



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO



Proyecto de formación aplicada a los Escenarios de Riesgo con la medición y monitoreo de los fenómenos volcánicos, sísmicos e geohidrológicos en América Central (RIESCA)

Progetto regionale di formazione applicata agli Scenari di Rischio con la Sorveglianza e il Monitoraggio dei fenomeni Vulcanici, Sismici e Geoidrologici in Centro America (RIESCA)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



IGG-CIGEO
INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA
UNAN-MANAGUA



Informe Jornada 5

en Guatemala y El Salvador,

(noviembre y diciembre 2018), de clausura del segundo año del proyecto

y de Proyecto IILA/RIESCA/Costa Rica

Redactado en diciembre 2018, por:

Abel Alexei Argueta Platero (UES) y Eduardo Gutiérrez (MARN/OA)

Coordinado por: Giuseppe Giunta (UNIPA)

*Los reportes de los talleres temáticos han sido elaborados por los especialistas designados por los grupos:
Griselda Marroquín-MARN/OA (Sismología); Amelia García Castro -MARN/OA (Sismotectónica);
Eduardo Gutiérrez-MARN/OA y Dolors Ferrés-UNAM (Volcanología);
Jacqueline Rivera- MARN/OA y Miguel Hernández-UES (Geohidrología)*

Contenido

1. Introducción	2
2. Antecedentes	3
2.1 Programación de la Jornada Plenaria 5	5
en El Salvador	7
3. Desarrollo actividades de RIESCA en Sismología, Sismotectónica, Vulcanología y Geohidrología	10
3.1. SISMOLOGIA.....	10
3.2. SISMOTECTÓNICA.....	21
3.3. VULCANOLOGIA.....	35
3.4. GEOHIDROLOGÍA	65
4. Avances con la Sinergia entre instituciones y Protección Civil	79
4.1. Propuesta de actividades con la Dirección General de Protección Civil a realizar en el 2019.....	80
5. Resumen de las Actividades Administrativas realizadas durante el segundo año de proyecto RIESCA (2018)	81
6. Conclusiones	82
7. Proyecto IILA/RIESCA/Costa Rica	86
7.1. Informe de la misión a Costa Rica del 1 al 5 de diciembre de 2018.	86
8. Boletines y notas informativas	89

1. Introducción

El presente informe contiene la síntesis del trabajo desarrollado en Centro América desde septiembre hasta diciembre 2018 como parte de la jornada 5, también contiene el informe conclusivo del segundo año del proyecto RIESCA

Como parte del proyecto RIESCA, se desarrollaron a lo largo del año múltiples actividades encaminadas a fortalecer las interacciones interinstitucionales para mejorar tanto la generación de información mediante el acompañamiento de especialistas italianos en las diversas ramas de intervención como lo son: Sismología, Sismotectónica, Vulcanología y Geohidrología, así como también la utilización e implementación de la misma por parte de las instituciones que la utilizan como Protección Civil, Universidades y otros.

Dentro de esta lógica, las mesas temáticas han desarrollado a lo largo del proyecto material técnico por parte de los especialistas de los diversos países participantes.

Es importante señalar que el acompañamiento de la Protección Civil de los diferentes países se ha mantenido constante a lo largo de los dos años de desarrollo del proyecto con el objeto de capacitar a la institución en la generación de información.

Otro punto a resaltar fue la integración de instituciones como OVSICORI (Costa Rica), IILA (Italia) y UNAM (México), quienes se interesaron en formar parte de la tarea de fortalecer las capacidades técnicas dentro de la región mediante el apoyo de especialistas a las diferentes mesas temáticas de competencia.

2. Antecedentes

Durante el desarrollo del segundo año de actividades cada una de las mesas temáticas trabajaron en base a un plan de actividades planteadas en la tercera jornada plenaria realizada en enero.

Las actividades desarrolladas se coordinaron con el acompañamiento de los especialistas italianos, esto con el objetivo de mejorar las metodologías para la creación de la información. Se presentaron algunos acontecimientos que generaron algunas dificultades particulares en los países participantes RIESCA como Nicaragua y Guatemala y Honduras, uno de los objetivos perseguidos durante la jornada 5 fue superar los inconvenientes para terminar los productos planificados durante jornadas anteriores.

Todo el avance por mesa temática se aborda en cada capítulo a detalle dentro de este informe. Cada avance en materia de datos se ha colocado sistemáticamente dentro del espacio de Aula Virtual (<http://eduvirtual.cimat.ues.edu.sv/>) accesible también dentro de la página web del proyecto (<http://proyectoriesca.agronomia.ues.edu.sv>) para poder estar disponible en el futuro para así programar actividades de seguimiento futuras y servir también de referencia para los técnicos involucrados.

Al ingresar al Aula Virtual lo primero que se encuentra es una presentación resumida del proyecto para el usuario que se ha unido al proceso de trabajo de RIESCA que pretende alojar o descargar cualquier tipo de información de la plataforma. Esto se muestra en la Figura 1a.

↑

Proyecto RIESCA - Resumen



El nuevo proyecto RIESCA propone consolidar la red interuniversitaria entre las Universidades de Palermo (UNIPA), de El Salvador (UES), de Guatemala (USAC), de Nicaragua (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) y de Honduras (IHCIT/UNAH), con la colaboración italiana del Instituto Nacional de Oceanografía y Geofísica Experimental (OGS) y del Instituto de Geociencias y Georecursos del Consejo Nacional de Investigaciones (CNR/IGG), mejorando las habilidades de los técnicos del sector y la integración entre el Ministerio del Medio Ambiente – Observatorio Ambiental (MARN), de la Protección Civil de El Salvador, del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) y del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala, de la Comisión Permanente de Contingencias (COPECO) de Honduras; del Sistema Nacional Prevención de Desastres (SINAPRED) y el Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) de Nicaragua. Asimismo, está prevista la colaboración de la Agenzia Spaziale Italiana (ASI) y de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS).

La intervención no está dirigida directamente al sistema universitario público Centroamericano, pero a través de esto propone firmemente mejorar las capacidades de las Instituciones en la vigilancia y monitoreo de las peligrosidades naturales, por la reducción de la vulnerabilidad ambiental en la región (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua) para un desarrollo territorial sostenible.

RIESCA en la Internet

<http://coopit-acc.org/proyecto-regional-de-formacion-aplicada-a-los-escenarios-de-riesgo-con-el-control-y-el-monitoreo-de-los-fenomenos-volcanisossismos-geo-hidrologios-riesca/>

<http://www.eluniversitario.ues.edu.sv/5397-2017-02-28-21-00-37>

<http://www.unan.edu.ni/index.php/noticias/igg-cigeo-participa-en-proyecto-italiano-riesca/>

<http://www.lapagina.com.sv/nacionales/125880/2017/02/28/El-Salvador-se-prepara-ante-posible-riesgo-de-fenomenos-volcanicos>

Figura 1a. Estructura de trabajo en Aula Virtual

En un apartado siguiente se encuentra una estructura ordenada de acuerdo a los países participantes que permite organizar la información generada y proceder con el seguimiento de los procesos y aportes nuevos a lo largo del desarrollo del trabajo.

Es necesario aclarar que esta estructura ha sido depurada a lo largo de los años de trabajo en RIESCA y que, gracias a los aportes de cada especialista usuario, el trabajo en la plataforma se ha vuelto una actividad muy sencilla de realizar.

En la Figura 1b se muestran los nombres que las carpetas de cada país reciben, y las cuales alojan toda la información generada, también se muestra en la Figura 1c un ejemplo de la estructura de trabajo para cada país.

Biblioteca Virtual RIESCA El Salvador	Carpetas: 6
Biblioteca Virtual RIESCA Guatemala	Carpetas: 6 URLs: 2 Archivo: 1
Biblioteca Virtual RIESCA Nicaragua	Carpetas: 6
Biblioteca Virtual RIESCA Honduras	Carpetas: 6
Biblioteca regional	Carpetas: 7

Figura 1b. Estructura de trabajo en Aula Virtual



Figura 1c. Estructura de trabajo para cada país

Dentro de la estructura de carpetas creadas se encuentra una especialmente destinada a alojar información de carácter regional que involucra tanto textos, datos generados y trabajados dentro de RIESCA, así como también el conjunto de informes generados durante el desarrollo de las diversas jornadas de trabajo, la estructura de dicha carpeta de muestra a continuación en la Figura 1d

Biblioteca regional

- Vulcanología
- Sismología
- Geohidrología y geología
- Comunicación para Protección Civil
- En proceso
- Resultados
- Informes

Figura 1d. Carpeta Regional

2.1 Programación de la Jornada Plenaria 5

La programación de la Jornada se ha realizado en dos etapas obedeciendo a la importancia para algunos países por acontecimientos surgidos a lo largo del año, tal es el caso de Guatemala país en el cual la erupción del volcán Fuego se presentó el 3 de junio de 2018.

La jornada se desarrolló en dos sedes en diferentes fechas:

- Guatemala del 19 al 24 de noviembre
- El Salvador del 26 al 30 de noviembre

La jornada de Guatemala también sirvió de preámbulo para el trabajo desarrollado en El Salvador el cual tenía como objetivo concluir con el segundo año de actividades del proyecto encaminadas a desarrollar información para cada mesa temática, a continuación, se presentan las agendas de cada sede en detalle.

2.1.1 Programa de la Jornada 5 del 18 al 24 de noviembre de 2018 en Guatemala

<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Actividad</i>	<i>Lugar</i>	<i>Encargado</i>
<i>Sábado</i> 17		<i>Llegada delegación italiana</i>	<i>Aeropuerto internacional de Guatemala</i>	<i>Julio Luna y Personal CESEM</i>
<i>Domingo</i> 18		<i>Llegada de las delegaciones italianas y Centroamericanas</i>	<i>Aeropuerto Internacional de Guatemala</i>	<i>Julio Luna y Personal CESEM</i>
<i>Lunes</i> 19	<i>9:00 am – 9:30 am</i>	<i>Sismología-sismotectónica</i> <i>Bienvenida y apertura de las actividades de la temática: SISMOLOGÍA Y SISMOTECTÓNICA</i>	<i>Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC</i>	<i>Julio Luna y Personal CESEM</i>
	<i>9:30 am 12:30 m</i>	<i>Sismología-sismotectónica</i> <i>Estado del arte y perspectivas de MARCA-GEHN, la base de datos macrosísmicos de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua</i> <i>Caracterización de fallas sismogénicas</i> <i>Resumen de las operaciones realizadas para la recolección y validación de los primeros terremotos.</i>	<i>Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC</i>	<i>Julio Luna Laura Peruzza Eliana Espósito</i>
	<i>12:30 a 14:00 horas.</i>	<i>ALMUERZO</i>		
	<i>14:00 a 17:00 horas</i>	<i>Sismología-sismotectónica</i> <i>Definición de prioridades en la recolección de datos para 2019, e inclusión de países vecinos</i>	<i>Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC</i>	<i>Julio Luna Laura Peruzza Eliana Espósito David Monterroso, Alan Cosillo</i>
<i>Martes</i> 20	<i>9:00 a 12:30 horas</i>	<i>Sismología-sismotectónica</i> <i>Herramientas para la informatización y archivo bibliográfico.</i> <i>Caracterización de fallas sismogénicas</i> <i>Potencial de usar los datos recopilados para</i>	<i>Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC</i>	<i>Julio Luna Laura Peruzza Eliana Espósito</i>

		<i>generar escenarios de daños en tiempo real.</i>		
	14:00 a 17:00 horas	<p>Sismología-sismotectónica Estado del arte y perspectivas de las redes sismométricas y acelerométricas de los países Centroamericanos. Presentación de la situación en 2018 en los distintos países.</p> <p>Definición de prioridades en términos de capacitación del personal (por ejemplo, específicamente en el software Seiscomp3), intercambio / intercambio de datos, análisis de los datos observados.</p>	Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC	Julio Luna David Monterroso, Alan Cosillo
	14:00 a 17:00 horas	<p>Vulcanología Escenarios de amenaza volcánica por flujos de lava Llegada de la delegación italiana (23:00 horas)</p>	Salón INSIVUMEH Aeropuerto internacional de Guatemala	Dolors Ferres Carla Chun Carla Gordillo
Miércoles 21	9:00 a 17:00 horas	<p>Sismología-sismotectónica Estado del arte y perspectivas de la sismotectónica y la amenaza sísmica Presentación del último modelo realizado en la GEM (CCARA). Videoconferencia con representante GEM (por confirmar)</p>	Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC	Julio Luna Laura Peruzza Eliana Espósito David Monterroso, Alan Cosillo
	8:30 – 12:00 horas	<p>Vulcanología Reunión sobre monitoreo volcánico en el volcán de Fuego (Situación actual)</p>	Salón INSIVUMEH	Carla Chun Carla Gordillo
	13:30 a 17:00 horas	<p>Estudios en desarrollo y propuestos para el Volcán Pacaya</p>		
	8:30 – 17:00 horas	<p>Reuniones administrativas-financieras para Auditoría</p>	Facultad de INGENIERIA-USAC	Giovanna Maselli Antonino Serafini
Jueves 22	06:00 a 18:00 horas	<p>Vulcanología, Sismología y Sismotectónica Visita de campo: VOLCAN DE FUEGO Evaluación de campo en los depósitos de PDC's de la erupción del 3 de junio. Visita a las estaciones de monitoreo. Mediciones de gases en el observatorio del volcán de Fuego.</p>	Gira de campo INSIVUMEH	Carla Chun Carla Gordillo
	8:30 a 17:00 horas	<p>Reuniones administrativas-financieras para Auditoría</p>	Facultad de INGENIERIA-USAC	Giovanna Maselli Antonino Serafini
Viernes 23	9:00 a 17:00 horas	<p>Sismología-sismotectónica Iniciativas para mejorar el modelo y uso a nivel nacional. Definición de áreas sismogénicas</p>	Salón de Rocas y Minerales del CESEM - FIUSAC	Julio Luna Laura Peruzza Eliana Espósito David Monterroso,

Viernes 23		Escenarios de peligros y daños. Análisis y propuestas para el manejo de emergencias sísmológicas y volcánicas		Alan Cosillo
	06:00 a 18:00 horas	Vulcanología Visita de campo. VOLCAN DE PACAYA Flujos de lava recientes. Mediciones de SO2 con cámara UV Mediciones con el multigas	Gira de campo INSIVUMEH	Carla Chun Carla Gordillo
	8:30 a 17:00 horas	Reuniones administrativas-financieras para Auditoría	Facultad de INGENIERIA- USAC	Giovanna Maselli Antonino Serafini
		Reuniones con autoridades de la Universidad de San Carlos USAC, INSIVUMEH, CSUCA (Horas Por confirmar)	Ciudad de Guatemala	Julio Luna Giuseppe Giunta Abel Argueta
Sábado 24	9:00 a 13:00 horas.	REUNION PLENARIA EN SALON DE INSIVUMEH (PROGRAMA ESPECIAL)		Julio Luna Giuseppe Giunta Abel Argueta

2.1.2 Programa de la Jornada 5 del 26 al 30 de noviembre de 2018 en El Salvador

Fecha	Hora	Actividad	Lugar	Coordinación
Domingo 25		Llegada de las delegaciones Centroamericanas e Italiana a El Salvador	Aeropuerto Internacional Monseñor Romero Terminal de autobus	Abel Argueta
Lunes 26	9:00 a – 11:00 horas	Reunión Genaral, Para coordinación de talleres temáticos	UES, Auditorio del Edificio de Posgrado de Agronomía	Miguel Hernández Abel Argueta Giuseppe Giunta
	13:00 a 17:00 horas	Geohidrología Evaluación de datos de inventarios de deslizamientos de cada país, y de cada área piloto Evaluación de la información cartográfica sistematizada de cada país, y de cada área piloto	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Miguel Hernández Edoardo Rotigliano
	13:00 a 17:00 horas	Vulcanología Mapas probabilísticos de amenaza por caída de ceniza y flujos de lava	Sala de reuniones MARN	Eduardo Gutiérrez Alessandro Aiuppa Raffaello Cioni Dolors Ferres Rodolfo Olmos Agustín Hernández
	13:00 a 17:00 horas	Sismología – Sismotectónica Profundización del estado del arte y perspectivas de MARCAS-GEHN Caracterización de fallas sismogénicas	Sala de reuniones MARN	Griselda Marroquín Eliana Esposito Amelia García Esteban Chaves
	14:00 a 16:00 horas	Reuniones Administrativas - Financeras para Auditoría	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Abel Argueta Miguel Hernandez Paola Turchuetta Antonio Serafini Administración Agronomía

Martes 27	<i>Hora a confirmar</i> 10 horas	<i>Reunión Misión Italiana en Embajada de Italia y Cooperación Italiana</i> <i>A confirmar</i>	<i>Embajada de Italia</i>	<i>Giuseppe Giunta</i> <i>Miguel Hernández Abel</i> <i>Argueta</i>
	9:00 a 17:00 horas	Geohidrología <i>Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos a partir de modelos estadísticos del área piloto (caso datos de El Salvador)</i> <i>Validación de los mapas de susceptibilidad a deslizamientos</i>	<i>UES, Facultad de Ciencias Agronómicas</i>	<i>Miguel Hernández</i> <i>Edoardo Rotigliano</i>
	9:00 a 17:00 horas	Vulcanología <i>(Grupo 1) Preparación de insumos para simulaciones probabilísticas de caída de ceniza y flujos de lava</i> <i>(Grupo 2) Monitoreo Multigas y toma de muestra agua laguna cráterica</i>	<i>Sala de reuniones MARN</i> <i>Volcán Ilamatepec</i>	<i>Eduardo Gutiérrez</i> <i>Dolors Ferres</i> <i>Alessandro Aiuppa</i> <i>Raffaello Cioni</i> <i>Maarten Demoor</i> <i>Rodolfo Olmos</i> <i>Agustín Hernández</i>
	9:00 a 17:00 horas	Sismología-Sismotectónica <i>Actualiación de base de datos macrosísmicos</i>	<i>Sala de reuniones MARN</i>	<i>Griselda Marroquín</i> <i>Eliana Esposito</i> <i>Amelia García</i>
	14:00 a 16:00 horas	<i>Reuniones Administrativas - Financeras para Auditoría</i>	<i>UES, Facultad de Ciencias Agronómicas</i>	<i>Abel Argueta</i> <i>Miguel Hernandez</i> <i>Paola Turchuetta</i> <i>Antonio Serafini</i> <i>Administración Agronomía</i>
Miercoles 28	<i>Hora a confirmar</i> 10 horas	<i>Reunión Observatorio Ambiental MARN</i> <i>A confirmar</i>	<i>Sala de Reuniones MARN</i> <i>(a confirmar)</i>	<i>Celina Kattán</i> <i>Giuseppe Giunta</i> <i>Manuel Díaz</i> <i>Abel Argueta</i>
	9:00 a 17:00 horas	Geohidrología <i>Verificación de campo del mapa de susceptibilidad a deslizamientos del área piloto en El Salvador</i>	<i>UES, Facultad de Ciencias Agronómicas</i>	<i>Miguel Hernández</i> <i>Edoardo Rotigliano</i>
	9:00 a 17:00 horas	Vulcanología <i>(Grupo 1) Preparación de insumos para simulaciones probabilísticas de caída de ceniza y flujos de lava.</i> <i>(Grupo 2) Monitoreo Multigas</i>	<i>Sala de reuniones MARN</i> <i>Volcán Ilamatepec</i>	<i>Eduardo Gutiérrez</i> <i>Dolors Ferres</i> <i>Alessandro Aiuppa</i> <i>Raffaello Cioni</i> <i>Maarten Demoor</i> <i>Rodolfo Olmos</i> <i>Agustín Hernández</i>
	9:00am a 17:00 horas	Sismología – Sismotectónica <i>Actualización de base de datos macrosísmicos</i> <i>Definición de áreas sismogénicas</i>	<i>Sala de reuniones MARN</i>	<i>Griselda Marroquín</i> <i>Eliana Esposito</i> <i>Amelia García</i> <i>Luis Castillo</i>
	<i>Hora a confirmar</i> 15 horas	<i>Visita Directora Ejecutiva OPAMSS</i> <i>A confirmar</i>	<i>Oficina de OPAMSS</i>	<i>Alex Chávez</i> <i>Giuseppe Giunta</i> <i>Abel Argueta</i> <i>Miguel Hernández</i>
	14:00 a 16:00 horas	<i>Reuniones Administrativas - Financeras para Auditoría</i>	<i>UES, Facultad de Ciencias Agronómicas</i>	<i>Abel Argueta</i> <i>Miguel Hernandez</i> <i>Paola Turchuetta</i> <i>Antonio Serafini</i> <i>Administración Agronomía</i>
Jueves 29	9:00 a 12:30 horas	<i>Transmision de datos técnicos a Proteccion Civil para mejorar la actividad de prevencion</i>	<i>UES, Facultad de Ciencias Agronómicas</i>	<i>Abel Argueta</i> <i>Miguel Hernandez</i> <i>Representantes Protec.Civil</i> <i>Coordinadores de las mesas tematicas</i>

				Giuseppe Giunta Luis Castillo
	<i>Hora a confirmar</i> 10 horas	Visita a Decano Agronomía y Rector Universidad de El Salvador A confirmar	Rectoría UES	Giuseppe Giunta Jannete Bulnes Abel Argueta Miguel Hernández
Jueves 29	14:00 a 17:00 horas	Geohidrología Elaboración de informe y de la presentación final	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Miguel Hernández Edoardo Rotigliano
	14:00 a 17:00 horas	Vulcanología Elaboración de informe y de la presentación final	Sala de reuniones MARN	Eduardo Gutiérrez Alessandro Aiupa Raffaello Cioni Dolors Ferrer Rodolfo Olmos Agustín Hernández
	14:00 a 17:00 horas	Sismología – Sismotectónica Definición de prioridades en la recolección de datos para 2019, e inclusión de países vecinos. Potencial de usar los datos recopilados para generar escenarios de daños en tiempo real.	Sala de reuniones MARN	Griselda Marroquín Eliana Esposito Amelia García Esteban Chaves Luis Castillo
	<i>Hora a confirmar</i> 15:00 horas	Visita Director Protección Civil A confirmar	Dirección General de Protección Civil (a confirmar)	Abel Argueta Eduardo Gutiérrez Giuseppe Giunta
	14:00 a 16:00 horas	Reuniones Administrativas -Financeras para Auditoría	UES, Facultad de Ciencias Agronómicas	Abel Argueta Miguel Hernandez Paola Turchuetta Antonio Serafini Administración Agronomía
Viernes 30	9:00 a 12:30 horas	Evento protocolario de cierre de la jornada y clausura del segundo año RIESCA (Con la participación de: Rector y Prorectora UNIPA, Rector UES, Decano Agronomía UES, Ministra de Ambiente, Directora MARN/OA, Director Protección Civil, Directora OPAMSS Agencia Coop.IT.) (Programa especial)	UES, Auditorio del Edificio de Posgrado de Agronomía	Giuseppe Giunta Abel Argueta Eduardo Gutiérrez
	14:00 a 16:30 horas	Presentación por cada mesa de los avances , y Página Web y Discusion general Elaboración del Informe final de la Jornada y Programación 2019	UES, Auditorio del Edificio de Posgrado de Agronomía	Giuseppe Giunta Abel Argueta Eduardo Gutiérrez
Sábado 01 y domingo 02 diciembre	Todo el día	Salida de las delegaciones Intervenciones hacia Costa Rica y sus países de origen		Abel Argueta

3. Desarrollo actividades de RIESCA en Sismología, Sismotectónica, Vulcanología y Geohidrología presentado en la Jornada 5

3.1. SISMOLOGIA

3.1.1. Introducción

En el periodo del 19 al 30 de noviembre de 2018, se realizó la 5ª jornada plenaria del proyecto RIESCA, en Guatemala del 19 al 24 y en El Salvador del 26 al 30. En donde participaron miembros de las diferentes instituciones de los países que conforman el proyecto RIESCA (ver apartado 3.2.10). Con el fin de realizar una revisión de los avances alcanzados en el año 2018, tanto en el establecimiento de metodologías comunes, generación del base de datos de fallas geológicas, mecanismos focales, datos macrosísmicos, etc. Así como la identificación de las actividades prioritarias a realizarse en el año 2019, para poder alcanzar los objetivos establecidos en dicho proyecto.

3.1.2. Antecedentes

Tomando en cuenta los Informes de la Jornada 3 realizada en enero de 2018 y de la Jornada centroamericana realizada en septiembre de 2018, se menciona en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para mostrar de manera más clara el avance del año 2018.

Para el 2018, las principales actividades programadas fueron:

a) Mejorar los datos sismológicos existentes en los países involucrados en el Proyecto con las siguientes sub actividades:

- Verificar la calidad de los datos macrosísmicos ingresados hasta ahora en la plataforma para consolidar el archivo de datos macrosísmicos.
- Mejorar la localización / magnitud / intensidad epicentral de los 10 o 15 sismos relevantes que tienen datos macrosísmicos, buscando la mejor información que se tenga de esos sismos. Así se revisará el catálogo sísmico para obtener relaciones fiables entre los efectos (intensidad) y la energía (magnitud), para sismos corticales y de subducción.
- Algunos mecanismos focales, y sismogramas originales, serán también objeto de investigación.
- Definir un logo que identifique a la base macrosísmica, se hará un proceso de consulta entre el grupo de Sismología.
- En conjunto con el grupo sismotectónica mejorar los mapas epi/hipocentral, de mecanismos focales, elaborar mapas de fallas activas y sus características, para actualizar las áreas sismogénicas a nivel regional.
- Para la evaluación preliminar de la respuesta sísmica local, se lanzó por la Universidad de Chieti una campaña de prospección geofísica en algunos sitios considerados representativos y significativos de los contextos geológicos y geomorfológicos de la ciudad de San Salvador.
- En particular, se eligieron 5 sitios para los cuales hay un buen conocimiento del subsuelo. En estos sitios, en el pasado, se llevaron a cabo estudios geognósticos y geofísicos (down hole). En algunos de estos sitios también hay agujeros equipados con sensores acelerómetros en profundidad y en la superficie.
- La campaña de estudios geofísicos consistirá en mediciones de ruido ambiental (mediciones HVSR) y prospección MASW

- Escoger una metodología de transferencia de informaciones sísmicas a los Sistemas de Protección Civil, para mejorar la gestión de prevención.

b) maximizar la transferencia de informaciones sísmicas desde/a los Sistemas de Protección Civil, para mejorar la gestión de las fases de prevención y emergencia con las siguientes sub actividades:

- Promover y apoyar la recopilación de informaciones relevantes a efectos de protección civil, en caso de próximo sismo
- Elaborar el mapa de intensidades sísmicas observadas
- Generar un formato para recolectar la información macrosísmica de los próximos sismos que ocurrirán, formato común a los cuatro países
- Comprender como los efectos de sitio enlazan con la información macro sísmica colectada
- Instruir a grupos de “voluntarios centinela” para compilar y reportar los efectos observados ante la ocurrencia de un sismo.
- Para propósitos experimentales, se desarrollarán mapas de escenarios de peligrosidad sísmica en áreas metropolitanas, a fin de proporcionar un instrumento de gran importancia para la evaluación de escenarios de riesgo locales y / o regionales, y un producto de uso inmediato para varias aplicaciones locales de Protección Civil.

c) poner las primeras bases para el desarrollo de un sistema de “early warning target oriented”, diseñado sobre la actual capacidad de monitoreo de los países de RIESCA (actividad, inicialmente no prevista en el diseño de RIESCA):

- Eventualmente combinar las capacidades de una red unificada de estaciones sismológicas y acelerográficas, y el monitoreo de un objetivo específico (ej. el área metropolitana), se puede obtener teóricamente el tiempo de anticipo antes de la salida de las ondas sísmicas más destructivas.

- En la planificación futura a largo plazo, sería apropiado, por lo tanto, realizar un mapeo del área marina (de El Salvador, y posiblemente de países vecinos) mediante el uso de Multibeam, en el rango de -50 a -2000 m de profundidad del agua, para producir un mapa batimétrico detallado que será implementado en modelos de simulación de olas de tsunami.

Algunas de las actividades que se plantearon a desarrollar durante el año 2018 fueron:

- Mejorar los datos sismológicos existentes en el área de los países involucrados en el Proyecto RIESCA y ponerlo a disposición de la comunidad sismológica internacional
- Maximizar la transferencia de informaciones sísmicas desde/a los Sistemas de Protección Civil, para mejorar la gestión de las fases de prevención y emergencia.
- Colocar las primeras bases para el desarrollo de un sistema de “early warning target oriented”, diseñado sobre la actual capacidad de monitoreo de los países de RIESCA.

Algunas de las tareas en las que se ha avanzado simultáneamente han sido las siguientes:

- Integración de nuevos datos sismológicos en la caracterización de fuentes en fallas de áreas con fines de peligro sísmico (Área sismotectónica)
- Integración de nuevos datos sismológicos en la caracterización específica del sitio de áreas metropolitanas (Área geología)
- Construcción de un archivo prototipo de puntos de datos macrosísmicos para los países involucrados en el proyecto RIESCA, para verificar, validar y actualizar los

parámetros de algún terremoto dañino (a partir de los productos existentes más recientes, GEM, CCARA) para establecer conjuntos de datos sismológicos comunes.

3.1.3. Estado del avance de la base de datos macrosísmicos

Los datos macrosísmicos representa la "fotografía" de los efectos causados por un sismo en el territorio; tanto la información esencial referida al sismo (por ejemplo, hora de origen, ubicación hipocentral, magnitud, etc.) y a los sitios (por ejemplo, coordenadas, intensidad macrosísmica asignada a esa localidad). La mayoría de estos datos se han recopilado en el año 2018, utilizando un formulario de Google Earth. Esta base de datos macrosísmicos ha sido nombrada con el acrónimo, MARCA-GEHN (Macroseismic Archive of Central América - Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua).

Para referenciar cada sismo a un código de identificación único se ha utilizado los códigos asignados en los catalogo de ISC-GEM, ISC-Bulletin y GHEA (Global Historical Earthquake Archive). Para referenciar cada sitio con intensidad macrosísmica asignada se ha utilizado los diferentes niveles administrativos (país, región, departamento, municipio, localidad), así como un código, latitud, y longitud, obtenidos de la base de datos geográfica GeoNames.

La metodología utilizada consiste en:

1. Identificación de fuentes de información
2. Inserción en un formulario en línea
3. Primer control, visualización y revisión por cada terremoto
4. Segunda revisión y complementos de otras fuentes
5. Visualización final y enlace en las tablas de terremotos y referencias.

En la actualidad MARCA-GEHN, consiste en: Tablas de lugares e intensidades para cada sismo, mapas en formato de Google Earth, fuentes bibliográficas, catálogo de sismos analizados (en proceso).

Tal como se indica en el Cuadro 1, a noviembre de 2018, se han recopilados 1312 punto de intensidad, correspondiente a 37 sismos. Los datos provienen de diferentes fuentes, entre ellos documentos históricos, informe interno, artículos científicos, cuestionarios en línea del USGS (did you feel it), en la medida de lo posible se ha tratado de consultar las fuentes primarias. En la Figura 2 se muestra la distribución de los puntos de intensidad recopilado por cada país.

Evento	GUATEMALA	EL SALVADOR	HONDURAS	NICARAGUA
1816	59			
May 03, 1830	1			
May 05, 1870	2			
1902	33	2	1	
Mar 08, 1913	2			
Jul 14, 1930	1			
May 06, 1951		26		
May 03, 1965	1	14		
Dic 23, 1972				72
1976	80 shpx			
Jun 19, 1982	3	21	1	1
Oct 10, 1986		24		
Abr 1, 1996				13
Jul 6, 2000				56
Sep 23, 2007			10	

Ago 30, 2008			6	
May 28, 2009		18	69 + 87	
Jun 06, 2009			18	
Jun 30, 2009			9	
Ene 11, 2010			18	
Ene 11, 2010			12	
Jul 26, 2011	1			
Feb 06, 2012			9	
Feb 07, 2012			7	
Ago 08 2012			7	
Nov 7, 2012	150			
Abr 10, 2013			9	
Jul 8, 2013	6	24	1	
Dic 13, 2013	2	23		2
Abr 10, 2014				149
Abr 14, 2014				126
Oct 14, 2014		35	25	
Abr 10, 2017	1	14		
Jun 14, 2017	3			
Sep 8, 2017	5			
Ene 3, 2018	3	19		
Ene 10, 2018			39	
Total	1312	181+172	218+2	221+106
				419

Cuadro 1: Cantidad de puntos de intensidad macrosísmica correspondiente a cada sismo y distribución de datos por país. En negro los datos provenientes de informes o documentos históricos, en azul los datos provenientes de los cuestionarios del USGS (did you feel it). En rojo los datos introducidos entre septiembre y noviembre de 2018.

