios petrológicos y geoquímicos de los domos pueden proveer indicios para estos problemas.

8) Imágenes de satélite

Satélites AVHRR sobrepasan el altiplano volcánico de Guatemala dos veces diariamente. Imágenes térmicas están realmente disponibles. Estas imágenes proveen datos cuantitativos del cráter y de la temperatura del cráter y de flujos de lava.

Recomendaciones

Las siguientes acciones podrían efectuarse inmediatamente para el monitoreo efectivo del crecimiento de Santiaguito, para reconstruir la evolución histórica del domo y para mitigar los peligros volcánicos de Santiaguito.

1) Recomendamos la instalación de una estación meteorológica en el observatorio de Santiaguito. Esta estación podría incluir el equipo meteorológico básico: Pluviómetro y pluviógrafo, anemómetro, barómetro, termómetros e instrumentos para la medición de humedad. Las mediciones podrían hacerse 3 o 4 veces por día.

2) Recomendamos con énfasis tomar fotografías diariamente o semanalmente del domo y de cráter de explosión del domo de 1902 desde varios sitios. Los lugares convenientes incluyen: El Observatorio Vulcanológico de Santiaguito, Hotel Magermann y la cima de

Santa María. Este último lugar provee una excelente cobertura del cráter activo del Cono Caliente.

3) Observaciones del domo desde el Observatorio podrían continuarse y ampliarse para incluir las mediciones meteorológicas muestreo de cenizas y deformación del domo.

4) Recomendamos con énfasis el uso del sistema posicionador geográfico y del distanciometro electrónico para Santiaguito. Recomendamos el despliegue de equipos de deformación cerca del cráter de deformación de 1902 para monitorear la estabilidad del flanco. Este equipo podra ser monitoreado por personal del Observatorio.

5) Las instalaciones del USGS en Flagstaff son capaces de producir rápidamente mapas bases a escala a partir de fotografías aéreas. Recomendamos fotografías aéreas de Santa María-Santiaguito desde los años 40, disponibles en los archivos en la Universidad Tecnológica y del Instituto Smithsonian, para ser usados en la producción de mapas topográficos base.

6) Las instalaaciones del Servicio Geológico de Austria (Inst. Geowissenschaftem *-MUL) El Dr. Obenholzner ha ofrecido hacer los análisis de las muestras de ceniza reciente. Recomendamos que el muestreo de la ceniza colectados por personal de INSIVUMEH se envíen por correo inmediatamente a Austria.

7) El laboratorio del Jet de Propulsión (JPL) distribuye datos numéricos de los vuelos del AVHRR. Recomendamos con énfasis que los directores de INSIVUMEH contacten al Dr. Jim Garvin del JPL para obtener imágenes de Santiaguito.

8) El domo de Santiaguito en 1929 era considerablemente más pequeño que el actual, lo que ahora es redundante por los extensos flujos piroclásticos del domo. El origen de estos flujos piroclásticos es insuficientemente conocido. Recomendamos el mapeo geológico que podría ser combinado con estudios geoquímicos, petrográficos y estratigráficos que permita inferir el origen y el peligro potencial de los flujos piroclásticos de Santiaguito.

9) Voluntarios locales de las fincas y poblaciones cercanas a Santa María-Santiaguito son un importante recurso potencial. Recomendamos contratar personas de fincas y aldeas que tomen muestras de ceniza y hagan observaciones periódicas del domo. Como ejemplo de este tipo de personas son los aldeanos contratados por el Dr. Richard Stoiber en las aldeas de Llanos del Pinal para observar el Santiaguito.

10) Por ultimo recomendamos el estudio de la interacción entre el sistema hidrológico y el crecimiento del domo y los mecanismos eruptivos conducidos por:

- energía de las explosiones
- cantidad de agua en las erupciones
- correlación con la precipitación pluvial

Vigilancia y Pronósticos Volcánicos

Miembros

- Gustavo Fuente Alba, Chile
- Rafael Barquero, Costa Rica
- Gustavo Chigna, Guatemala
- Daivd Harlow, Estados Unidos
- Andy Lockhart, Estados Unidos
- Eduardo Malavassi, Costa Rica
- Rodolfo Morales, Guatemala
- Milton Ordñez, Colombia
- Mario Ruiz, Ecuador
- Rodolfo Van der Laat, Costa Rica

Los miembros del grupo de trabajo recibieron información de los colegas del INSIVUMEH acerca del estado de la vigilancia volcánica en el volcán Santa María/Santiago. La situación puede resumirse de la siguiente forma: las mediciones sistemáticas y periódicas en el volcán se han venido desmejorando con el tiempo debido a la estrechez de recursos de operación que enfrenta el INSIVUMEH. La vigilancia volcánica se limita en el presente a la observación, desde el edificio ubicado en la finca El Faro, por parte de un observador local con poco entrenamiento en vulcanología y quien opera una radio para comunicarse con el INSIVUMEH. En el mismo lugar opera un sismógrafo portátil. Este sismógrafo es el único instalado alrededor del volcán debido a que las dos estaciones sismográficas con telemetría que funcionaban en la vecindad del volcán están fuera de operación. Además, la situación económica no permite a funcionarios del INSIVUMEH hacer visitas regulares para dar seguimiento a la actividad volcánica. Las líneas de base de formación geoquímica han sido interrumpidas.

El principal problema que hace difícil o casi imposible la vigilancia volcánica es el bajo presupuesto de operación y escasez de recursos con que cuenta el INSIVUMEH. La situación es poco halagüeña por cuanto se trata de fondos que debe aportar de contrapartida el país, ya que la ayuda internacional no puede aportar fondos para gastos de operación. Es lamentable que en una coyuntura que a nivel internacional apoya el equipamiento de las instituciones científico-técnicas de la región en los campos de la vulcanología y sismología, que los mismos se puedan perder por falta de una apropiada contrapartida nacional. Se recomienda aconsejar a las autoridades nacionales de Guatemala que revisen las prioridades que ocupan la prevención de erupciones volcánicas con el fin de asignar recursos adecuados de contrapartida que hagan posible la organización e implementación de la vigilancia volcánica. Establecida la contrapartida nacional es posible que la cooperación internacional y científica pueda proveer los fondos necesarios para que el complejo volcánico Santa María/Santiago tenga un observatorio vulcanológico con personal científico permanente asignado. Ello haría posible la organización de un puesto de observación y de una estación de campo permanente. Desde el observatorio y estación de campo se ejecutaría un programa de investigación en vulcanología que complemente los esfuerzos realizados en la vigilancia volcánica. La comunidad científica internacional puede hacer un aporte muy importante en la definición del programa de investigación en vulcanología cuyo coordinador deber a ser el INSIVUMEH. También es posible que el esfuerzo precitado por INSIVUMEH en el campo de la vigilancia volcánica pueda complementarse con la ayuda de la cooperación de científicos extranjeros.

Programa de vigilancia volcánica

Los participantes consideran que el programa de monitoreo debe utilizar las siguientes metodologías: sismología, defmormación geoquímica y seguimiento "en situ" de la actividad para

garantizar un programa exitoso de vigilancia. Este programa de monitoreo puede complementarse por otras metodologías.

Medidas a corto plazo

Para garantizar una reactivación de la vigilancia volcánica se hace necesario tomar medidas tendientes a tratar de que el gobierno de la República de Guatemala otorgue un presupuesto adecuado en el renglón de gastos de operación (transporte y viáticos) de los funcionarios. Existen además otras alternativas para el INSIVUMEH que tienden a complementar los esfuerzos para robustecer la contrapartida nacional. Estas son la incorporación de otras instituciones a la contrapartida nacional en el campo de la vulcanología, como podrían ser universidades, empresas estatales y privadas. Esta incorporación podría establecerse a través de convenios interinstitucionales.

Metas a corto plazo

Conocidas las oportunidades que existen en capacitación a corto y mediano plazo (CEPRENAC, VCAT, OVSICORI, UNESCO) consideramos importante aprovechar las oportunidades que se presenten con el fin de optimizar el entrenamiento del personal involucrado, tratando de tomar ventaja de aquellas oportunidades que otorguen experiencia en otros observatorios y en el trabajo práctico (entrenamiento haciendo).

- 1) Operación de una estación sismográfica permanente con telemetría que transmita a la sede de INSIVUMEH.
- 2) Operación de una estación portátil permanente en el observatorio de la finca El Faro.
- 3) Mantener la observación permanente de personal no especializado.
- 4) Establecer visitas de seguimiento de la actividad de tres-cuatro días por personal científico cada dos a cuatro semanas.
- 5) Establecer las líneas de mediación de distancia por medio del EDM a varios reflectores ubicados en los domos.
- 6) Seguimiento de la deformación de las espigas de los domos con el teodolito.
- 7) Iniciar las mediciones de SO₂ con el COSPEC cada vez que se crea conveniente, con base en el comportamiento del volcán.

Metas a largo plazo

Las metas a largo plazo requieren de una política bien establecida de capacitación y formación profesional de los científicos en el extranjero. Esta debe facilitar a los guatemaltecos capacitarse, salir a estudiar teniendo estabilidad laboral, estabilidad económica e incentivos para regresar al país. En algunos años es deseable que los científicos extranjeros que trabajen en Santiaguito incorporen a los guatemaltecos en la interpretación de los datos. Es fundamental la formación del personal del observatorio para que tengan posgrados de especialización en universidades en el extranjero.

- 1) Sismología: Red sísmica de 5-7 estaciones con telemetría y transmisión en paralelo a la Ciudad de Guatemala y al observatorio en la finca El Faro para poder hacer correlaciones entre la actividad sísmica y la actividad eruptiva del volcán. Dos de las estaciones deben tener tres componentes como mínimo.
- 2) Deformación: Instalación de por lo menos dos inclinómetros electrónicos con telemetría en sitios en que puedan registrarse las deformaciones. Se debe continuar y densificar la medición de distancia horizontal así como los perfiles de las espigas de los domos.

3) Geoquímica: Se deben implementar las medidas periódicas con el COSPEC, así como en ocasiones en que el volcán sugiera cambios importantes. Debe explorarse la posibilidad de hacer hidrogeoquímica y otras formas de vigilancia tales como la de medir el flujo de radón con transmisiones en tiempo real a un centro de registro.

4) Para que tenga éxito el programa de vigilancia volcánica a largo plazo, se considera fundamental la presencia de personal técnico en el observatorio. La misma debe irse incrementando gradualmente hasta tener personal de tiempo completo. Además, se debe incrementar gradualmente el número de días mensuales de permanencia de por lo menos un científico que documente la actividad volcánica y establezca una síntesis entre las metodologías utilizadas para así tener diagnósticos sobre el estado de actividad del volcán en todo momento y que conduzcan a desarrollar una buena actividad de pronósticos.