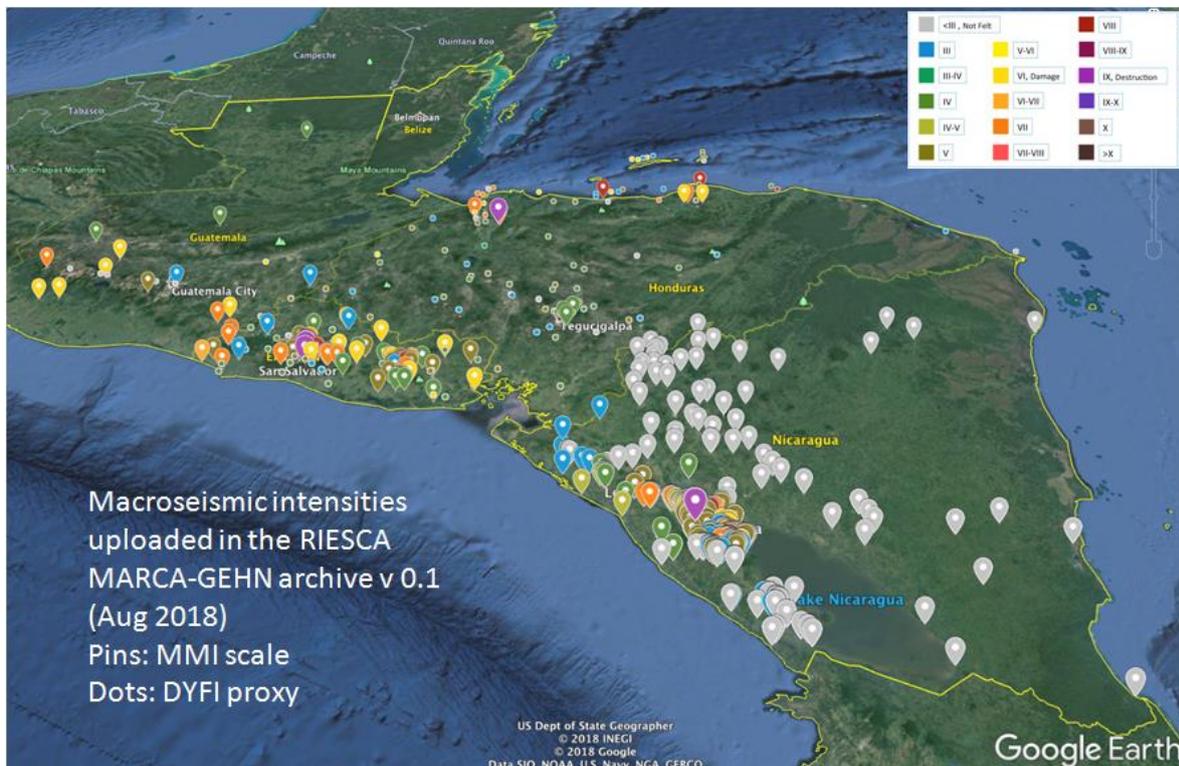


Figura 2: Distribución de datos de intensidad macrosísmica existentes en MARCA-GEHN.

Durante la jornada realizada en Guatemala, se realizó la revisión y complementación de algunos sismos. Así como la identificación de nuevos sismos a ser introducidos en MARCA-

GEHN, tomando como referencia documentos históricos y artículos científicos que contengan al menos cinco lugares con datos de intensidad, en el Cuadro 2 los nuevos sismos identificados por país a ser introducidos durante la quinta jornada y meses posteriores.

GUATEMALA	EL SALVADOR	HONDURAS	NICARAGUA
1742	1719	1855-56	1889 (?)
1751	1742	2009	1931
1773	1748	1976	
1917	1831		
	1859		
	1860		
	1862		
	1917		
	2001		

Cuadro 2: Propuesta de nuevos sismos a ser introducidos en MARCA-GEHN.

Para mostrar la importancia de los datos macrosísmicos en comparación con las estructuras tectónicas, se presenta a manera de ejemplo la distribución de los datos macrosísmicos del sismo de 1976, ocurrido en territorio guatemalteco, con sus respectivos sistemas de falla (Figura 3). Durante la jornada en El Salvador, se ha convertido a formato de Shape la base de datos macrosísmicos, para poder graficar conjuntamente con la base de fallas, mecanismos focales, con el objetivo de mejorar la caracterización de las áreas sísmogénicas.

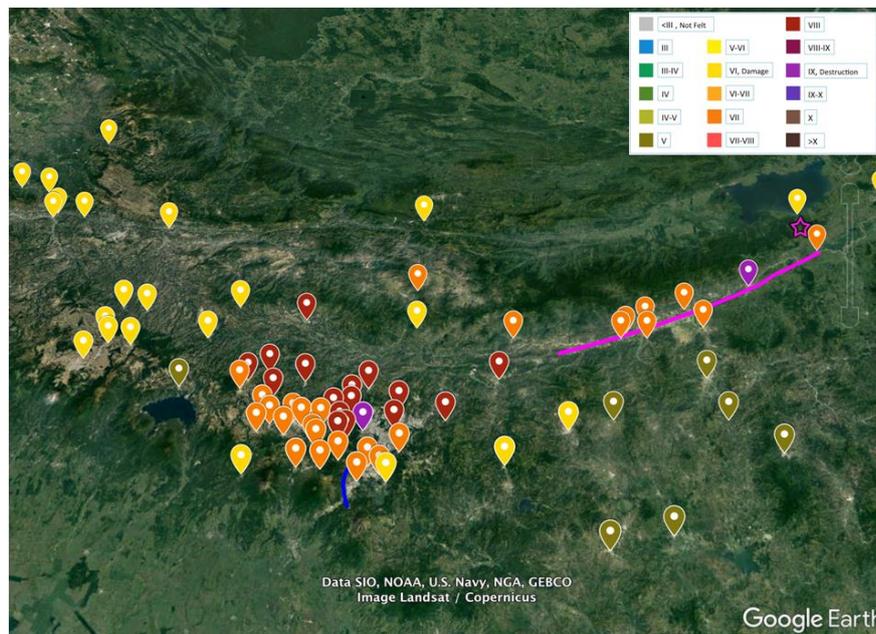


Figura 3: Distribución de los datos macrosísmico del terremoto de 1976 en Guatemala (pines de diferentes colores, segmentos de falla geológicas que se activaron (líneas en rosado y azul) y epicentro del sismo (estrella en color rosado).

3.1.3.1 Estado del avance en Guatemala

En 2018 Guatemala continuó con la actividad de recopilación de datos macrosísmicos de terremotos históricos de los siglos XIX y XX.

Estos son los eventos sísmicos del 23 de julio de 1816, con 59 puntos de intensidad macrosísmica, del terremoto del 19 de abril de 1902, caracterizado por 33 puntos enumerados, y del terremoto del 4 de febrero de 1976 con 80 puntos de intensidad macrosísmica. Los eventos del 10 de agosto de 1742, del 4 de marzo de 1751 y del 29 de julio de 1773 también fueron analizados y clasificados en términos de intensidad macrosísmica.

Finalmente, se inició una recopilación de datos sobre los principales terremotos en el área tectónica de Chixoy-Polochic-Motagua.

A modo de ejemplo, los eventos sísmicos de 1816 y 1976, que cayeron dentro de la misma área geográfica, se compararon con las estructuras tectónicas de Chixoy-Polochic-Motagua para identificar y parametrizar las posibles estructuras sismogénicas, o estructuras para las cuales se observa una buena correspondencia entre los datos sismológicos y estructurales.

A continuación, se copia la nota relativa a los avances de elaboración del catálogo sísmico de Guatemala, enviada por Alan Cosillo Pinto y Pablo Santos Samayoa, del cual no se tienen datos actuales:

En septiembre de 2017 se inició el trabajo buscando bases de datos sísmicos, al principio se contó con los sismos de la base GEM, y se digitalizaron los sismos de la base de Villagrán et al (1994). En abril de 2018 se obtuvo la base sísmica de INSIVUMEH de los años 1984 a 2012 sin filtrar. En mayo de 2018 por intermedio de Omar Flores se pudo obtener la base sismos del proyecto RESIS II que fue administrada por Enrique Molina.

Los sismos de INSIVUMEH pudieron ser obtenidos con el cambio de administración de esa institución en la tercera semana de diciembre de 2018 se obtuvo la base de datos de sismos de INSIVUMEH.

Dentro de las investigaciones realizadas por Pablo Santos Samayoa, fue la investigación de la homogenización de bases sísmicas, y sus aplicaciones, que dependiendo del uso a darse a los datos se han elaborado las diferentes bases sísmicas.

Actualmente se están creando los criterios para homogenizar una base de datos, se utilizará el formato GEM.

RESIS 2 Sismos en MS y MW 1522-2007, Base de datos Centroamericana. 29919 sismos. Fueron filtrados de MS 3.5 a 8.1. Sin replicas, sin enjambres sísmicos, sin datos repetidos. El catalogo es incompleto por que fue cortado a partir de MS 3.5.

GEM-GT- Mitad del Istmo de Tehuantepec hasta la mitad de El Salvador. Total, de eventos sísmicos 297. Los datos existentes en la base son filtrados por GEM de MW 5.31 a 7.81. El catalogo es muy limitado por que fue cortado a partir de MW 5.31.

Villagrán et al. (1994)

Los eventos fueron digitalizados de una copia del documento. Los eventos registrados son de MW 3.0 a 8.1, y se registraron eventos desde 1522 a 1994. El catalogo es incompleto por que fue cortado a partir de MW 3.0

INSIVUMEH a

Un archivo original de la base de datos de 1984 a 2012. Contiene 41623 eventos sísmicos. Los datos existentes en la base MW 0.2 a 7.6.

INSIVUMEH b

Un archivo original de la base de datos de 1984 a 2018. Contiene 50653 eventos sísmicos. Los datos existentes en la base MW 0.2 a 7.7. Las bases de INSIVUMEH son las mismas. Ambos catálogos tienen una completitud alta, pero tienen problemas de localización e instrumentación.

Como trabajo a realizar, en la Tesis de pregrado del estudiante Pablo Santos Samayoa, se estará preparando los datos para lo siguiente

- Uniformizar y homogenizar datos y buscar la completitud para lo cual deberá determinar enjambres y replicas, y separarlos, no se eliminarán para aumentar la completitud y extensividad del catálogo, sin embargo, serán identificados para poder usar la base de datos en diferentes evaluaciones de sismos.
- Homologar todos los sismos al formato GEM

3.1.3.2 Estado del avance en El Salvador

Para El Salvador, en 2018, como posible fuente de información macrosísmica, se han analizado algunos catálogos de sismicidad histórica (White & Harlow 1993, White et al., 2004, Peralto & Montero 1998), con el objetivo de reconstruir el mayor número de campos macrosísmicos de terremotos con epicentros ubicados en zonas geográficas homogéneas.

En este sentido, se ha encontrado información sobre terremotos del 5 de marzo de 1719, 10 de agosto de 1742, 13 de marzo de 1748, 7 de febrero de 1831, 8 de diciembre de 1859, 3 de diciembre de 1860, 19 de diciembre de 1862, 1917 y 26 de febrero de 1902, que además junto a los eventos sísmicos presentes en el mini-catálogo MARCA-GHEN, contribuyen a la definición de diferentes áreas sismogénicas presentes en el territorio salvadoreño.

3.1.3.3 Estado del avance en Honduras

En 2018, se ha continuado con los trabajos de investigación para el tratamiento de fuentes confiables de información macrosísmica para los terremotos históricos ocurridos en septiembre 25, 1855 y agosto 4, 1856 para su inclusión en el Archivo Macrosísmico.

También se inició el estudio de los efectos producidos en Honduras por terremotos con epicentro en Guatemala y El Salvador, a fin de:

- evaluar la extensión del área de *far field* de terremotos con epicentro en áreas vecinas;
- evaluar, sobre la base del tipo y extensión del daño, las estructuras tectónicas activas más peligrosas para Honduras;
- definir los parámetros relacionados con las leyes de mitigación de intensidad.

3.1.3.4 Estado del avance en Nicaragua

En Nicaragua, en 2018, la actividad se centró en la reconstrucción macrosísmica de los eventos del 4 de octubre de 2014 y del 6 de julio de 2000 en el Graben de Managua. La reconstrucción de estos eventos contribuye a la caracterización de las estructuras tectónicamente activas del Lago Nicaragua - Lago Managua - Golfo de Fonseca.

3.1.4 Transferencia de informaciones sísmicas desde/a los Sistemas de Protección Civil

Una de las herramientas más efectivas para preparar las instalaciones de Protección Civil para tratar y manejar una emergencia sísmica es el uso apropiado de mapas de sacudidas (*ShakeMap*) que brindan una vista inmediata del nivel de sacudidas (*Shaking*) de un área afectada por un terremoto. Los ShakeMaps informan, en general, sobre los valores físicos (aceleración y la velocidad máxima del suelo) como la transposición de estos valores en intensidad macrosísmica (Mercalli Modificado, MM) estimada a partir de los datos de aceleración.

El mejor conocimiento de la sismicidad histórica y actual del área centroamericana (MARCA-GHEN), realizada en el estudio de los daños observados en eventos sísmicos que han afectado

un sitio, nos permite mejorar la relación, a nivel regional y local, entre los valores de aceleración y de intensidad macrosísmica, a partir de una descripción del evento real y su impacto en el territorio.

De hecho, la inclusión de valores de intensidad "observados" constituye un valor agregado en el uso de *ShakeMap* como una herramienta de información en tiempo real para las fases de prevención y emergencia, en particular con la generación de más mapas de sacudidas para la distribución real de los daños.

3.1.5. Propuesta de actividades en Sismología a realizar en el 2019

En particular, se planificará:

- Poner disponible en línea el Archivo, junto con las monografías de cada terremoto analizado, que se espera que se publique adecuadamente al final del proyecto, que constituye un modus operandi que puede ser adoptado por los países centroamericanos vecinos y constituye, hoy en día, un elemento de absoluta originalidad y relevancia en el ámbito local.
- Complementar MARCA-GEHN con los nuevos sismos identificados, así como realizar el respectivo control de calidad, y recopilación de fuentes bibliográficas.
- Terminar de ajustar el mini-catalogo, con la mejor ubicación posible de algunos sismos, para solicitar que estas ubicaciones sean consideradas en los catálogos internacionales como ISC-GEM, ISC-Bulletin. En la Figura 4, un ejemplo de la discrepancia entre las ubicaciones existentes en el ISC-Bulletin y el catálogo nacional para el sismo de 1951 ocurrido en El Salvador. Importante indicar que los datos macrosísmico contribuyen a identificar la mejor ubicación del sismo.
- Usar herramientas de uso gratuito para publicar los datos macrosísmico, para que sean accesibles a todos. Se ha explorado la posibilidad de usar MIDOP (Macroseismic Intensity Data Online Publisher), para lo cual será necesario reestructurar MARCA-GEHN. Esto se podría hacer mediante una pasantía en Italia.
- Realizar interpretación/caracterización de las áreas sismogénicas.
- Evaluar el potencial de usar los datos recopilados para generar escenarios de daños en tiempo real.
- Preparar un artículo a publicar, por ej. en el boletín de Geofísica Teórica y Aplicada del Instituto de Oceanografía y Geofísica Experimental, Italia. Preparar un artículo para publicar. Una opción podría ser en el boletín de Geofísica Teórica y Aplicada del Instituto de Oceanografía y Geofísica Experimental, Italia.

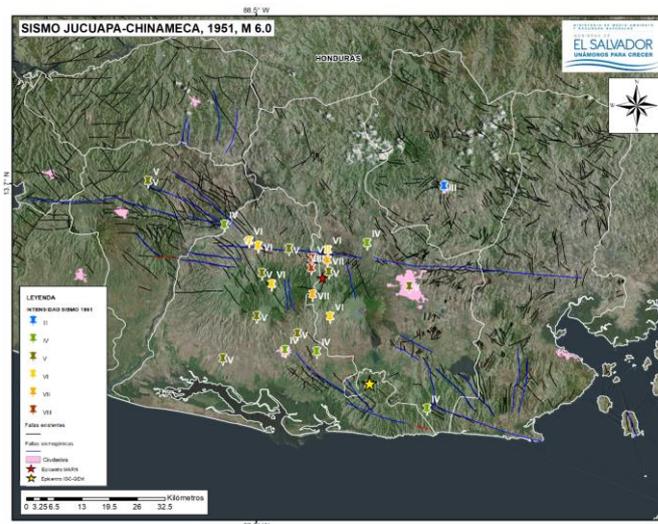


Figura 4: Datos macrosísmicos del sismo de 1951 en El Salvador, fallas geológicas, ubicación epicentral del catálogo de El Salvador (estrella color rojo) y el catálogo del ISC (estrella color amarillo), la diferencia entre ambas ubicaciones epicentrales es notable.

3.1.6. Actividad preliminar en Respuesta Sísmica Local

El U.R. de la Universidad de Chieti-Pescara (resp. M. Rainone) ha comenzado las actividades de evaluación de la Respuesta Sísmica Local en sitios representativos de la ciudad de San Salvador.

Estos sitios son aquellos para los que hay caracterizaciones dinámicas del terreno a través de investigaciones down-hole y donde hay estaciones acelerométricas en el sondeo y en superficie.

Las actividades realizadas consistieron en mediciones de ruido ambiental utilizando la técnica HVSR.

El propósito de las medidas es comparar los resultados obtenidos, en particular en la frecuencia fundamental del sitio, con los que se pueden obtener a través de la c.d. enfoque analítico. Esto es para evaluar la posibilidad de usar esta técnica en otras áreas con contextos geológicos similares, dada la relativa simplicidad en la adquisición y procesamiento de datos y los costos de los mismos.

Se analizaron cinco sitios y se realizaron 20 adquisiciones con un conjunto de dos geófonos tridimensionales con una frecuencia de 2 Hz, para un total de 60 archivos.

Cada archivo ha sido objeto de elaboración e interpretación y la figura a continuación muestra los resultados de dos adquisiciones en los sitios del Seminario y el Presidencial.

En breve se preparará un informe detallado para ilustrar los métodos de adquisición y los resultados obtenidos en los 5 sitios.

Posteriormente, junto con los colegas de MARN y UES, procederemos a evaluar la R.S.L. computado a través de un enfoque analítico y evaluar las convergencias entre las diferentes metodologías, analizar cualquier problema crítico y la posibilidad de extender estas investigaciones a otras áreas.

A continuación, algunos ejemplos de las elaboraciones relacionadas con el sitio del Seminario y de la Casa Presidencial en la Figura 5 y Figura 6.

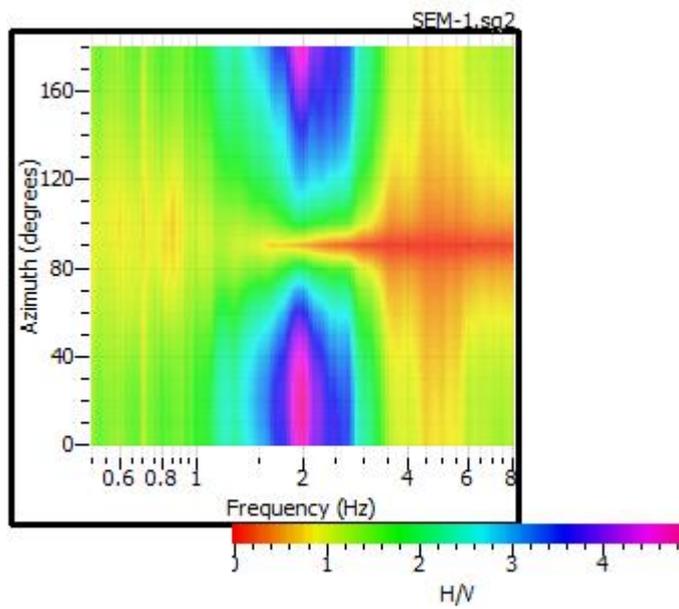
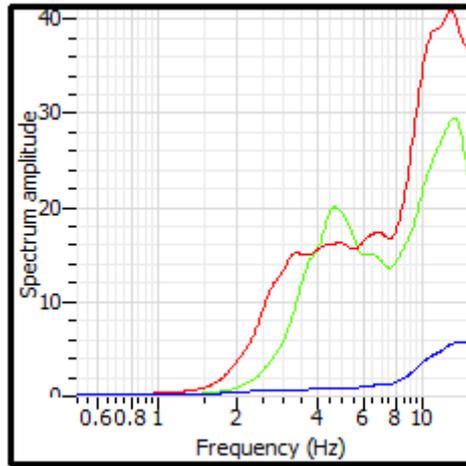
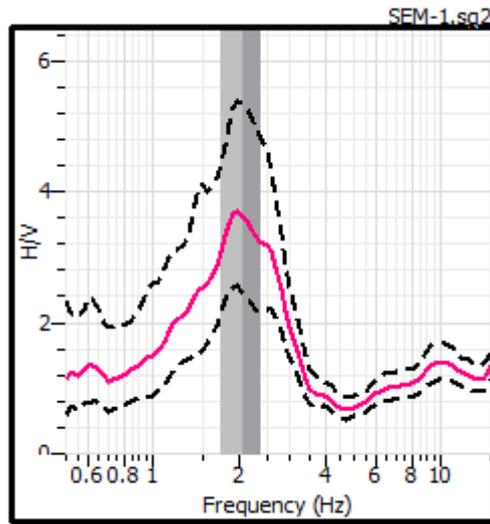


Figura 5. Sitio de Seminario

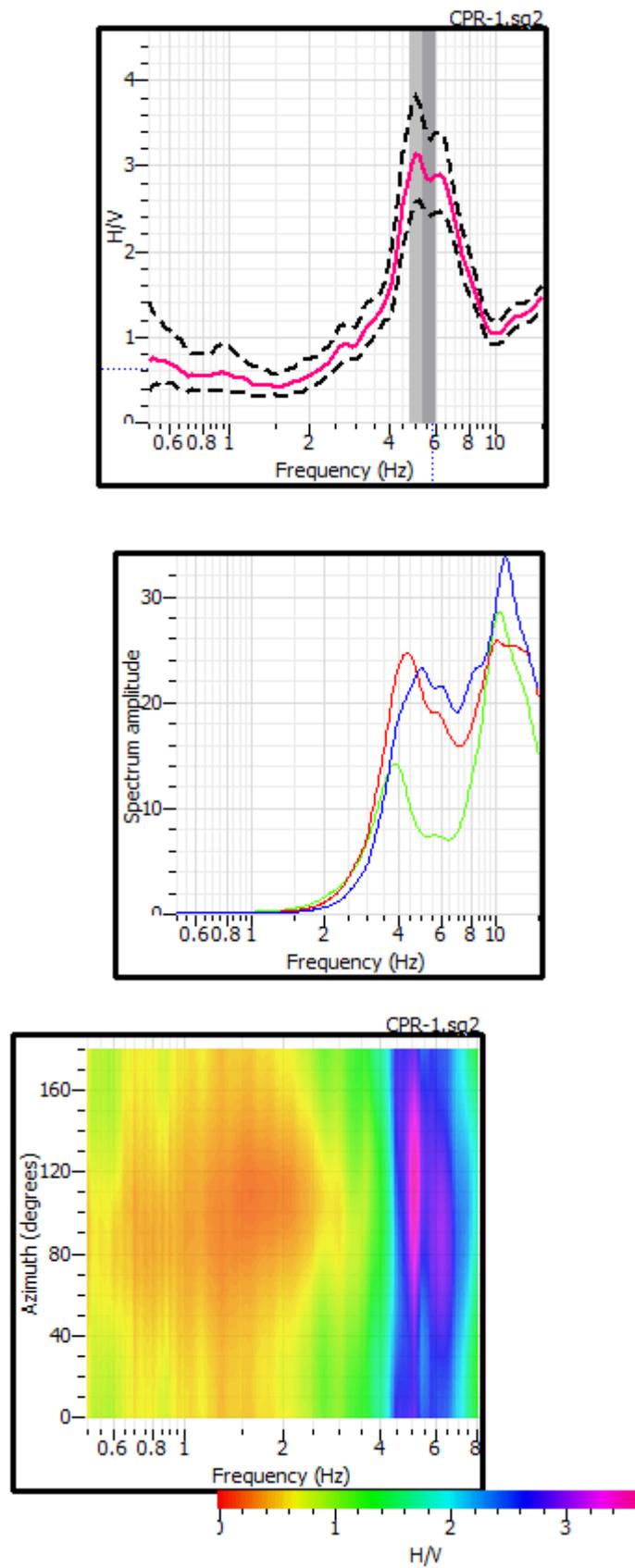


Figura. 6 Sitio Casa Presidencial

3.2. SISMOTECTÓNICA

3.2.1. Antecedentes

Tomando en cuenta los Informes de la Jornada 3 de enero 2018 y de la Jornada centroamericana de septiembre 2018, se copia en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para hacer más claro el avance del 2018.

Las actividades propuestas para 2018 fueron:

- a) Unificación y revisar los complejos formaciones en los mapas geológicos por cada país y el regional.
- b) Revisar y caracterizar las fallas principales de cada país según su mecanismo focal: Strike-slip (dextrales o sinestras) Normales y Compresionales.
- c) Caracterizar las Fallas Sismogénicas a nivel Regional.
- d) Presentar una nueva zonificación sísmica y/o revisar la actual zonificación
- e) Elaborar los Mapas Geológicos de más detalle de las zonas Metropolitanas.
- f) Elaborar el Mapa de Moho para Centro América.
- g) Construir perfiles geológicos en varios cortes de la región centroamericana para elaborar el modelo geológico en zonas sismo-génicas.

Algunas de las actividades desarrolladas durante el año 2018, con niveles diferentes de datos entre países, fueron las siguientes:

- Revisar y clasificar fallas de cada país (existentes, activas, sismogénicas, etc.)
- Crear base de datos de fallas activas y sismogénicas con sus diferentes parámetros.
- Crear un nivel de la sismicidad cortical, con ubicación, profundidad y Magnitud.
- Crear un nivel de mecanismos focales, para caracterizar las fallas o los sistemas de fallas.
- Identificar los principales planos de fallas en las que se incluyen las fallas activas, fallas sismogénicas y otras caracterizaciones.
- Elaborar mapas para la caracterización de la sismicidad cortical, y también se ha desarrollado una base de datos que permite identificar características de las principales fallas en base a mecanismos focales.
- Crear mapas con la identificación de las fallas activas y sismogénicas.

3.2.2. Estado del avance de la base de datos sismotectónicos

El conocimiento detallado de la cinemática de las fallas geológicas es esencial para mejorar la estimación del peligro sísmico y predecir de manera más confiable la sacudida producida por futuros eventos sísmicos. Información de utilidad para los Sistemas de Protección Civil para la prevención del riesgo sísmico. Por lo tanto, uno de los objetivos de RIESCA ha sido la unificación de una base regional de datos sismotectónicos.

Con la información existente en cada país, entre ella, catálogos sísmicos, mapas de fallas, informe técnico, artículos, etc. y datos de base regionales o globales, entre ellas, catálogo de fallas GEM, mecanismos focales del catálogo global del CMT, catálogo sísmico del ISC, etc. se estableció que cada país preparara los siguientes productos.

- Capas (shapes) nacionales de sismicidad cortical con magnitud mayor a 3.0 y profundidad menor a 30 km.
- Capas (shapes) nacionales con mecanismos focales para sismos corticales con magnitud mayor a 3.0.

- Capas (shapes) con fallas nacionales clasificadas debidamente en activas, sismogénicas y existentes.

Algunos de los lineamientos acordados para la clasificación de las fallas activas y sismogénicas fueron:

Selección de fallas con longitud mayor a 5.0 km, de shapes de fallas nacionales y regionales existentes.

- Correlación con distribución de la sismicidad cortical para identificar fallas activas.
- Correlación de fallas con sismos con magnitud mayor a Mw6.0 y terremotos característicos de cada falla, para identificar fallas sismogénicas con potencial sísmico alto.
- Graficar los mecanismos focales de sismos corticales para correlacionarlos con las fallas existentes, y así conocer el tipo de movimiento de la falla, parámetros geométricos y su orientación.

Para las fallas sismogénicas se revisa los datos de deformación existente o las tasas de deslizamientos (si las hay).

A continuación, información de lo realizado por cada país.

3.2.3. Guatemala

Según presentación realizada por Amilcar Roca del INSIVUMEH, se han seguido los lineamientos y acuerdos establecidos en las reuniones realizadas con el grupo de trabajo, mediante conferencia virtual.

La información base ha sido el catálogo de fallas recopiladas para Guatemala, los mecanismos focales del catálogo global del CMT (<https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>), la base sísmica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Para generar el mapa de fallas con los mecanismos focales se ha utilizado el plugin MMQGIS del software QGIS y un script de Python, este proceso ha sido documentado mediante videos, que han sido compartido en el aula virtual, para apoyar en esta labor al resto del grupo, en la Figura 7 se resume la metodología empleada.

Para garantizar que los sismos sean de origen cortical, del catálogo Global del CMT se seleccionaron solo los sismos con profundidades focales menores a los 30 km. En la Figura 8 se muestran las fallas y los mecanismos focales de los sismos separados por rango de magnitud. Observándose que la mayoría de sismos del catálogo CMT tienen magnitudes entre 5 y 5.99.

Tomando solo la información del catálogo del CMT se dificulta caracterizar las fallas, dado que hay pocos eventos de profundidad menor a los 30 km, no se encuentran sismos de magnitud menor a 4.0. A la fecha ha sido difícil unificar la tabla con los atributos de las fallas. También se ha hecho uso del catálogo sísmico del INSIVUMEH para el periodo 2010-2018, el cual fue filtrado para profundidades focales menores a los 30 km y RMS de 0.9, en la Figura 9 las fallas y sismo separados por magnitud

**FLUJO DE TRABAJO PARA CARACTERIZACION DE FALLAS
LOCALES UTILIZANDO EL CATALOGO CMT**

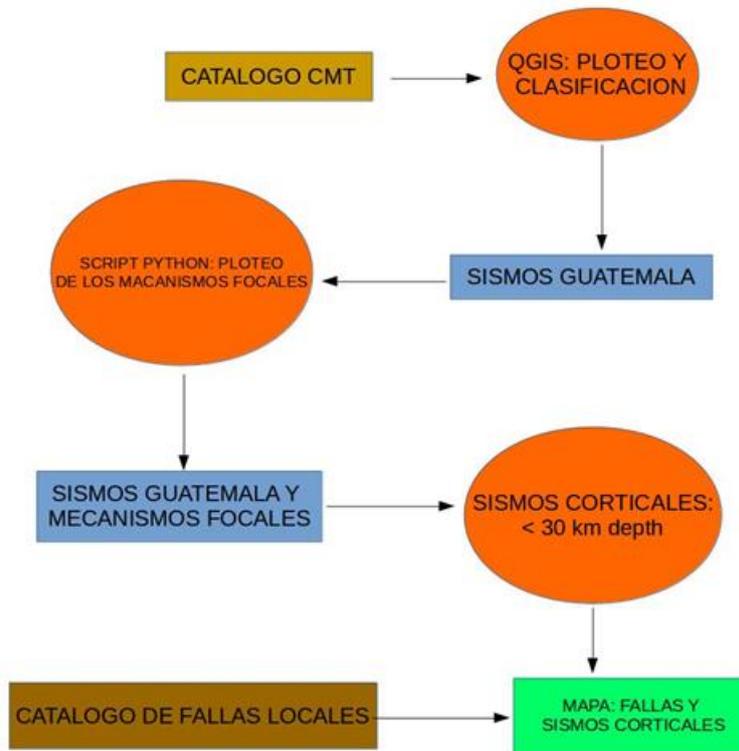


Figura 7: Metodología para generar el mapa de fallas y sismos corticales.