5) Se considera fundamental, por las aplicaciones en beneficio de las comunidades vecinas, establecer un sistema de alerta para lahares que permita disparar un alarma en tiempo real en caso de que estos ocurran. Este sistema de alerta debe funcionar a partir del observatorio y tener radio comunicación que permita comunicarse con las autoridades del CONE.

6) La comunidad internacional puede hacer un aporte muy importante en equipos requeridos para la vigilancia volcánica complementando los esfuerzos de vigilancia volcánica del INSIVUMEH por medio de metodologías novedosas o experimentales y estableciendo un programa de investigación que abarque otros aspectos del conocimiento en ciencias de la tierra. Para hacer esto viable, se requiere de la existencia de una estación de campo (field station) que opere en paralelo al observatorio. Ambas deben tener luz eléctrica, agua potable, servicios sanitarios adecuados y espacio para albergar personal del INSIVUMEH y científicos extranjeros. El observatorio debe ser un centro de registro de los datos telemétricos que permitan la observación de la actividad eruptiva en paralelo a la observación de los registros. Es deseable que haya radio comunicación y eventualmente teléfono.

Reestablecida la vigilancia volcánica y con una decisión política que implique un compromiso a largo plazo con la comunidad internacional, el INSIVUMEH podría allanar el camino para buscar participación activa de la comunidad internacional en el estudio de Santiaguito/Santa María. Ello implicaría la posibilidad de establecer una fundación en la que participen entidades y personalidades nacionales e internacionales en procura de fondos para mantener y robustecer el observatorio de Santiaguito.

Dado que el CEPREDENAC ha financiado la construcción del observatorio y que en el próximo trienio se establece la posibilidad de organizar centros regionales de entrenamiento y capacitación en la región, se considera oportuno hacer las gestiones para que el OBSERVATORIO DE SANTIAGUITO sea declarado y opere como un centro regional de capacitación. Para ello es indispensable que sea reestablecida la vigilancia volcánica y que se empiece a perfilar el programa a largo plazo que hemos esbozado anteriormente.

Sismicidad Volcán/Tectónica

Miembros

- Michael Carr, Estados Unidos
- Gustavo A. Chinga, Guatemala
- Mauricio Ciudad Real, El Salvador
- Gustavo Fuente Alba, Chile
- Federico Güendel, Costa Rica
- Steve Jordi, Suiza
- Héctor Monzón, Guatemala
- Leonel Morales, Guatemala
- Wilfred Strauch, Nicaragua
- Fredy Vargas, Guatemala

El grupo de trabajo ha considerado, dentro del marco de referencia establecido para el Complejo volcánico Santa María/Santiago que dos aspectos son importantes de evaluar, a saber:

1) El estado actual de la vigilancia sismológica del complejo.

Plantea según el personal a cargo del mantenimiento de la red sismográfica de Guatemala, que la estación que ha venido manteniendo vigilancia ha dejado de funcionar debido a problemas de interferencia. El origen es desconocido. Que esta estación cumplía además otro propósito el cual es vigilar la sismicidad de la región Oeste de Guatemala, cuyas estaciones han dejado de funcionar por problemas de recursos para mantenimiento (p.e. viáticos y transporte). Únicamente se cuenta en estos momentos con un sismógrafo portátil ubicado en el Observatorio del Santiaguillo.

2) Recomendaciones sobre lo que se necesita para garantizar un nivel adecuado de vigilancia.

Con respecto a lo mínimo necesario se recomienda instalar una red sismográfica en los alrededores del complejo 10-15 km con una estación cerca del cráter y las otras cuatro distribuidas en sus alrededores. Tres de ellas incluyendo la cercana al cráter deberán tener al menos una componente horizontal. En total se habla de una red con ocho canales de registro sismográfico, la cual no solamente dará cobertura a la actividad producida por el volcán, sino también a aquella generada por actividad tectónica, cubriendo de esta manera a la región (oeste) que de por sí no cuenta en estos momentos con cobertura alguna.

Se recomienda enviar todas las señales al Observatorio y una componente vertical (la ubicada cerca del cráter) a INSIVUMEH.

Costo de Inversión de Equipo

5 estaciones verticales	\$35,500
3 componentes horizontales	\$12,300
Total	\$47,800

Objetivos

A) Monitorear la sismicidad del complejo

B) Ayudar con la vigilancia de la sismicidad tectónica, apoyando la cobertura de la Red Sismográfica Nacional para la parte oeste de Guatemala.

Metodología

Dar un seguimiento diario a la actividad registrada por la red del complejo, discriminando aquella actividad que ocurre principalmente dentro de la red de la correspondiente a las señales emanadas del complejo.

Recomendaciones

- 1) Ubicar el sitio de registro sismográfico en las instalaciones de INSIVUMEH en Quetzaltenango.
- 2) Mantener el actual sitio para la vigilancia del cono de Santiaguito, manteniendo para tal fin un sismógrafo portátil (...Panel Solar). Mantener comunicación por radio entre ambos lugares.
- 3) Se recomienda la instalación de una red sismográfica de cinco (5) estaciones, de las cuales tres tendrán al menos una componente horizontal, para un total de ocho (8) canales. Una estación estará lo más cerca posible del cráter activo y las otras cuatro en un radio de 10 a 15 km.
- 4) Instalación de una estación en el centro del registro de periodo intermitente (5 segundos).
- 5) Instalar un sistema RSAM para establecer una metodología de pronóstico de erupciones.
- 6) Proveer apoyo de infraestructura para garantizar la operación del centro de registro (i.e. planta eléctrica pequeña, LKW, paneles solares y baterías).
- 7) Buscar capacitar al personal del observatorio o centro de registro.
- 8) Exigir al INSIVUMEH proveer los recursos de contrapartida, tales como costos de operación de mantenimiento, viáticos, vehículos y salario para el personal.

Interacción Volcán-Aguas Subterráneas

Miembros

- Bernardo Beate, Ecuador
- Zinzuni Jurado-Chichay, Estados Unidos
- Craig Forster, Estados Unidos
- Dina Lopez, Canada
- Luz Luna, El Salvador
- Guillermo Moran, El Salvador
- Alfredo Rene Roldan Manzo, Guatemala
- Carlos Pulinger, El Salvador
- Sharon Templeton, Estados Unidos

Introducción

Al grupo de estudio sobre la interacción volcán-aguas subterráneas se le encargó la misión de identificar los proyectos relacionados con hidrogeología que puedan complementar las investigaciones vulcanológicas en el Volcán de la Década Santa María. Aunque cuatro ideas de proyectos se proponen, ninguna se sostiene sola como un estudio hidrogeológico específico. Cada proyecto, sin embargo, apoya uno o más aspectos de los estudios vulcanológicos.

Proyecto I

Evaluación de la Actividad Explosiva en el Domo Santiaguito

Objetivo General

El objetivo general de este proyecto es la evaluación de los mecanismos de actividad explosiva en el domo Santiaguito y evaluar la probabilidad de que las explosiones inicien el colapso del domo. Una descripción más detallada de los objetivos generales del proyecto será dada por el grupo de estudio "Crecimiento de Domo".

Objetivos de los Estudios Hidrogeológicos Complementarios

Los objetivos de los estudios hidrogeológicos propuestos incluyen:

- 1) Estimación de niveles freáticos en la vecindad del domo.
- 2) Determinación de cambios en las condiciones químicas y termales dentro del domo que serían indicados por cambios en la química de las aguas subterráneas, temperatura y valores isotópicos.
- 3) Estimación del volumen de agua subsuperficial que pasa a través del domo.
- 4) Evaluación de posibles relaciones entre actividad explosiva y variaciones a corto y mediano plazo en la caída de aguas lluvias.

Metodología

Los estudios hidrológicos relativamente rutinarios (mapeo de fuentes, muestreo de aguas subterráneas y monitoreo de la caída de aguas lluvias) y su subsecuente análisis pueden proveer la información necesaria para cumplir los objetivos descritos anteriormente. La recolección de datos debe coordinarse muy de cerca con las observaciones vulcanológicas concurrentes (por ejemplo gases de suelos y muestreo de fumarolas, grabación en video de las explosiones y erupciones, caracterización de los productos eruptivos y monitoreo conjunto de la actividad sísmica y crecimiento del domo). Estas actividades son descritas por el grupo de estudio "Crecimiento de Domo".

Los estudios hidrológicos enfatizarían la caracterización de la entrada, salida y flujo através del domo del calor, masa fluida y solutos. La precipitación de agua que cae dentro del crater de 1902 y las pendientes adyacentes al Volcán Santa María prodría facilmente formar la fuente primaria de agua que fluye a través del domo. Estimaciones de la caída de agua total anual y sus variaciones estacionarias se pueden obtener por monitoreo de aguas lluvias cerca del domo (talvés colocando un medidor de aguas lluvias cerca del hotel Magermann). Una estación de monitoreo automático que requiera poca atención durante el año podría proveer el registro detallado necesario para evaluar la manera en que las variaciones temporales en las aguas lluvias pueden influenciar variaciones en la actividad explosiva. Si el dinero y la mano de obra lo permiten, sería preferible tener una estación meteorológica completa, cerca del domo y al menos cuatro medidores automáticos de aguas lluvias colocados en la pendiente del volcán Santa María. Adoptar esta estrategia podría proveer una mejor descripción de la distribución de aguas lluvias cerca del domo y datos meteorológicos complementarios (temperatura del aire, velocidad del viento etc.) que podrían ser colectados como información de base que pueden usarse en los estudios del Volcán de la Década Santa María.

La descarga fluída total y las vareaciones temporales en el volúmen de fluido descargado pueden ser estimadas midiendo la velocidad de fluido descargado de las fuentes localizadas pendiente abajo del domo y midiendo las velocidades de descarga de riachuelos encontrados en las aguas arriba de los ríos Nimá I & II y en el río El Tambor. Dificultades asociadas con el mantenimiento de equipo de monitoreo automatico sugieren que estas observaciones es mejor hacerlas manualmente durante visitas frecuentes y regulares del personal de campo. Los datos de flujo de fuentes y ríos podrían complementarse con estimaciones de las pérdidas de fluído que ocurren a traves de evaporacion y la actividad explosiva del domo.

Las velocidades y patrones de flujo de agua subterránea son controlados en parte por el nivel freático tanto dentro del volcán Santa María como del domo Santiaguito. La localizacion de las elevaciones de las fuentes frías y calientes cerca del domo y en las pendientes adyacentes del Santa María proveerán una base para estimar elevaciones mínimas de los niveles de agua en la vecindad inmediata del domo. Esta información ayudará en la determinacion de la profundidad de la actividad freática eruptiva y proveerá una visión de los gradientes hidráulicos que dirigen el flujo de fluído a traves del domo. La obtención de estimaciones razonables de flujo de fluido a traves del domo ayudará en el cálculo del balance de energía térmica porque un porcentaje significativo del calor que entra al domo es probablemente disipado por transporte advectivo en el sistema de flujo de agua subterránea.

El monitoreo de temperatura, química y características isotópicas de varias fuentes termales localizadas pendiente abajo del domo pueden proveer indicaciones directas de cambios en los regímenes químico y termal dentro del domo que, a su vez, pueden presagiar importantes cambios en la actividad explosiva. Debido que la informacion popular sugiere que los cambios medibles en la temperatura de las fuentes y las velocidades de descarga se encontraran con los estaciones,

sería importante hacer frecuentes observaciones (al menos 20 veces por año) para separar las variaciones relacionadas con el domo de aquellas causadas por las estaciones.

Los datos colectados en el estudio propuesto podrán utilizarse para construir posibles modelos conceptuales (y posiblemente modelos numéricos) del flujo de fluido y la transferencia de calor al sitio del domo activo volcánico. Estudios de modelado que incorporen una representación simplificada de los procesos físicos podrían darnos una visión de la manera en que diferentes regímenes hidrotermales podrían llevar últimadamente al colapso del domo.

Recomendaciones

- 1) El estudio hidrológico propuesto podría ser designado e implementado en conjunto con estudios vulcanológicos asociados del crecimiento del domo Santiaguito.
- 2) El monitoreo de las actividades podría llevarse a cabo al menos por un periodo de dos años para proveer una base razonable para determinar la posible magnitud de las variaciones debidas a las estaciones en nuestras observaciones.
- 3) El monitoreo regular debería llevarse a cabo por el INSIVUMEH con asistencia estacionaria de estudiantes universitarios y científicos extranjeros.
- 4) Un mínimo esfuerzo debería incluir al menos dos visitas mensuales para recolectar manualmente la caída de agua lluvia, muestras de aguas subterráneas y mediciones de los flujos de fuentes y ríos.
- 5) Los estudios hidrogeológicos de campo deberían ser financiados como una parte integral de los estudios del crecimiento de domo, o al menos como un estudio claramente conectado.
- 6) Los estudios de modelado que sigan a este estudio deberían llevarse a cabo por personal del INSIVUMEH o por estudiantes universitarios dentro de los programas de entrenamiento supervisados por científicos extranjeros.

Aplicación de los Resultados del Estudio

Este estudio hidrogeológico no produce directamente una determinación de la probabilidad de que la actividad explosiva del domo Santiaguito pudiera iniciar un colapso de domo peligroso, en vez de eso se obtiene información de apoyo para hacer esa determinación.

Proyecto II Estudios Hidrogeológicos de Base

Objetivos

Los estudios de base de los sistemas de flujo de agua subterránea regional y local deberían implementarse para hacer una mejor determinación de cómo el sistema de aguas subterráneas podría modificar los regímenes termales, influenciar los sistemas hidrotermales locales e influenciar los procesos Volcánicos profundos en la vecindad del volcán Santa María. Estos estudios podrían formar un componente integral de una secuencia completa de estudios vulcanológicos llevados a cabo como parte de los estudios del Volcán de la Década Santa María.

Metodología

Estudios hidrológicos relativamente rutinarios (mapeo de fuentes, muestreo de aguas subterráneas y monitoreo de aguas lluvias) y su subsecuente análisis puede proveer la información necesaria para alcanzar los objetivos mencionados antes. La colección de datos puede ser diseñada para maximizar el uso de información existente disponible de las actividades de exploración hidrotérmal en Zuñil, observaciones meteorológicas en Quezaltenango y cualquier otro estudio de recursos de agua subterránea. Una región de 20x20 Km. se sugiere; extendiéndose desde Quezaltenango en el Este y centrada en una orientación Norte-Sur en el volcán Santa María. Estudios específicos de campo deberían enfocarse en investigar la localización, elevación, velocidad de descarga, composición química, temperatura y composición isotópica de los pozos y fuentes encontradas dentro del área de estudio. Un análisis subsecuente podría usar estos datos para constreñir modelos numéricos de flujo de agua subterránea no isotérmico que, a su vez, podría ayudar en determinar la manera en que el transporte advectivo de calor por el flujo de agua subterránea afecta tanto los regímenes térmicos locales como los regionales. En adición, proveería información de base para los estudios del Volcán de la Década, resultados de este proyecto podrían ayudar en las actividades de exploración geotérmica en el campo geotérmico de Zuñil.

Los estudios hidrogeológicos podrían ser coordinados con otras actividades que podrían ser incluidas dentro del proyecto hidrológico o llevados a cabo dentro de otros estudios vulcanológicos. Por ejemplo, mapeo detallado geológico, investigación y mapeo de fumarolas, investigación de gases en el suelo y mapeo de flujo de calor somero podrían ayudar en constreñir modelos del sistema hidrotérmal.

Recomendaciones

- 1) Los estudios hidrológicos propuestos podrían ser diseñados e implementados una vez que sea claro que una secuencia completa de estudios vulcanológicos se llevara a cabo en el Volcán de la Década Santa María.
- 2) A pesar de que el monitoreo no se sugiere en primer instancia una vez que el estudio de base este completo y otros datos vulcanológicos sean obtenidos, podría ser apropiado monitorear las condiciones en una o más localizaciones dentro del área propuesta.
- 3) Los estudios de base hidrológicos deberían ser llevados a cabo por el personal de INSIVUMEH con asistencia del personal del INDE, estudiantes universitarios y científicos extranjeros.
- 4) Los estudios hidrológicos deberían ser financiados como un elemento integral y fundamental del programa del Volcán de la Década.

Aplicación de los Resultados del Estudio

Apesar de que los estudios hidrológicos no ayudan directamente a minimizar los riesgos Volcánicos, los datos resultantes proveerán información necesaria para entender el asentamiento hidrotérmal del volcán Santa María; uno de los trece volcanes con suficiente riesgo de erupciones mayores para merecer la designación de Volcán de la Década.

Proyecto III

Determinación de la Estabilidad Dependiente de Areas de Alteración Hidrotermal Extensa

Objetivos

Fallas con rocas alteradas similares a las encontradas en el deslizamiento de Zuñil en 1991 con valles de paredes empinadas que se caracterizan por tener a lo largo fallas, se encuentra comúnmente en terrenos volcánicos de Centroamérica. La actividad sísmica asociada con el volcanismo activo en la región puede iniciar deslizamientos destructivos de terreno. La estrategia debe ser la desarrollar un mapa de distribución de áreas de alteración hidrotermal extensiva en las cuales pueda generarse actividad de deslizamiento similar a la experimentada en el campo geotérmico de Zuñil en 1991. El mapeo de distribución de rocas de falla alteradas se puede obtener mejor mediante el desarrollo y entendimiento de cómo las sistemas acidos termales activos y fósiles operan en el terreno fallado.

Metodología

Las estrategias para el mapeo de la distribución de rocas de falla alteradas hidrotermalmente puede desarrollarse mediante la definición de la amenaza de deslizamiento a lo largo de una porción de 10 Km. del Valle Samalá centrado en el campo geotérmico de Zuñil, donde ocurrió el deslizamiento de 1991. Las metas deberían incluir:

- Mapeo detallado de fallas y estructuras volcánicas a lo largo del Valle Samalá.
- Mapeo detallado de zonas de alteración hidrotermal.
- Colección y análisis de muestras, tanto de rocas de las fallas alteradas, como no alteradas.
- Investigación de cráteres de explosión hidrotermal.
- Uso de mapas topográficos y fotografías aéreas para identificar áreas dependientes grandes.
- Mapeo de la localización, composición química, temperatura, y caracter isotópico de fumarolas y fuentes termales para determinar su impacto en el desarrollo de debilitamiento de las rocas.

El desarrollo de una estrategia útil para definir el mapa de amenazas requiere la integración y entendimiento de los patrones y velocidades de flujo de fluido en sistemas hidrotermales controlados por fallas. Un ejemplo excelente de un sistema como ese está expuesto en seccion transversal en el escarpe del deslizamiento encontrado en el campo geotérmico de Zuñil. Observaciones detalladas del caracter químico, termal e isotópico de fluidos, gases fumarólicos, gases de suelos y rocas alteradas encontrados dentro del escarpe de deslizamiento ayudarán a identificar la geometría y medida de las regiones de roca alterada que más fácilmente podrían fallar. El hecho de que las fumarolas expuestas por el deslizamiento no fueron identificadas previamente al fallamiento de la pendiente, sugiere que actividad fumarólica escondida podría continuar debilitando las pendientes localizadas.

Recomendaciones

- 1) El estudio propuesto debiera ser implementado inmediatamente, de modo que pueda sacarse ventaja de los afloramientos frescos, expuestos por el deslizamiento de 1991.

2) El mapeo y actividades de muestreo deberá llevarse a cabo por personal del INDE e INSIVUMEH, con asistencia estocionaria de estudiantes universitarios y científicos extranjeros.

Aplicación de los Resultados del Estudio

Este estudio integra actividades de mapeo y análisis hidrológico, geoquímico y geológico dentro de un proyecto diseñado para ayudar a determinar y mímimizar el riesgo de deslizamientos similares al experimentado en el campo geotérmico de Zuñil en 1991.

Conclusiones

Hubo muchas recomendaciones específicas en los resúmenes individuales, pero también hay algunos temas repetidos, muchos de los cuales también se señalan, en las recomendaciones unánimes.

***La necesidad de recolección continua de datos importantes ha sido reiterada por muchos equipos y es vital para la anticipación de eventos volcánicos.**

***La colaboración en equipo de especialistas visitantes con los de Guatemala es esencial y tales colaboraciones deben reconocer y reforzar el hecho de que la mitigación efectiva de peligros requerirá del liderazgo de los guatemaltecos.**

***La comunicación efectiva de la significación de los resultados científicos que atañen a la mitigación de peligros volcánicos para el público general debe ser parte de la misión de los equipos interdisciplinarios, ya que este es un elemento vital para el éxito general de esta empresa.**

***Las agencias e instituciones de Guatemala interesadas en la mitigación de peligros volcánicos deben fortalecerse y alentarse para aunar los recursos y coordinar los esfuerzos.**

General Premise

Volcanic disasters can be greatly ameliorated. Study of a volcano's past, monitoring of its present, and interpretation of its processes help volcanologists to anticipate eruptions. When coupled with the public discussion of hazards, and cooperation from community leaders, these studies can demonstrably avert volcanic disasters. Such prevention is clearly in the national interest of volcanic countries, because the economic and social effects of volcanic disaster are profound. *Volcanic hazard mitigation is a long term effort.* A network of committed people at the local level is critical for success in this effort. The Santa María Workshop has demonstrated great international interest and a network of good will for helping with this effort--*but the real work must come from Guatemala.*

Unanimous recommendations of the Workshop

*A sustained local commitment over a number of years is needed to provide *advanced training for Guatemalan personnel.* Advanced training of specialists is *vital* to develop key personnel who can lead and maintain *continuous* monitoring and hazard awareness from the local perspective.