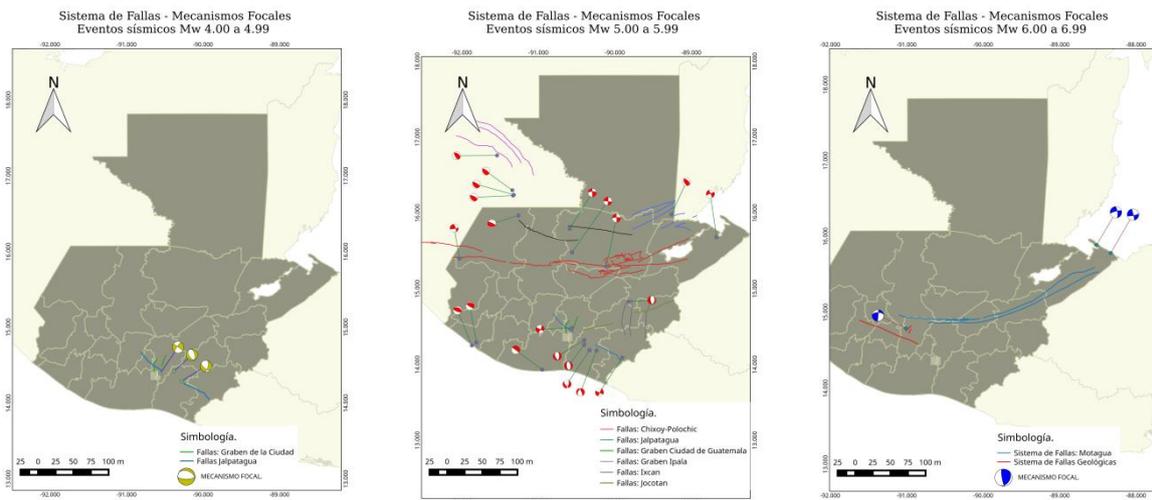


Figura 8: Fallas y mecanismos focales, separando los sismos por rango de magnitud

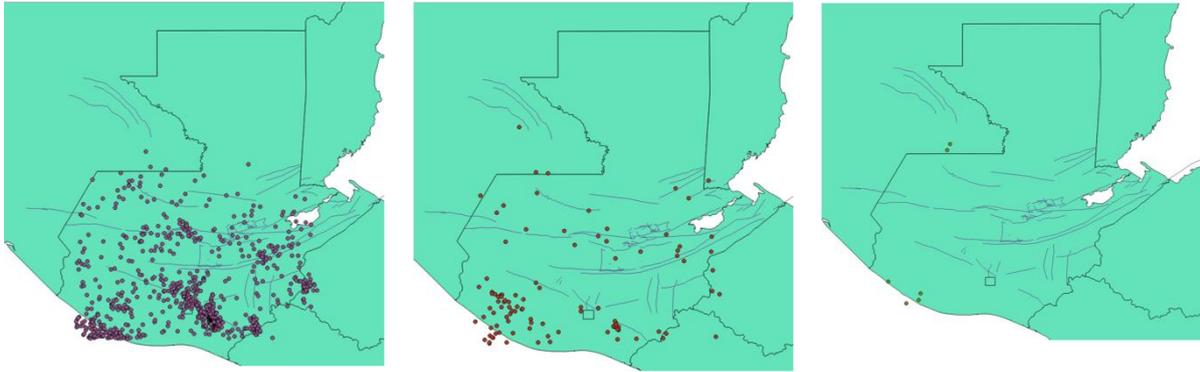


Figura 9: Fallas geológicas y sismos del catálogo de Guatemala separados por magnitud, de 3 a 4 (mapa de la izquierda) de 4 a 5 (mapa del centro) de 5 a 6 (mapa de la derecha).

3.2.4. Honduras

A continuación, parte del informe preparado por Mynor Ruiz, sobre la metodología y resultados obtenidos.

Para completar el análisis de fallas locales (por país) se partió inicialmente del catálogo de fallas de GEM, fallas regionales. Dado que Honduras no tienen un catálogo de fallas completo, solamente se mencionaban 4 fallas, Guayape, La Ceiba, Rio Viejo y Aguan, se utilizó el DEM de 30 m que existe y se fue discriminando con un criterio de foto interpretación, se hizo una combinación con imágenes de Google Earth. En las zonas que existen mapas geológicos a escala 1:50,000 se utilizó esta información con la finalidad de poder hacer un mejor ajuste. En total se han identificado 185 estructuras geológicas con más de 10 km de longitud. A cada una de estas fallas le fue asignado un código

Para la categorización de las fallas según su actividad sísmica se utilizó información del catálogo epicentral CCARA-GEM, utilizando sismo de profundidad máxima de 30 km, que se consideran sismos corticales. El criterio utilizado fue que, si más de 5 sismos se encontraban sobre el trazo de falla o próximo se consideraban activas, debido a que las ubicaciones contienen errores, en promedio de 30 km, los sismos a esta distancia de la falla eran tomados en cuenta. Para el caso de las fallas sismogénicas el criterio utilizado también involucro datos macrosísmicos e históricos de actividad. Se identificaron 63 fallas activas, 108 inactivas y 15 sismogénicas. En la Figura 10 se presenta una porción del mapa de fallas de Honduras y su clasificación



Figura 10a: Porción del mapa de fallas de Honduras

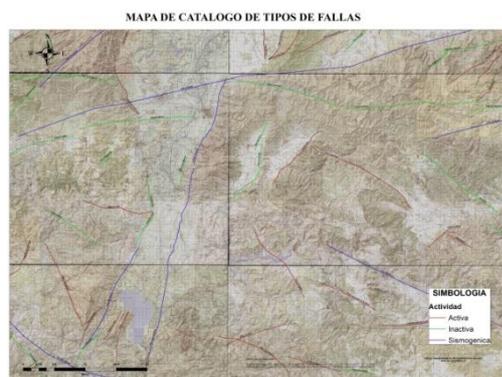


Figura 10b: Porción del mapa de categoría de fallas de Honduras.

3.2.5. El Salvador

A continuación, parte del informe preparado por Amelia Garcia, sobre la metodología y resultados obtenidos.

Para la delimitación de los planos de fallas se utiliza el mapa geológico de El Salvador (escala 1:100,000), estudios sísmicos y morfo-tectónicos de la ZFES (Zona de Falla de El Salvador), shapes de fallas existentes (GEM, USAID, entre otras) y la base sísmica SAL de 1984 hasta la actualidad.

En base al mapa de Alonso- Henar et al. (2013) y al mapa geológico escala 1:100,000 se obtiene el centro de ruptura para cada falla delimitada. Asimismo, se realiza una comparación con las fallas del mapa geológico, la sismicidad y mecanismos focales característicos de las zonas.

Posterior a la recopilación de información y la unificación de la misma, se obtiene un shape con los planos de fallas principales para El Salvador. En total son 55 planos de fallas, que se muestran en la Figura 11 en color rojo. A pesar de que el color asignado inicialmente para ellas era rojo para las sismogénicas, azul para las activas y negra para las existentes. En la última etapa del trabajo se decidió cambiar dicha nomenclatura a rojo las activas y azul las sismogénicas.

Utilizando la información disponible para cada plano de falla principal, y los mecanismos focales de sismos relevante cercanos a las fallas se procede a elaborar la tabla de atributos para las fallas sismogénicas y activas, con los parámetros geométricos de las mismas. Los campos a ingresar son: Numero (ID), nombre, latitud (n) del centro del segmento de falla, longitud (W) del centro del segmento de falla, strike, dip, rake, longitud, ancho, área de ruptura, Mw (max), tipo de ruptura, tasa de deslizamiento y fuente(Referencia). Como se muestra en el Cuadro 3:

También se elabora un shape de sismos con magnitud mayor a 3.0 con su respectivo mecanismo focal, para ello se utiliza el plugin MMQGIS del software QGIS. Mencionar que es necesario hacer una depuración de los mismos, dado que muchos de los sismos de esta capa corresponden a sismicidad por subducción. En este paso se eliminan los mecanismos focales cuya profundidad era mayor a 30 km, debido a que ellos corresponden a sismos intraplaca. En la Figura 12 los mecanismos focales para sismos corticales con magnitud mayor a 3.0, además de las fallas activas.

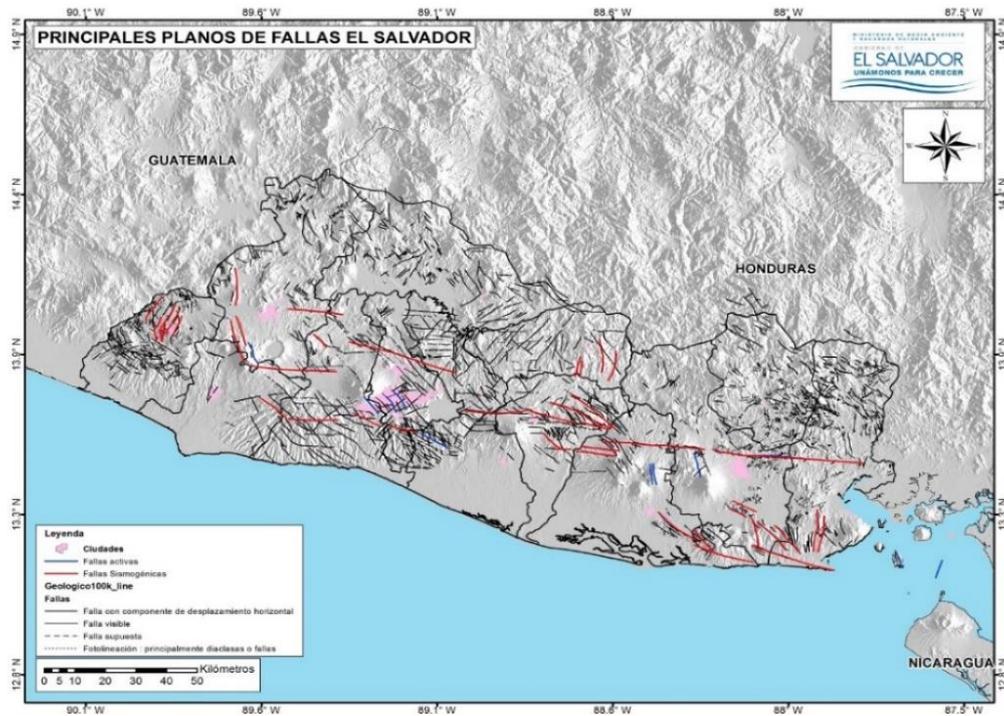


Figura 11: Mapa con principales planos de fallas de El Salvador, considerados activos y sísmogénicas.

Id	Nombre	Lat_N_	Long_W_	strike_Á°_	Dip_Á°_	Rake_Á°_	length_Km	width_Km_	Area_Km2_	Number_of	Mw_Max
1	0 El Tigre	13.997000000000	-89.904	31	70	-90	10.350000000000	15.73	162.74		6.2
2	0 Palo Pique	13.933000000000	-89.894	10	70	-90	9.460000000000	15.76	149.1		6.2
3	0 Laguna del Llano	13.954000000000	-89.866	18	70	-90	14.170000000000	16.26	230.38		6.4
4	0 Las Brisas	13.920000000000	-89.87	7	70	-90	6.010000000000	15.09	90.67		5.9
5	0 Ahuachapan W	13.952000000000	-89.846	30	70	-90	10.790000000000	15.87	171.31		6.2
6	0 Ahuachapan E	13.941000000000	-89.83	22	70	-90	7.370000000000	15.45	113.78		6
7	0 El Zacamil	14.070000000000	-89.654	359	70	-90	13.260000000000	16.18	214.61		6.3
8	0 Ilamatepec W	13.889000000000	-89.657	344	70	-90	15.410000000000	16.32	251.52		6.4
9	0 Ilamatepec E	13.926000000000	-89.642	163	70	-90	10.910000000000	14.6	159.32		6.2
10	0 Zapotitan	13.800000000000	-89.489	94	80	180	27.270000000000	17.22	469.52		6.8
11	0 Apaneca	13.680000000000	-89.545	311	70	-90	11.490000000000	15.95	183.36		6.3
12	0 Comasagua	13.637000000000	-89.43	275	70	180	6.760000000000	17.11	115.66		6.1
13	0 Comecayo	13.990000000000	-89.425	96	70	180	17.450000000000	17.19	299.9		6.6
14	0 Opico	13.895000000000	-8.41	138	80	-90	6.180000000000	15.2	93.95		5.9
15	0 Guaycume	13.844000000000	-89.168	108	80	180	35.870000000000	17.25	618.78		6.9
16	0 Ayagualo	13.639000000000	-89.273	299	80	180	9.430000000000	16.99	160.29		6.2
17	0 Panchimalco	13.609000000000	-89.171	287	80	180	8.370000000000	16.9	141.39		6.2
18	0 San Vicente2001	13.662000000000	-88.88	88	70	180	20.700000000000	17.16	355.22		6.6
19	0 Apastepeque	13.648000000000	-88.728	108	70	180	15.170000000000	17.15	260.19		6.5
20	0 Victoria	13.812000000000	-88.653	193	70	-90	7.020000000000	15.27	107.14		6

Cuadro 3: Ejemplo de tabla de atributos con parámetros geométricos de fallas activas y sísmogénicas en software QGIS.

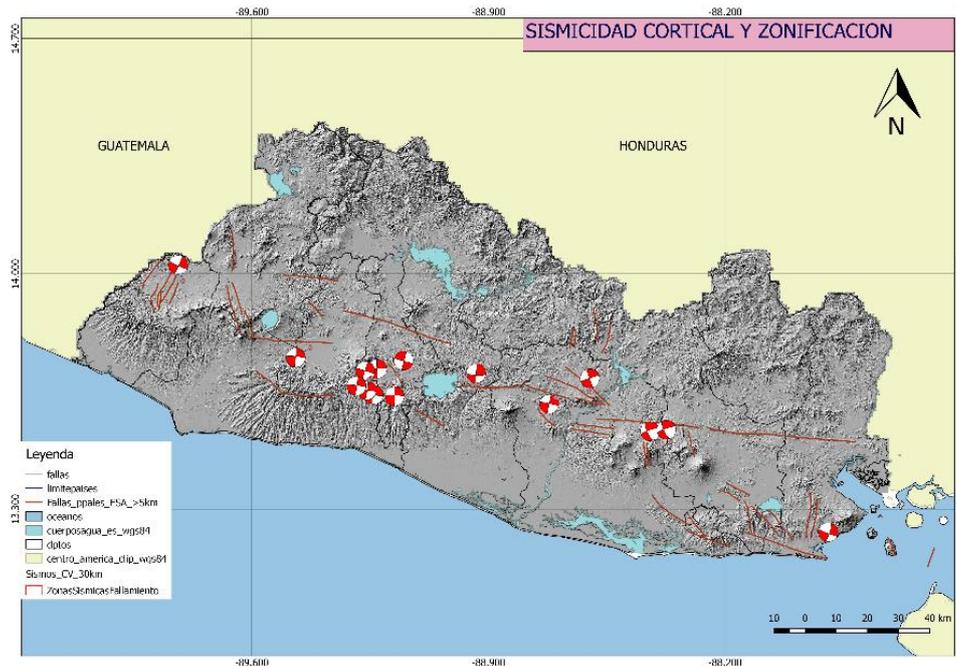


Figura 12: Mecanismo focales de sismos corticales.

3.2.6. Nicaragua

A continuación, parte del informe preparado por Carlos Rubi (en base al trabajo realizado por Elliot Pérez), sobre la metodología y resultados obtenidos.

La metodología empleada, para el trabajo en grupo, para la recopilación, tratamiento de esta información, hecha por medio de programas (Argis. QGis y otros), que se trabajan de manera individual y luego se sube a el aula virtual, o al coordinador del grupo, para unificar parámetros, descripciones, tipos de fallas, longitudes, es la manera de trabajo desarrollado hasta ahora.

La caracterización de fallas para Nicaragua, está a un 60%, sobre todo el tema de las tablas de atributos, de fallas activas, que se ubican en el margen suroeste de Nicaragua, y que tiene que ver con las fallas que delimitan la Depresión de Nicaragua, la estructura geológica que alberga, la cadena volcánica, y más localmente las fallas más activas, que limitan el graben de Managua.

El otro aspecto a señalar, está el tema de colores asignados a las fallas, rojas (Sismogénicas), azul (activas) y negras (existentes), de estos tres parámetros se han trabajado las azules y negras.

La relación de los mecanismos focales con las fallas generadoras de terremotos, se trabajaron los mecanismos focales por país, y esta base de datos, junto con las fallas, fue entregada al grupo de sismotectónica, compañeros Luis y Amelia.

3.2.7. Resultados a nivel de la región

Los representantes de los diferentes países trabajaron juntos para estandarizar los datos sobre estructuras tectónicas que cruzan las fronteras de los distintos países. Para poder generar la base regional unificada con el siguiente contenido.

Un modelo digital de terreno que muestra el relieve de la región y la tendencia de las principales morfoestructuras.

Un mapa del progreso de las isobatas de la discontinuidad de Moho en la región, incluidas las áreas marinas adyacentes (Figura 13).

La distribución regional de fallas que afectan a la región centroamericana; para las fallas más importantes se indicaron: la longitud, la dirección, la edad, el tipo de movimiento, la actividad sismogénica eventual.

La distribución regional de los hipocentros de los terremotos, su profundidad, magnitud, el tipo de mecanismo focal (Figura 14).

Al correlacionar la información sobre las estructuras tectónicas y los hipocentros de los terremotos, se han elaborado los siguientes niveles de información: Estructuras tectónicas divididas en: fallas activas, fallas sismogénicas, fallas no activas (Figura 15), asociando, cuando estén disponibles, las características geométricas y cinemáticas de las estructuras; Epicentros de terremotos de magnitud superior a 4, que se distinguen según la profundidad de los hipocentros (hasta 15 km, entre 15 y 30 km, más de 30 km), hasta la magnitud (entre 4 y 4.99, entre 5 y 5.99 y mayor o igual que 6), al mecanismo focal.

La base de datos territorial creada por el grupo de trabajo en Sismotectónica también puede usarse (y en parte ya lo fue) como un apoyo del grupo de trabajo en sismología para comprender mejor cómo las estructuras tectónicas pueden influir en la distribución de la intensidad macrosísmica correspondiente al acontecimiento sísmico.

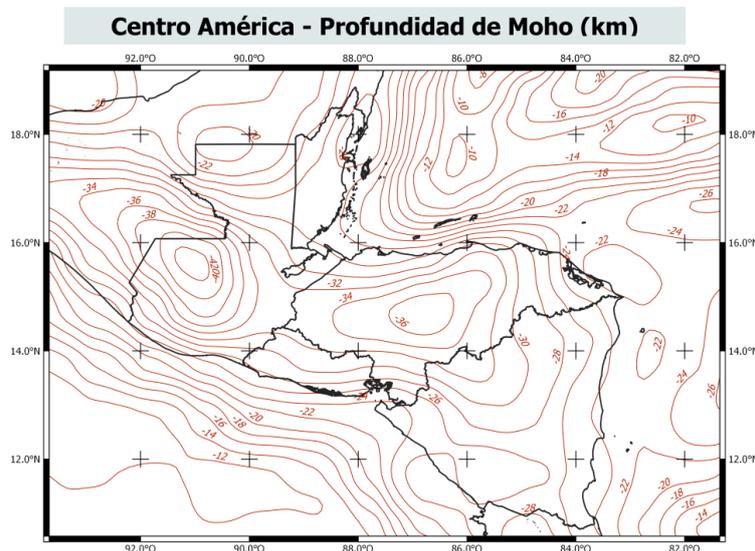


Figura 13: Mapa del progreso de las isobatas de la discontinuidad de Moho.

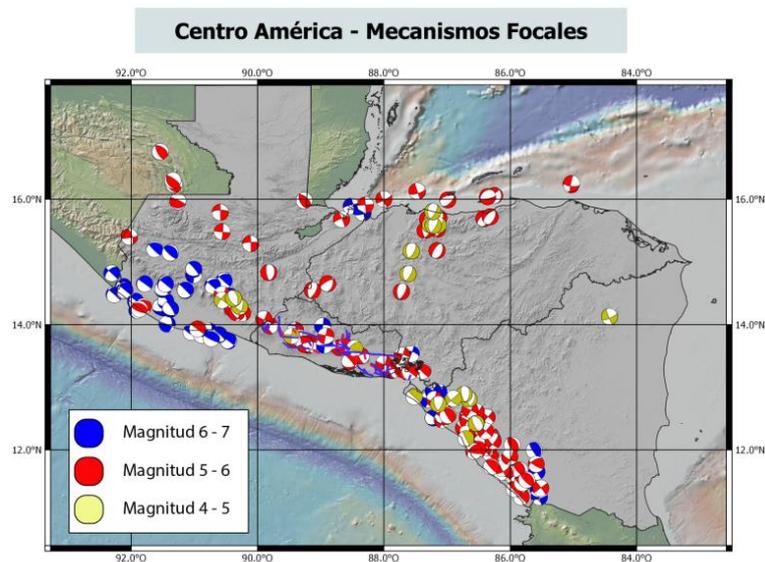


Figura 14: Distribución regional de los hipocentros de los terremotos y su mecanismo focal.

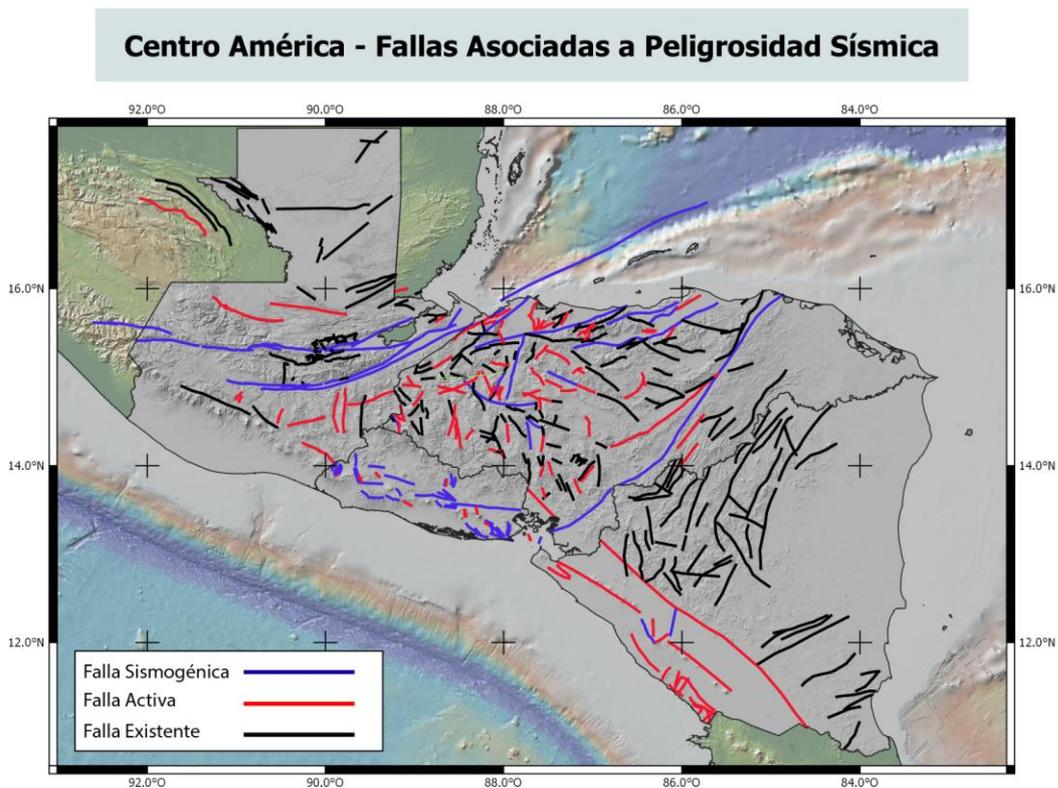


Figura 15: Mapa preliminar de fallas activas, fallas sismogénicas, fallas no activas. De acuerdo a los avances de cada país.

3.2.8. Propuesta de actividades en Sismotectónica a realizar en el 2019

A la luz del trabajo realizado hasta la fecha, y en base a los resultados obtenidos hasta el momento, al final de la quinta sesión plenaria se han identificado algunas tareas que se deben realizar en el futuro para el grupo de trabajo en sismotectónica:

- Ingresar datos de desplazamiento de suelo de estudios geodésicos.
- Identificar y caracterizar las principales fuentes sísmicas de la corteza que se considerarán en los estudios sobre riesgo sísmico para la región de América Central.
- Elaborar los Mapas Geológicos de más detalle de las zonas Metropolitanas.
- Análisis de datos macro-sísmicos junto con las fallas sismogénicas y los mecanismos focales de los eventos principales, para presentar una nueva zonificación sísmica y/o revisar la actual zonificación por país.
- Revisión y validación del mapa de MOHO presentado en la jornada.
- Caracterizar las Fallas Sismogénicas a nivel Regional.
- Construcción de perfiles geológicos en varios trayectos de la región centroamericana para construir el modelo geológico en las zonas sismogénicas

3.2.9. Fortalecimiento de la capacidad instrumental

Se ha considerado la adquisición de algunos equipos para fortalecer el monitoreo sísmico, la selección y compra de los equipos está bajo la responsabilidad de las universidades que participan en el proyecto RIESCA. A continuación, los informes del estado de esta actividad, proporcionados por cada país

3.2.9.1. Guatemala

(Por Julio Luna, USAC)

El objetivo es unificar en una sola RED A NIVEL NACIONAL los equipos instalados con el proyecto RI 38 (desarrollado por CESEM-FIUSAC), integrándola con la red existente del INSIVUMEH y los equipos que se adquirieran con el apoyo del proyecto RIESCA.

La red ya está en funcionamiento, pero la cobertura es limitada, por lo que el proyecto RIESCA contribuirá a ampliarla, unificarla y poner a disposición de los investigadores la información que ya se está generando.

En la figura adjunta se presenta la ubicación de los equipos instalados y los equipos proyectados.

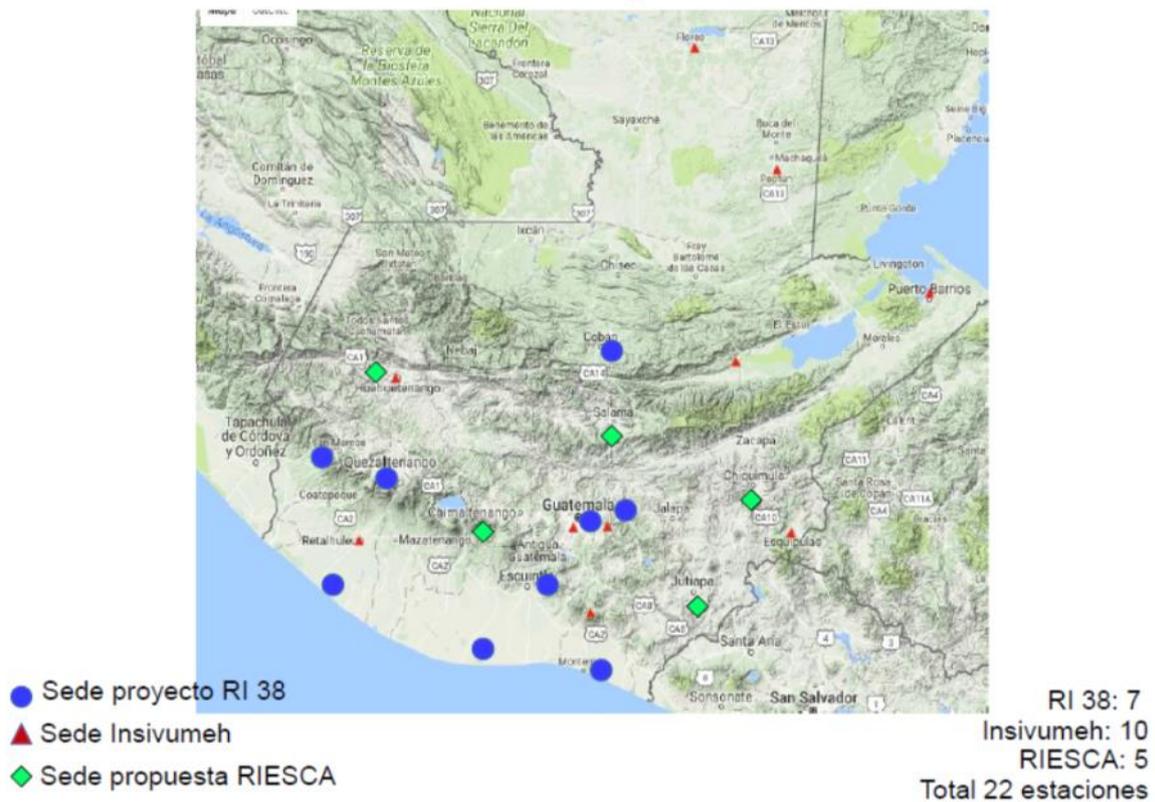


Figura. 16. Red de Estaciones acelerográficas en Guatemala

3.2.9.2. Honduras

(Félix Rodríguez, UNAH)

Honduras actualmente cuenta únicamente con la red de estaciones de COPECO, todas son de 3 componentes, de periodo corto de la marca Lenartz 3dlite. A pesar de la existencia de estas estaciones se presenta mucha dificultad al acceso de la información proveniente de esta red, sumado también los variados periodos de inactividad de la misma.

Por estas razones es que se desea implementar una nueva red, de la cual se tendrán registros propios para fines investigativos, etc.

Actualmente se tiene una orden de compra de:

12 RaspberryShake de 1 componente (vertical), de periodo corto, modelo RS1D (<https://shop.raspberrypi.org/product/turnkey-iot-home-earth-monitor-rs-1d/>).

8 digitalizadores de RaspberryShake, modelo RJAMDigitizerBoard

(<https://shop.raspberrypi.org/product/iot-universal-digitizer-board-raspberry-jam/>) para conectar los acelerómetros que ya se tienen, estos son de la marca Kinematics, modelo FBA-23 (<https://www.iris.edu/gallery3/inst/sensors/FBA-23>).

Si no hay ningún contratiempo se espera su llegada en el mes de enero, y su instalación se hará efectiva entre febrero y junio de 2019. A continuación, se muestra el equipo que se está adquiriendo.

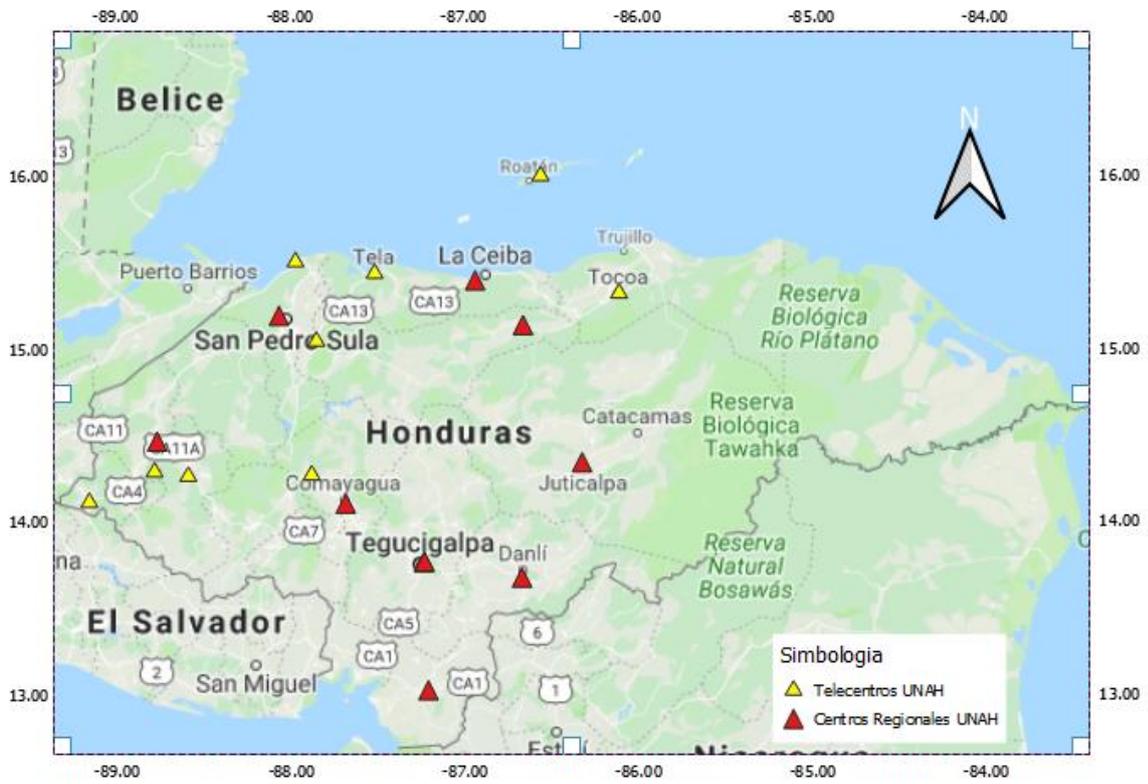


Figura. 17. Ubicación de centros regionales/Telecentros de la UNAH donde se instalarán acelerómetros

3.2.9.3. El Salvador y Nicaragua

En referencia a la adquisición de equipo, inicialmente se planificó la compra de equipo para ser utilizado en tareas de monitoreo como lo es un aparato UAV o dron y 5 acelerómetros de bajo costo utilizando placas arduino, sin embargo, se presentaron dificultades técnicas en cuanto a la elaboración de los aparatos y por lo tanto de su adquisición final. En cuanto a la adquisición del UAV, la compra está en proceso para realizarse en los primeros meses de 2019.

A lo largo de 2019 se ha planificado la compra del equipo restante que servirá para las tareas planificadas de monitoreo en sismología.

Es necesario aclarar que, a lo largo de los dos años de funcionamiento del proyecto, se han adquirido en El Salvador dos cámaras multigas para el monitoreo de gases en volcanes, esto fortalecerá la adquisición de datos y la generación de información derivada para la toma de decisiones.