*These trained people *must* receive the *effective support of Guatemala* (jeeps, gasoline, per diem, salary). If this support is not consistent, international collaboration will be extremely limited.

**Support of the lead organizations* assigned responsibility for mitigation must have a high national priority to make continuous data collection possible and to retain the best people in their jobs.

**Collaboration* between various Guatemalan agencies (INSIVUMEH, CONE, Universities, etc.) who can help put together the best mitigation effort should be *strengthened and encouraged.*

*Acknowledging the progress reached by Guatemala in the areas of both volcanology and seismology as a result of support by CEPREDENAC over the past 3 years, we recommend that *CEPREDENAC fund a volcano surveillance program* for the region and that this should be used to help support volcano surveillance at Santa María. We recommend that both instrumentation and training be components of the program.

Introduction

In 1990, at the start of the International Decade for Natural Disaster Reduction, the International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) began to target a small set of high risk volcanoes, *Decade Volcanoes*, for *intensive, international, interdisciplinary work to improve and demonstrate tools for volcanic disaster prevention.* Why focus work on just a few volcanoes, working with people whom we might not even know? Because there is an exciting and creative synergism in teams with varied expertise and ideas outside our own. Given limited human and funding resources, we can maximize our return, both scientifically and in terms of real disaster prevention by focusing our effort on team projects.

Located in southwestern Guatemala, Santa María is the most notorious volcano in Central America. In October 1902, Santa María was the site of one of the Earth's ten largest historic eruptions. The eruption caused thousands of deaths. Since 1922 volcanic dome extrusion has been occurring from a vent called Santiaguito, located on the SW flank of Santa María. In 1929, pyroclastic flows, apparently resulting from the collapse of the active dome, flowed more than 10 km south of Santiaguito, causing hundreds of deaths and extensive devastation of villages and plantations. Santiaguito has remained continuously active since, and produces vertical ash eruptions, avalanches, lava flows, pyroclastic flows, mudflows and other hazards that are of

concern to rapidly growing populations and commercial development that surrounds the volcano. Because it represents a variety of volcanic hazards, because of its consistent activity, because of its location in a populated region and because of the presence of local organizations dedicated to the mitigation of volcanic disasters, Santa María has been designated as one of 13 Decade Volcanoes in the world by IAVCEI.

On November 7-13, 1993 an international workshop on Santa María was held in Quezaltenango, Guatemala. This workshop included 73 professionals representing 13 countries and many interdisciplinary aspects of volcanic hazard mitigation. The participants accepted a charge to develop an integrated plan for preventing volcanic hazards at Santa María. They divided into 9 teams, formed to focus on particular aspects of the overall theme. Each of the teams had diverse representation and wrote their own objectives, listed methodologies and made recommendations for research efforts that would contribute to the development of an effective plan for hazard mitigation. The teams hope that the plans developed will stimulate the activity of teams of Guatemalans and foreign specialists. The following are the reports of individual teams:

Economic Impact of Volcanic Hazards

Members

- Samuel Bonis, Guatemala
- Gloria Patricia Cortes, Colombia
- Harold Garbeil, United States
- Barry Green, United States
- Shigeru Kitamura, Japan
- María Luisa Monsalve, Colombia
- Hector Monzón, Guatemala
- Hugo Moreno, Chile
- Martha Navarro, Nicaragua
- Fredy Vargas, Guatemala

Objectives

Present to government institutions (banks, ministries, etc.) the economic impact of a volcanic event. This includes economic impact, the human casualties, destruction of infrastructure (monetary loss), and social consequences.

Methodology

- 1) Establish an informal interdisciplinary group, including volcanologists, economists, geographers, engineers, planners, who work as a team, focusing on the existing hazard map.
- 2) Apply the studies of the interdisciplinary group to the hazard map so as to achieve the stated objectives.

Recommendations

- 1) Request appropriate foreign aid to train local professionals who would be able to make the hazard maps, and economic impact studies. We emphasize that the final product should be completely national (local input).
- 2) The present hazard maps should be revised and updated by volcanologists.
- 3) We attach the recommendations of specialists from Chile and Colombia for the analysis of economic impact to be taken into account in future studies.
- 4) We recommend that volcanologists and members of the interdisciplinary team make efforts to provide data on probability concerning volcanological events in order to be more effective in the evaluation of economic impact. Therefore, we recommend that research on probability of dangerous volcanological events be conducted.

***Note**

The team was astonished at the present state of the Santiaguito volcanological observatory. This discovery caused the team to spend a great deal of time in discussion. We recommend the immediate reestablishment of the Seismic Network in order to improve the quality of monitoring and international image.

General and Specific Recommendations by Colombian and Chilean Specialists

- 1) Geological mapping on scale 1:50,000
- 2) Drawing of a very rigorous hazard map on scale 1:50,000
- 3) Form an interdisciplinary team with:
 - *geologists, volcanologists
 - *human geographers and/or sociologists
 - *historians/geographers
 - *specialists in analysis of vulnerability and probability
 - *economists
- 4) Evaluation of economy and human conditions of the area
- 5) Drawing of a map of volcanic hazards

Evaluation of Economic Impact of Eruptions of Santiaguito Dome **Addendum: Chile/Colombia**

Objectives

The evaluation of the economic impact of eruptive activity must have the hazard map as a foundation. The present hazard map is not sufficient as to carry out the evaluation of economic impact of eruptions of the Santa María/Santiaguito volcanos. In order to accomplish this objective it is necessary to complement the existing information with:

- 1) Making a geological map on a scale of 1:50,000.
- 2) Updating and changing of the present hazard map involving the Santa María/Santiaguito Volcano complex.

3) Forming an interdisciplinary team (preferably interinstitutional) with the participation of the following personnel:

- *geologists/volcanologists
- *human geographers and/or sociologists
- *geologists or survey engineers
- *industrial engineers and/or economists
- *geographic historians
- *specialists in analysis of vulnerability

This personnel will be in charge of the following activities:

- *quantify evaluation of the volcanic effects by hazard zones,
- *collect information on population census in the areas which might be affected.
- *collect information on activities, land use, and infrastructure in the potentially affected zones.

Based on the above information, carry out the economic evaluation of the zones potentially threatened by different hazards.

Once the above steps are complete, a volcanic hazard map can be drawn up (understanding risk as: hazard+vulnerability). This map is absolutely necessary for the land use planning, the drawing up of adequate emergency plans, and educational efforts for the community.

Recommendations

- *Formation of interdisciplinary team with interinstitutional participation.
- *By means of international agreements, train geologists/volcanologists in volcanology and risk communication.
- *Make a geological map on a scale of 1:50,000 or 1:25,000 that includes detailed chronostratigraphy of preferably at least 10,000 years.
- *Complement the existing hazard map with all the geological information and historical eruptive chronology available.
- *Disseminate information on the dangers of the Santa María/Santiaguito volcanic complex. Approach the different authorities, present specific projects in order to obtain economic resources sufficient to achieve the proposed goals.

Lahars (Debris Flows)

Members

- Paul Kimberly, United States
- Gerardo Carrasco Núñez, Mexico
- Tom Pierson, United States
- Scott Rowland, United States
- Claus Siebe, Mexico

Introduction

Lahars are rapid, sometimes catastrophic floods of dense mixtures of rock debris and water, that occur in streams that flow from volcanoes. They occur when heavy rainfall or lake-outbreak water floods mix with loose volcanic rock fragments, in sizes ranging from microscopic clay particles to large boulders. In the last decade such flows have caused the deaths of tens of thousands of people. Between 1979 and 1983, lives and property were lost at El Palmar due to lahars from Santa María volcano, and a number of towns, roads, bridges, and agricultural areas are still at risk from future lahars of Santa María.

Objectives

- * *Assess and designate areas that are at risk from future lahars.*
- * Understand the past history of Santa María lahars, in order to predict lahar size and how often they will occur. Studies should determine the worst-case scenario.
- * Provide for effective lahar hazard mitigation.

Methodology

- 1) Assess and mitigate hazards due to lahars.
 - A) *Prepare a lahar-hazard map.*
 - 1) This would identify areas, population, and infrastructure most at risk.
 - B) Develop ways to monitor conditions leading to lahars.
 - 1) Measurement of rainfall intensity and duration.
 - 2) Periodic measurements of river channel conditions.
 - 3) Observation and assessment of potential source material originating from the Santiaguito dome complex.
 - C) Develop ways to monitor lahar occurrence.
 - 1) *Develop an effective warning system for populations that may be at risk.*
 - 2) Regularly monitor the effect of lahars on the channel system.
- 2) Undertake scientific studies to address critical research needs.
 - A) Determine hydraulic type and behavior of previous lahars.

- B) Resolve size, frequency, and triggering mechanisms of previous lahars.
 - C) Identify human and institutional resources to carry out studies.
 - 1) Locally supported projects from institutions including INSIVUMEH and CEPREDENAC.
 - 2) Studies supported by outside institutions including graduate student thesis projects.
 - 3) *Employment of local citizens to assist researchers in order to improve community awareness.*
- 3) Implement effective communications of hazards information.
- A) **Educate** local residents at risk.
 - B) **Educate** local authorities.
 - C) **Educate** state and national civil defense organizations.
 - 1) Encourage coordination between scientific community and emergency management agencies.

Recommendations

- * *Support INSIVUMEH* in the preparation of a hazard map.
- * *Support critical scientific studies* needed to understand Santa María lahar hazards including regular channel surveys and rainfall data collection.
- * *Establish an appropriate warning system* for populations that may be at risk.
- * *Involve local communities in research projects* in order to build a network for hazards communication.
- * *Begin an educational program* on lahar hazards for local residents at risk, local authorities, state and national civil defense organizations.

Intercultural Hazard Communication

Members

- John Carpenter, United States
- Mario Chang, Guatemala
- Carlos E. Gamez, Guatemala
- Jorge Raul Girón, Guatemala
- Alfredo McEwen, United States
- Hugo Moreno, Chile
- Fernando Muñoz, Colombia
- Bill Rose, United States
- Ciro Sandoval, United States

Objectives

General Objectives

- To make use of scientific knowledge in order:
 - To elicit a positive response from the communities facing volcanic phenomena.
 - To improve the decision making process of the Comité Nacional de Emergencia, by means of an active participation of the scientific community in times of volcanic crisis.

Specific Objectives

- To disseminate scientific knowledge of volcanic hazards in a language the general population can understand.
- To encourage appropriate applications of scientific knowledge of volcanoes in order to reorient development programs
- To establish a basis to disseminate scientific knowledge for education and training in the management of volcanic crises.
- To improve the response capacity of the communities facing volcanic crises.
- To favor interdisciplinary work so that it results in a viable definition of volcanic risk.
- To make development programs within volcanic zones contain a study of risk.

Methodology

Actively involve the general population by :

- 1) Promoting meetings of planning + organization with different community sectors.
- 2) Establishing projects of dissemination, education and training for the populations that are affected by volcanic phenomena.

- 3) Designing and applying exercises of simulation of management of volcanic crises with the participation of different community sectors.
- 4) Favoring interdisciplinary work which allows a viable definition of volcanic risk.

Strategies

- 1) To train professionals of different disciplines and persons of different community levels.
- 2) To include the use of technology, such as e-mail.
- 3) To make the organizations undertaking volcanological research allocate part of their budgets to be invested in items such as equipment, infrastructure, personnel training, and others.
- 4) To utilize mass communication media for dissemination of information.

Petrology/Geochemistry

Members

- Barry Cameron, United States
- Michael Jackson, United States
- Luz Luna, El Salvador
- Jim Walker, United States

The primary focus of our group will be the 1902 eruption of Santa María. The eruption involved two very distinct types of magma: one basic (ca. 53 wt.% SiO_2), and one silicic (ca. 66 wt.% SiO_2). This is a common theme of the largest explosive eruptions in Guatemala. Explosive eruptions at Ayarza Caldera, Atitlán Caldera (the Los Chocoyos eruption), and Cerro Quemado, all involved at least two distinct types of magma. Hence, it is very important to understand such mixed eruptions and how they develop because they are so potentially dangerous.

In detail, we hope to learn whether the distinct magmas coexisted for a long time in a chamber beneath the volcano, and are petrogenetically related, or whether the mixing event involved two unrelated magmas and actually triggered the eruption.

These two contrasting scenarios in turn, have very different implications for dome growth and development at Santiaguito, as well as volcanic gas emission, magma movement and storage, volcanic seismicity and petrologic monitoring.

Existing chemical data on the two types of magma include major and trace element analyses on 1902 pumice fragments. We will add Sr, Nd, and Pb isotopic data on pumices, as well as microprobe analyses on minerals in the pumices. The latter will include detailed study of plagioclase zonation, amphibole occurrence and composition, and their significance for magma mixing.

We think it is important as part of the investigation to include study of the "mafic xenoliths" in the dome lavas of Santiaguito as indicators (residues?) of magma mixing, and of the pre-1902 pyroclastics of Santa María for evidence of earlier mixing events. Major element, trace element, mineralogic and Sr, Nd and Pb isotopic study of the products of both pre- and post-1902 eruptions will complete our understanding of magma mixing and its influence on explosive eruptions at Santa María/Santiaguito.

We strongly recommend such a petrologic/geochemical study of the 1902 eruption and further recommend the following petrologic/geochemical studies to complement existing information and add to our knowledge of how Santa María works:

- 1) A melt inclusion study of the 1902 magmatic components, and of the Santiaguito lavas and pyroclastics to determine pre-eruptive volatile contents, and how they change with time.
- 2) A crystal growth study of plagioclase in the domal lavas of Santiaguito to estimate magmatic residence time below the surface.
- 3) A U-Th disequilibrium study of the phenocrysts in the lavas and pyroclastics of Santa María/Santiaguito to estimate magmatic residence time below the surface.
- 4) A complete major element, trace element, isotopic, and geochronologic study of the lavas and pyroclastics of the older volcanic foundation of Santa María in order to completely understand the magmatic evolution of the region.
- 5) A combined radiogenic/stable isotopic study of the lavas and pyroclastics of Santa María in order to completely understand the magmatic evolution of Santa María and to explain its sodium-rich nature.
- 6) Continued monitoring of the petrology/geochemistry of the products of Santiaguito to hopefully anticipate any chemical changes foretelling changes in the magmatic substructure.
- 7) A Nd isotopic study of the products of Santa María, seeking out evidence of isotopic changes before large explosive eruptions.
- 8) A geochemical comparison of Santiaguito and the dome at Cerro Quemado, including the use of melt inclusions, to ascertain what, if any, chemical characteristics influence endogenous versus exogenous dome growth.

Volcanic Gases

Members

- Tobias Fischer, United States
- Eduardo Gutiérrez, El Salvador
- David M. Harris, United States
- Martin Heiligmann, United States
- Erick Fernández Soto, Costa Rica
- Vince Realmuto, United States

Introduction

The Santa María Workshop provided the possibility to assess the value of volcanic gas monitoring to supplement other approaches of monitoring. Santiaguito's activity is presently characterized by small and numerous explosions with essentially no emissions of blocks and only a small proportion of ash in the eruption columns. At present these small eruptions are of no hazard. Since the eruptive style of the volcano may change over time due to increased magmatic input or other factors, it is necessary to continuously monitor the volatiles released by the system. This will improve forecasting larger and hazardous eruptions. Volcanic gases, hot springs, and radon can provide information about subsurface conditions related to magmatic and hydrothermal systems.

The chief value of sampling and analyzing fluid phases in volcanic environments is due to the role of volatiles as propellants for eruptions (magmatic, phreatic, and phreatomagmatic) and as potential quantitative indicators of subsurface processes including crystallization, magma ascent, fracture development, and fluid/rock interactions. We emphasize the importance of an integrated approach which involves sampling, analyzing, and interpreting the fluid phase observations through modeling the governing processes.

Objectives

- 1) Obtain baseline measurements of elemental fluxes of S, Cl, C, of presumed magmatic origin for use in monitoring, prediction, and modeling magma dynamics.
- 2) Monitor temporal changes in S/Cl, S/F, and C/S in volcanic gas as possible indicators of changes (magma intrusion, vent sealing, depth of degassing) in the magma system, which may later be useful in eruption forecasting.
- 3) Measure and detect temporal changes in the daily and weekly fluxes of total volatiles by steam and ash eruptions. Direct estimates of sulfur fluxes during steam and ash eruptions may be obtained from COSPEC measurements. Remote determination of the fluxes of other important species is not yet routine.
- 4) Rates of radon gas leakage from subsurface magma bodies may vary temporally due to changes in production rates or storage of carrier gases (i.e. H₂O and CO₂) and changes in the fracture system at magma body margins. Radon gas monitoring should be evaluated for its potential in detecting pressure build up and fracture development before eruptions.
- 5) Volcanic gas emissions should be correlated with other contemporary geophysical observations including deformation, seismicity, gravity, and crustal strain.

Recommendations and Methodology

Frequent sampling of volcanic gases from fumaroles on Santiaguito dome is extremely dangerous and not recommended. The hazards include eruptions, ash flows, pyroclastic flows, rock avalanches, and fog (getting lost). The potential information obtainable from a few gas samples probably does not justify the risk.

If any monitoring instruments are placed on Santiaguito dome they should be simple, light weight, capable of rapid installation, and should not require maintenance at intervals of less than six months.

Hot Spring Water Chemistry

Water samples of warm and hot springs at the base of Santiaguito dome should be collected on a weekly basis. The samples should be analyzed for pH, temperature, and chemical composition to obtain a database of spring chemistry and to detect changes in SO_4 , Cl, and F concentrations possibly related to volcanic activity and magmatic volatile input. Analyses should be made by either titrations or selective ion electrodes. Possible involvement of local university students is also recommended.

Sulfur Dioxide Flux Measurements (COSPEC)

The Flux of SO_2 at Santiaguito should be measured by COSPEC on at least three consecutive days every three weeks when there is no change in seismic or eruptive activity. The flux of SO_2 should be measured more frequently (e.g. every day) if the SO_2 flux or eruptive activity increases by a factor of two, until the cause of the change is known.

The remote sensing of volcanic gas emissions is primarily based on measurements of SO_2 with the correlation spectrometer (COSPEC). The guatemalan government (INSIVUMEH) owns a COSPEC, but the cost of deploying the instrument limits its usage. We strongly recommend that the COSPEC surveys of Santiaguito be given a higher priority. Weekly surveys can serve to both establish a baseline flux of SO_2 and to detect deviations from this baseline.

Fourier Transform Spectroscopy of Plumes

Fourier transform infrared spectrometers (FTIR) may allow remote detection of several constituents in the plume from Santiaguito. SO_2 and HCl have been detected by this method in other volcanic plumes. Future capabilities of FTIR may include H_2SO_4 , CO_2 , and water vapor. The present disadvantage of FTIR is the difficulty in reducing the measurements to estimates of plume concentrations. Whereas the COSPEC has a direct read out of the SO_2 column concentration in the field of view, the FTIR measurements must be corrected with radiative transfer models. This added complication may be offset by the ability to remotely detect and measure several plume constituents with a single instrument. After further development, this technique may contribute to improved monitoring at Santiaguito.

Volcanic Ash Leachate Measurements

Ash samples should be collected at times of increased explosive activity to obtain leachates. Ash must be collected before rainfall. The leachates can be analyzed by the same methods as recommended for analyses of water samples.

Cloud Liquid Water Sampling and Analyses

An experimental system for collecting and analyzing cloud liquid water for SO_4 , Cl, pH, and other constituents should be developed, installed, and operated continuously at the Santa María volcano observatory. The system should automatically collect cloud liquid water from fog and clouds which have a trajectory over the active gas vents on Santiaguito dome and arrive at a fixed collection system. The sample collector would open and close depending on wind direction and meteorological conditions. Chemical analyses would be performed at one to five day intervals using microchemical methods (e.g. specific ion electrodes). This technology relies on using cloud liquid water to collect volcanic gases and aerosols. Optimum siting of the collector requires a long-term field study of the wind field at possible sites.

Rainfall Sampling and Analyses

Rainfall data should be collected at the observatory (and other sites), and analyzed for SO_2 , Cl, and pH by using selective ion electrodes. This method relies on rainfall scavenging of volcanic gas and aerosols in the atmosphere in the vicinity of the observatory.

Radon Monitoring in Soil and Hot Springs

Radon gas exsolves early from the magma, leaks from the magma chamber, and escapes diffusely through the edifice of the volcano. Depending on the equipment and the requirements, radon can be measured continuously or in intervals in volcanic soil or hydrothermal springs. Once a baseline for volcanic degassing has been established, changes in the degassing pattern of the volcano can be monitored and evaluated. Temporal variations in ground radon fluxes can be compared with other monitoring data, including seismicity, tilt, strain, and activity.