3.2.10. Integrantes de la Mesa de Sismología y -Sismotectónica - RIESCA

N°	Nombre	Institución	Correo electrónico
1	Amelia Garcia	El Salvador/DGOA-MARN	rgarcia@marn.gob.sv
2	Griselda Marroquín	El Salvador/DGOA-MARN	gmarroquin@marn.gob.sv
3	Luis Castillo	El Salvador/UES	luiscastillor@gmail.com
4	David Monterroso	Guatemala/CONRED	DMonterroso@conred.org.gt
5	Amilcar Roca	Guatemala/INSIVUMEH	a1000kr2611@gmail.com
6	Alan Cosillo	Guatemala/USAC	acosillo@hotmail.com
7	Julio Luna	Guatemala/USAC	jlunaaroche@yahoo.com
8	Omar Flores	Guatemala/USAC	omar_floresb@yahoo.com
9	Pablo Santos	Guatemala/USAC	santospa6@gmail.com
10	Felix Rodríguez	Honduras/UNAH	felix_w7@hotmail.com
11	Lidia Torres	Honduras/UNAH	le_torresb@yahoo.com
12	Maynor Ruiz	Honduras/UNAH	maynor.ruiz02@gmail.com
13	Mauro Agate	Italia/UNIPA	mauro.agate@unipa.it
14	Eliana Esposito	Italia/CNR	eliana.esposito@iamc.cnr.it
15	Laura Peruzza	Italia/OGS	lperuzza@inogs.it
16	Mario Rainone	Italia/UNICHIETI	rainone@unich.it
17	Carlos Rubi Tellez	Nicaragua/UNAN-CIGEO	rubi@igg.unan.edu.ni
18	Nadir Castrillo	Nicaragua/UNAN-CIGEO	onest30@gmail.com



3.3. VULCANOLOGIA

3.3.1. Introducción.

Las diferentes instancias que conforman la MESA de VULCANOLOGÍA RIESCA tienen entre sus tareas sustantivas la generación y mejora del conocimiento de los fenómenos volcánicos (en términos de su posible afectación espacial, recurrencia temporal y magnitud) y la formación/capacitación de recurso humano para poder pronosticar el comportamiento futuro de los principales volcanes activos en la región y aportar la información necesaria a los Sistemas Nacionales de Protección Civil para la aplicación de medidas de prevención y gestión de riesgos volcánicos.

El cumplimiento de esta misión se realiza a partir del desarrollo de actividades en dos grandes áreas de trabajo: la vigilancia volcánica, que incluye el análisis e interpretación de datos del monitoreo de diferentes precursores de actividad volcánica (sísmico, de gases, de deformación, entre otros) para la elaboración de pronósticos de actividad volcánica y los estudios de evaluación de la amenaza volcánica, que incluyen su caracterización a partir de la reconstrucción del historial eruptivo, la definición de escenarios de amenaza para cada uno de los volcanes activos de la región y la simulación de diferentes fenómenos volcánicos para la construcción de mapas de amenaza volcánica.

Estos procesos y los productos resultantes tienen como objetivo aportar la información necesaria para la toma de decisiones en materia de prevención del riesgo volcánico, establecer la correlación entre los niveles de actividad volcánica y el accionar de los sistemas nacionales de protección civil, estableciendo protocolos de comunicación y actuación, y en definitiva fortalecer los sistemas de alerta temprana por erupciones volcánicas, que los observatorios, las instituciones académicas y los sistemas nacionales de protección civil deben operar junto con las comunidades en el área de influencia de los volcanes activos para una adecuada y oportuna gestión del riesgo.

Las etapas y áreas de trabajo para la prevención del riesgo: Vigilancia Volcánica y Estudios de Caracterización de Amenazas se esquematizan en la Figura 18, siendo fundamentales para lograr la planificación y ordenamiento territorial con base en las características de los territorios volcánicos y emitir los pronósticos que permitan accionar los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) correspondientes.

La vigilancia volcánica tiene como objetivo el monitoreo de percusores volcánicos a través de distintas técnicas, a partir de las cuales se establecen las líneas base de comportamiento de un volcán en específico y se evalúan y detectan cambios en alguno de los precursores que indique un incremento en la actividad. El estudio de caracterización de amenazas se realiza con la reconstrucción del historial eruptivo y la respectiva modelación del sistema volcánico logrando con ello, definir los escenarios de amenaza y su reproducción a través de simulaciones numéricas, para finalmente obtener los mapas de amenaza (determinísticos y/o probabilísticos).

La integración de estos módulos permite establecer los escenarios de riesgo y el pronóstico, proporcionando así la información científica-técnica relacionada a la probabilidad de ocurrencia de una erupción en términos espaciales, temporales y de magnitud de los impactos esperados.



Figura 18. Esquema de las etapas y áreas de trabajo para la prevención del riesgo volcánico.

En el marco de estas tareas sustantivas se detalla a continuación el trabajo realizado por la mesa temática de vulcanología-RIESCA durante los dos años de ejecución del proyecto y especialmente los avances en este segundo año 2018.

3.3.2. Antecedentes

Tomando en cuenta los Informes de la Jornada 3 de enero 2018 y de la Jornada centroamericana de septiembre 2018, se copia en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para hacer más claros el avance del 2018.

Como resultados del primer año (2017) se menciona que la estrategia a seguir ha sido desarrollada en dos componentes:

- Generación de Mapas probabilísticos de amenaza volcánica.
- Fortalecimiento en el monitoreo de la actividad volcánica.

Como zonas piloto fueron seleccionadas el volcán Pacaya (Guatemala), Complejo volcánico Chiltepe-Nejapa-Miraflores (Nicaragua) y el Complejo volcánico San Salvador (El Salvador), buscando respuesta a:

- la definición de escenarios por el estilo eruptivo que ha dominado durante erupciones pasadas.
- la línea de tiempo de su aparición.
- el establecimiento de los principales parámetros físicos que controlan la dinámica eruptiva y los depósitos asociados.

El trabajo realizado se centró en los siguientes aspectos:

- explicación de los programas probabilísticos de simulación.

- consolidación de datos.
- metodología de muestro en campo.
- incorporación de datos base en sistema GIS.
- instalación y configuración de un programa de simulación.
- obtención de datos estadísticos de vientos.

- obtención de líneas de periodicidad y probabilidad de erupciones según su Índice de Explosividad Volcánica (IEV).

Para esto se generaron archivos con datos geospaciales con la siguiente información para las tres zonas de estudio:

- mapa topográfico (o DEM).
- diferentes escenarios de erupción y respiraderos relacionados.
- posición de las fuentes eruptivas pasados.
- red de fractura y fisuras.
- posición de las fallas principales.

Por lo tanto, los productos planificados para el segundo año (2018) del proyecto incluyen las siguientes acciones:

a) Generación de Mapas probabilísticos de amenaza volcánica:

- construcción de la carpeta denominada GRID (por la estructura del programa) que consiste en construir el modelo de dispersión Tephra2, generando la función de puntos de interés donde se calcularán las curvas de riesgo (asentamientos humanos, infraestructura educativa y hospitalaria, líneas de transmisión, etc.).
- corrida del programa para generar escenarios de caída de tefra para erupciones plinianas y vulcanianas.
- incorporación de los mapas de isomasa generados con el simulador al SIG.
- generación de mapas de probabilidad para la apertura del respiradero considerando la probabilidad de apertura de futuras fuentes eruptivas.
- corrida del programa para generar escenarios de caída de tefra para erupciones plinianas y vulcanianas.
- incorporación de los mapas de isomasa generados con el simulador al SIG.
- generación de mapas de probabilidad para la apertura del respiradero considerando la probabilidad de apertura de futuras fuentes eruptivas.
- definición de posibles escenarios eruptivos y de correlados fenómenos de peligrosidad
- instalación y configuración de los códigos Great Ball of Fire y MrLavaLoba.
- generación de escenarios por amenaza de proyectiles balísticos para el volcán Pacaya y Complejo volcánicas San Salvador.
- generación de escenarios por amenaza de flujos de lava para el volcán Pacaya.

b) Fortalecimiento en el monitoreo de la actividad volcánica:

- uso de equipo Multi-GAS RIESCA para realizar estudios periódicos de gas volcánico en volcanes clave en El Salvador, incluyendo San Salvador, Santa Ana, San Vicente y San Miguel.
- identificar variaciones de fondo en la composición del gas volcánico durante la quietud del volcán.
- establecer modelos para los procesos que rigen la composición del gas.
- identificar posibles parámetros infiltrados (firmas) útiles para identificar el cambio de la actividad (por ejemplo, un volcán entrando en una fase de “unrest”).
- contribuir al monitoreo de volcanes y la evaluación de riesgos volcánicos en Centroamérica.

c) Metodología de transferencia de información a los sistemas de Protección Civil :

- transferir los productos elaborados a las entidades encargadas de salvaguardar la vida humana en la región.

sociabilizar los mapas de amenaza volcánica que se generen y puedan ser utilizados en los planes de contingencia en caso de reactivación eruptiva.

- reforzar los umbrales que dictan el estado de actividad de un volcán y que pueda ser incorporado a los Sistemas de Alerta Temprana existentes.

3.3.3. Componentes de trabajo de la MESA de VULCANOLOGÍA-RIESCA

Durante dos años de ejecución del proyecto, en el tema vulcanológico, la estrategia ha sido desarrollada en dos componentes principales (Figura 19):

- La generación de mapas probabilísticos de amenaza volcánica.
- El fortalecimiento del monitoreo de la actividad volcánica

Basados en la filosofía del proyecto RIESCA, de colaboración y refuerzo de las relaciones de trabajo entre las instituciones con roles académicos, operativos y de toma de decisiones en materia de prevención del riesgo volcánico, tanto en el nivel nacional como regional, y con el acompañamiento, asesoría y transferencia de conocimiento de investigadores italianos, la mesa temática de vulcanología ha unificado y aplicado metodologías para la producción de mapas probabilísticos de amenaza por diferentes fenómenos volcánicos y el fortalecimiento de la vigilancia volcánica, especialmente en el área de monitoreo de gases volcánicos (Figura 19) En cada uno de los países socios del proyecto RIESCA se estableció un área de estudio donde se están desarrollando acciones en las dos componentes de trabajo: el Complejo volcánico de San Salvador en El Salvador, el volcán Pacaya en Guatemala y el Complejo volcánico Chiltepe-Nejapa en Nicaragua.

Se ha buscado establecer procedimientos para que estas metodologías sean replicables y puedan fortalecer la capacitación del recurso humano, incrementando sus capacidades para la comprensión y evaluación de la actividad volcánica, no solo en los volcanes objeto de estudio del proyecto, sino también en otros edificios volcánicos de la región centroamericana.

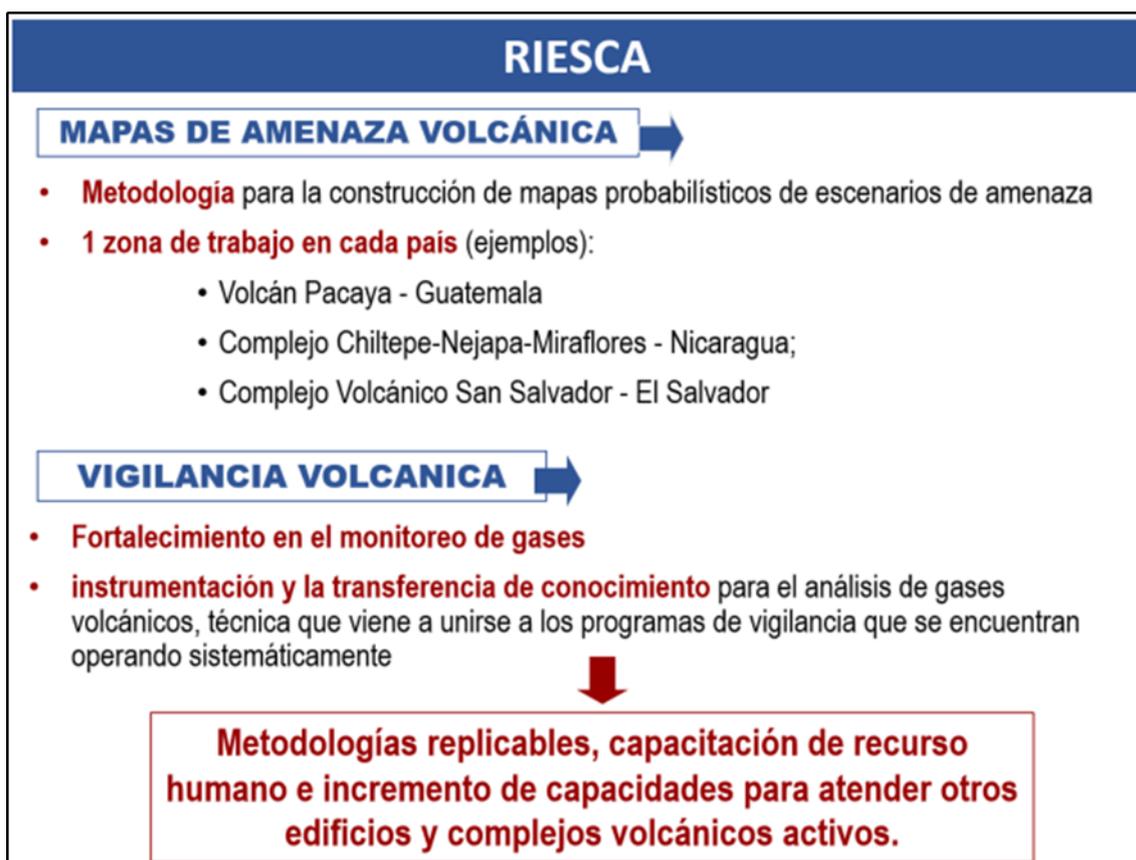


Figura 19. Desafíos planteados por el proyecto RIESCA.

Las metodologías y trabajos desarrollados durante los últimos dos años se describen en los siguientes apartados, de forma cronológica, desde los antecedentes hasta los resultados obtenidos durante este segundo año, en cada área de estudio de los países socios.

3.3.4. Mapas probabilísticos de amenaza volcánica: Antecedentes, actividades y resultados

En Nicaragua, El Salvador y Guatemala, durante los años 90 y principalmente en la década del 2000 al 2010 se elaboraron mapas de peligros volcánicos para algunos de los principales volcanes activos de la región, principalmente a partir de la cooperación del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con los observatorios de la región. La mayor parte de estos mapas se elaboraron a partir de la información geológica y del historial eruptivo disponible y para algunos fenómenos volcánicos (p.ej. lahares) se produjeron mapas de amenaza a partir de software de simulación específico (p.ej. LaharZ). Posteriormente, a partir de trabajos de investigación académica (posgrado) se elaboraron con mayor detalle algunos otros mapas de amenaza o bien se refinaron los ya existentes, utilizando diferentes modelos de tipo determinístico para definir las áreas de amenaza por diferentes fenómenos volcánicos.

3.3.4.1. El Salvador: Complejo Volcánico de San Salvador

Se definió como área piloto de estudio en El Salvador el Complejo Volcánico de San Salvador (CVSS, Figura 20), con énfasis en su sector noroeste donde se localizan diferentes edificios volcánicos monogenéticos de tipo cono de escoria y cráteres de explosión.



Figura 20. Complejo Volcánico San Salvador: volcán Boquerón y edificios volcánicos monogenéticos, área de estudio piloto para El Salvador.

En trabajos previos realizados por Fairbrothers (1978), Sofield (1998), Major (2001) y Ferrés (2013) se establecieron las etapas de formación del complejo volcánico y el sistema estructural que lo controla. En estos trabajos también se caracterizan una parte de los 24 volcanes monogenéticos en el entorno del volcán Boquerón, mayoritariamente alineados en dirección NW-SE y cuyas edades se concentran principalmente durante los últimos 3,000 años antes del presente (A.P.). Sofield (1998) y Ferrés et al. (2013) hacen mención en sus trabajos de la importancia de considerar la actividad volcánica monogenética como el escenario de peligro más probable a producirse en el futuro.

Ferrés et al. (2013) evaluaron la amenaza del CVSS a partir de la definición de tres escenarios eruptivos en función de la magnitud de las erupciones futuras posibles (erupción estromboliana violenta, erupción vulcaniana y erupción pliniana) en el volcán central Boquerón y elaboraron los mapas de escenarios de amenaza por caída de ceniza, emisión de fragmentos balísticos y emisión de flujos y oleadas piroclásticas para este volcán. Previamente, Major et al. (2001) habían elaborado el mapa de amenaza por lahares para este edificio volcánico. Los mapas de amenaza se construyeron con base en el historial eruptivo y utilizando simuladores determinísticos. En la Figura 21, por ejemplo, se muestra los resultados obtenidos en la modelación de caída de ceniza para los tres escenarios de amenaza, realizada con el código Ashfall, para el cual se seleccionaron parámetros de entrada fijos para cada uno de los tres tipos de erupciones consideradas.

Durante el primer año del proyecto RIESCA, se sostuvieron reuniones con asesores vulcanólogos italianos, llegando a la conclusión de la premura de abordar el análisis y evaluación de la amenaza por el surgimiento y/o reactivación de la actividad volcánica monogenética y la necesidad de definir escenarios de amenaza probabilísticos asociados a esta actividad. Esta decisión fue basada en el hecho que el 90% de los edificios volcánicos monogenéticos del CVSS se construyeron en los últimos 3000 años, siendo el estilo de actividad más probable a ocurrir nuevamente en el futuro. Sin embargo, se planteó también la necesidad de reproducir los escenarios de amenaza descritos para el volcán central Boquerón para algunos de los fenómenos volcánicos más probables (p.ej. caída de ceniza, flujos y oleadas piroclásticas) con un enfoque probabilístico.

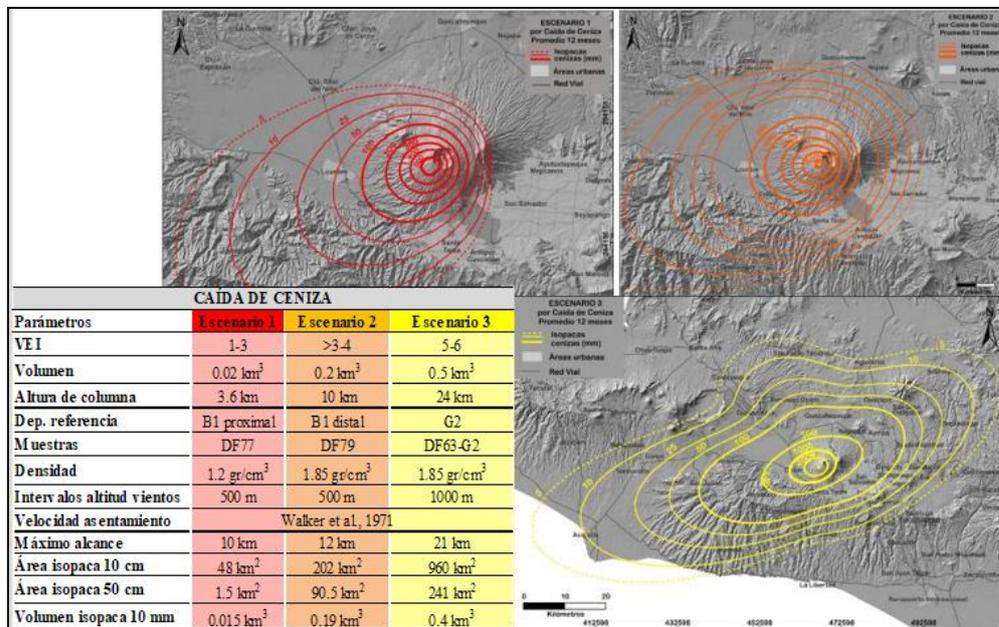


Figura 21: Zonificación de amenaza por caída de ceniza proveniente de erupciones de diferente magnitud desde el cráter central Boquerón. En el recuadro inferior izquierdo, se muestra los parámetros de entrada seleccionados para la modelación de los tres escenarios (parámetros fijos).

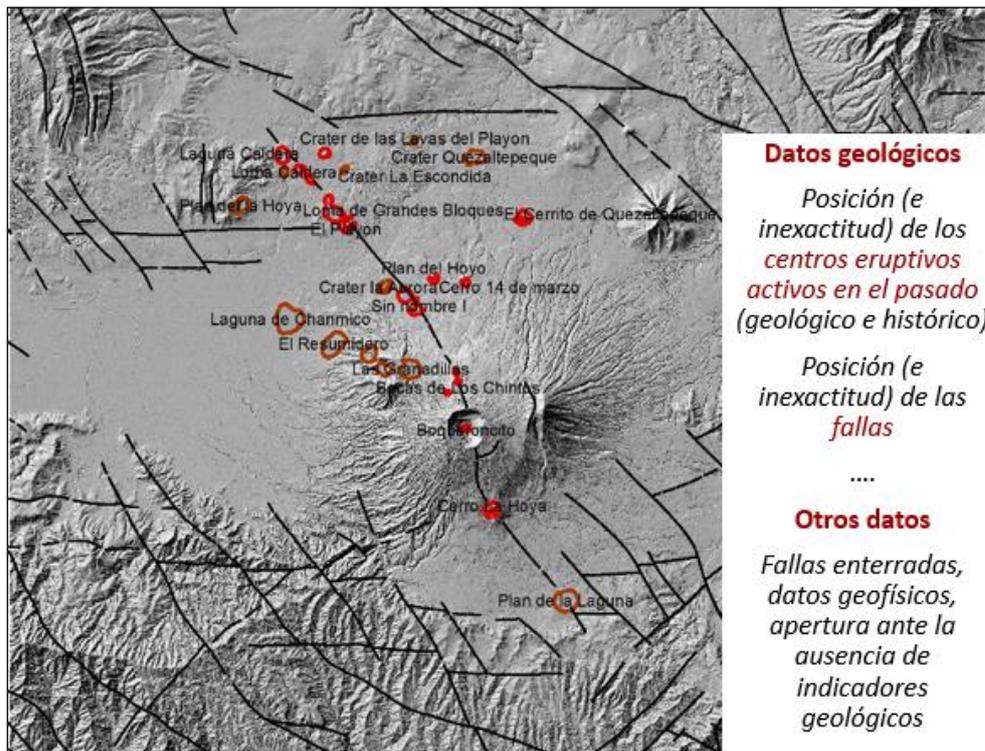


Figura 22. Distribución espacial de los centros de emisión geológicos e históricos (volcán central y edificios volcánicos monogenéticos) del CVSS y sistemas de fallas en su área de influencia.

Durante la tercera jornada plenaria RIESCA, realizada en enero 2018, se consolidó el trabajo desarrollado durante el primer año de proyecto, con la recopilación de datos históricos y geológicos disponibles del CVSS y la preparación de los insumos necesarios para la consolidación de bases de datos, a partir de las cuales obtener los parámetros de entrada para los diferentes softwares de simulación de fenómenos volcánicos. Un ejemplo de estos insumos es el consolidado de información sobre la posición y características de todos los centros de emisión geológicos e históricos del CVSS (Figura 22).

Con base en esta recopilación se redefinieron los escenarios de amenaza para el CVSS, planteados en Ferrés et al. (2013) y se integraron escenarios de amenaza asociados a la actividad volcánica monogenética (Figura 23). En cada escenario se asignaron rangos de valores a los principales parámetros que los definen (volumen de material emitido, altura de la columna, energía de la erupción) y que serán usados como parámetros de entrada de los códigos de simulación para realizar una evaluación probabilística de la amenaza. La Universidad de Florencia (UNIFI) propuso la utilización de los softwares: *TephraProb* (Biass et al., 2016) para la simulación de caída de ceniza, *Great Ball of Fire* (Biass et al., 2016) para la simulación de la emisión de proyectiles balísticos, *MrLavaLoba* (Micheli & Tarquini, 2017) para la simulación de flujos de lava y el script *ECMapProbe*, modificado del módulo de energía, desarrollado por la UNIFI, para la simulación de corrientes de densidad piroclástica.

Tipo	Amenaza principal	Altura de columna (km)	Masa (kg x 10 ⁹)	TGSD (Distribución del tamaño de clastos)	Densidad de los clastos (Kg/m ³)	Otras amenazas
Estromboliano	Caída de tefra	2 a 4	1 a 15	Md ϕ -6 a -3 $\sigma\phi$ 1 a 2	1200 a 1800	Balísticos Flujos de lava
Freatomagmático	PDC		0.3 a 3	Md ϕ -1 a 1 $\sigma\phi$ 1.5 a 2.5	1500 a 2600	Caída de tefra Balísticos
Subpliniano	Caída de tefra	12 a 20	500 a 1500	Md ϕ -1 a -2.5 $\sigma\phi$ 2 a 2.5	500 a 1200	PDC
Pliniano	Caída de tefra	22 a 28	500 a 1500	Md ϕ -1 a -2.5 $\sigma\phi$ 2 a 2.5	500 a 1200	PDC

Figura 23. Resumen de rangos de datos de ingreso a simuladores, obtenidos a través del análisis del historial eruptivo de la zona de estudio.

Durante este segundo año de proyecto se iniciaron las actividades para la obtención de mapas de amenaza probabilísticos por caída de ceniza y por generación de corrientes de densidad piroclástica (flujos y oleadas piroclásticas) con origen en el volcán Boquerón y en una localización en el sector NW del CVSS, donde se ubican la mayor parte de edificios volcánicos monogenéticos; con la asesoría y colaboración del equipo de asesores italianos, específicamente en la Universidad de Florencia (Dr. Raffaello Cioni, UNIFI).

Las etapas de trabajo y los productos específicos que se obtuvieron durante este segundo año de actividades del proyecto RIESCA se detallan a continuación:

3.3.4.2. Mapa de probabilidad de apertura de nuevos centros o bocas eruptivas

El mapa de probabilidad de apertura de nuevos centros eruptivos (Figura 24) se obtuvo a partir del análisis estadístico de la posición de las bocas eruptivas geológicas e históricas (centros de emisión con funcionamiento en el pasado) aplicando funciones de densidad. El mapa muestra a través de isocurvas de probabilidad las zonas que pueden ser más probables a albergar un nuevo centro emisor y por tanto constituyen una base fundamental sobre la que sustentan las sucesivas simulaciones de cualquier fenómeno volcánico y la posterior elaboración de mapas de amenaza probabilísticos.

En la Figura 24a se muestra el resultado de la evaluación probabilística del surgimiento de bocas eruptivas utilizando una Dimensión Kernel de 2.5 km, utilizando solamente la información sobre la posición de los centros eruptivos pasados. El tamaño Kernel define el radio de un filtro gaussiano que distribuye la probabilidad alrededor de un punto dado por la posición de las bocas eruptivas pasadas. Este mapa puede alimentarse también con la información estructural, de la posición y orientación de fallas. En la Figura 24b se muestra el mapa obtenido al multiplicar la probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas por la probabilidad asociada a la cercanía a fallas cartografiadas o inferidas.

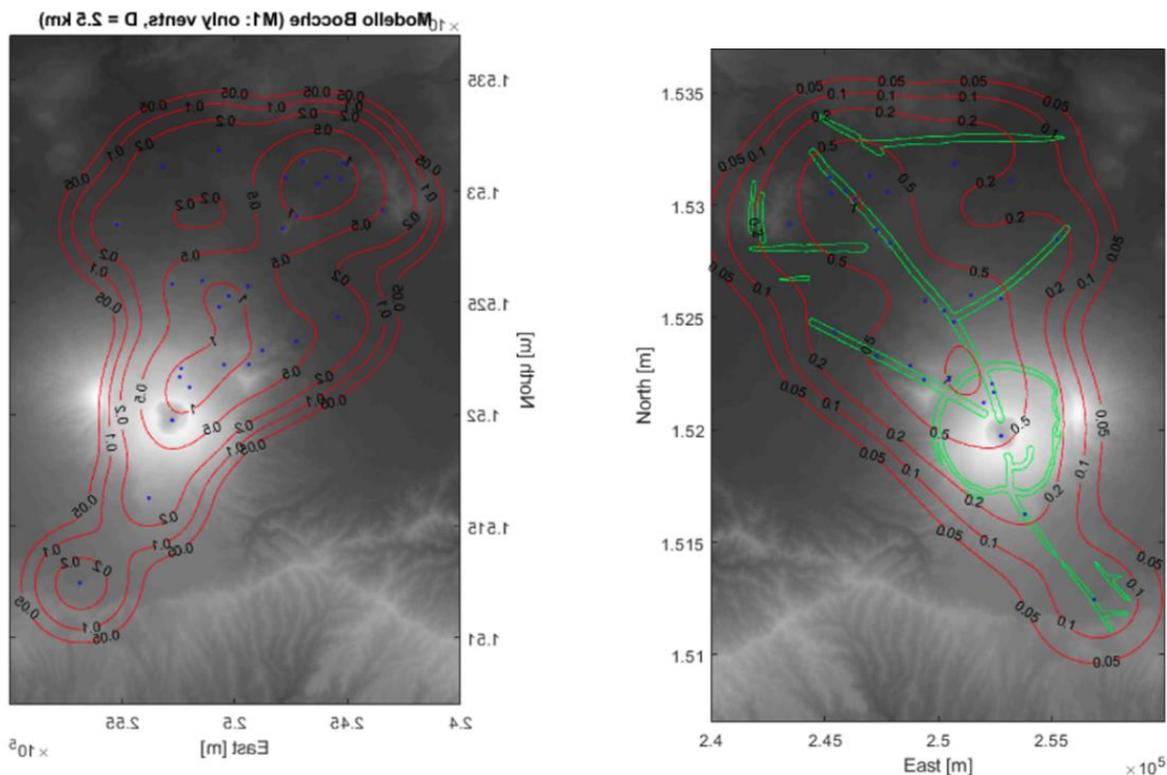


Figura 24a. Mapa de probabilidad de apertura de bocas eruptivas utilizando una Dimensión Kemel de 2.5 km, a partir de la información de la posición de centros eruptivos pasados.

Figura 24b. Mapa de probabilidad de apertura de bocas eruptivas utilizando información sobre centros eruptivos pasados y sobre el sistema de fallamiento

3.3.4.3. Mapas preliminares de probabilidad de dispersión y caída de ceniza en el volcán Boquerón para un escenario subpliniano

Aunque el sector NW del CVSS es una de las áreas de mayor interés para la construcción de mapas probabilísticos de amenaza, se inició el proceso de simulación de caída de cenizas en el volcán Boquerón, utilizando el software TephraProb (Biass, et. al,2016), para la reproducción del escenario eruptivo subpliniano.

El programa utiliza un entorno integrado para producir evaluaciones probabilísticas de amenaza por caída de tefra a través de una interfaz de Matlab, de fácil uso, y utilizando el modelo de advección-difusión del software Tephra2 (Bonadonna et al, 2005). El código incluye módulos para: I) la recuperación, procesamiento y análisis de los datos de entrada sobre el área de la simulación (es decir, la cuadrícula de cálculo), las condiciones de viento y la historia eruptiva; II) la creación de distribuciones de los parámetros de fuente de la erupción (ESP, por sus siglas en inglés) para varios tipos de erupciones y varios escenarios eruptivos y III) el pos proceso de los resultados y la compilación de los productos, para la producción de isocargas de probabilidad de carga de ceniza (isomasa).

Además de los parámetros de entrada sobre la fuente y los productos piroclásticos, para el inicio de las simulaciones se requiere la información sobre los vientos imperantes en el área de influencia del volcán. Por ello se realizó el análisis estadístico de la dirección y velocidad de los vientos para un período de 10 años (Figura 25) en el área del volcán Boquerón, para las temporadas seca y lluviosa. Esta variable tiene gran influencia en los resultados de las

simulaciones, ya que los vientos son los responsables de direccionar los productos de la emisión de piroclastos y ceniza.

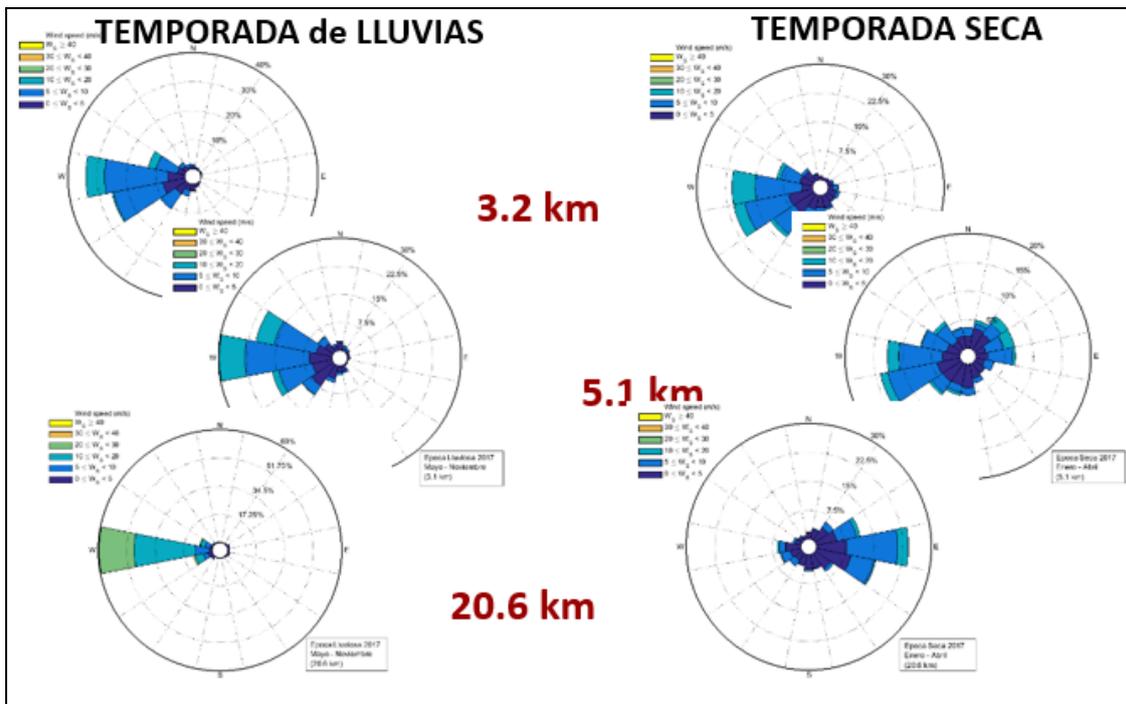


Figura 25: Ejemplos de rosa de vientos para alturas de 3.2, 5.1 y 20.6 km sobre el cráter Boquerón, mostrando la dirección y velocidad de vientos predominantes para las temporadas seca y lluviosa.

A partir de los datos de la distribución y velocidad de vientos (Figura 25), así como de los datos que describen el escenario subpliniano para el volcán Boquerón (Figura 23) se realizaron decenas de simulaciones, de las cuales se obtuvieron dos tipos de mapas:

- Mapas de probabilidad de superar una determinada carga de tefra, que muestran las áreas englobadas por diferentes isóneas de probabilidad de superar un determinado umbral de carga de cenizas. En la Figura 26 se muestra la distribución de la probabilidad de superar una carga de 100 kg/m^2 y en la Figura 27 la distribución de la probabilidad de superar una carga de 1 kg/m^2 .
- Mapas isóneas de masa para diferentes probabilidades, que muestran las áreas que podrían resultar afectadas por diferentes cantidades de caída de tefra en el terreno con una probabilidad seleccionada. Para el caso de la Figura 28 se seleccionó una probabilidad del 10%, sin embargo, para este tipo de mapas puede seleccionarse la probabilidad que se considere óptima para el análisis de vulnerabilidad o riesgo que se realice en cada momento en función de la toma de decisión en curso.

Estos tipos de mapas se elaboran en formato shape-file de manera que pueden integrarse fácilmente a un sistema de información geográfico y combinarse con otras capas de información, como por ejemplo de elementos expuestos (viviendas e infraestructura, ver Figura 26). Durante la 5ª jornada RIESCA se recopiló la literatura científica donde se analizan los umbrales de carga para diferentes tipos de construcciones en diferentes volcanes del mundo. Esta literatura, que se integró al aula virtual, puede servir de referencia para orientar los siguientes mapas a producir y para realizar posteriores análisis de vulnerabilidad de la infraestructura y de riesgo por colapso de techos en el área de influencia del CVSS.

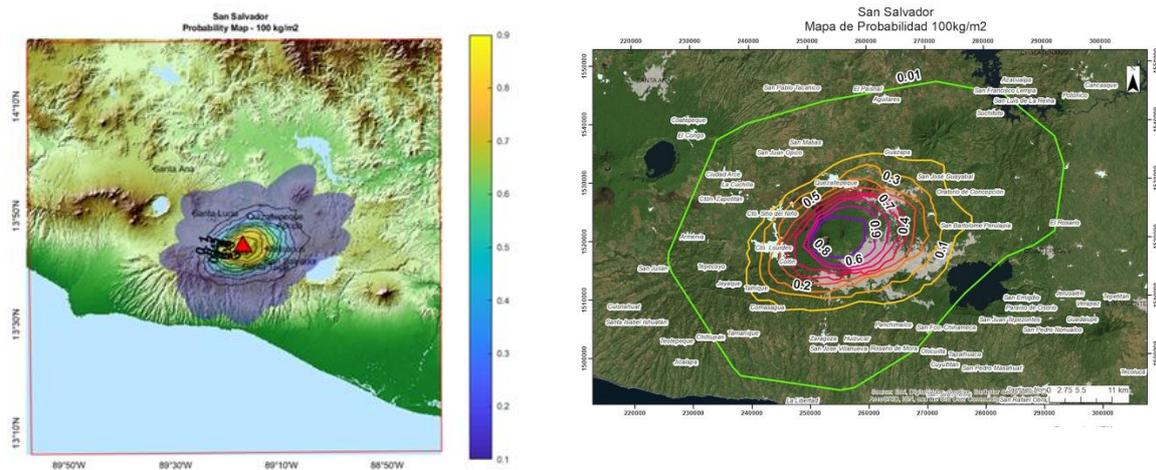


Figura 26. Distribución de probabilidad de caída de 100 kg/m² de ceniza. En la imagen de la derecha los resultados de la simulación, en formato shape-file, se superpusieron a la base de Google Earth para visualizar de mejor manera las áreas de posible afectación.

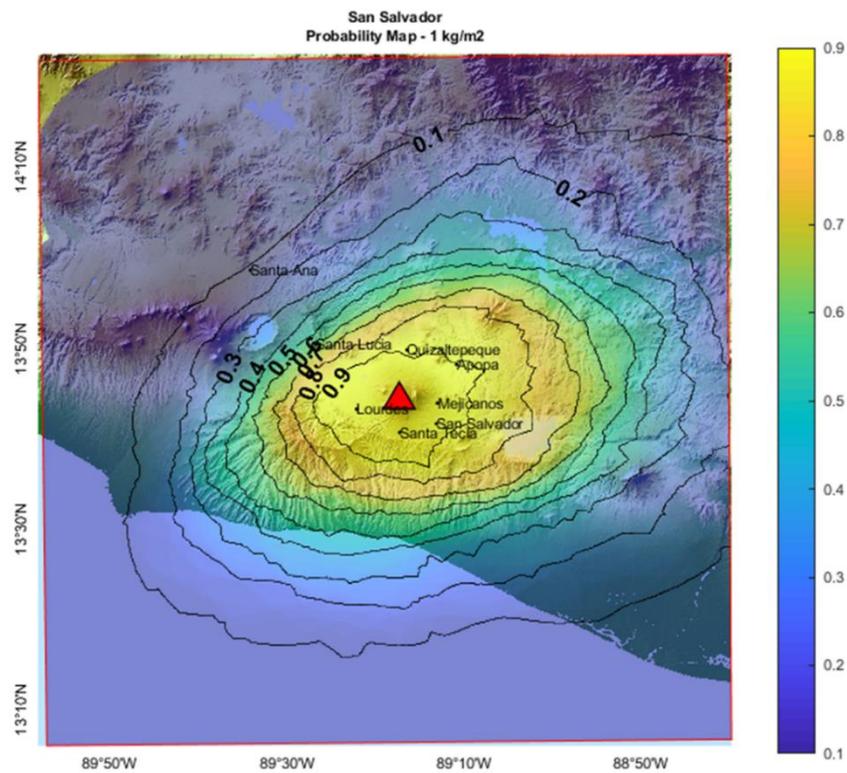


Figura 27. Distribución de probabilidad de caída de 1 kg/m² de ceniza.

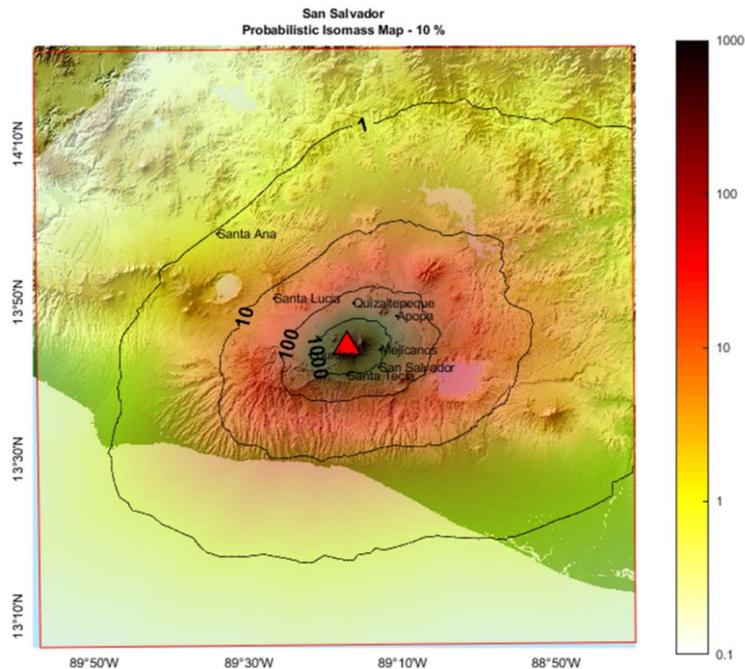


Figura 28. Distribución de masa de ceniza en el terreno esperada para una probabilidad del 10%.

También se realizaron el mismo tipo de simulaciones para una localización en el área NW del CVSS, como prueba. En los próximos meses se seleccionarán diferentes localizaciones en este sector, con base en el mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas, y se refinarán los parámetros que definen los escenarios eruptivos de actividad volcánica monogenética (magmático y freatomagmático), para el desarrollo de todas las simulaciones y la elaboración de los mapas probabilísticos de amenaza por caída de ceniza correspondientes. Para la consecución de esta actividad se recomienda el desarrollo de una pasantía de un técnico del observatorio de El Salvador en la UNIFI, bajo la tutoría del Dr. Raffaello Cioni.

3.3.4.4. Gráficos de curvas de probabilidad de caída de ceniza para sitios de interés

Con base en los mapas de umbrales de carga de ceniza y de isomasa se elaboraron gráficos que muestran la probabilidad de alcanzar una determinada acumulación de masa de ceniza en sitios de interés. Para el caso del CVSS se evaluaron algunos municipios del Área Metropolitana de San Salvador asentados en el área de influencia del volcán (Figura 29).

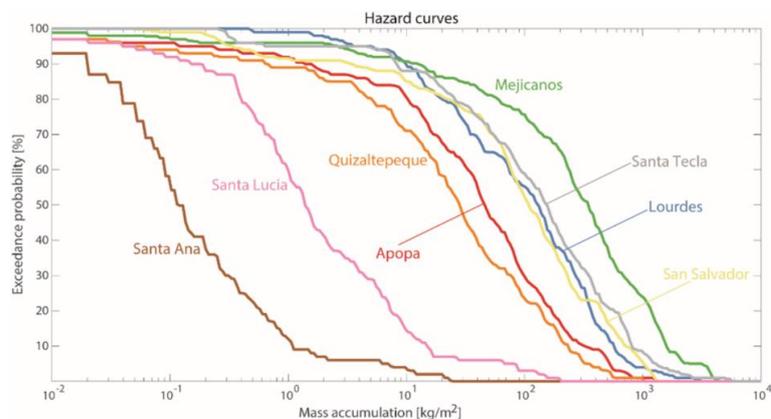


Figura 29. Distribución de masa de ceniza en el terreno esperada para una probabilidad del 10% para diferentes localizaciones de interés en el Área Metropolitana de San Salvador.

3.3.4.5. Mapas probabilísticos de amenaza de corrientes piroclásticas de densidad (flujos y oleadas piroclásticas)

Otro logro del segundo año de ejecución del proyecto RIESCA es la obtención de un mapa probabilístico de amenaza por corrientes piroclásticas de densidad (flujos y oleadas piroclásticas) preliminar para un escenario subpliniano en el volcán Boquerón (Figura 30). Este mapa se elaboró a partir de la simulación de este tipo de flujos con el software ECMapProbe (módulo del cono de energía modificado), desarrollado en la UNIFI, y muestra las diferentes probabilidades con que el entorno de el Boquerón puede ser invadido por este tipo de producto volcánico.

Con la misma metodología y usando la información contenida en el mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas, se simuló la ocurrencia de flujos y oleadas piroclásticas desde un centro de emisión en el sector norte del CVSS.

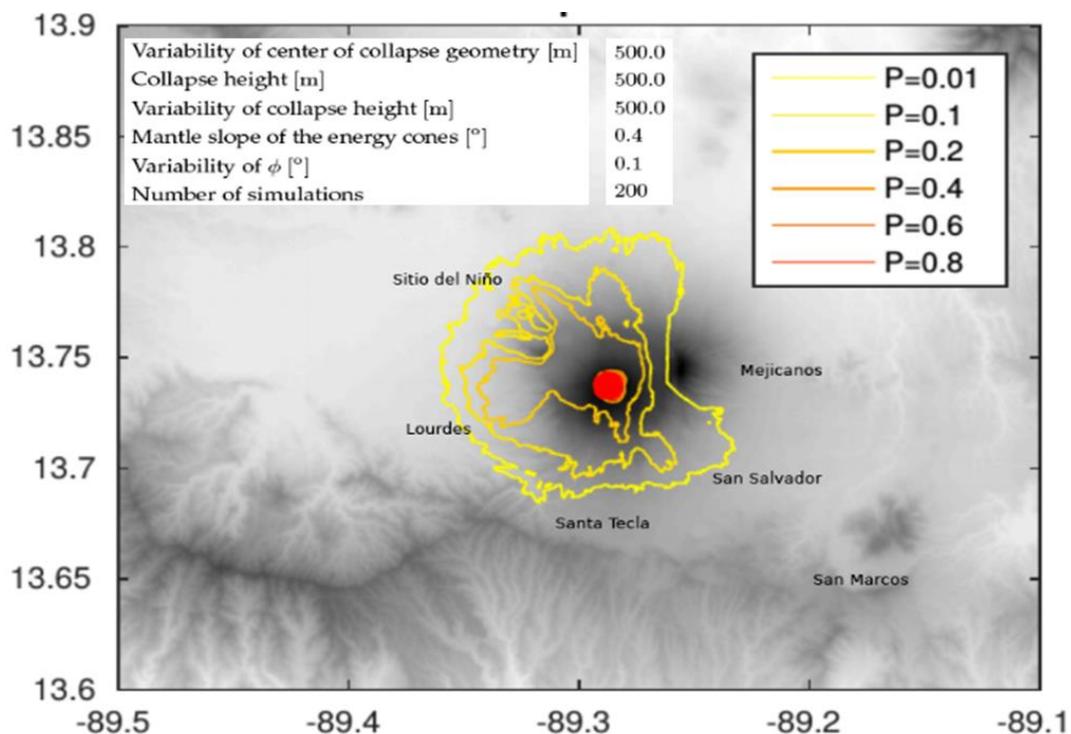


Figura 30. Mapa probabilístico de amenaza por corrientes piroclásticas de densidad.

Tal y como se mencionó para el fenómeno de caída de ceniza, también para la obtención de los mapas definitivos de amenaza por corrientes piroclásticas de densidad es necesario el desarrollo de un mayor número de simulaciones para replicar el conjunto de escenarios eruptivos planteados para el volcán Boquerón, así como la selección de nuevos centros de emisión en el área de influencia del CVSS, con base en el mapa probabilístico de apertura de nuevas bocas eruptiva, para la simulación de este tipo de procesos asociados a la construcción de volcanes monogenéticos. La realización de una pasantía en la UNIFI de un técnico del observatorio en El Salvador sería la mejor forma para desarrollar de forma completa esta actividad.

Con la finalidad de replicar la metodología RIESCA para la construcción de mapas probabilísticos de amenaza volcánica, durante la 5 jornada del proyecto se dio inicio al

estudio estratigráfico y muestreo en el volcán Ilamatepec, específicamente en la reconstrucción de la erupción de 1904. Se espera que durante el tercer año del proyecto se tengan los insumos para realizar la evaluación de amenaza probabilística de este volcán, a partir de los datos de caracterización de los productos piroclásticos de esta erupción. Otra actividad que se llevó a cabo durante la 5ª jornada RIESCA y que deberá completarse durante los próximos meses es la inducción a un técnico del observatorio de El Salvador sobre la simulación de flujos de lava orientada a la construcción del mapa de amenaza por flujos de lava del volcán Boquerón. La metodología utilizada en este caso es la utilizada para la producción de mapas de peligro volcánico para algunos volcanes de México (p.ej. Popocatepetl, Ceboruco).

3.3.4.6. Nicaragua: Complejo volcánico Chiltepe-Nejapa

Se definió como área piloto de estudio en Nicaragua el Complejo volcánico Chiltepe y Nejapa. (Figura 31), Los avances son descritos en base al trabajo previo de Mélida Schliz.

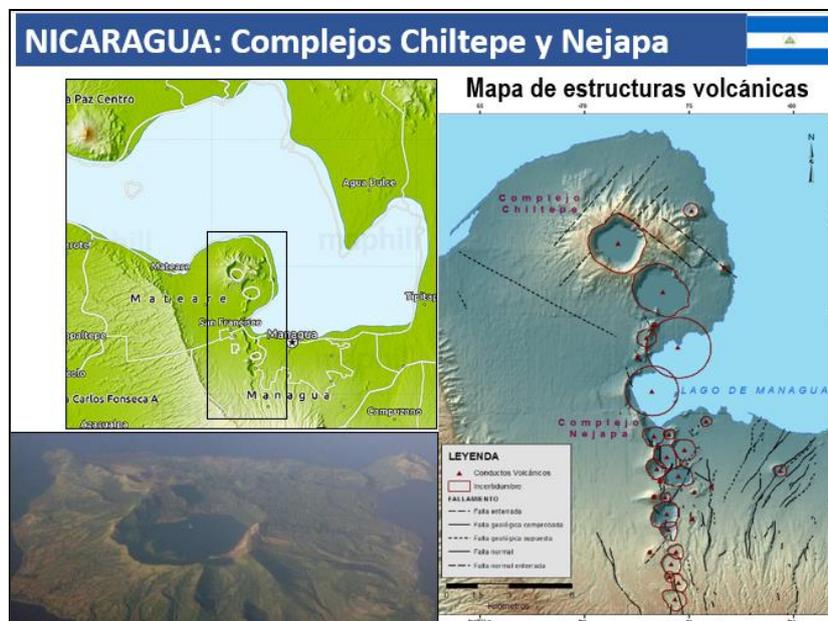


Figura 31: Área de estudio del proyecto RIESCA en Nicaragua: Complejo volcánico Chiltepe y Nejapa.

Para esta área de estudio, diversos trabajos previos de vulcanología física, realizados por Kutterolf (2007), Freundt (2009) y Avellán (2014), entre otros, describen una gran diversidad de estilos eruptivos (freático, freatomagmático y magmático), con erupciones de diversa magnitud que produjeron caída de tefra, oleadas piroclásticas y en mucha menor proporción, flujos de lava.

Como ya se mencionó con referencia al conjunto de la región, en Nicaragua se dispone de diversos mapas de escenarios de amenaza volcánica para algunos de los principales volcanes activos, la mayoría de ellos elaborados con un enfoque determinístico por el INETER, en colaboración con otras instancias académicas y de cooperación internacional. En concreto para la zona de estudio se dispone un mapa de amenaza por caída de ceniza (INETER, 2009) elaborado para el análisis de peligros y riesgos sobre la infraestructura eléctrica cercana (Figura 32).

Durante la tercera jornada RIESCA se inició con la recopilación de los datos geológicos e históricos y la preparación de los insumos de información para la localización y descripción de los centros eruptivos activos en el pasado, así como de los sistemas de fallas en la zona de influencia del Complejo Volcánico Chiltepe-Nejapa (Figura 33a). Estos insumos fueron la base para la elaboración, durante este segundo año del proyecto RIESCA, del mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas (Figura 33b), con la misma metodología aplicada en el CVSS en El Salvador y descrita previamente.

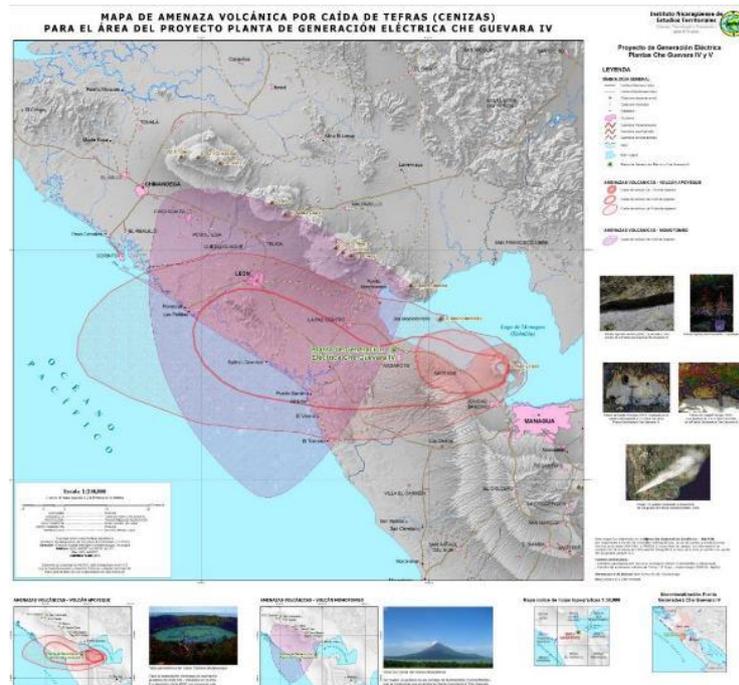


Figura 32. Mapa de amenaza volcánica por caída de tefra para el área del proyecto Planta de Generación Eléctrica Che Guevara IV.

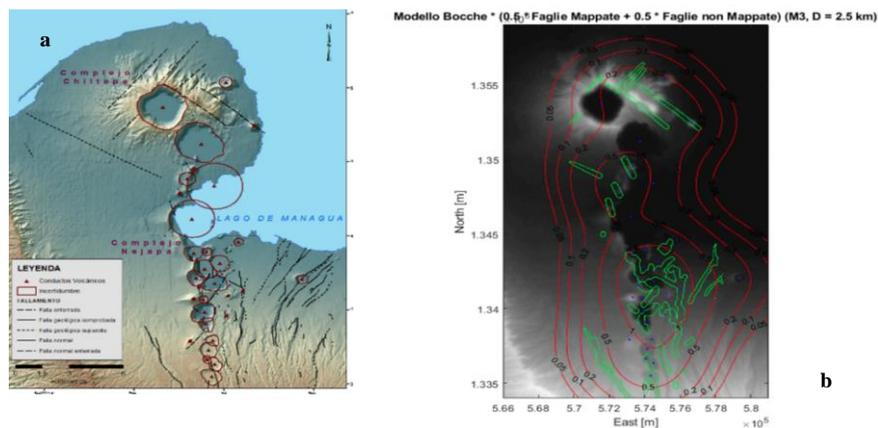


Figura 33. a) Mapa de las estructuras volcánicas, bocas eruptivas y del sistema de fallas del complejo volcánico Chiltepe-Nejapa y b) mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas (derecha) elaborado en el proyecto RIESCA, considerando la localización de los centros eruptivos pasados y los sistemas de fallas en la zona.

También durante este segundo año de proyecto se inició con el proceso de simulación de dispersión y caída de tefra considerando como centro emisor la laguna de Apoyeque y considerando un escenario pliniano (21-30 km de altura de la columna eruptiva, $1.2-30 \times 10^{11}$

kg de masa de material volcánico emitido y una duración de la erupción de 4 a 24 horas). Utilizando el software TephraProb (Biass et. al, 2016) se obtuvieron preliminarmente los mapas de probabilidad de superar umbrales de carga de ceniza de 100 kg/m² (Figura 34) y los mapas de probabilidad de presencia del depósito en el terreno (Figura 35), a partir de la realización de 100 simulaciones.

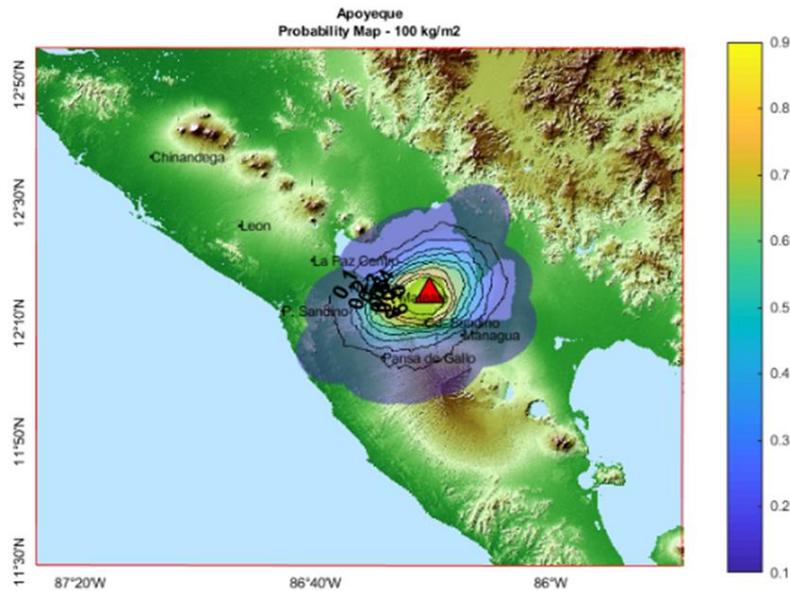


Figura 34: Distribución de probabilidad de caída de 100 kg/m² de ceniza.

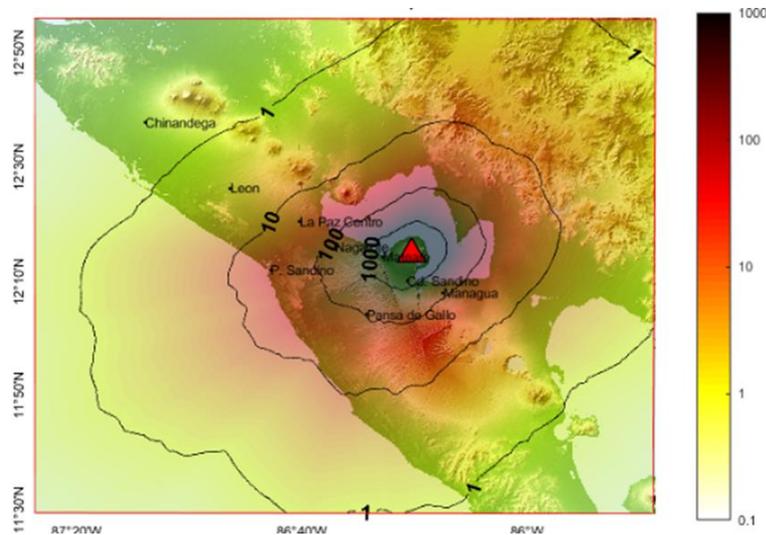


Figura 35: Distribución de la masa de ceniza (depósitos) esperada para una probabilidad de 10%. De igual forma, se simularon obtuvieron los gráficos de curvas de probabilidad de alcanzar una determinada acumulación de masa de ceniza en sitios de interés, para este caso se evaluaron algunos municipios cercanos al área de influencia del complejo volcánico, incluyendo la ciudad de Managua (Figura 19).

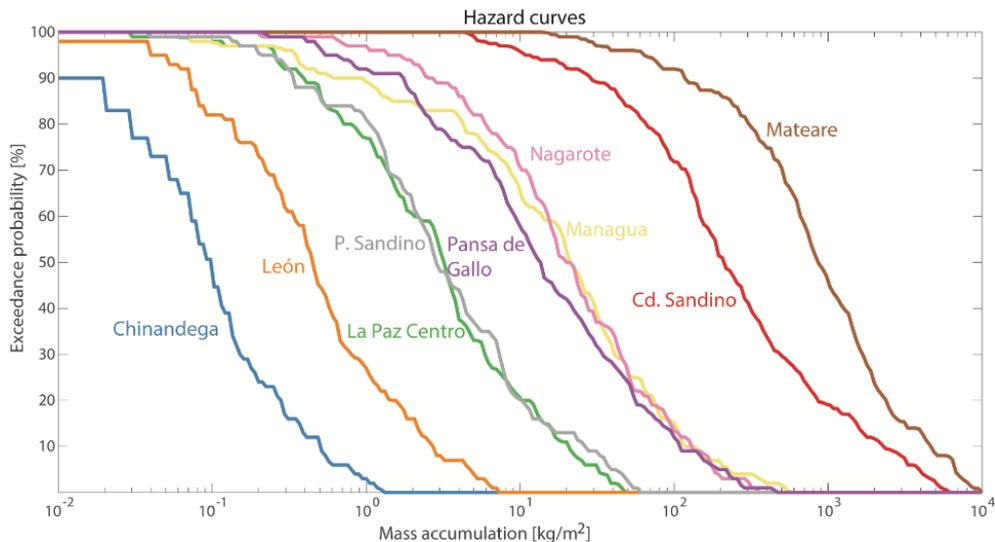


Figura 36: Distribución de masa de ceniza en el terreno esperada para una probabilidad del 10% en diferentes ciudades del área de influencia del Complejo Volcánico Nejapa-Chiltepe.

Para el tercer año de proyecto RIESCA se tiene contemplado continuar con estas simulaciones para la elaboración de los mapas probabilísticos de amenaza por caída de ceniza y por corrientes de densidad piroclástica. Para este fin, sería necesario que un participante de la CIGEO/UNAN participara en el programa de pasantías en la UNIFI, para una inducción completa sobre la metodología de elaboración de los mapas.

Los integrantes nicaragüenses de la Mesa de Vulcanología-RIESCA participaron también en la inducción sobre la simulación de flujos de lava, metodología que es de interés desarrollar en algunas zonas del área de estudio, pero también en otros volcanes del país.

3.3.4.7. Guatemala: Volcán Pacaya

El volcán Pacaya fue seleccionado como el área piloto de estudio en Guatemala (Figura 37).

Este volcán cuenta con un amplio historial eruptivo. Ha presentado diversos episodios de actividad durante los últimos 60 años, principalmente con la emisión de flujos de lava de composición basáltico-andesítica, acompañados de fases explosivas de tipo estromboliano con la emisión de fragmentos balísticos, spatter y cenizas.

Diferentes autores han trabajado en Guatemala en la realización de estudios vulcanológicos desde la década de los años setenta. Sin embargo, ha sido hasta años recientes que los técnicos del área de vulcanología del INSIVUMEH han desarrollado estudios geológicos y vulcanológicos para la alimentación de una base de datos sobre los flujos de lava de las últimas décadas, desde 1961, con base en datos recopilados en trabajos de campo y de análisis de imágenes térmicas y satelitales (Figura 38 y 39).



Figura 37. Panorámica del volcán Pacaya desde el noroeste.

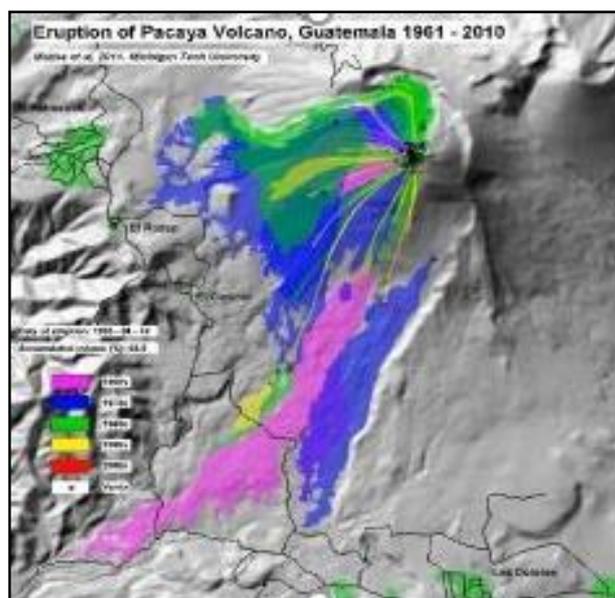


Figura 38. Mapa de distribución de lavas emitidas entre 1961 y 2010 en el volcán Pacaya. Cartografía dinámica elaborada por la Ing. Carla Chun (INSIVUMEH, 2017-2018)

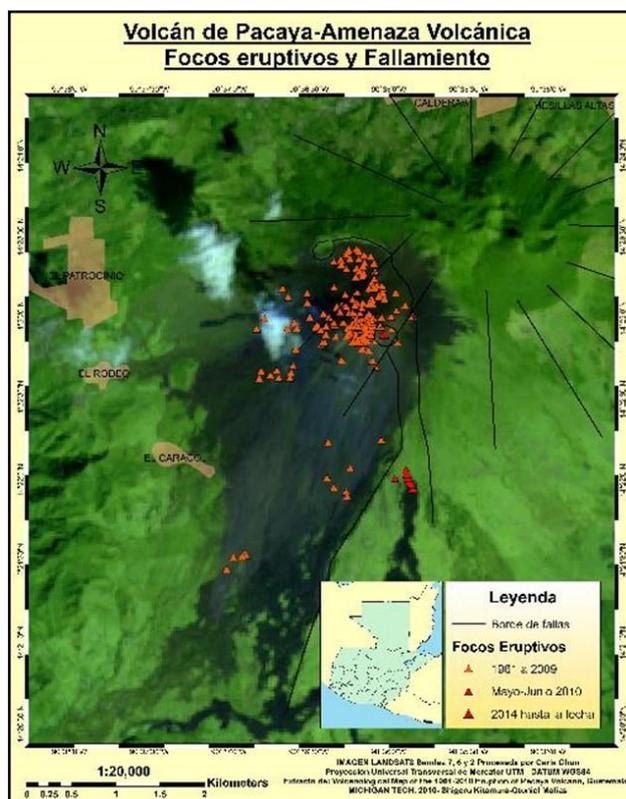


Figura 39. Cartografía de la localización de las bocas eruptivas históricas, activas durante las últimas décadas, elaborada como parte de la base de datos de actividad del volcán Pacaya (Ing. Carla Chun, INSIVUMEH)

Concretamente, la Ing. Carla Chun, integrante de la mesa de vulcanología-RIESCA, es quien construye esta base de datos como parte de la información para su tesis de licenciatura. Incluye información sobre las características de los flujos (espesor, longitud, tasa de efusión, tiempo de emplazamiento) y sobre los centros de emisión. Para el primer caso existen capas de información con la cartografía de los flujos (Figura 38) y también existe la capa de información sobre los centros de emisión han logrado acumular una base de datos de 70 años. La tesis desarrollada por Chun (2016-2018) muestra la localización de centros eruptivos y fallamiento (Figura 38).