Practical Field Recommendations

In order to keep logistics and costs to a minimum, several monitoring systems should be set up at one location, if scientifically possible. For example a seismograph or inclinometer could serve also as a location for collecting ash or rainwater samples.

Dome Growth

Members

- Steve Anderson, United States
- Karen Bemis, United States
- Michael Conway, United States
- Gloria Patricia Cortes S., Colombia
- Luke Flynn, United States
- Richard Harwood, United States
- Zinzuni Jurado-Chichay, United States
- Johannes Obenholzner, Austria
- Michael Ort, United States
- Claus Siebe, Mexico
- Lee Siebert, United States

Objectives

Since 1902 volcanism at the Santa María-Santiago volcanic complex has caused the deaths of over 5000 Guatemalans, and both directly and indirectly caused deaths and destruction of agricultural lands along the Río Nimá I & II, and Río Samalá drainages. Our principal objective is to recommend a course of monitoring to mitigate volcanic hazards from Santa María-Santiago. At the present, volcanic hazards at the complex stem largely from activity at Santiaguito dome. It is essential, therefore, to: 1) understand the nature of dome growth and pyroclastic eruption at Santiaguito from its birth in 1922 to the present; and 2) to identify the hazards associated with these eruptive processes. This includes heretofore undocumented hazards that, although not observed at Santiaguito, have occurred at other domes, and thus are a potential hazard at Santa María-Santiago.

The Santiaguito dome is a compound dome comprising four major vents. Dome growth has consisted of alternating exogenous (effusive outpouring of dacite lava flows), and endogenous (dome inflation) periods (Rose 1972). At present, activity is dominated by effusion of blocky lava flow down the east and southeast slopes of Caliente and by quasi-periodic phreatic or phreatomagmatic explosions. Powerful Vulcanian eruptions are sparse, but at least 15 such eruptions occurred from 19 July 1989 to November 1990. On 19 July 1990, four hikers from Quezaltenango were killed by a lateral blast from a powerful pyroclastic eruption.

Methodology

Before discussing techniques for monitoring activity at the dome it is necessary to briefly describe the volcanic hazards associated with dome growth.

The principal hazards directly associated with dome growth include:

Dome collapse -- Collapse of domes typically results in catastrophic debris avalanche events (e.g. 1150 BP collapse at nearby Cerro Quemado). The resulting avalanche can flow tens of kilometers downslope burying or sweeping away everything in its path. Edifice collapse at domes is commonly triggered by seismic events or intrusion of fresh magma into the edifice. Although large scale edifice collapse has never occurred at Santiaguito, the combination of steep slopes, a brecciated infrastructure, hydrothermal alteration, and occasional seismicity make dome collapse potentially likely at the dome.

Pyroclastic flows -- Historically pyroclastic flows from Santiaguito have traveled several km to a maximum of 12 km. Hot Pyroclastic flows (> 500 C) originate in several different ways including: Vulcanian eruption, plug collapse, collapse of blocky lava flows descending steep slopes, and collapse at the toe of lava flows. The 1929 pyroclastic flow killed hundreds of people, and destroyed property along the Río Nimá I & II drainages as far south as El Palmar.

Lava flows -- Lava flows move too slowly to threaten human, but they can destroy property. Viscous dacite lava flows, such as those that effuse from Santiaguito, rarely travel more than several kilometers and thus lava flows from the dome are unlikely to threaten present agricultural lands in the Río Nimá drainage. However, powerful explosions occurring at the distal toe of dacite lava flows are capable of producing hot pyroclastic flows capable of traveling many kilometers downvalley.

Mass wasting -- In the last several years photographic evidence reveals alarming erosional degradation of the north slope of Santiaguito. Wide scale erosion was first noted in February 1990 on the El Monje, La Mitad and El Caliente vents. On the basis of photographic evidence, the area on the north slope affected by mass wasting had increased from about 24,000 m² to nearly 90,000 m². Since February 1990 erosion of the north slope has migrated laterally to include more of El Caliente and now includes El Brujo vent. Erosion on the south slope is not as extensive and fresh, erosional scarps are not as common. At present, erosion on the northwest flank of El Caliente vent appears to be undermining large Peléan spines at the summit.

The causes of this sudden increase in mass wasting are poorly known. One hypothesis is that magma intrusion into La Mitad and El Monje inflated the central part of the dome producing radial fractures along which sluffing of unconsolidated volcanic breccia occurred. A second hypothesis is that the combination of climate, dome age and the nature of dome deposits, and the probable presence of a strong hydrothermal system with subsequent through-going hydrothermal alteration results in dome instability and erosional breakdown. As large volumes of material are removed by erosion it becomes increasingly more likely that the infrastructure of the dome could collapse.

Collapse at Santa María -- The highly oversteepened south face of Santa María could potentially collapse. Such an event would send a debris avalanche sweeping over Santiaguito, potentially destroying the dome and depressurizing the feeding magma chamber. This could result in a catastrophic lateral blast event similar to the one that occurred on 18 May 1980 at Mt. Saint Helens.

Monitoring Techniques

In this section we describe methods to provide fundamental data on past and present dome growth at Santiaguito. The majority of the methods are low cost, require little training, and could be accomplished by employees of INSIVUMEH stationed at Guatemala City and the Santiaguito Volcano Observatory.

1) Meteorological station

At least 15 powerful pyroclastic eruptions occurred at Santiaguito from August through November 1990. The eruptions were coincident with the rainy season. A correlation exists between climate and volcanic eruptions at other domes (e.g. Mt. Saint Helens). Measurements of meteorological data -- amount and velocity of rainfall, barometric pressure, temperature, humidity, wind direction and velocity, cloud cover -- at the Santiaguito Volcano Observatory is necessary to determine dome response to climate.

2) Photographic history of the dome.

Information from dated photographs and videotapes should yield dome volumes and profiles and locations and style of eruptive activity through time, and provide a better understanding of the role of exogenous versus endogenous growth. This in turn could provide data on the nature and probability of hazards associated with both types of growth.

A systematic photographic program using three dedicated sites is essential to documenting continued evolution of Santiaguito. Periodic videotapes of the dome and the 1902 explosion crater would be an important complement to this program.

3) Visual Observation of the dome

Since November 1990 trained INSIVUMEH personnel employed have observed the dome daily and recorded the time and nature of vertical eruptions, rock avalanches, etc. This monitoring is essential for recognizing a change in dome behavior.

4) Deformation

Dome deformation is a principal indicator of change in dome growth pattern. A geographical position system (GPS) or electronic distance meter (EDM) would provide essential data on subtle changes in dome morphology and provide an early-warning system of potentially hazardous dome behavior.

5) Topographic base maps

It is possible, and inexpensive, to produce topographic base maps from aerial photographs. The data resolved in large scale topographic maps provides a baseline with which to monitor the effects of mass wasting as well as dome growth.

6) Satellite imagery

AVHRR satellites carrying thermal detectors fly over the volcanic highlands of Guatemala twice daily. Digital thermal imagery of Santa María-Santiago is probably available through the National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) and can be acquired through NOAA NESDIS. Image analysis would provide quantitative data on radiances that can be used to infer emitting areas temperatures of the El Caliente vent.

7) Analysis of ash

The size, shape, and composition of ash reflects the role of magmatic versus phreatomagmatic gases in pyroclastic eruptions. This in turn provides information on the state of the volcano.

8) Comparative study of Cerro Quemado

The Cerro Quemado dome complex is located 5 km north of Santiaguito. Despite possessing similar geochemical compositions and being of similar age, the eruptive style of the two domes is quite different. Petrologic and geochemical studies of the domes may provide clues to explain this difference.

Recommendations

We recommend the following actions should be taken immediately to effectively monitor growth at Santiaguito, to reconstruct the historical evolution of the dome, and to mitigate volcanic hazards at the dome. Most of our recommendations can be met by the trained staff of the Volcanological, Seismological, and Meteorological sections of INSIVUMEH, provided that basic equipment (vehicles, 35 mm camera and tripod, meteorological equipment, etc.) and supplies (gasoline, film, sampling bags, etc.) are available.

1) We recommend the installation of a meteorological station at the Santiaguito Volcano Observatory. This station should include basic meteorological equipment: rain gauge, wind gauge, barometer, thermometer, and an instrument that measures humidity. Data should be gathered 3 or 4 times daily.

2) We highly recommend daily or weekly photographs and stereo pairs of the dome and the 1902 explosion crater be taken from several sites. Suitable sites include: Santiaguito Volcano Observatory, Hotel Magermann, and the summit of Santa María. The latter site provides excellent coverage of the active vent of El Caliente.

The cost of several cameras, tripods, lenses, and film is probably well under \$700. Moreover, on occasion some film makers donate equipment in order to reap promotional benefits. We suggest that the head of the volcanology section of INSIVUMEH solicit camera or film companies for donated materials.

3) We strongly recommend deploying geographical position system equipment , tiltmeters, and electronic distance meter on Santiaguito. We further recommend deploying deformation equipment near the scarp of the 1902 explosion crater in order to monitor slope stability. This equipment should be monitored by observatory personnel.

4) Local volunteers from the fincas and towns near Santa María-Santiaguito are important potential resources. In the past, villagers of Llano del Pinal provided Dr. Richard Stoiber with valuable data on changes in behavior of Santiaguito. We recommend recruiting villagers and farmers for gathering ash and making observations of the dome.

5) USGS facilities in Flagstaff are capable of rapid production of large scale topographic base maps from aerial photographs. We recommend aerial photographs of Santa María-Santiaguito from 1940 on, available from Michigan Technological University and the Smithsonian archives, be used to produce topographic base maps.

6) In 1929 the Santiaguito dome was considerably smaller than it is now, yet it produced the largest pyroclastic flow at the dome. The origin of this pyroclastic flow is poorly known. We recommend geologic mapping should be combined with geochemical, petrographic, and stratigraphic studies to allow for inference of the origin and potential hazard from pyroclastic flows at Santiaguito.

7) NOAA distributes numerical data from AVHRR overflights. We strongly recommend that the directors of INSIVUMEH contact NOAA NESDIS about obtaining images of Santiaguito.

8) It is essential to install and maintain a seismic net of 4-6 seismometers around Santiaguito. The information gathered by the net will provide important constraints on the magma system beneath the dome.

9) Facilities for scanning electron microscope (SEM) for the analysis of ash are available at the Geological Survey of Austria (Inst. Geowissenschaften/Prospektion). Dr. Obenholzner of the institute has offered free analysis of fresh ash samples. We recommend that INSIVUMEH personnel make it a habit to collect ash whenever possible and mail the ash to Dr. Obenholzner for analysis.