Para el caso particular del volcán Pacaya, se decidió dar prioridad a la modelación de flujos de lava, debido a que es el producto histórico más representativo del edificio volcánico. Es así, que se eligió el software Downflow (Favalli et. al., 2011) para efectuar las modelaciones de la amenaza. En la Figura 40 se muestra un escenario de flujos de lava de 5 km de longitud.

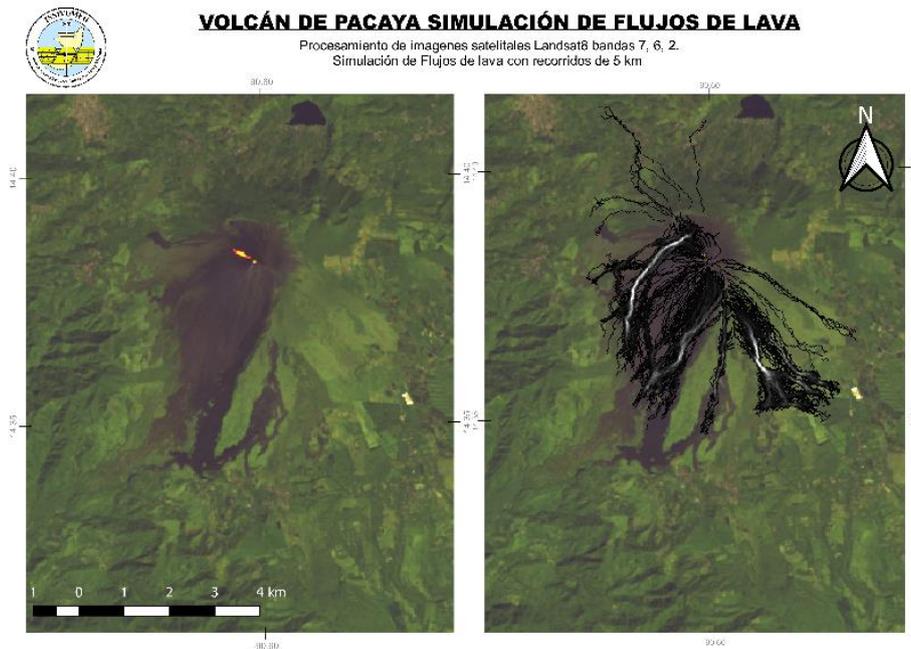


Figura 40. Simulación de flujos de lava de 5 km de longitud en el volcán Pacaya (Carla Chun, INSIVUMEH).

Durante la 5ª jornada RIESCA en Guatemala se planteó la alternativa de realizar las simulaciones de flujos de lava utilizando el software Etna Lava Flow Model (Damiani et., 2006). Durante la jornada se capacitó a varios de los integrantes de la mesa de vulcanología en el uso de este código y en especial en la comprensión de los parámetros necesarios para su uso y de las limitaciones de los resultados que se obtienen. Se hizo especial incidencia en la etapa de calibración del software necesaria para iniciar las simulaciones. Downflow (Favalli et al., 2011) y ELFM (Damiani et al., 2006) son software de simulación probabilísticos, relativamente parecidos, que reproducen las zonas de inundación de flujos de lava con base en la máxima pendiente, sobre un modelo de elevación digital, cuya resolución es de especial importancia para la calidad de los productos resultantes. También durante la jornada se realizó una visita de campo al volcán Pacaya para observar la actividad actual del volcán y discutir sobre las características de los flujos y la definición de escenarios de amenaza (Figura 41).



Figura 41. Visita de campo al volcán Pacaya durante la 5ª jornada RIESCA en Guatemala, para la observación de la actividad actual de flujos de lava y la discusión sobre la definición de escenarios de amenaza-Simulación de flujos de lava de 5 km de longitud en el volcán Pacaya (Carla Chun, INSIVUMEH).

Durante el tercer año de proyecto se planteó avanzar en dos actividades principales: I) la elaboración del mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas con base en la cartografía de centros de emisión históricos elaborada por el INSIVUMEH y II) la continuación de las simulaciones con alguno de los dos software descritos para completar la elaboración del mapa de amenaza por flujos de lava, definiendo previamente varios escenarios posibles, en función de la longitud o tasa de efusión de las lavas. Para la obtención de un mapa de amenaza probabilístico por flujos de lava, será de especial relevancia contar con el primero de los productos, que sustente la selección de los centros eruptivos futuros desde donde se van a realizar la simulación de circulación de nuevos flujos.

3.3.4.8. Vigilancia volcánica: Antecedentes, actividades y resultados

La vigilancia volcánica a través del monitoreo visual (web-cams) y sísmico está bien implementada en la región centroamericana en los principales volcanes activos, con redes de instrumentos de tres componentes y de banda ancha que transmiten datos en tiempo real a las centrales de monitoreo (observatorios). Estas redes han crecido y mejorado durante las últimas dos décadas.

Durante este tiempo los observatorios han hecho esfuerzos, apoyados por diversos proyectos de cooperación para la implementación del monitoreo de gases, hidrogeoquímico y de deformación, así como de lahares (a través de infrasonido) y de otros procesos volcánicos a través de sensores remotos. La implementación de redes de monitoreo para el seguimiento de los cambios en la desgasificación y morfológicos ha sido más lenta e irregular en el conjunto de la región.

Específicamente para el monitoreo de gases, el proyecto NOVAC de la cooperación sueca, implementó, desde mediados de la década del 2000, una red de estaciones DOAS y mini-DOAS para la medición de flujos de dióxido de azufre (SO₂) en varios volcanes activos de la región. Algunos de estos equipos están todavía operativos y han servido para el registro de los cambios en la emisión de SO₂ en varios volcanes de El Salvador (Santa Ana y San Miguel de forma permanente y un equipo móvil para mediciones discretas), Nicaragua (San Cristóbal y Masaya) y Guatemala (Fuego y Santiaguito). En Guatemala, antes de la implementación del proyecto NOVAC, se disponía desde los años 90 de un equipo COSPEC con el que se realizaban mediciones discretas a los principales volcanes activos del país (Pacaya, Fuego y Santiaguito) y se realizaba apoyo a crisis volcánicas en la región. Actualmente, no existe en este país una red permanente de monitoreo de gases, realizándose solamente mediciones discretas con equipos multigas en cooperación con la Universidad de Puerto Rico (Dra. Lizzette Rodríguez). El Dr. Robin Campion de la Universidad Nacional Autónoma de México ha realizado en el último año visitas de colaboración con el INSIVUMEH para la recuperación de la red de equipos DOAS.

El proyecto RIESCA tiene entre sus objetivos el fortalecimiento y crecimiento de las redes de monitoreo de gases en los volcanes más activos de los países socios y también del fortalecimiento de capacidades para la adquisición, procesamiento e interpretación de datos a través de la tutoría del Dr. Alessandro Aiuppa de la Universidad de Palermo (UNIPA) y del Dr. Maarten de Moore (OVSICORI).

En el caso de El Salvador el volcán objeto de estudio del proyecto RIESCA para la componente de vigilancia volcánica es el volcán Ilamatepec o de Santa Ana. Este volcán es uno de los principales volcanes activos en El Salvador y tuvo su última erupción el 1 de

octubre de 2005, durante la cual generó una columna eruptiva de más de 10 km de altura, que lanzó a la atmósfera 1.5 millones de m³ de ceniza y generó depósitos de oleada piroclástica y lahares syn-eruptivos en el sector este y sureste del edificio volcánico. Durante los 14 meses previos a la erupción se detectaron cambios en las líneas base de actividad sísmica y de gases, de forma que estas técnicas de monitoreo se utilizaron como premonitoras de los incrementos de actividad. Los cambios más significativos se registraron en la sismicidad y en la tasa de desgasificación. Este último parámetro fue monitoreado inicialmente con el apoyo INSIVUMEH, utilizando equipo COSPEC, y posteriormente a través de un equipo DOAS instalado un mes antes del evento eruptivo. Este equipo DOAS que mide el flujo de SO₂ ha estado en funcionamiento hasta el presente.

Con el apoyo del proyecto RIESCA, la DGOA-MARN recibió un equipo Multigas desarrollado y ensamblado en la Universidad de Palermo. Este equipo multigas permite registrar la variación en la composición de las plumas volcánicas, de forma que es posible conocer las variaciones de los diferentes componentes gaseosos, no solo del dióxido de azufre, sino también del dióxido de carbono y otros gases ácidos.

Durante el segundo año del proyecto RIESCA se han realizado campañas de mediciones discretas en los volcanes de Santa Ana, San Salvador, San Vicente, Izalco, Tecapa, El Hoyón, Coatepeque y San Miguel contabilizando más de 25 jornadas de monitoreo (Figura 42). De esta forma se están construyendo las líneas base del comportamiento de la desgasificación en diversos volcanes activos de El Salvador, con énfasis en el volcán de Santa Ana. Con la nueva técnica de monitoreo incorporada, se han logrado detectar cambios importantes en los datos registrados en el volcán de Santa Ana indicando la evolución de gases en el sistema volcánico (Figura 43).

Así, esta nueva técnica de monitoreo viene a fortalecer la red de vigilancia volcánica y permite disponer de más y mejores datos sobre el comportamiento del volcán, que, integrados a los registrados en otras redes de monitoreo, se utilizarán para la comprensión en los cambios de la actividad volcánica. Sin embargo, aunque las mediciones discretas son de gran ayuda, para fines de pronóstico de la reactivación de volcanes activos sería necesario disponer de redes permanentes que permitieran el registro en tiempo real de los cambios en los componentes gaseosos. Esto se justifica, por la experiencia en otros volcanes activos de la región (p. ej. volcán Poás, Costa Rica) donde los cambios en la desgasificación se detectaron con pocos días o semanas antes del evento eruptivo.



Figura 42. Campañas de monitoreo discreto de gases, utilizando la cámara Multigas donada por el proyecto RIESCA, en los volcanes de El Salvador

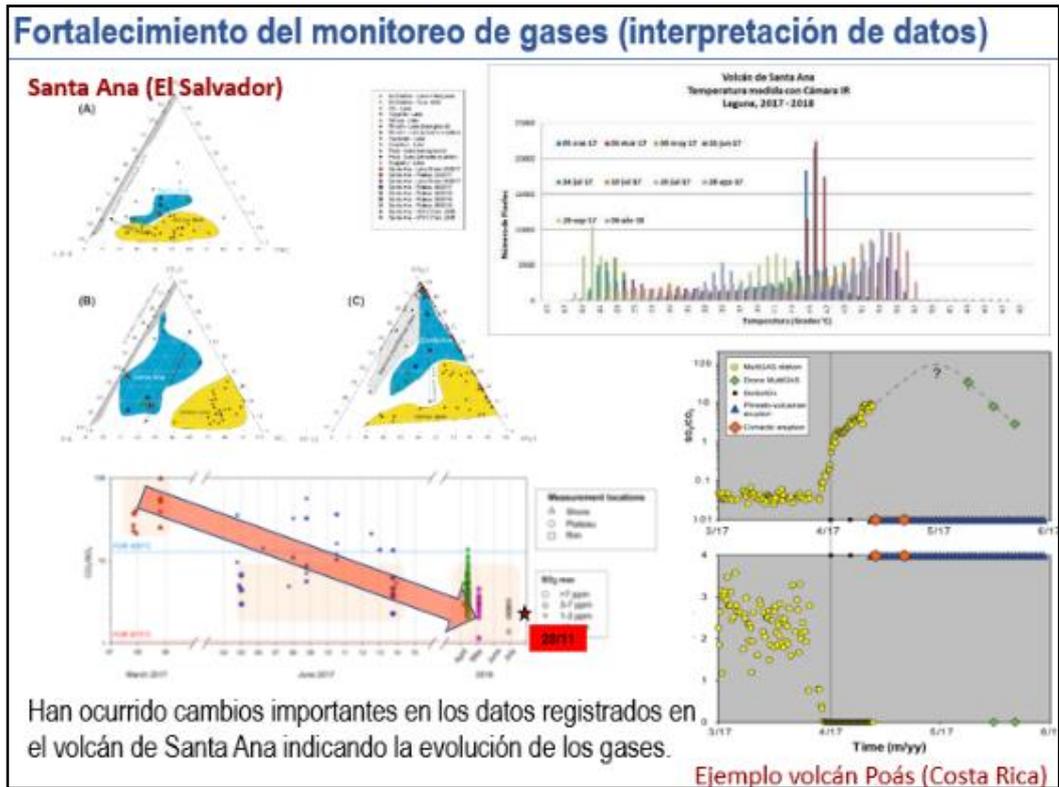


Figura 43. Resumen gráfico del comportamiento de gases en el volcán Santa Ana a partir de la interpretación de datos del equipo multigas donado a la DGOA-MARN (El Salvador) por el proyecto RIESCA.

Adicionalmente, durante el segundo año del proyecto RIESCA también se trabajó, a través de reuniones y videoconferencias, en la capacitación y asesoría de vulcanólogos de la región centroamericana, en el uso de los equipos Multigas y cámaras UV, por parte de los expertos italianos. Durante la 5ª jornada RIESCA en El Salvador se desarrolló una nueva campaña de medición discreta en el volcán de Santa Ana (Figura 44), donde participaron varios miembros integrantes de la Mesa para continuar con los trabajos de capacitación.



Figura 44. Trabajos de la Mesa de Vulcanología durante la 5ª jornada RIESCA en el Salvador en la componente de fortalecimiento de la vigilancia volcánica. En la foto de la izquierda campaña de medición discreta con cámara Multigas en el volcán de Santa Ana e inducción de los participantes. En la foto de la derecha, reunión de los miembros de la mesa de vulcanología con el técnico instrumentista de la DGOA-MARN para el análisis de necesidades para la instalación de una red permanente de cámaras Multigas.

También, durante la 5ª jornada RIESCA, los integrantes de la mesa de vulcanología trabajando en la componente de vigilancia volcánica identificaron las necesidades asociadas a la implementación de una red permanente de monitoreo de gases con cámaras Multigas en El Salvador. Con este fin se mantuvo una reunión con el especialista en instrumentación de la DGOA-MARN (Figura 44) y se listaron las siguientes actividades a realizar durante el próximo año de proyecto:

Realizar pruebas con la estación para asegurar una buena comunicación (telemetría).
Compra de tres radios para la transmisión de datos, así como sus complementos (paneles solares, baterías y reguladores de voltaje) para la instalación de la red.

La necesidad de la implementación de redes permanentes de monitoreo de gases con cámaras Multigas es también urgente para Guatemala, que alberga tres de los volcanes más activos de la región. Esta necesidad ha sido puesta de relieve durante el presente año por la ocurrencia de la crisis volcánica del 3 de junio en el volcán de Fuego.

Durante el desarrollo de la 5ª jornada RIESCA en el INSIVUMEH (Guatemala) se llevaron a cabo dos campañas de medición discreta, en el volcán Fuego y en el volcán Pacaya con cámara UV y Multigas (Figura 45). En el volcán de Fuego la cámara se instaló durante 1 hora en el lugar donde se encuentra el observatorio local del INSIVUMEH en Panimaché, en la ladera suroeste del volcán. Las condiciones de nubosidad durante la jornada y la premura de la agenda no hicieron posible realizar una medición completa. Para el caso del volcán Pacaya, la cámara se instaló a los pies del Cerro Chino, cerca del camino donde acceden los turistas para la observación de los flujos de lava al volcán. Durante esta campaña se realizó un registro de datos durante aproximadamente 5 horas (Figura 4), que permitieron confirmar que la localización del equipo era la idónea y que sería adecuado para la instalación de un equipo de medición permanente.

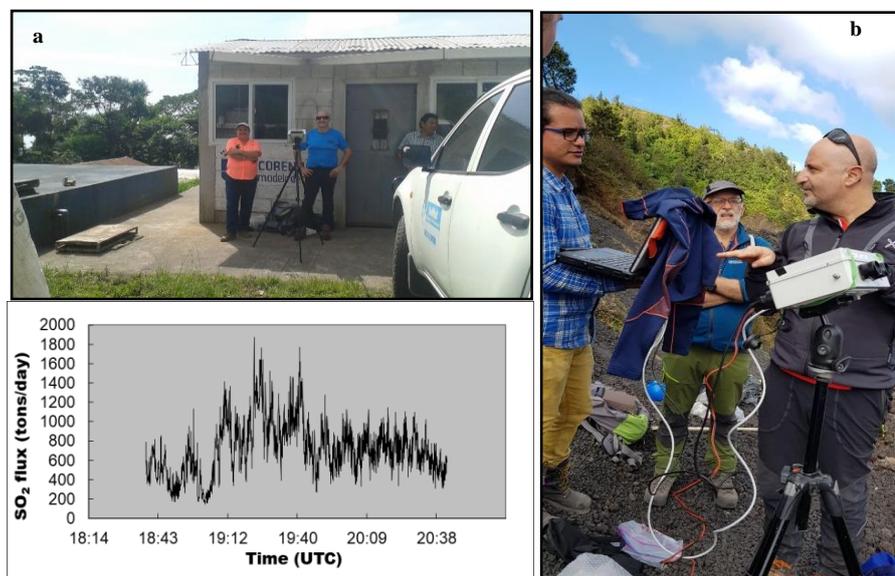


Figura 45. Trabajos de la Mesa de Vulcanología durante la 5ª jornada RIESCA en Guatemala para la componente de fortalecimiento de la vigilancia volcánica. a) Medidas con cámara UV en el volcán de Fuego, desde el observatorio vulcanológico del INSIVUMEH en Panimaché (sector SW del volcán). b) Campaña de medición discreta con cámara Multigas en el volcán Pacaya, a partir de la cual se obtuvieron los datos mostrados en el gráfico de la parte inferior. La medición confirma que la instalación de un equipo permanente en el Cerro Chino sería de gran interés para la mejora de la vigilancia en este volcán.

Durante el próximo año del proyecto RIESCA, sería de interés explorar con las autoridades del INSIVUMEH el interés y la posibilidad de la instalación de equipos para el monitoreo permanente de gases volcánicos, al menos en los volcanes de Fuego y Pacaya. Además, deberá definirse y planificarse una agenda de capacitación para personal de este observatorio, aprovechando la presencia del proyecto y la experiencia de los especialistas italianos y costarricenses en este tipo de técnicas de vigilancia volcánica.

Cabe mencionar, que el éxito de la implementación de una red de este tipo dependerá en gran medida del fortalecimiento del recurso humano en el área de vulcanología del INSIVUMEH, tanto para la vigilancia volcánica como para el análisis de amenaza.

3.3.5. Propuesta de actividades en Vulcanología a realizar en el 2019

Se describen a continuación los objetivos de trabajo para 2019 en las dos componentes de acción del proyecto RIESCA: elaboración de mapas probabilísticos de amenaza y fortalecimiento de la vigilancia volcánica a través del monitoreo de gases.

El objetivo de la Mesa de Vulcanología RIESCA es obtener, durante al año 2019 los mapas probabilísticos de amenaza por caída de ceniza y por corrientes de densidad piroclástica para los complejos volcánicos de San Salvador (El Salvador) y Chiltepa-Nejapa en Nicaragua, así como el mapa probabilístico de amenaza por flujos de lava para el volcán Pacaya en Guatemala.

A la conclusión del segundo año de proyecto RIESCA se dispone de los productos de base (definición de escenarios de amenaza con rangos de valores de los parámetros que caracterizan las erupciones de diferente magnitud) y mapas probabilísticos de apertura de nuevas bocas eruptivas) para abordar la simulación sistemática de los diferentes fenómenos volcánicos que permita la obtención de los productos finales.

En la Figura 46 se resumen las actividades planificadas para ejecutar durante el tercer año del proyecto RIESCA, que como se mencionó previamente, deberían desarrollarse a través de pasantías de los técnicos centroamericanos en la Universidad de Florencia, donde bajo la tutoría del Dr. Raffaello Cioni se desarrollarían las simulaciones y la preparación de los mapas.

Las reuniones plenarias que se plantearan para el 2019 servirían para la discusión y validación de los productos obtenidos, para su depuración y preparación final.

Con relación en la componente de vigilancia volcánica los objetivos planteados para 2019 son la instalación de equipos de medición permanente, al menos en un volcán de cada país socio: El volcán de Santa Ana en El Salvador y el volcán de Fuego o Pacaya en Guatemala. Estas actividades estarán sujetas a la posibilidad de adquirir los equipos y los componentes necesarios para asegurar la transmisión de los datos en tiempo real (vía telemetría o internet).

Adicionalmente, se continuará con las reuniones y videoconferencias de inducción y capacitación para los técnicos centroamericanos, para la interpretación de los datos de mediciones discretas que se realicen con el equipo Multigas donado a la DGOA-MARN. Los datos obtenidos durante este segundo año del proyecto y su interpretación pueden constituir material suficiente para la preparación de una publicación científica en una revista indizada, lo cual constituiría un producto del proyecto RIESCA divulgado a la comunidad científica.

Finalmente, para el siguiente año de proyecto se plantea trabajar más estrechamente con los sistemas de protección civil, con dos objetivos específicos: la inducción desde los observatorios e instancias académicas a la protección civil sobre la producción de los mapas probabilísticos de amenaza volcánica y las posibilidades de uso y en la producción de algunos productos de análisis de riesgo, como por ejemplo el análisis de riesgo por colapso de techos en infraestructuras y viviendas a partir de los mapas probabilísticos de amenaza por caída de ceniza. Estas actividades podrían realizarse con la preparación de diversas jornadas de capacitación específicas para los integrantes de los diferentes sistemas de protección civil.

EL SALVADOR: Complejo Volcánico de San Salvador		
Mapas probabilist. de amenaza	Tareas	Responsables
Mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas	Utilizar el mapa de probabilidad de apertura de nuevas bocas eruptivas en la selección de centros de emisión para la simulación de los diferentes fenómenos volcánicos. Integrar datos de flujos de lava y acuíferos	D. Ferrés – UNIFI – MARN (acuíferos) Conexión Skype enero2019
Caída de ceniza	Aumentar los numero de simulaciones (to 1000 ?) para el escenario subpliniano en el <u>volcán Boquerón</u> . Simular el escenario estromboliano para el <u>área norte del CVSS</u> . Integrar información del mapa de probabilidad de apertura de nuevos centros eruptivos.	MARN (Rodolfo Castro) – UNIFI
Balísticos	Revisar escenarios propuestos en estudios previos Definición de escenarios Simulaciones (Ballistic?)	Rodolfo (MARN) – (Maestría en Riesgo de Desastres – Génova?)
Flujos de lava	Concluir etapa de calibración. Definir escenarios de amenaza por flujos de lava. Simulaciones (ELFM) Integración con el mapa de probabilidad de apertura de bocas eruptivas	Rodolfo Castro – D. Ferrés – UNIFI Conexiones skype diciembre 2018 y enero 2019
Flujos piroclásticos	Integrar con el mapa de probabilidad de apertura de bocas eruptivas (usando EMapProbe)	UNIFI – MARN (Manuel Barrios)

NICARAGUA: Complejos Chiltepe y Nejapa		
Mapas probabilist. de amenaza	Tareas	Responsables
Caída de ceniza	Aumentar el número de simulaciones (hasta 1000?) para un escenario pliniano en el volcán Apoyeque	UNAN-UNIFI
Flujos piroclásticos	Integrar con el mapa de probabilidad de apertura de futuras bocas eruptivas (usando EMapProbe)	UNAN-UNIFI

GUATEMALA: Volcán Pacaya		
Mapas probabilist. de amenaza	Tareas	Responsables
Mapa de probabilidad de apertura nuevas bocas eruptivas	Integrar datos de ventana por flujos de lava	INSIVUMEH –D. Ferrés - UNIFI
Mapa probabilístico de amenaza por flujos de lava	Utilizar ELFM	D. Ferrés - INSIVUMEH

Figura 46. Resumen de actividades por ejecutar durante el tercer año del proyecto RIESCA.

3.3.6. Nota RIESCA/Vulcanología para volcanes Fuego y Pacaya (Guatemala)

(redactada por R.Cioni y A.Aiuppa)

3.3.6.1 INTRODUCCIÓN

Del 21 al 25 de noviembre de 2018, como parte del proyecto RIESCA, un grupo de vulcanólogos italianos de las Universidades de Palermo y Florencia realizó una misión en Guatemala.

La visita del grupo de trabajo de Vulcanología RIESCA en Guatemala se realizó en noviembre 2018 con dos días de trabajo y discusión y dos días de visitas de campo a los volcanes Fuego y Pacaya, dirigidas a definir posibles estrategias de intervención en las crisis volcánicas en curso y para definir intervenciones dirigidas a definir el riesgo volcánico y posibles estrategias a adoptar en el monitoreo de la actividad futura.

Esta breve nota resumen y algunas consideraciones preliminares, elaboradas como el resultado de la misión de noviembre de 2018, con la meta de definir las posibles áreas de intervención de los especialistas en vulcanología de Italia para contribuir a mejorar el sistema de monitoreo de la actividad volcánica en Guatemala.

3.3.6.2. ESTADO DEL ARTE

3.3.6.2.1. Volcán de Fuego

Las numerosas intervenciones de ayuda organizadas por varios países luego de la desastrosa erupción de junio de 2017 llevaron al desarrollo de un sistema de monitoreo que garantiza un nivel de información suficiente de la actividad del volcán, tal para permitir la detección de grandes explosiones, que pueden dar lugar a fenómenos de alto peligro como los flujos piroclásticos, y la detección en tiempo real del flujo de lahar en las incisiones principales.

Sin embargo, el sistema de monitoreo actualmente presente en el volcán no parece ser completamente capaz de llegar a un "pronóstico probabilístico" de la transición entre la actividad ordinaria y la paroxística.

Las erupciones paroxísticas del Fuego probablemente se desencadenan por el ascenso al conducto volcánico de mezclas de gas y magma y se caracterizan por el desacoplamiento de la fase gaseosa con respecto a la fusión magmática. Desafortunadamente, el sistema de monitoreo del volcán actualmente no cuenta con sistemas para la detección de componentes gaseosos en la pluma volcánica.

Además, las experiencias adquiridas en otros volcanes análogos muestran que el ascenso previo a la erupción de batch magmáticos ricos en gas está acompañado / anticipado por fenómenos deformativos medibles a través de medidores de inclinación (tiltmetros).

Lamentablemente, estos sistemas para la detección de deformaciones (medidores de inclinación), que podrían ser muy importantes en el futuro para el desarrollo de un sistema de alerta temprana en caso de grandes eventos explosivos, no están disponibles en el volcán Fuego.

3.3.6.2.2. Volcán Pacaya

La principal fuente de peligro para este volcán está relacionada con la posible emisión de lavas con alto flujo eruptivo, de modo que puedan cubrir distancias de varios kilómetros y amenazar algunos asentamientos urbanos, y de la posible actividad de lanzar material balístico desde los cráteres, como poner en peligro a los numerosos turistas que a menudo se quedan en la base o en las laderas del cono somital, sea asentamientos urbanos (como en el caso de la erupción de mayo de 2010, cuando el pueblo de San Francisco de Sales fue impactado violentamente por una lluvia de fragmentos balísticos). En el caso de estas grandes erupciones, la lluvia de cenizas también puede tener un impacto importante en varias infraestructuras.

El estado actual del volcán se caracteriza por una actividad efusiva continua (que continúa durante varios meses) desde el cráter principal, a la que se asocia una actividad explosiva de tipo estromboliano de intensidad muy variable en el tiempo.

La red de monitoreo local parece faltar; en particular, ante un estilo de actividad caracterizado por frecuente explosividad y por la presencia continua de una pluma, es totalmente carente de un sistema de detección continua de la composición de la pluma y caracterización de la frecuencia, intensidad y posición de la actividad explosiva.

Las medidas preliminares llevadas a cabo en los últimos dos años por el equipo de vulcanólogos de la Universidad de Palermo demuestran la posibilidad de implementar de manera rápida y eficiente el sistema de monitoreo volcánico.

3.3.6.3. POSIBLES INTERVENCIONES

A la luz de los resultados de la breve visita a los dos volcanes, se pueden sugerir algunas posibles mejoras a la situación actual:

1- Implementación de un sistema de monitoreo remoto de la composición de la pluma volcánica en los volcanes Pacaya y Fuego, con sistemas de cámaras UV (para la medición del flujo de SO₂) y Multigas (para la medición de la composición de la pluma volcánica del Pacaya). Estos instrumentos se ensamblan en el laboratorio de vulcanología (LabVulc, Resp. A. Aiuppa) de la Universidad de Palermo, y hoy representan un estándar presente en varios observatorios volcanológicos en el mundo;

2- Implementación de un sistema de monitoreo de deformación de la parte superior del edificio (Fuego) a través de una red de algunos medidores de inclinación (tiltimetros), para identificar con un cierto tiempo el ascenso de magma en los conductos superficiales y implementar en el tiempo un sistema de alerta temprana. Esta instrumentación se puede realizar en el Laboratorio de Geofísica Experimental (LGS) de la Universidad de Florencia (Resp.M. Ripepe);

3- Implementación de una array infrasónica (Pacaya) capaz de localizar y medir la intensidad y la frecuencia de los principales elementos explosivos y, por lo tanto, identificar por adelantado la ubicación de eventuales salidas eruptivas. Esta instrumentación se puede realizar en el Laboratorio de Geofísica Experimental (LGS) de la Universidad de Florencia (Resp. M. Ripepe);

4- Definición de mapas probabilísticos de peligro de invasión de flujos de lava del volcán Pacaya, para ser integrados en mapas de probabilidad de apertura de una futura boca eruptiva, Mapas probabilísticos de riesgo de impacto balístico en el volcán Pacaya, Mapas probabilísticos de peligro de recaída de cenizas para una variedad de eventos de intensidad variable en los volcanes Fuego y Pacaya; Esta actividad se puede llevar a cabo en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Florencia (Resp. R. Cioni);

5- Financiación de becas para la capacitación del personal a cargo de la vigilancia volcánica, también mediante la asistencia a cursos universitarios de segundo o tercer nivel (maestría o doctorado) en Italia.

3.3.7. Integrantes de la Mesa de Vulcanología - RIESCA

Nº	Nombre	Institución	Teléfono	Correo electrónico
1	Eduardo Gutiérrez	MARN	(+503)79894664	egutierrez@marn.gob.sv
2	Raffaello Cioni	UNIFI	(+39)3498376447	raffaello.cioni@unifi.it
3	Alessandro Aiuppa	UNIPA	(+39)339239085	alessandro.aiuppa@unipa.it
4	Dolors Ferres	UNAM	(+52)28501891	dolomita70@gmail.com
5	Greicy Aldana	IGG-CIGEO/UNAN	(+505)86438965	geobritt050708@gmail.com
6	Carla Chun Quinillo	INSIVUMEH	(+502)55955600	refma.cq7@gmail.com
7	Maarten de Moore	OVSICORI-UNA	(+506)60714123	maartenjdemoor@gmail.com
8	Rodolfo Castro	MARN	(+503)79863203	rcastro@marn.gob.sv
9	Demetrio Escobar	MARN	(+503)78560850	descobar@marn.gob.sv
10	Francisco Montalvo	MARN	(+503)78626903	fmontalvo@marn.gob.sv
11	Ana Mirian Villalobos	MARN	(+503)75335486	avillalobos@marn.gob.sv
12	Manuel Barrios	MARN	(+503)78240197	mbarrios@marn.gob.sv
12	Luis A. Montenegro	DGPC	(+503)79838901	luisantonio.montenegro@gmail.com
14	Agustín Hernández De La Cruz	UES	(+503)70118118	agusthdc@yahoo.es
15	Rodolfo Olmos	UES	(+503)75752052	rolmos999@yahoo.com
16	Francisco Barahona	UES	(+503)73962331	barahona_escoto@yahoo.es

3.4. GEOHIDROLOGÍA

3.4.1. Introducción

Los problemas por peligros geohidrológicos representados por los movimientos en masa y las inundaciones, han significado un impacto importante al sector productivo, infraestructura y sector social con pérdidas importantes a la economía de los países de la Región Centroamericana (CEPAL, 2010). La condición geográfica de esta región es particularmente característica por la alta frecuencia de fenómenos naturales de tipo hidrometeorológico como tormentas, depresiones tropicales del Pacífico, así como huracanes del Atlántico, algunas veces simultáneamente con eventos de tipo geológico principalmente erupciones volcánicas, con depósitos de cenizas y materiales sin cohesión, aumentando la susceptibilidad a movimientos en masa como flujos de escombros. Es de tomar en cuenta que la alta sismicidad también es un elemento que desencadenan movimientos de tierra y que dañan los medios de vida de la población en un medio de alta vulnerabilidad física.