10) We recommend that a study of the interaction between the groundwater system and dome growth mechanisms be conducted.

Monitoring and Forecasting

Members

- Gustavo Fuente Alba, Chile
- Rafael Barquero, Costa Rica
- Gustavo Chigna, Guatemala
- David Harlow, United States
- Andy Lockhart, United States
- Eduardo Malavassi, Costa Rica
- Rodolfo Morales, Guatemala
- Milton Ordoñez, Colombia
- Mario Ruiz, Ecuador
- Rodolfo Van der Laat, Costa Rica

The members of the group received information from the colleagues of INSIVUMEH about the state of volcanic surveillance on the Santa María/Santiaguito volcano. The situation can be summarized in the following manner: the systematic and periodic measurements on the volcano have been deteriorating through time due to the shortage of operational resources which INSIVUMEH now faces. The volcanic surveillance is limited at the present time to the observation of the site from a building located on "El Faro" Finca and undertaken by a local observer with little training in volcanology who operates a radio to communicate with INSIVUMEH. At the same site, a portable seismograph is in operation. This seismograph is the only one installed around the volcano due to the fact that two seismographic stations with telemetry which used to function in the vicinity of the volcano are no longer operating. In addition to this, the economic situation does not allow functionaries of the INSIVUMEH to carry out regular visits for activity follow-up. Basic data sets of deformation and geochemistry have been interrupted.

The main problem that makes volcanic surveillance difficult or almost impossible is the low budget for operation and the shortage of resources on which INSIVUMEH relies. The situation is desperate in the matter of financial resources which the country must allocate, since international aid cannot contribute resources for operational expenses. It is lamentable that in a situation that at an international level supports the acquisition of equipment for the scientific and technical institutions of the region, in the fields of volcanology and seismology such resources can be lost because of lack of appropriate national allotments. We recommend that the national authorities of Guatemala review priorities for the prevention of volcanic eruption hazards in order to allocate adequate resources that will make possible the organization and implementation of volcanic surveillance. Once the national allotment is established it is possible that international and scientific cooperation can provide for the necessary resources so that the Santa María/Santiaguito Complex can have a volcanological observatory with scientific personnel permanently assigned to it. This would make possible the organization of an observation post and a permanent field station. From the observatory in the field station, a program will be executed for the investigation of volcanology that complements the efforts made in volcanic surveillance. The scientific and international community can make a very important contribution in the definition of the research program in volcanology whose coordinator should be INSIVUMEH. Also, it is possible that the efforts undertaken by INSIVUMEH in the field of volcanic surveillance be complemented with the aid and cooperation of foreign scientists.

Volcanic Surveillance Programs

The participants believe that the monitoring program should implement the following methodologies: seismology, deformation, geochemistry, and in situ follow-up of the activity in order to guarantee a successful program of surveillance. This monitoring program can be complemented by means of other methodologies.

Short-term Measures

In order to guarantee a reactivation of this volcanic surveillance, it is necessary to undertake steps leading to governmental (Guatemala) intervention by allocating an adequate budget in the field of operational expenses (transportation and per diem expenses) of the functionaries. There are other alternatives for INSIVUMEH leading to the implementation of efforts for allocation of a robust national budget. These are the incorporation of other institutions in national allocation programs in the field of volcanology such as universities, and state and private enterprises. This incorporation could be established by means of interinstitutional agreements.

Short-term Goals

Once existing opportunities for training on short and mid-term bases are detected (CEPREDENAC, VCAT, OVSICORI-UNESCO), we consider it important to take advantage of this opportunity in order to optimize the training of personnel involved. We should try to take advantage of those opportunities that provide experience proceeding from other observatories and in practical field work (training by doing).

- 1) Operation of permanent seismographic station with telemetry capable of transmitting to INSIVUMEH headquarters.
- 2) Operation of permanent portable station in the observatory Finca El Faro.
- 3) Maintain a permanent observation on non-specialized personnel.
- 4) Establish follow-up visits of three and four days duration by scientific personnel each two to four weeks.
- 5) Establish distance-measuring lines by means of the EDM to various reflectors located at the domes.
- 6) Follow-up on deformation of dome borders by means of a theodolite.
- 7) Initiate measurements of SO₂ with COSPEC each time it is believed to be convenient, according to the behavior of the volcano.

Long-term Goals

Long term goals require a well-established policy in the field of professional training and formation of scientists abroad. This should facilitate the Guatemalans' training abroad inasmuch as they can retain working stability, economic stability, and incentives to return to their country. In some years it is desirable that foreign scientists who work on the Santiaguito complex include Guatemalans in the interpretation of data. It is fundamental that the personnel trained for the observatory have post-graduate degrees in specialized areas from universities abroad.

- 1) Seismology: a seismic network of five to seven stations with telemetry and parallel transmission to Guatemala City and to the Finca El Faro observatory is needed in order to be able to establish correlations between the seismic and eruptive activities of the volcano. Two of the stations must have at least three components.

2) Deformation: installation of at least two electronic inclinometers with telemetry in places in which they can register the deformations. Measurements of horizontal distances as well as the profiles of dome borders should be intensified and made continuously.

3) Geochemistry: periodic measurements with a COSPEC should be implemented on those occasions in which the volcano suggests important changes. The possibility of undertaking geochemical and other forms of surveillance such as the measurement of radon emission with transmission in real time to a registration center should be explored.

4) In order for a volcanic surveillance program to be successful on a long-term basis, the presence of permanent technical personnel at the observatory is fundamental. The ultimate goal is to gradually increment personnel to full-time status. In addition, the number of days per month of work for a scientist specializing in volcanic activity should be gradually increased. At the same time, a synthesis of all used methodologies should also be conducted so that a diagnosis of the state of volcanic activity can be obtained at every moment so that these methodologies lead to the development of a good forecasting capability.

5) In order to benefit neighboring communities, it is essential to establish a warning system for the lahars which allows the triggering of alarms in real time when these lahars may occur. This warning system must function in connection with the observatory and must have a radio communication system that allows for communication with the CONE authorities.

6) The international community can make a very important contribution by providing the required equipment for volcanic surveillance, and by complementing the efforts made in this field by INSIVUMEH. This can be accomplished by means of new or experimental methodologies, and by the establishment of research programs which cover other aspects in the field of earth sciences. In order to make this viable, the existence of a field station is needed to operate in parallel with the observatory. These institutions must have electrical power, drinkable water, adequate sanitary services, a space to house personnel from INSIVUMEH, as well as foreign scientists. The observatory must be a register center for telemetric data which allows for observation of eruptive activity parallel with the observation of registers. It is desirable that the field station have radio communication and telephone capabilities.

Once the volcanic surveillance is reestablished and a political decision supports a long-term commitment with the international community, then INSIVUMEH will be able to pave the road for active participation of the international community in the study of Santa María/Santiaguito volcanoes. This would implicate the possibility of establishing a foundation for the participation of national and international entities and personalities in the search for economic resources to maintain and strengthen the Santiaguito observatory.

Since CEPREDENAC has financed the construction of the observatory and since within the next three years possibilities can arise for the organization of training regional centers, it is appropriate to work toward the declaration of Santiaguito as a regional operating and training center. For this reason it is absolutely necessary to reestablish volcanic surveillance and to begin to draw up the long-term program we have proposed above.

Volcano/Tectonic Seismology

Members

- Michael Carr, United States
- Gustavo A. Chinga, Guatemala
- Mauricio Ciudad Real, El Salvador
- Gustavo Fuente Alba, Chile
- Federico Güendel, Costa Rica
- Steve Jordi, Switzerland
- Héctor Monzón, Guatemala
- Leonel Morales, Guatemala
- Wilfred Strauch, Nicaragua
- Fredy Vargas, Guatemala

The working team believes that there are two important aspects to be evaluated, according to the framework given for the Santa María/Santiaguito volcanic complex. These aspects are:

1) The present state of the seismologic surveillance of the complex:

Personnel in charge of maintenance of the seismographic network in Guatemala indicate that the station which has been maintaining surveillance on has ceased to function because of problems of interference. The origin of these problems is not yet known. This station fulfills another purpose which is to survey seismicity of the Western Region of Guatemala where stations have ceased to operate as well, due to lack of resources for proper maintenance (per diem and transportation). At present, there is only one portable seismograph located in the Santiaguito observatory.

2) Necessary recommendations to guarantee an appropriate level of surveillance:

The minimum necessity to be fulfilled is the installation of a seismographic network in surrounding areas of the volcanic complex (10 or 15 kilometers) with a station near the crater and additional four distributed nearby. Three of these, including the one near the crater, must at least have a horizontal component. In total we are speaking here of a network with eight channels for seismographic register. This would allow for not only a coverage of the activity produced by the volcano but also for the activity which is tectonically generated. This will allow coverage of a region (i.e.. Western Guatemala) which at the present moment lacks any whatsoever.

We recommend that all signals be sent to the observatory and that a vertical component (the one located near the crater) be sent to INSIVUMEH.

Required Equipment Costs

Five vertical stations	\$35,500
Three horizontal components	\$12,300
TOTAL (FBO)	\$47,800

Objectives

- 1) Monitor the seismicity of the complex.
- 2) Help with tectonic seismic surveillance by supporting coverage of national seismographic network for the western part of Guatemala.

Methodology

Daily follow-up of registered activities by complex network, separating that activity which occurs mainly within the network from that which proceeds from the signals emanating from the complex.

Recommendations

- 1) Locate the site for seismographic register within the facilities of INSIVUMEH in Quezaltenango.
- 2) Maintain actual site for surveillance of Santiaguito cone by allocating for such a purpose a portable seismograph (.....Solar Panel). Maintain radio communication between both sites.
- 3) Installation of seismographic network of five stations, three of which will have at least a horizontal component for a total of eight channels. One of these stations should be installed as close as possible to the active crater and the other four within a radius of 10-15 km.
- 4) Installation of station at register center of intermediate periods (5 seconds).
- 5) Installation of RSAM system in order to establish a methodology for forecasting of eruptions.
- 6) Obtain infrastructural support in order to guarantee operations of register center (i.e. small electric plant, LKW, solar panel and batteries).
- 7) Seek training for personnel of observatory or register center.
- 8) Require that INSIVUMEH provide matching funds, such as operational and maintenance costs, per diem, vehicles, and personnel salaries.

Volcano-Groundwater Interaction

Members

- Bernardo Beate, Ecuador
- Zinzuni Jurado-Chichay, United States
- Craig Forster, United States
- Dina Lopez, Canada
- Luz Luna, El Salvador
- Guillermo Moran, El Salvador
- Alfredo Rene Roldan Manzo, Guatemala
- Carlos Pulinger, El Salvador
- Sharon Templeton, United States

Introduction

The volcano-groundwater interaction study group was charged with the task of identifying hydrogeology-related projects that would complement volcanological research at the Santa María Decade Volcano. Although four project ideas are proposed, none stands alone as a hydrogeology-specific study. Each project, however, supports one or more aspects of the volcanological studies.