Por lo anterior, en los países centroamericanos ha sido aplicados y elaborados diversos estudios para la estimación de la susceptibilidad a deslizamientos, utilizando principalmente metodologías de tipo heurísticas a falta de suficiente historial sistematizado de inventarios de deslizamientos en la Región y poco conocimiento de metodologías de tipo estocásticas.

El proyecto RIESCA, desarrollado por la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo, ha colaborado en el desarrollo e implementación de metodologías de tipo estadística para una mejor estimación de la susceptibilidad a deslizamientos, para ello, RIESCA instaló una mesa técnica de Geohidrología, elaborando las directrices para consolidar y sistematizar los elementos necesarios para elevar el nivel de calidad de los modelos de susceptibilidad de cada país, principalmente orientado a expresar la susceptibilidad a deslizamientos en términos de probabilidad estadística y aplicado un proceso de validación del mapa para evaluar su poder predictivo y precisión, considerando la disponibilidad de información cartográfica de alta calidad que las instituciones poseen, entre ellas Modelos Digitales de Elevación obtenido de tecnología LIDAR para el caso de El Salvador.

3.4.2. Antecedentes

Al mes de enero de 2018, en jornadas de trabajo colaborativo centroamericano e italiana del Proyecto RIESCA, cada país presentó la metodología para la estimación de la susceptibilidad a deslizamiento, entre ellas, métodos heurísticos y estadísticos para El Salvador, Guatemala, Nicaragua y Método Matricial para Honduras.

Con el objetivo de producir el primer mapa Centroamericano de Susceptibilidad a deslizamientos a través de metodologías estadísticas, en ese caso el modelo MARS (Multiadaptive Regression Spline, Friedman, 1991), la mesa de Geohidrología RIESCA procesó información cartográfica a nivel de cada país, las variables de control utilizadas como predictoras para producir este mapa fueron las siguientes: mapa geológico litológico centroamericano, consolidado a partir de mapas geológicos de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua; modelo digital de elevación, con pixel de 100 metros de Centroamérica; derivados geomorfológicos a partir del modelo digital de elevación: pendiente, orientaciones, elevaciones, forma de la pendiente y curvatura del terreno. El producto obtenido fue indicativo para identificar áreas prioritarias en cada país.

En seguimiento al tema de Geohidrología, en el marco colaborativo del Proyecto RIESCA, en El Salvador se han hecho varias aplicaciones de modelos geoestadísticos para la estimación

de la susceptibilidad a deslizamiento (Figura 47), como es el caso de la microcuenca del Arenal de Cujuapa en la Caldera de Ilopango, como también en la microcuenca del río Agua Caliente en la Caldera de Coatepeque, aplicándose varios métodos de validación de los resultados.

El modelo utilizado es un método estadístico multivariado basado en regresión logística binaria, utilizado comúnmente para análisis de variables dicotómicas, analizando la relación entre variables predictoras (variables independientes “x”), con la distribución de los deslizamientos sucedidos en el territorio analizado (inventario de deslizamientos, variables dependientes “y”) donde se supone que se tiene una relación con las condiciones de inestabilidad del terreno. Los valores de $y=1$ significa la presencia de deslizamiento y los valores de $y=0$ significa ausencia de ellos. Fue integrado el algoritmo de MARS (Friedman, 1991) disponible en el paquete de “EARTH” (Milborrow et al., 2011) del software R, que es una técnica de regresión no paramétrica que calcula mejores ajustes de la relación entre las variables para obtener resultados estadístico fiables y geomorfológicamente sólidos.

En los dos ejemplos anteriores, las variables utilizadas como potenciales predictoras fueron: mapa litológico obtenido del mapa geológico de El Salvador escala 1:100000 de la Misión Geológica Alemana 1978; modelo digital de elevación de 5 metros de tamaño de Pixel, obtenido de tecnología LIDAR, proporcionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales; derivados del modelo digital de elevación: pendiente (slope), forma de la pendiente, curvatura plana, curvatura de perfil, curvatura total y mapa de orientaciones (aspect).

Para evaluar el poder predictivo de los modelos y su precisión, fue aplicado un `proceso de auto validación, que consistió de extraer al azar un inventario correspondiente al 10% del mismo inventario (random partition), el cual fue utilizado para la validación del modelo, el 90% restante fue utilizado para la autocalibración del modelo.

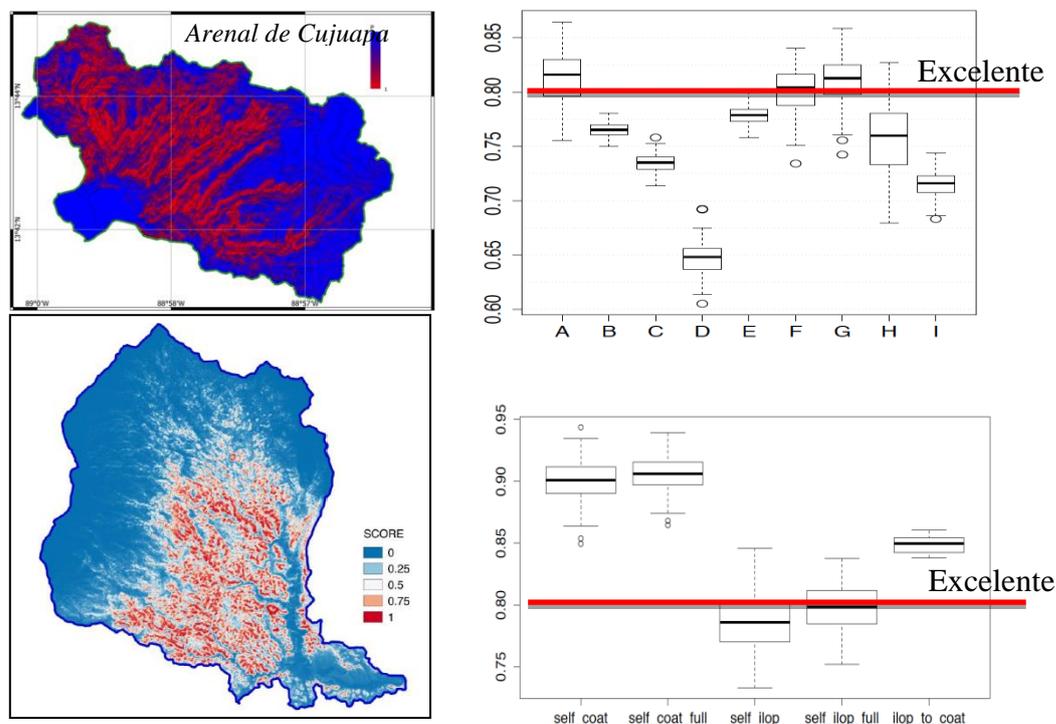


Figura 47 Aplicaciones de métodos estadísticos para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos en El Salvador, Proyecto RIESCA

Tomando en cuenta los Informes de la Jornada 3 de enero 2018 y de la Jornada centroamericana de septiembre 2018, se copia en este capítulo los resultados conseguidos y lo planificado para hacer más claro el avance del 2018.

Fase regional

Se realizó una evaluación preliminar de susceptibilidad a movimientos en masa para los países Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua

Fase local

Se generó información para la región de los países de Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua que permitió la elaboración un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, que consiste en:

- una capa de unidades litológicas para los cuatro países;
- un DEM de 100 metros para toda la región;
- un mapa de elevaciones;
- un mapa de pendientes;
- mapas de exposición (norte y este);
- un mapa de índices de convergencia;
- un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región.

Las acciones a desarrollar en 2018 fueron:

- Incluir en el inventario otras áreas con diferentes características que puedan mejorar los análisis;
- Revisar y mejorar la data existente en la región de estudio;
- Aumentar el número de variables a introducir en el análisis del mapa de susceptibilidad;
- Difundir resultados a los tomadores de decisiones y a los organismos involucrados con la reducción del riesgo.

En particular en el transcurso del año, aunque con diferencias bastante varias de datos y resultados entre países, se ha avanzado en:

- Evaluación de la información disponible de las variables territoriales (capas GIS) de cada país: Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador;
- Definición y selección del Mapa de Cobertura y uso de la tierra;
- Modelos Digital de Elevación y sus derivados;
- Mapa de Pendientes;
- Mapa de Forma de la Pendiente;
- Mapa de curvatura (plan curvature, profile curvature, total curvature) ;
- Mapa Geológico-Litológico unificado para América Central
- Adecuación y unificación de los Sistemas de Coordenadas Geográficas de la información cartográfica;
- Sistematización de inventarios de deslizamientos de cada país, en formato digital;
- Elaboración de un mapa de Susceptibilidad a Deslizamientos de Centroamérica, de nivel general, basado en métodos estadístico probabilísticos, utilizando software Open Source como Qgis, SagaGIS y R Studio;

3.4.3. Descripción de las actividades realizadas

Para producir las primeras aproximaciones de mapas de susceptibilidad a deslizamientos, utilizando metodologías estadísticas probabilísticas, fue revisada toda la información disponible, que fue sistematizada según directrices establecidas en anteriores jornadas de trabajo RIESCA, principalmente hacia la obtención de representatividad de los inventarios de deslizamientos históricos en los territorios y modelos digitales de elevación disponible. Para El Salvador fue iniciado el procesamiento y análisis estadístico con los inventarios y recursos cartográficos disponibles, encontrándose algunas dificultades para establecer productos finales aplicables a todo el territorio. En cada país centroamericano (Guatemala, Honduras y Nicaragua) y sus áreas de estudio aún se está en la fase de sistematización de los factores de evaluación principalmente los registros históricos de deslizamientos y obtención de cartografía de mayor escala, quedando aún en proceso de elaboración y pendiente de análisis estadístico. Para todos los países se establecieron directrices a ejecutarse en el mediano plazo, principalmente en la sistemática de los registros históricos de deslizamientos.

3.4.4 El Salvador

3.4.4.1. Evaluación de datos de inventario e información cartográfica

Para el caso de El Salvador fueron utilizados los inventarios disponibles obtenidos de los registros históricos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los cuales pertenecen a eventos donde el detonante fue un terremoto (para el caso del terremoto de 1986 en San Salvador y del 13 de enero de 2001).

También fue utilizado un inventario de deslizamientos elaborado en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, obtenido a través de métodos indirectos mediante interpretación de imágenes satelitales de Google Earth, principalmente desencadenados por eventos de lluvia como la Tormenta Stan (2005), DT96E/Ida (2009), Agata (2010) y DT12E (2011). Este inventario consiste del reconocimiento del punto de identificación de la corona del deslizamiento (LIP: Landslide Identification Point), cartografiado y sistematizado en un Sistema de Información Geográfica basado en QGIS 2.18, con un total de 76,095 deslizamientos a nivel del territorio nacional (Figura 48).

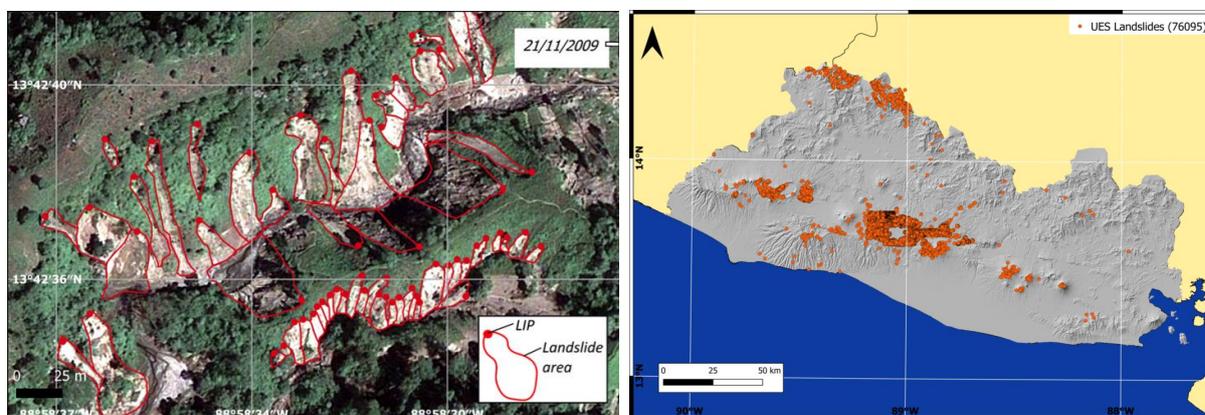


Figura 48. Distribución de todos los eventos seleccionados de los archivos disponibles.

Se realizó una evaluación de los registros de eventos disponibles para El Salvador, obteniéndose un total de 80,378 eventos históricos para todo el territorio (Figura 49 y 50). Observándose que:

- El inventario construido contiene tanto deslizamientos detonados por sismos como lluvia.
- Los registros no poseen una tipología que caracterice a los deslizamientos, por lo que no se encuentran clasificados como caídas de roca, flujos, etc.
- Los registros no se encuentran homogéneamente distribuidos en el área de estudio, quedando muchas zonas sin eventos históricos que puedan representarlos.

De acuerdo a lo anterior, se decidió tomar cinco áreas que de acuerdo a la ubicación de los registros han sido mapeadas de manera sistemática. Para los eventos sísmicos se realizaron dos grupos, uno con el sismo de 1986 y otro grupo con los ocurridos por los sismos del 2001 (Figura 51).

Al mismo tiempo, para las áreas definidas como para todo El Salvador, fueron calculados los diferentes parámetros predictores. Los datos predictores fueron obtenidos a partir de un mapa litológico y una serie de factores derivados de un modelo digital de elevaciones (DEM) de resolución de 5 metros (Figura 52).

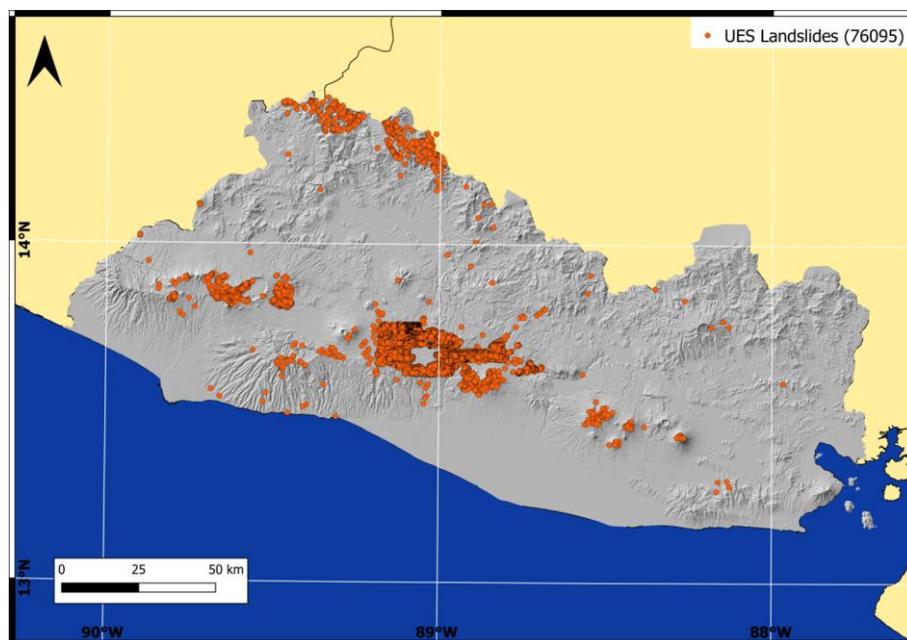


Figura 49 Distribución de todos los eventos seleccionados de los archivos disponibles.

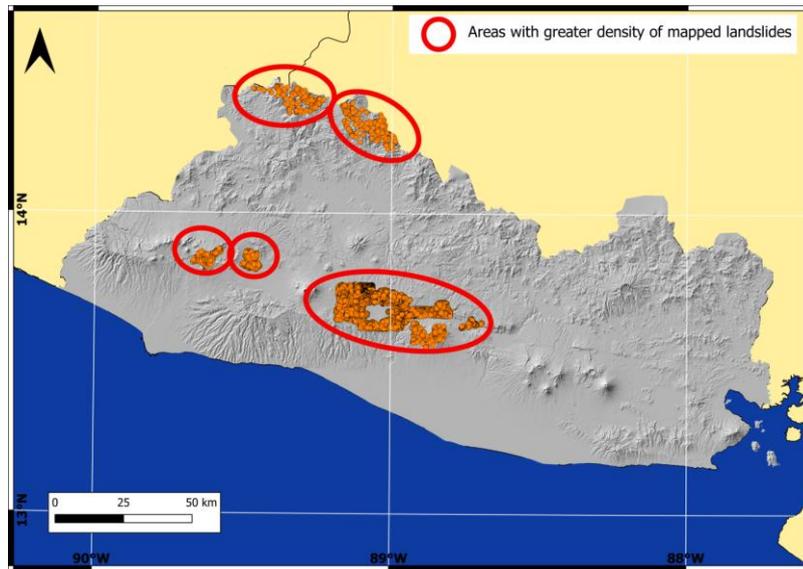


Figura 50 Delimitación de las cinco áreas mapeadas homogéneamente.

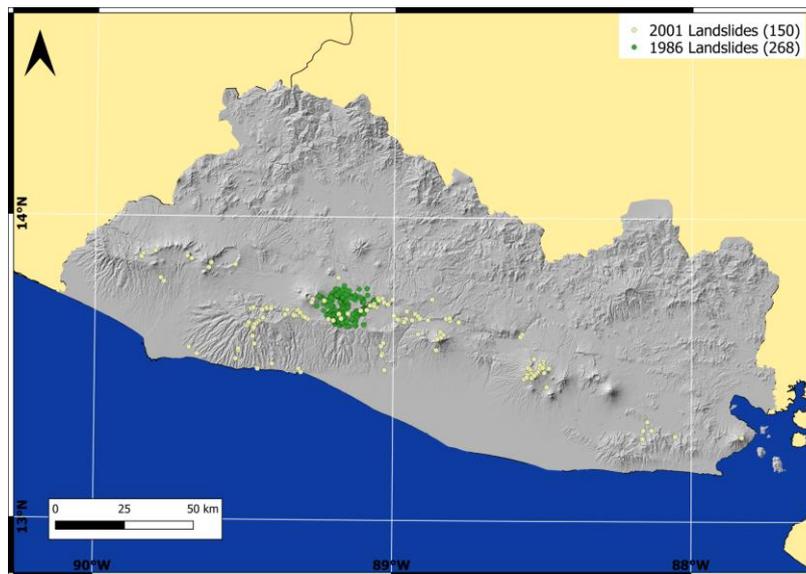


Figura 51 Set de datos de deslizamientos inducidos por sismos (1986 y 2001)

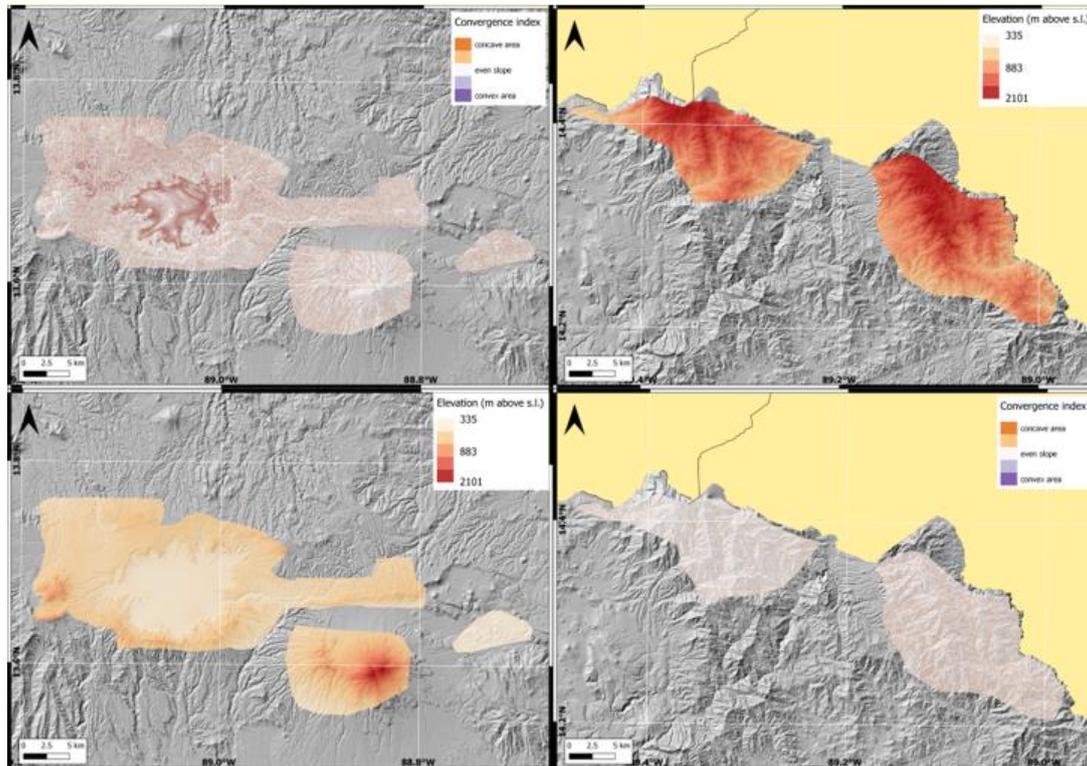


Figura 52 Ejemplo de mapas de factores predictores.

3.4.4.2. Elaboración de mapas de susceptibilidad a deslizamientos a partir de modelos estadísticos.

1. **Modelo para toda el área:** obtenida uniendo las cinco áreas de las cuales se tenía mayor representatividad en el inventario, aplicando la estrategia de “self validation”.
2. **Modelo calibrado en tres de las cinco áreas y exportado en dos restantes.**
3. **Modelo calibrado con las cinco áreas y exportado a todo el país,** para la predicción de un inventario de 703 eventos que fueron previamente extraídos del inventario original (Figura 53).
 ***Nota: Los modelos de los numerales 1, 2 y 3 fueron realizados con el set de datos tanto de deslizamientos ocurridos por sismo como por lluvia.
4. **Modelo calibrado utilizando el inventario de deslizamientos ocurridos por sismos de los años 1987 y 2011:** este proceso se realizó utilizando la metodología propuesta por Nowicki Anna Nowicki (2014 – “Development of a globally applicable model for near real-time prediction of seismically induced landslides”), aplicando *backward y foward chrono validation* (Figura 55).
5. **Modelo calibrado utilizando el inventario de deslizamientos ocurridos por lluvia de las áreas de La Laguna Verde y Lago de Coatepeque:** se realizó utilizando la metodología de Conoscenti et al. (2015- Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice River Basin, western Sicily, Italy), aplicando una calibración tipo *random partition* (Figura 54).

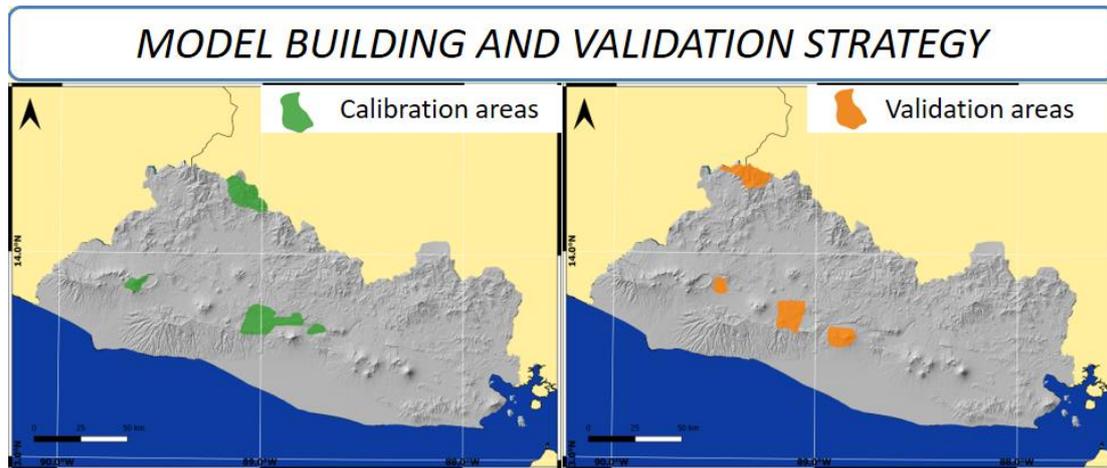


Figura 53 Modelo calibrado en tres de las cinco áreas y exportado en dos restantes.

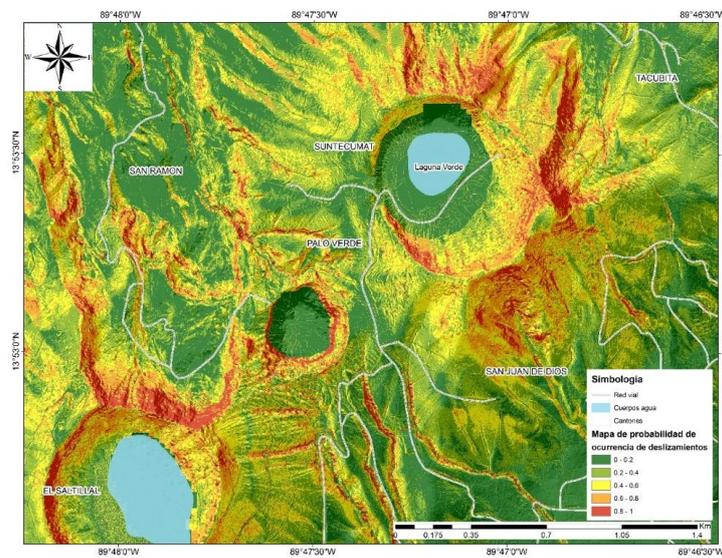


Figura 54 Mapa de probabilidad de ocurrencia a deslizamientos en la zona de la Laguna Verde, en los departamentos de Ahuachapán, Apaneca y San Juan de Dios (El Salvador).

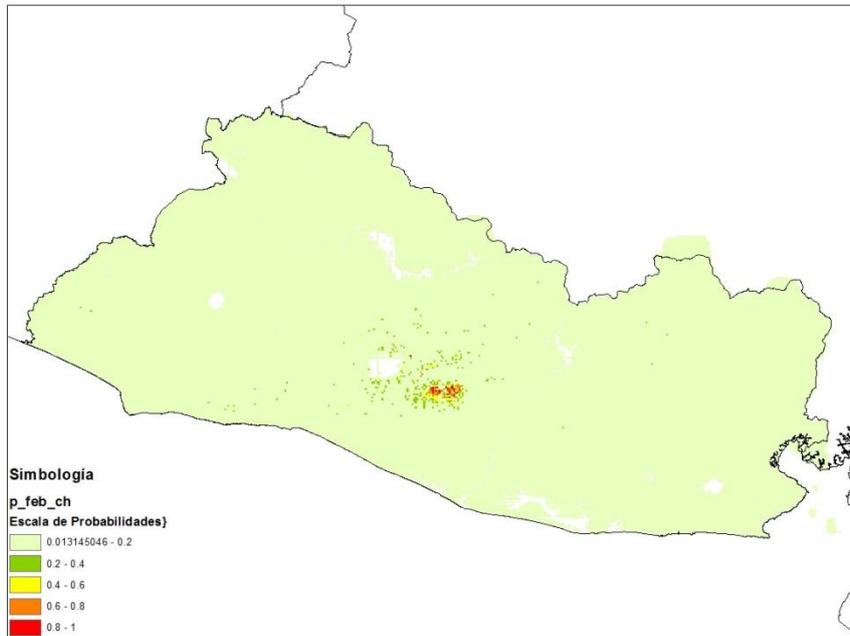


Figura 55. Ejemplo de mapa de distribución de probabilidad a deslizamientos por el sismo del 13 de febrero de 2001, en El Salvador. Utilizando los coeficientes propuestos por Nowicki.

Los resultados de las modelaciones han mostrado como que, aunque el modelo muestra buenos resultado en el área de estudio muestran problemas al ser exportado a áreas más extensas. Este se relaciona a la no homogeneidad de los inventarios de deslizamientos, ya sea espacial como metodológica. (Figura 56 y 57)

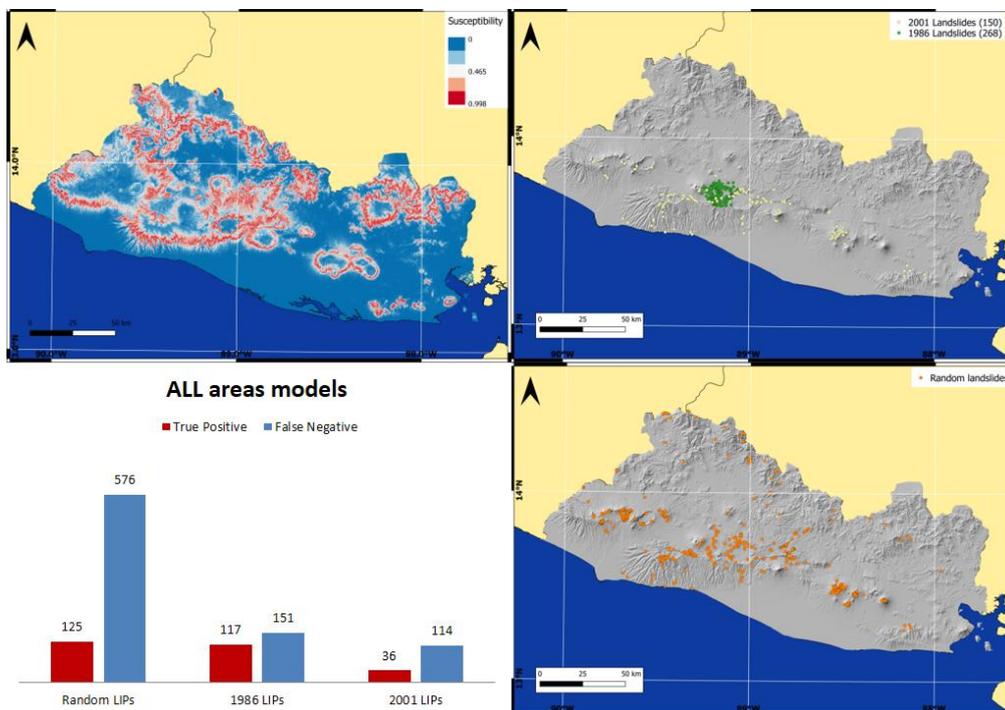


Figura 56 Evaluación de la efectividad predictiva del modelo en todo el país para deslizamientos sismo-inducidos.

Tomando como objetivo, llegar a una modelación de todo el país, se estableció un mismo enfoque para el proceso de mapeo de deslizamientos, basados en el siguiente protocolo:

- Subdivisión del territorio nacional en áreas individuales y morfológicamente homogéneas.
- Delimitación por cada una de las zonas de áreas de calibración (mapeo sistemático de deslizamientos).

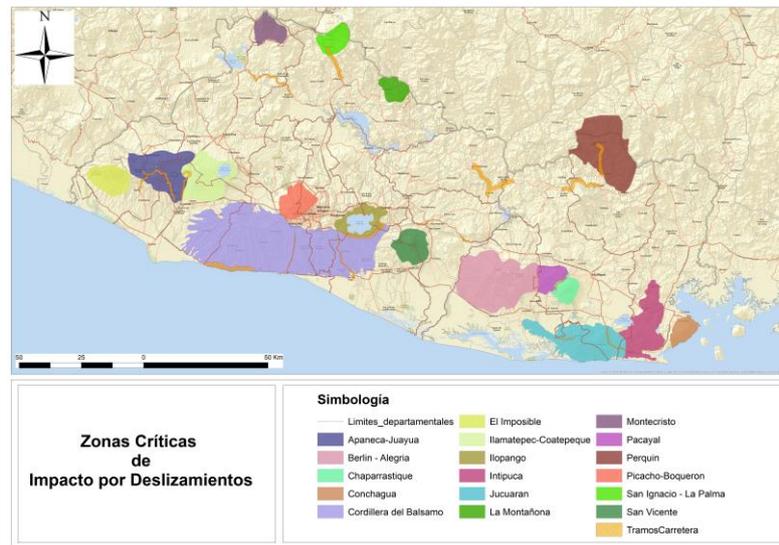


Figura 57 Zonificación de áreas críticas de ocurrencia por deslizamientos, basados en morfología, litología y eventos pasados.

3.4.4.3. Visita al Centro Nacional de Registros (CNR) y definición del plan de trabajo para la utilización de los datos aerofotogramétricos.

Se realizó una reunión con la doctora Mercedes Sandoval de Hernández, en la gerencia de Fotogrametría. En la reunión se realizó una consulta de cobertura de fotografía previa y posterior a los sismos del año 2001. Para el este año se encontró un solo vuelo previo del año 1999 (antes) y dos vuelos posteriores del 2001 (1 después del sismo de enero y otro después del sismo de febrero).