Project I

Evaluating Explosive Activity at Santiaguito Dome

Overall Objectives

The overall goal of this project is to evaluate the mechanics of explosive activity at Santiaguito Dome and to assess the probability for explosions to trigger dome collapse. A more detailed description of the overall project objectives are provided by the "Dome Growth" study group.

Objectives of Complementary Hydrologic Studies

The objectives of the proposed hydrologic studies include:

- 1) estimating phreatic levels in the vicinity of the dome,
- 2) assessing changes in chemical and thermal conditions within the dome as indicated by changes in groundwater chemistry, temperature, and isotopic signatures
- 3) estimating the volume of subsurface water passing through the dome,
- 4) evaluating possible relationships between explosive activity and both short and long-term variations in rainfall.

Methodology

Relatively routine hydrology studies (spring mapping, groundwater sampling, and rainfall monitoring) and subsequent analyses can provide the information needed to attain the objectives outlined above. Data collection must be closely coordinated with the concurrent volcanological observations (e.g., soil gas and fumarole surveying and sampling, video recording of explosions and eruptions, characterizing eruptive products, and monitoring both seismic activity and dome growth) outlined by the "Dome Growth" study group.

The hydrology studies should emphasize characterizing the input, output, and throughput of heat, fluid, and solutes through the dome area. Precipitation falling within the 1902 crater and adjacent slopes of Santa María volcano likely forms the primary source of water moving through the dome. Estimates of total annualized rainfall and seasonal variations in rainfall can be obtained by monitoring rainfall near the dome (perhaps by locating a rainfall gage near the Hotel de Magermann). An automatic monitoring station that requires little attention throughout the year would provide the detailed record needed to evaluate the way that temporal variations in rainfall might influence variations in explosive activity. Finances and manpower permitting, it would be preferable to have a complete meteorological station established near the dome and a least four automatic rainfall gages deployed on the slopes of the Santa María volcano. Adopting this strategy would provide a better description of rainfall distribution near the dome and the complementary meteorological data (air temperature, wind speed, etc.) that should be collected as base line information for use by those involved in the Santa María Decade Volcano studies.

Total fluid output, and temporal variations in the volume of fluid output, can be estimated by measuring rates of fluid discharge from springs located downslope from the dome and by measuring discharge rates of streams found in the headwaters of the Río Nimá I & II and the Río El Tambor. Difficulties associated with maintaining automatic monitoring equipment suggests that these observations are best made manually during frequent and regular visits by field personnel. Spring and streamflow gaging data would be augmented by estimates of fluid losses occurring through evaporation and explosive activity at the dome.

Rates and patterns of groundwater flow are controlled in part by the phreatic level within both the Santa María volcano and the Santiaguito dome. Locating the elevations of both cold and hot springs near the dome and on the adjacent slopes of Santa María will provide a basis for estimating minimum elevations of water levels in the immediate vicinity of the dome. This information will aid in assessing the depth of eruptive phreatic activity and provide insight into the hydraulic gradients that drive fluid flow through the dome. Obtaining reasonable estimates of fluid fluxes through the dome will assist in computing a thermal energy balance because a significant percentage of heat entering the dome is likely dissipated by advective transport in the groundwater flow system.

Monitoring temperature, chemistry, and isotopic characteristics of several thermal springs located immediately downslope of the dome may provide direct indications of changes in chemical and thermal regimes within the dome that, in turn, may presage important changes in explosive activity. Because anecdotal information suggests that measurable changes in spring temperature and discharge rate will be found on a seasonal basis, it will be important to make frequent observations (at least 20 times per year) to separate dome-related variations from those caused by the background seasonal variations.

Data collected in the proposed study should be used to construct plausible conceptual (and possibly numerical) models of fluid flow and heat transfer at the site of the active volcanic dome. Modeling studies that incorporate a simplified representation of the physical processes should yield insight into the way that different hydrothermal regimes might lead to ultimate dome collapse.

Recommendations

- 1) The proposed hydrologic studies should be designed and implemented in concert with associated volcanological studies of dome growth at Santiaguito Dome.
- 2) The monitoring activities should be carried out over at least a two year period in order to provide a reasonable basis for assessing the possible magnitude of seasonally-derived variations in our observations.

- 3) Regular monitoring should be carried out by INSIVUMEH staff with seasonal assistance from university students and foreign scientists.
- 4) A minimum effort should include at least twice-monthly visits to manually collect rainfall data, groundwater samples, and measure spring and stream flows.
- 5) The field-based hydrologic studies should be funded as an integral part of the dome growth studies, or at least as a clearly connected companion study.
- 6) Follow-up modeling studies might best be carried out by INSIVUMEH staff or university students within training programs supervised by foreign scientists.

Application of Study Results

This hydrologic study does not directly produce an assessment of the probability that explosive activity at Santiaguito dome will trigger a dangerous dome collapse, rather supporting information needed to make such an assessment is obtained.

Project II Baseline Hydrogeology Studies

Objectives

Baseline studies of the regional and local groundwater flow systems should be implemented to better assess how groundwater flow systems might modify thermal regimes, influence local hydrothermal systems, and influence deep-seated volcanic processes in the vicinity of the Santa María volcano. These studies should form an integral component of a full-fledged sequence of volcanological studies carried out as part of the Santa María Decade Volcano studies.

Methodology

Relatively routine hydrology studies (spring mapping, groundwater sampling, and rainfall monitoring) and subsequent analyses can provide the information needed to attain the objectives outlined above. Data collection must be designed to maximize the use of existing information available from geothermal exploration activities at Zúñil, Meteorological observations at Quezaltenango, and any groundwater resource studies. A 20 by 20 km region is suggested; extending from Quezaltenango on the east and centered, in a north-south orientation, on the Santa María volcano. Specific field-based tasks should focus on surveying the location, elevation, discharge rate, chemistry, temperature, and isotopic signature of all wells and springs found within the study area. Subsequent analysis would use the data to constrain numerical models of non-isothermal groundwater flow that, in turn, would aid in assessing the way that advective transport of heat by groundwater flow influences both regional and local thermal regimes. In addition to providing baseline information for the Decade Volcano studies, results of this project would assist geothermal exploration activities at the Zúñil geothermal well-field.

The hydrologic studies should be coordinated with other activities that could be included within the hydrology project or carried out within other volcanological studies. For example, detailed geological mapping, fumarole surveying and sampling, soil gas surveys, and shallow heat flow mapping would assist in constraining models of the hydrothermal system.

Recommendations

- 1) The proposed hydrologic studies should be designed and implemented once it is clear that a full-fledged sequence of volcanologic studies will be carried out for the Santa María Decade Volcano.
- 2) Although monitoring is not suggested at first, once the baseline survey is complete and other volcanological data are obtained, it may be appropriate to monitor conditions at one or more locations within the proposed study area.
- 3) The baseline hydrologic studies could be carried out by INSIVUMEH staff with assistance from INDE staff, university students, and foreign scientists.
- 4) The hydrologic studies should be funded as an integral and fundamental element of the Decade Volcano program.

Application of Study Results

Although this hydrological study does not directly assist in minimizing volcanic hazards, the resulting data provide information needed to better understand the hydrothermal setting of Santa María volcano; one of 13 volcanoes with sufficient risk of major eruptions to warrant designation as a Decade Volcano.

Project III Slope-Stability Assessments in Areas of Extensive Hydrothermal Alteration

Objectives

Altered fault rocks similar to those found at the 1991 Zúñil landslide are likely to be found along the fault-bounded sides of steep-walled valley found in the volcanic terrain of Central America. Earthquake activity associated with active volcanism in the region may trigger destructive landslides. Strategies must be developed to map the distribution of areas of extensive hydrothermal alteration that can lead to landslide activity similar to that experienced at the Zúñil geothermal well-field in 1991. Mapping the distribution of altered fault rocks is best accomplished by developing an improved understanding of how current and former hydrothermal systems operate in faulted volcanic terrain.

Methodology

Strategies for mapping the distribution of hydrothermally altered fault rocks can be developed by defining the landslide hazards along a 10 km portion of the Samalá Valley centered on the Zúñil geothermal well-field where the 1991 landslide occurred. Tasks should include:

- detailed mapping of faults and volcanic features along the Samalá Valley
- detailed mapping of zones of hydrothermal alteration
- mapping of previous landslide scarps
- collecting and analyzing samples of both altered and unaltered fault rocks
- searching for hydrothermal explosion craters
- using topographic maps and aerial photographs to identify areas of steep slopes
- mapping the location, chemistry, temperature, and isotopic character of fumaroles and thermal springs to assess their impact on the development of weak rocks

Developing a useful strategy for defining the hazards map requires integrating an understanding of the patterns and rates of fluid flow in fault-controlled hydrothermal systems. An excellent example of such a system is exposed in cross section at the landslide scarp found at the Zúñil geothermal well-field. Detailed observations of the chemical, thermal, and isotopic character of fluids, fumarolic gases, soil gases, and altered rocks found within the landslide scarp will assist in identifying the geometry and size of regions of altered rock most likely to fail. The fact that fumaroles exposed by the landslide were not identified prior to slope failure, suggests that hidden fumarolic activity may continue to weaken slopes located in similar environments.

Recommendations

- 1) The proposed study should be implemented immediately in order to take advantage of the fresh exposures exhumed by the 1991 landslide.
- 2) Mapping and sampling activities should be carried out by INSIVUMEH and INDE staff with seasonal assistance from university students and foreign scientists.

Application of Study Results

This study integrates hydrological, geochemical, and geological mapping activities and analyses within a project designed to help assess and minimize the risk of landslides similar to the one experienced at the Zúñil geothermal well-field in 1991.

Conclusions

The workshop teams had many specific recommendations in the individual summaries, but there are some repeated themes, many of which are also noted in the unanimous recommendations:

- *The need for *continuous collection of important data* is reiterated by many teams, and is vital for anticipating volcanic events.
- *The collaboration of visiting specialists with Guatemalans in teams is essential, and such collaborations should recognize and reinforce the fact that effective hazard mitigation will require a leadership role by Guatemalans.
- *Effective communication of the significance of scientific results concerning volcanic hazard mitigation to the general public should be part of the mission of interdisciplinary teams, because this is a vital element for overall success of this enterprise.
- *The Guatemalan agencies and institutions interested in volcanic hazard mitigation should be strengthened and encouraged to pool their resources and to coordinate their efforts.