Las fotografías poseen una escala de 1:15000 y muestran la calidad adecuada para obtener inventarios sistemáticos previos y posteriores al evento del 2001. Todos los fotogramas se encuentran en formato digital (escaneados) y se estableció un contacto para solicitar los datos por parte del Ministerio de Medio Ambiente de Recurso Naturales (MARN) al director ejecutivo Romelio Canales y a la directora de información geográfica Sonia Ivette Sánchez (CNR).

Posterior a la visita al CNR, se realizó una discusión del plan de trabajo que deberá ser desarrollado con los inventarios que se obtengan de la fotogrametría del año 2001. En particular, se estableció:

- Preparar un modelo de susceptibilidad para las áreas afectadas de los sismos del 2001, calibrada con el inventario de los deslizamientos mapeados en 1999.
- Combinar con valores de aceleraciones registradas por los dos sismos del 2001 (PGA).
- Realizar validaciones sobre los inventarios enero 2001 y febrero 2001.
- Exportar a un área más extensa (todo el país) el modelo obtenido.

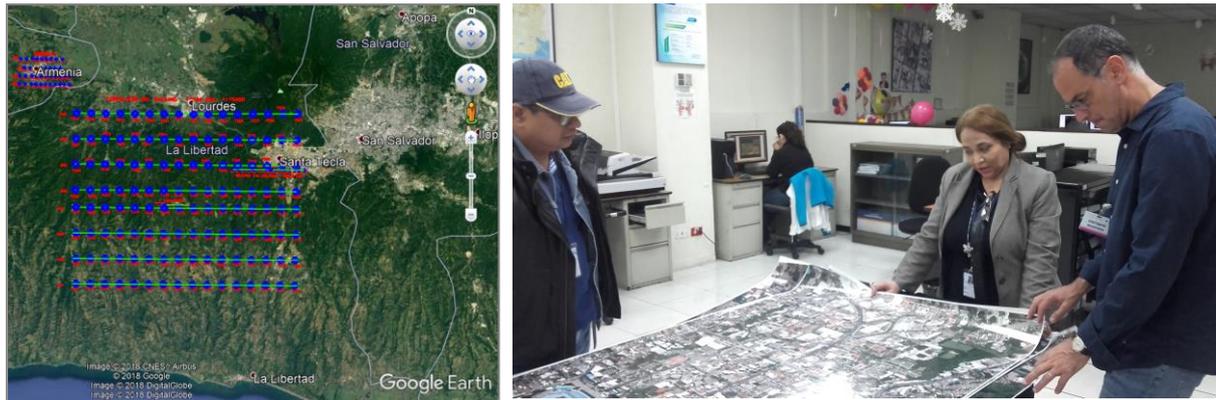


Figura 58 Líneas de vuelo de los fotogramas de enero 2001.

3.4.4.4. Elaboración de informe y de la presentación final.

Para realizar una modelación de susceptibilidad a deslizamientos por lluvia se identifica como elemento clave la disponibilidad de inventarios generados después de tormentas o eventos extremos, que haya sido generado de manera sistemática dentro de las áreas afectadas. En este sentido, se han identificado los siguientes casos:

- Stan 2005 sobre la cordillera del Bálsamo.
- Ida 2009 sobre el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) y la caldera de Ilopango.
- Agatha 2010 sobre el AMSS.
- Tormenta DT-12E sobre la caldera de Coatepeque y la Laguna Verde.
- Mike 2018 sobre la cordillera costera central y zona montañosa nor-occidental.

Para los casos mencionados se definió realizar la búsqueda de imágenes utilizando un método sistemático de mapeo de deslizamientos compartido UES, MARN y UNIPA. Para este fin se han programado para el 2019, misiones de investigadores de UNIPA a El Salvador y de MARN y UES a Palermo.

3.4.5. Nicaragua

3.4.5.1. Antecedentes

Como zona piloto en Nicaragua se tomó el volcán Concepción en la isla de Ometepe. En este volcán el IGG-CIGEO/UNAN-Managua realizó un estudio de susceptibilidad a movimientos en masa donde se obtuvo como resultado los mapas de litología, drenajes, escarpes de movimientos en masa y zonas de erosión, sismos e isosistas, isoyetas, fallas geológicas, uso de suelos y de pendientes con la ayuda de un modelo digital de elevación de 12.5 metros. Estos mapas y sus datos de atributos constituyeron las variables que permitieron, mediante un método heurístico, generar un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para el volcán Concepción.

Para esta misma región piloto en Nicaragua se generó un mapa de movimientos en masa, figuras 38 y 39, utilizando el método estocástico denominado MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline) donde se hace un análisis estadístico de las variables integradas a un algoritmo con la ayuda del programa “R”

El trabajo de la mesa de Geohidrología para Nicaragua, sigue el proceso de sistematización de un modelo digital de elevación con mayor escala y de inventario sistemático de deslizamientos del país completo, aunque en jornadas de trabajo anteriores a la presente, ya se había obtenido un producto preliminar basado en la metodología estadística MARS, del área piloto definida en Isla de Ometepe, la extensión y aplicación de este modelo hacia el total del territorio ha sufrido indirectamente la situación política de este país, habiéndose presentado dificultades para obtener datos de las instituciones oficiales. A la fecha el proceso ha sido retomado por la Directora del CIGEO de UNAN Managua, y se espera completar en el primer trimestre del 2019.

3.4.6. Guatemala

3.4.6.1. Antecedentes

Se realizó una evaluación preliminar de susceptibilidad a movimientos en masa para Guatemala para el cual se utilizó un modelo digital del terreno (DEM) con una resolución de cien metros. Es importante decir que, aunque se tenía información de elevación a cada treinta metros el proceso de la información resultaba muy lento para ser procesado.

Se integró una capa de unidades litológicas de Guatemala la cual tuvo que ser uniformizada, esta capa se había realizado durante el Proyecto Red Interuniversitaria en Análisis y Evaluación de la Peligrosidad Natural en Centro América, completando mediante un procedimiento manual los límites fronterizos debido a que existían vacíos de información.

Para el manejo espacial de la información se utilizó la técnica denominada MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline).

En Guatemala, donde se comenzó a trabajar en la cuenca del río Villalobos y lago de Amatitlán, las cuales se localizan al sur de la ciudad de Guatemala en lo que se constituye como la provincia volcánica, no se tienen avances de particular novedad respecto a lo avanzado en jornadas anteriores.

Del área se tiene información preliminar sobre deslizamientos, además se cuenta con información topográfica, geológica, sismo-tectónica, de desarrollo urbano y otras.

Se estima que en esta área se concentran más de dos millones de personas y han ocurrido deslizamientos que han cobrado la vida de cientos de personas.

3.4.7. Honduras

3.4.7.1. Introducción

Se repiten las actividades realizadas por la mesa de geohidrología en Honduras, el área de estudio seleccionada ha sido la zona del Distrito Central (Tegucigalpa), asumiendo el polígono de crecimiento de la ciudad hasta el año 2030. Los datos presentados de jornadas antecedentes que corresponden a la aplicación de un modelo heurístico con la utilización de 8 variables intrínsecas y dos variables de disparo. Siendo resultados de un modelo heurístico, se requiere realizar un modelo estadístico que mejore la comprensión de los fenómenos de movimientos en masa para la zona de estudios propuestas.

3.4.7.2. Antecedentes

Honduras sigue la sistematización la información cartográfica de cobertura y uso de la tierra, modelo digital de elevación e inventario de deslizamientos de su área piloto corresponde al área metropolitana de Tegucigalpa, quedándose pendiente de aplicar la metodología estadística para el primer trimestre del año 2019.

Fase local Honduras

Se generó información local que permitió la elaboración un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del área piloto seleccionada, área urbana de Tegucigalpa proyectada hasta el 2030, mediante un método heurístico, la información consiste en:

- una capa de unidades litológicas del Distrito Central a escala 1:50,000
- un DEM de 15 metros para toda la región del Distrito Central;
- mapa de fallas geológicas
- mapa de vertientes (red hídrica)
- un mapa de pendientes.
- mapas de geomorfología a escala 1:50,000.
- un mapa de inventario de deslizamientos.
- un mapa de uso de suelos.

Las acciones a desarrollar en 2018, de las cuales no se presentan los relativos datos fueron:

- Realización de Curso de Geomorfología Aplicada a Movimientos en Masas, del 05-10 de marzo.
- Revisar actualización de mapa geológico en algunos sectores del Distrito Central.
- Aumento el número de variables a introducir en el análisis del mapa de susceptibilidad;
- Corridas del modelo heurístico, variando los pesos de las variables utilizadas y comparando con datos de campo de movimientos en masa ocurridos recientemente.

Se espera que en 2019 se pueda aplicar la metodología RIESCA adquirida al área piloto de Tegucigalpa finalizando la actividad de Geohidrología en Honduras.

3.4.8 Propuesta de actividades en Geohidrología a realizar en el 2019

Mapeo de los deslizamientos generados en El Salvador después de las tormentas Stan 2005, Ida 2009, Agatha 2010, DT-12E y Mike 2018, con la finalidad de mejorar la capacidad de los modelos estadísticos de predecir los movimientos de masas causados por eventos extremos de lluvia en toda la región.

Realizar inventarios sistemáticos de deslizamientos previos y posteriores al evento sísmico del 2001 en El Salvador con la finalidad de calibrar y validar modelos estadísticos de susceptibilidad y extenderlos a todo el país.

Finalización del proceso de sistematización de la información cartográfica de cobertura y uso de la tierra, modelo digital de elevación e inventario de deslizamientos de las áreas pilotos de Guatemala y Honduras y calibración y validación de los modelos estadísticos utilizando los nuevos datos.

Sistematización en Nicaragua de un modelo digital de elevación con mayor escala del país y de inventario sistemático de deslizamientos de áreas representativas de las principales condiciones geoambientales con la finalidad de mejorar la capacidad de predicción de los modelos estadísticos de susceptibilidad en el país.

Seguirá en el 2019 las actividades de comunicación de los resultados obtenidos a los tomadores de decisiones y a los organismos involucrados con la reducción del riesgo y la acción en el caso de ocurrencia de desastres tales como la protección civil.

3.4.9. Integrantes de la Mesa de Geohidrología - RIESCA:

N°	Nombre	Institución	Teléfono	Correo electrónico
1	Jacqueline Rivera	MARN	(+503)70375499	jacque.rivera87@gmail.com
2	Edoardo Rotigliano	UNIPA	(+39)3298711895	edoardo.rotigliano@unipa.it
3	Miguel Hernández	UES	(+503)77861635	hernandez_mhm@yahoo.com
4	(Julio Luna)	USAC	(+502)53089591	jlunaaroché@yahoo.com
5	(Maynor Ruiz)	UNAH	(+504)98398795	maynor.ruiz02@gmail.com
6	(Carlos Rubi)	UNAN	(+505)87426100	rubi@igg.unan.edu.ni

4. Avances con la Sinergia entre instituciones y Protección Civil

En el desarrollo de RIESCA el acompañamiento institucional de la Dirección General de Protección Civil ha estado presente como uno de los pilares fundamentales del proyecto.

Durante la jornada 4 realizada en el mes de septiembre técnicos de Protección Civil de los países participantes presentaron los diferentes procesos implementados en cada país, experiencia que sirve a los participantes para conocer cómo se maneja la información referente al tema y su implementación dentro de los procesos de preparación y de respuesta.

Toda la interacción generada en la jornada 4 continuó con la integración de los técnicos de Protección Civil dentro de cada mesa temática para conocer los procesos de generación de datos técnicos.

En este sentido las actividades planificadas a futuro involucran el fortalecimiento de capacidades técnicas de Protección Civil mediante el desarrollo de jornadas orientadas a este propósito.

En reunión sostenida con el Director de Protección Civil de El Salvador se reafirmó la importancia del proyecto en los diferentes procesos y tareas que se desarrollan en cada país, a dicha reunión asistieron Jorge Melendez Director de Protección Civil, el Coordinador General del proyecto Giuseppe Giunta, el Coordinador Regional Abel Argueta, Mauricio Guevara Sub-Director de Protección Civil como Coordinador delegado para el proyecto RIESCA, José Tomasino y Luis Montenegro como técnicos delegados de Protección Civil para el trabajo RIESCA, Licenciada Aida Zeledón, Mario Raynone de la Universidad de Chieti, Italia, José Luis Alfaro de Protección Civil, David Monterroso de CONRED Guatemala, Edwin Castrillo de UNAM, Nicaragua.

Una de las principales actividades desarrolladas durante el año, fue el acercamiento de técnicos de CONRED Guatemala hacia la Dirección de Protección Civil de El Salvador para compartir experiencias en torno al evento acontecido de erupción del volcán Fuego en Guatemala y el traslado de esa información a miembros de comunidades aledañas al volcán de San Salvador.



Figura 59. Intervenciones en el conversatorio en comunidad El Milagro de Mejicanos, San Salvador



Figura 60. Reunión de seguimiento con la Dirección General de Protección Civil de El Salvador



Figura 61. Integración de técnicos de la Dirección General de Protección Civil de El Salvador al trabajo realizado por las diferentes mesas temáticas

4.1. Propuesta de actividades con la Dirección General de Protección Civil a realizar en el 2019

Luego de las actividades desarrolladas con las Protecciones Civiles y luego de los talleres realizados en El Salvador con la Dirección General de Protección Civil, se han evaluado las actividades realizadas en 2018 y se han planificado las actividades a realizar en 2019 que son:

- Jornadas de acercamiento con comunidades seleccionadas dentro del área piloto
- Jornadas de intercambio de conocimientos técnicos entre Protección Civil, MARN y UES
- Jornadas para el mejoramiento de las capacidades técnicas de la Dirección General de Protección Civil en conjunto con instituciones homologas en Centro América.

5. Resumen de las Actividades Administrativas realizadas durante el segundo año de proyecto RIESCA (2018)

La Auditoria del primer tramo de financiamiento debería haberse realizado a principios de 2018, pero los gastos incurridos no alcanzaron el porcentaje útil para completarla (debido tanto a las dificultades burocráticas endémicas de los países socios como a la gestión cuidadosa por parte de UNIPA), y para poder solicitar la concesión del segundo tramo.

Por lo tanto, de acuerdo con AICS-Centroamérica, mientras las actividades técnicas continuaron regularmente, se procedió a redactar una Auditoria parcial n°1, en la que también se actualizaron las sumas aún no gastadas.

Esta Actualización/Reajuste del Plan Operativo-Financiero, sin cargos adicionales por AICS, presentada en el mes de mayo de 2018, fue necesaria para permitir la continuación de las actividades técnicas planificadas hasta finales de 2018, y en esa fecha producir la Auditoria n°1 útil para la solicitud del segundo tramo de financiamiento. La actualización se aplicó en particular para facilitar la movilidad italiana y de algunas instituciones centroamericanas, que no habrían tenido fondos suficientes para cumplir con las actividades planeadas para el 2018.

En base a la actualización, en 2018, la Universidad de Palermo ha proporcionado varios desembolsos, como: - para compras de instrumentaciones a USAC (Guatemala), UNAN (Nicaragua), UNAH (Honduras); - para movilidad a OGS y CNR; - para favorecer la movilidad de UNAN (Nicaragua) en rubros UES (El Salvador) actualizados; - para la compra de una segunda cámara multigas solicitada por la UES (El Salvador); etc.

En general, desde el punto de vista económico-financiero, como tecnico-científico, el 2018 representó una extensión del primer año del proyecto, pendiente de finalización en 2019 en la espera del segundo tramo de financiamiento.

Ya durante algunos meses, y luego de la última misión en Centroamérica de noviembre 2018, se sigue con la definición de la Auditoria del primer tramo de financiamiento recibido por AICS, que se va a completar en unas semanas, para enviarlo lo más antes posible a AICS.

Mientras tanto, el 18 de diciembre de 2018, se le solicitó a AICS que otorgara a UNIPA el segundo tramo de financiamiento, de conformidad con las disposiciones del Artículo 4 del Convenio, según lo cual UNIPA tiene el derecho de solicitar el 2do tramo, ya que ha incurrido en gastos que exceden el porcentaje establecido del primer tramo.

De esta forma será posible permitir la continuación sin interrupción de las actividades técnicas ya planeadas para el 2019.

En el transcurso del 2018, en Italia y en Centro América, la oficina administrativa de la Universidad de Palermo (UNIPA) ha cumplido con todas las actividades administrativas, preparando las disposiciones de compromiso y liquidación de los gastos, las trasferencia y desembolsos de dinero, y la preparación de Auditorias.

6. Conclusiones

La conclusión del 2018, segundo año de actividad del proyecto, se ha realizado en la **Jornada 5** en Guatemala y El Salvador, coordinada por la UNIPA con la colaboración de OGS y CNR de Italia, con la participación de representantes centroamericanos de las Universidades (UES, USAC, UNAN, UNAH) y de las Instituciones (MARN/OA, DGPC, CONRED, INSIVUMEH, COPECO), a las cuales dieron apoyo especialista de UNAM y de UNA/OVSICORI, estos últimos relacionados al Proyecto IILA/RIESCA/COSTA RICA.

Las actividades 2018 se enmarcan en los **objetivos del proyecto**, de:

- Mejorar la protección del territorio y de la infraestructura contra riesgos naturales (sísmico, volcánico, geohidrológico) en América Central, apoyando a las instituciones en términos de calificación profesional, contribuyendo así a la regionalización de la defensa del patrimonio histórico y humano, y del medio ambiente;
- Ayudar a promover y/o fortalecer sectores importantes de la Academia, de las Instituciones y de los Organismos de Respuesta en la vigilancia y defensa contra los peligros naturales, hasta las Comunidades, con consecuencias positivas en términos de calificación profesional y laboral;
- Contribuir al proceso sociocultural de los países centroamericanos en el campo de la prevención de los riesgos naturales.

En particular se están siguiendo las **líneas principales de acciones**, como:

- Elaboración de mapas de peligros y escenarios de riesgo dirigidos a actividades de prevención, para contribuir al mejoramiento de las acciones de las instituciones gubernamentales responsables del conocimiento, análisis, vigilancia y gestión de los fenómenos naturales potencialmente de elevado peligro (sísmicos, volcánicos, geohidrológicos) en Centro América;
- Mejorar la capacidad de prevención de los riesgos naturales y de respuesta en el manejo de emergencias, para apoyar a las instituciones gubernamentales designadas a la protección civil, en actividades para mitigar el impacto en el territorio y en las comunidades.

En el 2018 las diferentes tareas planeadas previamente, incluyeron:

- La participación de coordinadores, investigadores centroamericanos e italianos en varias reuniones, conferencias y seminarios (en remoto y presencial);
- El apoyo a un Curso de especialización que se desarrolló en la UES de El Salvador, como actividad interna paralela a RIESCA;
- El mejoramiento de un “Aula Virtual”, desde poco ya página web RIESCA <http://proyectoriesca.agronomia.ues.edu.sv>, ha sido para proporcionar una plataforma donde se pueda alojar toda la información y los datos elaborados y en proceso;
- La colaboración entre los investigadores centroamericanos con los investigadores italianos en grupos temáticos separados (geología y sismotectónica, sismología, vulcanología y geohidrología), buscando y ordenando datos, discutiéndolos y compartiéndolos entre los grupos internos a los países, entre los países, y con Italia, y que a menudo se reunieron en plenarios;
- La adquisición de algunas instrumentaciones para mejorar el análisis y monitoreo de los fenómenos de riesgo;
- La relación con Protección Civil de los diferentes países para mejorar el sistema de transferencia de datos técnicos para la gestión de la “alerta temprana”;
- la preparación y/o publicación de artículos científicos, a veces presentados en contextos internacionales.

Los **resultados principales de este segundo año** de proyecto, sintetizados en los capítulos antecedentes de este informe, se refieren a:

- mejorar el conocimiento básico en las varias temáticas;
- mejorar y compartir catálogos en matrices y en mapas interactivos;
- mejorar redes de monitoreo o elaborar proyectos de redes multiparamétricas nacionales y regionales;
- elaborar mapas de peligrosidades, con ejemplos en las áreas piloto;
- elaborar metodologías para la creación continua de escenarios de riesgo;
- escoger las vías más rápidas y con buenos contenidos técnicos para la transmisión y protección civil.

Como ya se expresó en varias ocasiones, un primer y muy importante resultado parece haber activado una colaboración entre universidades e instituciones del sector tanto en países individuales como entre los cuatro países beneficiarios, en una región donde los problemas del Riesgo casi siempre se han enfrentado individualmente y con poca cooperación mutua. Tener especialistas que trabajan en su propio país y con los de los demás países, incluso si son vecinos, ha sido posible a través de la aplicación del método de colaboración de "hacer juntos" y no de "hacer", bajo la gestión técnica italiana de UNIPA, OGS, CNR.

La realización de algunas sesiones plenarias en América Central (ver información relacionada) y en Italia permitió verificar los resultados en curso y calibrar las actividades que realizarán los partner bajo la asistencia continua de Italia.

Las vías técnico-científicas se basaron en la adquisición de metodologías analíticas para la definición de escenarios de amenaza/riesgo y la transmisión de información a la protección civil, siguiendo los organigramas del proyecto, dirigiendo la selección de acciones de acuerdo con la nueva adquisición de datos.

Sin embargo, el intento de normalizar los datos mostró grandes **diferencias en la cantidad y calidad** de los mismos entre los distintos países y dentro de cada uno de ellos. Hoy intentamos superar el problema, favoreciendo la colaboración entre especialistas de países más virtuosos con aquellos que son menos, cuidando de no resaltar las motivaciones culturales y políticas de ciertas diferencias, para no perturbar la soberanía de cada país con sus propias instituciones.

Intentando de cumplir con las prioridades de El Salvador, Guatemala, Nicaragua (que está tratando de superar la detención después de las últimas vicisitudes políticas) y Honduras, los datos y el análisis de los diversos peligros están permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas para el conocimiento volcánico, sismológico y geomorfológico de la región centroamericana, con gran dificultad en el avance de algunos países, para ser de utilidad a nivel regional para el manejo de la prevención.

En particular:

- Geología y Tectónica: uniformizar mapas de diferentes tipología, detalle y escala;
- Vulcanología: los datos y mejores elaboraciones pertenecientes a algunas instituciones, a quien se refiere para intentar uniformizar conocimiento y procesos, y colaborar con los demás países, también con la ayuda de investigadores especializados que han sido invitados a colaborar (ej, UNAM, UNA/OVSICORI);
- Sismicidad: los catálogos, aunque que no se refieren a un largo periodo, incluso los datos acelerométricos y de macrosísmica, son muy variables. También en eso se está empujando con un trabajo común entre instituciones y países sobre catálogos y procesamiento de datos para mejorar en particular las zonas sismogénicas, la macrosísmica, etc; siempre con detalle en las áreas piloto.
- Geohidrología: datos variables en calidad y cantidad en los varios países, los que más se han tenido en cuenta para acciones de mejoramiento y tratados con una metodología única.

Desde el punto de vista **administrativo**, las actividades de 2017 y 2018 fueron cubiertas por el 1er tramo de financiamiento AICS, debido tanto a las dificultades burocráticas endémicas de los países socios como a la administración cuidadosa por parte de UNIPA. Ya desde hace algunos meses se está procediendo a la actualización continua para la definición de la auditoría del primer tramo de financiamiento AICS, que debe completarse en breve, después de las actividades de la Jornada 5 de fines de noviembre.

A conclusión falta mencionar que en el 2018 RIESCA ha cumplido con éxito varias expectativas, aun buscando resolver los problemas encontrados, típicos de un proyecto regional, de los cuales algunos se quedan todavía a la atención, también produciendo efectos paralelos, como la participación a Doctorados en UNIPA, la abertura de una Carrera de Geología y Ciencias de la Tierra en El Salvador, la colaboración de Costa Rica con un proyecto del IILA, sobre los cuales se está poniendo mucha atención.

Para conseguir los principales resultados finales del proyecto, se está elaborando un crono programa para el 2019, se han establecido los procesos y actividades a desarrollarse en el 2019, ya en acto, esperando que en el breve transcurso de este último año los programas sean lo más esenciales, y no demasiado presuntuosos, considerando que el proyecto no quiere resolver todos los aspectos de los riesgos naturales. Un gran esfuerzo tiene que ser producido para ayudar a los países que no consiguen ponerse al paso de los demás, empujando la resolución rápida de los problemas que condicionan los avances.

El proceso que se sigue, de compartir “Metodologías” con “Aplicaciones en áreas específicas” y “Transmisión de informaciones a Protección Civil”, al final, tiene que lograr la especialización de recursos humanos calificados en métodos de análisis y mitigación de riesgos naturales, con el resultado específico de formar una comunidad de expertos en el monitoreo y la vigilancia de eventos naturales, para garantizar la sostenibilidad futura.

Un agradecimiento es necesario para las Instituciones, Académicas y Gubernamentales de El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Honduras, a los coordinadores locales, a todos los investigadores y docentes que componen los varios grupos temáticos, a los estudiantes aplicados en varios temas, a los colegas italianos de UNIPA, juntos con el Rector de UNIPA F. Micari y la Prorectora Internacional A.M. Florena, OGS, CNR, a la AICS de Centro América y Roma junto con los Embajadores italianos en los países partner, deseándonos seguir con el máximo del esfuerzo para el cumplimiento de esta magnífica experiencia de colaboración profesional y de amistad entre Italia y Centro América.



Figura 62. Grupo RIESCA en INSIVUMEH Guatemala



Figura 63. Sesión Plenaria RIESCA en El Salvador

7. Proyecto IILA/RIESCA/Costa Rica

7.1. Informe de la misión a Costa Rica del 1 al 5 de diciembre de 2018.

En el marco del proyecto de cooperación IILA-RIESCA-COSTA RICA entre Italia y Centroamérica para la integración regional en la defensa contra los riesgos naturales, se llevó a cabo una misión en San José, del 1 al 5 de diciembre de 2018, de los especialistas italianos incluidos en la lista. de la Universidad de Palermo (UNIPA) y el Consejo Nacional de Ricerche (CNR), acompañados por las oficinas de alto nivel de UNIPA y Centroamérica de la Universidad de El Salvador (UES), el Ministerio de Medio Ambiente de El Salvador (MARN) y la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), para perseguir el objetivo del proyecto, consiste en establecer entre el proyecto RIESCA - "Escenarios de Riesgo en El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Honduras" y Costa Rica (OVSICORI-Observatorio Volcanológico y Sismológico) uno Intercambio de conocimientos sobre los peligros de los fenómenos naturales, a través de la difusión de elementos técnicos y científicos para una mejor integración entre las instituciones nacionales. y las regiones centroamericanas en prevención y mitigación de riesgos.

Los especialistas y roles institucionales de RIESCA, italianos y centroamericanos, participaron en reuniones técnicas y visitas institucionales realizadas en la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y OVSICORI, la Comisión Nacional de Emergencias, el Ministerio de Asuntos Exteriores y la Embajada de Italia.

Al ser una reunión, tanto técnica como oficial, los participantes ilustraron y discutieron las experiencias de RIESCA y OVSICORI para adquirir conocimientos regionales y delinear otras vías comunes, y han tratado una serie de datos técnicos sobre fenómenos de riesgo natural en la región centroamericana. , en parte ya adquirida en los últimos meses y al final de 2018, además de los acuerdos marco entre UNIPA y UNA, para definir pronto el programa de colaboración para 2019, de acuerdo con una ruta metodológica que permita cumplir en la medida de lo posible. Líneas de acción del proyecto IILA / RIESCA / Costa Rica, para "compartir datos y procesos, y discutir los resultados, incluso si son parciales, en particular sobre riesgos volcánicos y sísmicos, destacando las debilidades en el sector de escenarios de riesgo (en un sentido general) y las acciones que se pueden tomar en la transmisión y difusión de elementos técnicos a las instituciones de protección civil, en reto para mejorar la prevención regional ".

En general, se han sentado las bases para mejorar el conocimiento y la gestión técnica de los riesgos naturales a nivel centroamericano, especialmente en instituciones académicas y gubernamentales, favoreciendo la proyección regional con el debate sobre métodos, enfoques y resultados para mejorar la cultura. de riesgos en Centroamérica.

Como parte de la misma misión, se discutieron y delinearón las siguientes actividades dentro del proyecto IILA / RIESCA / Costa Rica, que, a menos que los cambios posteriores y dependiendo de los recursos económicos, deben incluir:

- Visitas y reuniones mutuas, operativas en el campo y en el laboratorio, en los países de RIESCA y en Costa Rica;
- organización de un taller en Costa Rica;
- organización de un taller en Italia en IILA;
- participación de los representantes de OVSICORI en la sesión plenaria de RIPCA en Italia UNIPA.

La delegación italiana y centroamericana estuvo compuesta por:
Prof. Giuseppe Giunta, coordinador de proyectos (UNIPA)
Prof. Fabrizio Micari, Rector (UNIPA)
Prof. Ada Maria Florena, Rector internacional (UNIPA)
Prof. Mauro Agate, geólogo (UNIPA)
Dra. Eliana Esposito, geofísica (CNR)
Ing. Abel Argueta, co-coordinador en C.A. (UES)
Ing. Luis Castillo, geólogo (UES)
Ing. Francisco Montalvo, vulcanólogo (MARN)
Ing. Greicy Aldana, vulcanólogo (UNAN)

Las reuniones y los trabajos se llevaron a cabo con la coordinación, junto con G. Giunta, de:
Prof. Carlos Montero, Director (OVSICORI)
Dr. Alberto Salom-Echeverría, Rector (UNA)
Lic. Randall Arce, resp. relaciones internacionales (AN)
Dr. Marino Protti, sismólogo (OVSICORI)
Dr. Maarten de Moor, vulcanólogo (OVSICORI)
Lic. Marco Vinicio Saborio (Comisión de Nac. Emergencias)
Lic. Lidier Esquivel (Comisión Nac. Emergencias)
Dra. Adriana Solano (Min. As. Exteriores, Coop. Internacional.)
Dra. Tatiana Vargas (Min. As. Exteriores, Coop. Internacional.)
Amb. Fulvio Rustico (Embajador de Italia)
Dr Ugo Falciola (Embajador de Italia)

Antes de la misión RIESCA en Costa Rica, hubo una intervención del Dr. Maarten de Moor, vulcanólogo OVSICORI, en la Jornada 5a RIESCA realizada en Guatemala, en USAC e INSIVUMEH, y en El Salvador, en UES y MARN, para colaborar en las actividades de Análisis de datos volcánicos y sismológicos (en el laboratorio y en el campo), haciendo nuevas contribuciones al mejoramiento de estos, también en vista de los más altos en Costa Rica, con el objetivo de compartir regionalmente el conocimiento de los hechos y los problemas asociados con un plan. Mejora del sistema de seguimiento y observación.

En general, la misión tuvo un buen desempeño en el objetivo del proyecto, favoreciendo gradualmente la continuación de la cooperación regional en actividades comunes que puedan garantizar su sostenibilidad.



Figura 62a. Reunión de la delegación de RIESCA con OVSICORI



Figura 62b. Reunión de la delegación de RIIESCA con OVSICORI y con los rectores de la UNA y UNIPA



Figura 63. Grupo de trabajo RIESCA (UNIPA, UES, UNAN) – OVSICORI

8. Boletines y notas informativas

- Portale istituzionale (www.unipa.it)

<http://www.unipa.it/Internazionalizzazione-UniPa-missione-in-Centro-America-nel-campo-dellanalisi-di-terremoti-vulcani-e-frane/>

- Pagina Facebook ([@universitapalermo](https://www.facebook.com/universitapalermo))

<https://www.facebook.com/universitapalermo/photos/a.180307905710163/492933777780906/?type=3&theater>

- Profilo Twitter ([@unipa_it](https://twitter.com/unipa_it))

https://twitter.com/unipa_it/status/1072119661712605185

- Diario Co Latino: https://www.diariocolatino.com/ues-y-riesca-clausuran-proyecto-sobre-actualizacion-de-escenarios-de-riesgo/?fbclid=IwAR0_rFYsYRZUYsrgirB841eaOiV_LGgCP0bhvtY6L1lgzr37AANYUrhGHKw

-Noticia del sito

<https://www.aics.gov.it/news/2018/27651/?fbclid=IwAR0aFt7GDgIMWmMeNZKauS9btMXgPIcmnJK-pqoAu9XMYybKtu4RqYqMDKo>

Otros sitios

<http://www.eluniversitario.ues.edu.sv/6590-clausuran-segundo-ano-de-ejecucion-de-proyecto-de-formacion-sobre-fenomenos-volcanicos>

https://www.aise.it/anno/laics-nei-fronti-caldi-del-mondo/124236/1?fbclid=IwAR2PHVmiHuM6EAh_Ck93oUvmAosUAxxd91dLsH5lj0RkZblH7f2Zcrkf95U

<http://www.noticierostcs.com/clausura-del-segundo-ano-del-proyecto-de-formacion-aplicada-a-los-escenarios-de-riesgo/>

Newsletter IILA

https://gallery.mailchimp.com/297c13c89a2c7adb0ed04ea21/files/f7b20f2c-00dc-4b7f-aaf0-ea8dd92c1cf5/Newsletter_IILA_n.23_dicembre_2018.pdf